BÁNHIDI LÁSZLÓ

EMBER ÉPÜLET ENERGIA

Akadémiai Kiadó • Budapest

Ember
Épület
Energia

Ember
Epillet
Energia

28189

Bánhidi László
a műszaki tudomány doktora

Ember
Épület
Energia

Akadémiai Kiadó
Budapest

MTAK
0 00002 79642 0

696660

MAGYAR
TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
KÖNYVTÁRA

ISBN 963 05 6553 6

Kiadja az Akadémiai Kiadó
1117 Budapest, Prielle Kornélia u. 19—35.

Első magyar nyelvű kiadás: 1994

© Bánhidi László, 1994

Minden jog fenntartva, beleértve a sokszorosítás, a nyilvános előadás,
a rádió- és televízióadás, valamint a fordítás jogát, az egyes fejezeteket illetően is.

Printed in Hungary

M. TUD. AKADÉMIA KÖNYVTÁRA
Könyvleltár 1256 /19 94 sz.

Édesanyámnak
és nevelőanyám emlékének

Tartalom

	Előszó	15
I.	**Az ember és környezete kapcsolatának elméleti alapjai**	19
1.	**Az ember és környezete közötti általános kapcsolatok**	21
1.1.	Az ember és környezetének komplex kapcsolata	21
1.2.	Az ember és környezete közötti kapcsolati mechanizmus modellezése	22
1.3.	Az ember és zárt téri környezete közötti szubjektív kapcsolat	24
1.4.	A szubjektív hőérzet kérdéséről	26
2.	**Az ember és környezete közötti energia-, illetve hőcserefolyamatok**	28
2.1.	Az emberi test hőtermeléséről általában	28
2.2.	Az emberi test hőtermelésének műszaki számításakor figyelembe vehető adatai	29
2.2.1.	Általános adatok	29
2.2.2.	Táblázatos méretezési adatok	31
2.2.3.	A munkahelyi komplex terhelés értékelése	36
2.3.	Az emberi test hőleadásának módjai	41
2.4.	Az emberi test és környezete közötti hőcsere és a hőegyensúly kérdése	45
2.4.1.	Az emberi test hőegyensúlya	45
2.4.2.	Néhány általános adat az emberi test hőcserefolyamataihoz	45
2.4.2.1.	Az emberi test hőcseréjének számításakor alkalmazott hőmérsékletértékek	46
2.4.2.2.	A test hőmérsékletének meghatározása	48
2.4.2.3.	A bőrhőmérséklet értékei	48
2.4.2.4.	A bőr hőmérsékletét befolyásoló néhány fontos adat	55
2.5.	Az emberi test és környezete közötti hőcsere szabályozása	59
3.	**Az emberi test és környezete közötti hőcserefolyamatok figyelembevételének számítástechnikai eszköztára**	62
3.1.	Száraz hőcsere	62
3.2.	Nedves hőleadás	65
3.3.	A ruházat hőszigetelő képességéről	67
4.	**Az ember és az épület közötti hőcsere energetikai szempontjai és figyelembevétele**	72
4.1.	Alaptörvények	73
4.1.1.	A fekete test sugárzása	73
4.1.1.1.	Az abszolút fekete test gyakorlati megvalósítása	73
4.1.1.2.	A Planck-törvény	74
4.1.1.3.	A Wien-törvény	75
4.1.1.4.	A Stefan—Boltzmann-törvény	75

4.1.1.5. A Lambert-törvények 76
4.1.2. A valóságos testek sugárzása 77
4.1.2.1. A fekete testre vonatkozó törvények alkalmazása szürke testre 78
4.1.2.2. A Kirchoff-törvény 78
4.1.3. A szilárd testek sugárzási hőcseréje áteresztő közegben 79
4.2. Sugárzásos hőcsere két általános, illetve tetszőleges helyzetű síkfelület között 80
4.2.1. Sugárzásos hőcsere két egymást burkoló felület között 85
4.2.2. A kölcsönös sugárzási együttható 86
4.3. Felületelem és felület közötti besugárzási tényező meghatározása 87
4.3.1. Felületelem és felület közötti besugárzási tényező meghatározása nomogramok és táblázatok segítségével 88
4.3.2. Felület és felületelem közötti besugárzási tényező meghatározása szerkesztéssel 92
4.4. Sugárzásos hőcsere egy geometriai sík és az emberi test valóságos felülete között (Fanger-módszer) 95
4.4.1. Az effektív besugárzott felületi tényező 96
4.4.2. A tervezett felületi tényező 98
4.4.3. A szögtényező 100
4.5. A sugárzásos és a konvektív hőátadási tényezők 110

5. Zárt terek hőtechnikai méretezésének jelenleg alkalmazott módszerei 112
5.1. Léghőmérsékletre méretezés 112
5.2. Mikroklímás mutatószámok 119
5.2.1. A levegő és a környező felületek hőmérsékletét figyelembe vevő mutatószámok 120
5.2.2. A levegő hőmérsékletét és sebességét figyelembe vevő mutatószámok 123
5.2.3. A levegő hőmérsékletét és relatív nedvességtartalmát figyelembe vevő mutatószámok 124
5.2.4. A levegő hőmérsékletére, a környező felületek hőmérsékletére és a légmozgásra vonatkozó mutatószámok 124
5.2.4.1. Gömbhőmérséklet 124
5.2.4.2. *WGBT* index 126
5.2.4.3. Száraz rezultáns hőmérséklet 126
5.2.4.4. Javított operatív hőmérséklet 126
5.2.4.5. Ekvivalens hőmérséklet 126
5.2.5. A levegő hőmérsékletét, relatív nedvességtartalmát és sebességét figyelembe vevő mutatószámok 127
5.2.5.1. Leusden és Freymark kellemeshőérzet-diagramjai 127
5.2.5.2. Rietschel kényelmi görbéi 129
5.2.5.3. Frank kényelmi diagramja 129
5.2.6. A levegő hőmérsékletét, a környező felületek hőmérsékletét, a levegő sebességét és relatív nedvességtartalmát egyaránt figyelembe vevő mutatószámok 130
5.2.6.1. Effektív hőmérséklet 130
5.2.6.2. Javított effektív hőmérséklet 132
5.2.6.3. Effektív ekvivalens hőmérséklet 132
5.2.6.4. Kata-termometria 132
5.2.6.5. A jó hőérzet t—v diagramja 136
5.2.6.6. Bradtke kényelmi számai 138
5.2.6.7. Egyenértékű hőfok 138
5.2.6.8. Van Zuylen mérőszáma 139
5.2.7. A mikroklíma méretezésére vonatkozó komplex diagramok 139

5.3. Az emberi test hőegyensúlyán alapuló Fanger-féle méretezési eljárás 141
5.3.1. Hőegyensúlyi és komfortegyenletek 142
5.3.2. Komfortdiagramok 144
5.3.3. A hőérzet várható értékeinek számítása (*PMV* és *PPD* értékek) 150
5.4. Az ASHRAE-módszer 154
5.4.1. A hőegyensúlyi egyenletek grafikus ábrázolása 154
5.4.2. Az effektívhőmérséklet-diagramok 158
5.4.3. ASHRAE-komfortdiagram nyugalomban lévő emberre 159
5.5. Egyéb új méretezési módszerek 161
5.5.1. A korszerűsített MSZ 04 140/2 161
5.5.2. Az ISO 7730 szabvány 164
5.5.3. Jokl javaslata hőérzeti méretezésre 165
5.5.4. Különböző indexek és azok alkalmazási tartományai 167

6. A zárt térben tartózkodó ember komfortviszonyaival kapcsolatos legújabb kérdések, eredmények 169
6.1. A helyi diszkomforttényezők 170
6.1.1. Az aszimmetrikus sugárzás 170
6.1.1.1. Olesen, Fanger és Nielsen módszere 170
6.1.1.2. McIntyre sugárzó fűtés méretezésére vonatkozó adatai 172
6.1.1.3. Fanger, Bánhidi, Olesen és Langkilde új méretezési normaértékei 174
6.1.1.4. Bogoszlavszkij módszere 177
6.1.2. A huzathatás 183
6.2. Termikus műemberek 191
6.2.1. Az ÉTI termikus műembere 192
6.2.2. A második generációs műember használhatóságának elvi és fizikai korlátai 195
6.2.3. A termikus műember alkalmazásának szerepe és mértéke az emberi tartózkodásra szánt terek méretezésében 196
6.3. Az emberi test hőcserefolyamatainak matematikai modellezése 199
6.4. Zárt terek belső levegőjének szennyeződése 199
6.4.1. A formaldehid-szennyeződés 201
6.4.2. A radonszennyeződés 201
6.4.2.1. Az építőanyagok természetes radioaktivitásának anyagjellemzői 202
6.4.2.2. A természetes radioaktivitás szerkezeti jellemzői 203
6.4.2.3. A természetes radioaktivitás térjellemzői 203
6.4.2.4. Követelményértékek 203
6.4.2.5. Néhány külföldi adat 204
6.4.3. A dohányzás okozta levegőszennyeződés 205
6.4.4. A szilárd részecskék és a mikroorganizmusok okozta szennyeződések 205
6.4.5. A szaghatások okozta légszennyeződés 206
6.4.5.1. Az „olf" mértékegység 206
6.4.5.2. A „decipol" mértékegység 208
6.4.5.3. A szennyezőforrás mérése 209
6.5. Az elektromos erőterek és a levegőionizáció 210
6.5.1. Természetes és mesterséges elektromos terek 211
6.5.2. Levegőionok, természetes és mesterséges ionforrások 213
6.5.3. Az elektromos és elektromágneses terek, valamint a levegőionok élettani hatásai 214
6.5.4. Az ionkondicionálás gyakorlati hasznosításának néhány példája 216

6.5.5. A levegőionizátorokról 218
6.5.5.1. Radioaktív ionizátorok 218
6.5.5.2. Ibolyántúli sugárzással működő ionizátor 219
6.5.5.3. Hidroionizátor 220
6.5.5.4. Koronakisüléses ionizátorok 220
6.6. A „beteg épület" (sick building) kérdéskör 220
6.6.1. A „beteg" vagy „egészséges" épület témaköre 220
6.6.2. A lakáspenészesedés és a lakásokban előforduló mikroorganizmusok kérdése 225
6.6.2.1. A lakások gombaszennyezettségének egészségügyi vonatkozásai 225
6.6.2.2. Kapilláris kondenzáció és penészképződés 227
6.6.2.3. A penészképződés hő- és páratechnikai feltételei 228
6.6.2.4. A helyiség nedvességmérlege 228
6.6.2.5. A kapilláris kondenzáció feltételei 230
6.6.2.6. Egy, a penészesedés okait vizsgáló helyszíni méréssorozat eredményei 232
6.6.3. Az „intelligens" épület témaköre 233
6.7. A vizuális komfort kérdése, különös tekintettel annak energetikai kihatásaira 234
6.7.1. A szín- és a szubjektív hőérzet összefüggéséről 234
6.7.2. A természetes és mesterséges megvilágítás energetikai kérdéseiről 239

II. Az épületek hőtechnikai tulajdonságai és az energiafelhasználás 243

7. Az épülethatároló szerkezetek és a hőegyensúly 245
7.1. Tömör határoló szerkezetek 246
7.1.1. A tömör határoló szerkezetek hőtechnikai viszonyai 246
7.1.2. A tömör határoló szerkezetek jellegzetes épületfizikai mutatói 249
7.1.3. A padlók méretezése 254
7.1.4. A hőátbocsátás számítása szempontjából eltérő esetek 254
7.1.4.1. Hőhidak 254
7.1.4.2. Szellőztetett határoló szerkezetek 257
7.1.4.3. Vízzel elárasztott és permetezett határoló szerkezetek 258
7.2 A napsugárzást átbocsátó szerkezetek 258
7.2.1. Általános adatok 258
7.2.2. A napsugárzásos hőterhelés 259

8. Az épületet érő hőhatások 262
8.1. A hővezetés általános differenciálegyenlete nyugvó szilárd közegben 262
8.2. Stacioner állapotok 264
8.3. Instacioner folyamatok 266
8.4. Szabályosan változó hőhatások 267
8.4.1. Ugrásfüggvény szerint változó hőhatások 267
8.4.2. Periodikusan változó és pulzáló hőhatások 268
8.4.2.1. Periodikus változások 269
8.4.2.2. Pulzáló hőhatások 270

9. Az épületek hőterhelésének néhány fontosabb kérdése 273
9.1. Az épületek külső hőterhelése 273
9.2. Az épületek belső hőterhelése 284

10. Az épületek légforgalmának kérdései 286
10.1. Filtrációs légforgalom 286
10.1.1. A gravitációs felhajtóerő hatására kialakuló levegőforgalom 287

10.1.2. A szél hatására kialakuló nyomáskülönbség, illetve levegőforgalom 291
10.1.3. A gravitációs és a torlónyomás összegzése 291
10.2. Szellőzéses légforgalom 293
10.2.1. A mesterséges szellőzés általános ismérvei 294
10.2.2. A szellőzési légforgalom méretezési kérdései 298
10.2.2.1. A szellőzőlevegő térfogatárama 298
10.2.2.2. A szellőzőlevegő állapotának meghatározása 301

11. Az épületek energiafelhasználása és az ezt befolyásoló tényezők 302
11.1. A határoló szerkezetek elvi befolyása a belső mikroklímára és az energiafelhasználásra 303
11.2. A különböző jellegű hőhatások szerepe a helyiségek belső mikroklímájára, energiafogyasztására 304
11.3. A belső téri hőegyensúlyt befolyásoló tényezők 305
11.3.1. A külső határoló szerkezeteken áthaladó hőáramok 305
11.3.2. A függönyök és redőnyök szerepe az épületek téli energiafelhasználásában 307
11.3.2.1. Helyszíni mérések 308
11.3.2.2. Laboratóriumi vizsgálatok 308
11.3.2.3. A mérési eredmények értékelése 310
11.3.3. A helyiségek közötti hőáramok 313
11.3.4. Néhány egyéb hatás 314
11.3.4.1. A burkoló felületek hőmérsékletének hatása 314
11.3.4.2. A helyiség magasságának hatása 315
11.3.4.3. A fűtési üzemmód hatása 316
11.4. A napenergia-hasznosítás 317
11.4.1. A passzív napenergia-hasznosítással várhatóan elérhető energiamegtakarítás 318
11.4.2. A napenergiát hasznosító hőtechnikai rendszerek, berendezések és szerkezetek néhány fontosabb kérdése 319
11.4.2.1. Épületek fűtése 319
11.4.2.2. Épületek hűtése 322
11.4.3. Komplex hőhasznosítású épületek 325
11.4.4. Napsugárzást hasznosító berendezések, szerkezetek 325
11.4.4.1. A napkollektor 326
11.4.4.2. Hőtárolós szerkezetek 328
11.4.4.3. Működtető szerkezetek 329

III. Zárt terek optimumra méretezésének elvi kérdései 331

12. A zárt téri mikroklíma méretezésének helyzete 333
12.1. A kutatások trendjei 333
12.1.1. A „hagyományos" irányzat 334
12.1.2. Az „új" irányzat 335
12.2. A kutatások hazai hasznosulása és annak várható formái 338

13. A hőérzetileg megengedhető határértékek elve 340
13.1. A méretezési mód egyes tételeinek indokolása 341
13.1.1. Az elégedetlenségi faktorok százalékos értékének, valamint a szellemi és fizikai teljesítőképesség kérdése 341
13.1.2. A kor, a nem és az egyéb tényezők hatásának figyelembevétele 343
13.1.2.1. A kor és a nem hatása a szubjektív hőérzetre 344

13.1.2.2. Az etnikai adatok és a szokás hatása a szubjektív hőérzetre 346
13.2. A komfortvizsgálatok metodikájáról 349
13.2.1. Az egy időben vizsgált paraméterek száma 350
13.2.2. A vizsgálati alanyok megválasztása 350
13.2.3. A vizsgált alanyok száma 351
13.2.4. A vizsgálati körülmények 351
13.2.5. A laboratóriumi mérési metodikáról, illetve a stressz hatásáról 352
13.2.6. Az adaptációs idő kérdése 354
13.2.7. A vizsgálati expozíciós idő 358

14. Az emberi követelményértékek és az energiafelhasználás optimumának elvi kérdései 362
14.1. A PMV—PPD módszer lehetőségei 362
14.1.1. Téli állapotok optimumértékei 363
14.1.2. Nyári állapotok optimumértékei 364
14.2. A hőérzetileg elfogadható határértékek alkalmazásának elvi lehetőségei 365
14.2.1. A fizikai és szellemi teljesítőképesség változása a hőmérséklet függvényében 365
14.2.2. A hőérzetet befolyásoló mikroklíma-paraméterek fizikai és szellemi munkavégzés hatékonyságára gyakorolt befolyásának ellenőrző vizsgálati lehetőségei 367
14.2.2.1. Hideg környezet hatásának néhány ellenőrzési módszere 367
14.2.2.2. Meleg környezet hatásának néhány ellenőrzési módszere 367
14.2.2.3. Hideg és meleg környezet hatásának ellenőrzésére egyaránt alkalmas néhány ellenőrző vizsgálati módszer 368

IV. Az emberi követelményértékek és az energiafelhasználás optimumára méretezés a gyakorlatban 369

15. A téli optimumra méretezési adatok kiválasztása, lehetőségei, feltételei 371
15.1. A különböző külső mikroklíma-paraméterek figyelembe vehető, illetve veendő időtartama 371
15.2. Az optimális és megengedhető emberi követelményértékek télen 372
15.3. A komfortdiagramok adatai 374
15.4. A *PPD* értékekből adódó értékek 375
15.5. Hazai vizsgálati eredmények a hőérzetileg elfogadható határértékek meghatározására 380
15.5.1. Helyszíni rutinszerű hőtechnikai méréssorozat 1976-ban 381
15.5.2. Helyszíni, részletes hőtechnikai mérések és a lakóházak hőérzetének ellenőrzése az 1976/77. évi fűtési időnyben 381
15.5.3. Helyszíni vizsgálatok diákszállókban és öregek otthonában (1977/78.) 381
15.5.4. Vizsgálatok az ÉTI Mikroklíma Laboratóriumában az 1978/79. évi fűtési időnyben 382
15.5.5. A mérési metodika 382
15.5.6. A mérési eredmények értékelése 384
15.6. A téli méretezési adatok kiválasztása 385

16. A téli hőkomfort biztosításának feltételei 388
16.1. Hazai vizsgálatok és azok eredményei 389
16.2. Az első vizsgálatsorozat 390
16.2.1. A vizsgálatok technikai elrendezése 390

16.2.2. Laboratóriumi műemberes vizsgálatok különböző fűtőtest—lehülőfelület kombinációkra 391
16.2.2.1. A paraméterek megválasztása 391
16.2.2.2. Mérési szituációk 393
16.2.3. A mérési eredmények értékelési módszere 394
16.2.3.1. Értékelés számítással 395
16.2.3.2. Értékelés a műemberes mérések segítségével 396
16.2.4. Az eredmények összefoglaló értékelése 396
16.3. A második vizsgálatsorozat 398
16.3.1. A mérési paraméterek megválasztása 399
16.3.2. Az eredmények feldolgozási módszere 401
16.3.3. A mérési eredményekről 402
16.3.4. A mérési eredmények értékelése 404
16.4. A harmadik méréssorozat: a fűtőtest a belső fal mellett helyezkedik el 406
16.5. Légfűtések hőérzeti ellenőrzése 407
16.5.1. A mérőtér és paraméterei 407
16.5.2. A mérési elrendezés és a mérési paraméterek 408
16.5.3. A vizsgálati metodika 410
16.5.3.1. A termikus műemberrel végzett vizsgálatok 410
16.5.3.2. Az élőalanyos mérések vizsgálati felépítése 410
16.5.4. A mérési eredmények összegzése 414

17. Az emberi követelményértékek és az energiafelhasználás optimumára méretezés lehetőségei nyáron 417
17.1. A különböző külső paraméterek figyelembe vehető, illetve veendő időtartamai 419
17.2. Az emberi hőkomfort szempontjából optimális és megengedhető paramétereknek megfelelő nyári méretezési értékek 420
17.2.1. A hőkomfortértékek a komfortdiagramok alapján 420
17.2.2. A hőkomfortértékek a *PPD* adatok alapján 422
17.3. Épületekben nyáron előálló belső mikroklíma-állapotok és azok hatása a szubjektív hőérzetre, teljesítőképességre 425
17.3.1. Könnyűszerkezetes iskolaépületekben nyáron kialakuló mikroklíma-paraméterek 426
17.3.2. Nyári emberi követelményértékek vizsgálata iskolákban 436
17.3.2.1. A vizsgálati módszer 437
17.3.2.2. A vizsgálati feltételek 438
17.3.2.3. A mérési módszer 438
17.3.2.4. Mérési eredmények 440
17.3.2.5. Az eredmények értékelése 444
17.3.3. Meleg ipari környezetben nyáron kialakuló szubjektív hőérzetről és annak befolyásolási lehetőségeiről 444

18. A légforgalom szerepe az emberi követelményértékek, az energiafogyasztás és ezek optimumának elérésében, figyelembe véve az infiltráció, a légszennyeződés és a penészesedés kérdését 446
18.1. Az emberi követelményértékek szempontjából szükséges légforgalom kérdése, különös tekintettel a magyarországi gyakorlatra 446
18.1.1. Az emberi követelményértékek szempontjából szükséges, illetve előírt légmennyiségértékek 447
18.1.2. A légszennyeződés kiküszöböléséhez szükséges légmennyiségek 449

18.1.2.1. A gáznemű szennyezőanyagok elvátolításához szükséges levegőmennyiség 449
18.1.2.2. A belső nedvességterhelés elszállításához szükséges levegő mennyisége 449
18.2. Az épület adottságaitól függő filtrációs légforgalom 451
18.2.1. A filtrációs levegőforgalom számítása 451
18.2.2. Az alaprajz és az építészeti adottságok szerepe 452
18.2.3. A szél hatása a filtrációra 452
18.2.4. A nyílászárók minőségének hatása 453
18.2.5. A meteorológiai feltételek változása 454
18.2.6. A fűtőberendezés üzemeltetésének kérdése 455
18.3. A légforgalom szerepe az épület állagmegóvása, a páralecsapódás elkerülése szempontjából 455
18.4. Épületek légforgalmának energetikai kérdései 461
18.4.1. Csarnok jellegű ipari épületek szellőzése esetén a hőérzeti igények és a technológiai feltételek viszonya 462
18.4.2. Különböző funkciójú épületek fűtési és szellőzési energiaforgalma és annak mutatói 465

19. Az embert érő komplex hatások és az energiagazdálkodási törekvések kielégítésének néhány adata 470
19.1. Több paraméter együttes figyelembevételére vonatkozó eddigi eredmények 472
19.1.1. Világítás és hőhatás 472
19.1.2. Zaj- és hőhatás 473
19.1.3. Szín- és hőhatás 474
19.1.4. A szín, a zaj és a hő együttes hatása 474
19.2. Az ergonómia szerepe röviden, a zárt terek belső mikroklímájának méretezésében 474

20. Az emberi követelményértékek és az energiafelhasználás optimumára méretezés bevezetési lehetőségének koncepcionális összefoglalása 477
20.1. A téli hőkomfort-méretezéssel kapcsolatos adatok, meggondolások 479
20.2. A nyári meleg állapotra vonatkozó adatok, gondolatok 480
20.3. Összefoglaló értékelés 482

Irodalom 484

Jelölések 500

Tárgymutató 509

Előszó

Az épületek elsődleges célja az ember életfunkcióival kapcsolatos objektív és szubjektív igényeinek kielégítése. Mivel az emberek legnagyobb része — kivételt képeznek a déli félteke fejlődő országainak lakói — életük 70—80%-át — a legújabb adatok szerint 85—90%-át (O'Sullivan 1988) — zárt terekben töltik, alapvető fontosságú, hogy a zárt terek biztosítsák számukra

— mind a fizikai, mint a szellemi munkavégzés szempontjából a mennyiségileg és minőségileg optimális teljesítménykifejtés lehetőségét,
— a szórakozás, otthoni elfoglaltság, pihenés és alvás szempontjából az optimális kikapcsolódási, regenerálódási lehetőséget.

E feltételek nagyon sok objektív és szubjektív tényezőtől függnek, amelyek döntő módon hatnak az ember köz- és komfortérzetére, munkavégző és regenerálódási képességére.

A zárt terek e szempontok szerinti megfelelő kialakítása komplex műszaki feladat, amelyet elsősorban az építészeknek és az épületgépészeknek közösen kell megoldaniuk, de természetesen ma már a szociológus, a pszichológus, az ergonómiai és más szakemberek tevékenysége sem nélkülözhető. Ennek folyamán azonban mindenkor figyelembe kell venniük a gazdasági adottságokat — napjainkban emellett elsősorban az energiagazdálkodási törekvéseket is —, amelyek döntő módon visszahatnak az ember köz- és komfortérzetét kialakító mikroklíma-paraméterek megengedhető értékeire. E visszahatás legtöbbször kedvezőtlen, miután a két célkitűzés optimuma — az ember komfortigénye és a gazdasági törekvések — egymástól távolesnek, helyesebben a két tényezőcsoport egyes paraméterei kifejezetten ellentétes irányba mutatnak, illetve hatnak.

Előzőek hangsúlyozása napjainkban két okból szükséges:

1. Az építészetben gyakran találkozunk olyan megoldásokkal, amelyekben a funkcionális, az embert kiszolgáló alapkövetelmények háttérbe szorulnak a formai, esztétikai követelményekkel szemben. Ennek ismét két „fő változata" van:

   a) A külső — például homlokzati — megjelenés miatt néha túlzott engedményeket teszünk a belső tér kialakítása szempontjából elvárt, gyakran előírt követelményekkel szemben.

b) Ugyancsak a külső formai okok miatt gyakran háttérbe szorul az a kérdés, hogy az adott gazdasági lehetőségek mellett a belső mikroklímára (fűtés, szellőzés, klimatizálás stb.) az emberi közérzet szempontjából vajon optimális, elfogadható vagy eleve kedvezőtlen körülmények adódnak-e. Sajnos, gyakran találkozunk olyan, esztétikailag és egyéb funkcionális szempontból kifogástalan épülettel, amelynek belső mikroklímája, a benttartózkodók köz-, illetve komfortérzete kedvezőtlen. A megfelelő mikroklímát ugyanis az adott esetben például csak klímaberendezéssel lehetne biztosítani, de beruházási szinten ezt a tételt törlik, általában egy egyszerű mesterséges szellőzés marad, számos komfortproblémával.

2. Napjainkban az energiagazdálkodási célkitűzéseket kiemelt fontosságúnak tekintik. Ennek elérése érdekében legtöbbször csak a technikailag mérhető energiamegtakarítást veszik figyelembe, ennek emberi kihatásait viszont kevésbé vagy egyáltalán nem. Csak ritkán mérlegelik, hogy a várható vagy elért energiamegtakarítás milyen mértékben hat ki az emberek munkavégző képességére, munkájuk teljesítményére, minőségére. Lehet, hogy abszolút, népgazdasági szinten az elért energiamegtakarítás sokszorosát fizetjük rá az emberi oldalon, a munka teljesítményének, minőségének csökkenésével.

Mindezeket figyelembe véve napjainkban egy épület, az épületen belüli feltételek tervezése legalább kéttényezős — emberi komfort és gazdasági paraméterek — optimumszámítási feladat megoldása kell hogy legyen. A feladat megoldásához azonban ismerni kell a tényezők pontos hatásmechanizmusát.

E könyvben az ezzel kapcsolatos, mérnöki szinten napjainkban szükséges ismereteket igyekeztem összegyűjteni, feldolgozni és közreadni. Mivel azonban a terület nagyon szerteágazó, a feladatot csak a „teljesség igénye nélkül" tudtam megoldani. E kifejezés azt jelenti, hogy igyekeztem minden fontos kérdéssel foglalkozni, azonban nem azonos mélységig. Számos esetben csak az alapvető, átfogó ismereteket gyűjtöttem össze, a részletkérdésekre vonatkozóan megjelölve az olyan forrásmunkákat, amelyek lehetővé teszik a témakörben jobban elmélyedni szándékozók részére a még szükséges további adatok összegyűjtését. Az ilyen jellegű feldolgozás elsősorban a határterületekre vonatkozik. A legfontosabb kérdéseket azonban igyekeztem megfelelő részletességgel kielemezni.

Az ember—épület—energia kapcsolatrendszert ugyanis nagyon sok paraméter befolyásolja. Ezek fontossági sorrendjének megítélése az elmúlt időszakban változott, és változni fog a jövőben is, az emberiség fejlődésének megfelelően. Tudatosan használtam az emberi fejlődés megjelölést, mint általános fogalmat, hiszen esetünkben a technikai fejlődés (új építési módok, anyagok, berendezések) éppúgy fontos szerepet játszik, mint pl. az emberrel, annak objektív, szubjektív reakcióival közvetlenül foglalkozó tudományok (fiziológia, pszichológia, ergonómia). Minden paraméter figyelembevétele lehetetlen, de ismeretük bizonyos mélységig, különös tekintettel fontosságuk megítélésére, hozzátartozik az általános műszaki műveltséghez.

Egy lényeges dolgot azonban rögzíteni kell. Napjainkban nagyon sok, az embert befolyásoló paraméter hatását tisztázták, különböző mélységig. Egyesek esetében még további vizsgálatok szükségesek, mások esetében már nem. Alapvető probléma

azonban, hogy ha bizonyos mélységig külön-külön ismerjük is az egyes paraméterek hatását, de kölcsönhatásuk „eredőjét" általában nem. Ez gyakorlatilag azt jelenti: előfordulhat, hogy minden paraméter optimumára tervezzük épületünket vagy zárt terünket, de az eredmény az ember objektív és szubjektív megítélése szempontjából nem lesz optimális. Napjainkban ugyanis még a legtöbb esetben ismeretlen az egyes befolyásoló paraméterek közös hatásmechanizmusa, illetve az eredő hatás. A legújabb kutatások éppen ezeken a területeken indultak meg, és itt várható a legtöbb új eredmény, változás. A teljes hatásmechanizmus feltárása azonban hosszú — elsősorban fáradságos, monoton, ún. „szerzetesi" — kutató munkát igényel, és a megoldás útja az ún. „szalámi politika", azaz egymás után, tényezőről tényezőre, illetve tényezőkombinációkra kell kibővíteni ismereteinket.

A könyv írásakor az előző szempontok szerint kiválasztott tárgykörökről igyekeztem teljes áttekintést adni, beleértve a legújabb eredményeket is. Bár az utóbbi esetében lehet, hogy mire az olvasó kezébe kerül a könyv, egyes témakörökben már még újabb eredmények lesznek ismeretesek. Sajnos általános problémája napjainkban a műszakikönyv-írásnak; a kézirat átfutási ideje gyakran nem tud lépést tartani a technika fejlődésével. Ez a veszély elsősorban a könyv olyan részletei esetén áll fenn, amelyek az újabb befolyásoló tényezőkkel foglalkoznak (lásd pl. 6. fejezet). De az alapvető méretezési elvek, a hőtechnikai törvényszerűségek megmaradnak, és figyelembevételük az ember és az energiagazdaság szempontjából „optimális" épületek megvalósítását teszik lehetővé.

A könyv e tématerület jelenlegi állapotát tükrözi. Fellelhetők benne már véglegesen kidolgozott, „kikristályosodott" eredmények, de ugyanakkor a jelenleg folyó kutatások részeredményei és a jelenleg kialakuló új kutatási trendek is ismertetésre kerülnek.

Ennek oka, hogy ezen dinamikusan fejlődő, sok esetben még a megfelelő utat kereső új „tudományág" minden olyan időszerű kérdésével igyekeztem foglalkozni, amely az épületek, zárt terek belső mikroklímájának és az embernek kapcsolatáról ad, az e témakörrel foglalkozó részére, megfelelő adatokat, információkat. Véleményem szerint nemcsak a már megoldott problémakörök eredményeinek ismerete fontos, hanem az is, hogy tudjuk: milyen egyéb kérdésekkel foglalkoznak napjainkban, amelyekkel kapcsolatban nem teljesen pontosak még ismereteink; mely területeken várhatók új eredmények a közeljövőben; milyen módszerekkel folynak a kutatások; melyek a fejlődés várható új trendjei; stb.

A témakör egyébként hosszabb idő óta foglalkoztatja az építész és épületgépész szakembereket egyaránt, ezért számos e témakörhöz tartozó könyv jelent meg, például: Fanger (1982), Gábor és Zöld (1981), Givoni (1969), McIntyre (1978). Ezek közül három könyv áll legközelebb e témakörhöz:

— Givonié, de ez, bár embercentrikus, mint a címből is látható, a külső klímatényezők és az épület kölcsönhatását boncolgatja (emellett, kb. 20 éve jelent meg);
— a Gábor—Zöld-féle könyv, amely viszont elsősorban épületcentrikus, bár kétségtelenül foglalkozik az emberi tényezőkkel is (8 éve jelent meg);
— Fanger „Thermal Comfort" című műve, mint a hőkomfort és egyáltalán az emberi objektív-szubjektív tényezőket először komplexen figyelembe vevő méretezési elv alapmunkája.

A Gábor—Zöld könyvet a könyv egyik forrásmunkájának tekintem, hiszen a II. részben többször erre hivatkozom. Mivel ez a könyv a magyar olvasók részére könnyen elérhető, a szerzők beleegyezésével ezt is figyelembe véve dolgozom fel röviden az épületre vonatkozó egyes fejezeteket. Mindenkor hivatkozva azonban arra, hogy a részletes kifejtés, magyarázat ezen vagy valamely más forrásmunkában hol található meg.

Indoka e témaválasztásnak és az ilyen jellegű feldolgozásnak — még egyszer hangsúlyozom — kettős:

— ezen kérdések legalább ilyen mélységű ismerete hozzátartozik az építészek, épületgépészek, energetikus szakemberek általános műszaki „műveltségéhez", elősegíti a téma jó áttekintését, a döntéshozatalt stb.;
— mint a korábbiakban már kifejtettem, a zárt terek megfelelő belső kialakítását az építészeknek, épületgépészeknek közösen kell megoldaniuk, ezért a könyvet mindkét — sőt az energiagazdálkodási — szakterület művelői részére is egyaránt érthetővé, „élvezhetővé" és főleg közvetlenül és közvetve felhasználhatóvá kívántam tenni.

Hogy ez mennyire sikerült, döntse el a tisztelt Olvasó.

Végezetül egy technikai jellegű magyarázat: amely ábra, táblázat mellett nem tüntettem fel külön a szerzőt, azok saját munkásságom eredményei. Forrásmunkák, ezekre vonatkozó adatok viszont a szövegrészben megtalálhatók.

Befejezésül köszönetet mondok két lektoromnak, Dr. Szabó Gyulának és Dr. Hamvay Kálmánnak hasznos tanácsaikért, észrevételeikért. Molnár Károlynénak pedig a kézirat első, második... és végleges változatának leírási, rendezési, szerkesztési munkájáért.

A szerző

I. Az ember és környezete kapcsolatának elméleti alapjai

Az ember és az őt környező világ kapcsolatát könyvtárakra rúgó irodalmi művek elemezték, illetve elemzik különböző szempontok szerint. E kapcsolat nagyon durva közelítéssel két fő csoportra osztható:

— a szubjektív és
— az objektív

kapcsolatokra, illetve az ezekkel foglalkozó irodalmi alkotásokra. E megfogalmazásban a műszaki jellegű könyveket, műveket az utóbbi kategóriába kell sorolnunk.

Ahhoz azonban, hogy ezt az objektív kapcsolatot az ember szempontjából megfelelő mélységig és szinten tudjuk elemezni, műszaki következtetéseket tudjunk levonni, bizonyos fokig ismernünk kell az egyes kapcsolatrendszereket, valamint azok szubjektív részét is.

A témakört a következő logikai sorrendben dolgoztuk fel:

— Az ember és környezete közötti kapcsolatokról általános szinten (1. fejezet).
— Az ember és környezete közötti energia-, illetve hőcserefolyamatok (2. fejezet).
— Az ember és környezete közötti hőcserefolyamatok figyelembevételének számítástechnikai eszköztára (3. fejezet).
— Az ember és épület közötti hőcsereviszonyok energiafelhasználási szempontjai és ezek figyelembevételi lehetőségei (4. fejezet).
— Zárt terek hőtechnikai méretezésének jelenleg alkalmazott módszerei (5. fejezet).
— Végül egy külön terjedelmes fejezetben foglalkozunk a zárt térben tartózkodó ember hőcsereviszonyait, azok számítását leginkább befolyásoló paraméterekkel, az ezekkel kapcsolatos legújabb problémákkal, eredményekkel (6. fejezet).

1. Az ember és környezete közötti általános kapcsolatok

Az ember és környezete közötti kapcsolatrendszer megismerésének számos megközelítési módja, lehetősége van. A könyv célkitűzéseit, az épületgépész, az építész szakemberek, a műszaki gyakorlat szempontjait figyelembe véve öt témakörrel foglalkozunk röviden, összefoglalóan:

— az ember és környezet komplex kapcsolatával,
— a kapcsolatrendszer modellezési kérdéseivel,
— az ember és zárt téri környezete közötti szubjektív kapcsolatokról,
— a szubjektív hőérzet kérdéseivel,
— a szubjektív hőérzeti skálákkal.

1.1. Az ember és környezetének komplex kapcsolata

Az ember mint biológiai lény — az előszóban említetteknek megfelelően — életének 70—90%-át zárt térben tölti, ezért számára a zárt térben — lakótér vagy munkahely — őt érő hatásoknak nagy a jelentősége. Zárt térnek magát az épületet, illetve annak helyiségeit tekintjük. Az épületek viszont városnegyedeket, városokat alkotnak, melyek összessége az embert körülvevő épített környezetet alkotta. Az épített környezet pedig a természetes környezettel van kapcsolatban.

Az épített környezet a különféle emissziók révén (fűtés, közlekedés, ipari tevékenység, szennyvíz, szemét, zaj stb.) egyidőben hat a természetes környezetre és az ember szűkebb környezetére, a zárt térre.

Molnár (1984, 1985) szerint az épületben tartózkodó embert szűkebb és tágabb környezetéből rendkívül sokféle hatás éri: pl. toxikus-, cirkulációs-, sugár-, rezgés-, zaj-, szag-, hő-, huzat-, fény-, szín- és térhatás.

Ezek a hatások mérhetők és mint konkrét biológiai vagy fizikai paraméterek írhatók le:

1. Belső környezeti paraméterek:

a) légtechnikai paraméterek,
b) a levegő összetétel-paraméterei,

c) elektromágneses sugárzás,
d) egyéb hatások.

2. Az épület és a gépészeti berendezések paraméterei:

a) épületparaméterek,
b) csövek, vezetékek paraméterei,
c) gépészeti és egyéb berendezések paraméterei.

3. Az emberi tevékenységből származó faktorok:

a) közvetlen hatások,
b) az épület és a berendezések használatának hatása,
c) a külső környezet hatásai.

4. A külső környezet paraméterei:

a) meteorológiai jellemzők,
b) a levegő összetétele (fő komponensek, kártékony gázok, porrészecskék, csírák stb.),
c) elektromágneses sugárzás,
d) a talaj összetétele,
e) egyéb.

A zárt téri levegőben megtalálható különféle, az emberre káros hatású anyagok forrásai a következők:

— a külső levegő,
— az ember és tevékenységei,
— az építési anyagok, bútorok, burkolatok stb.,
— a fűtő-szellőztető rendszer.

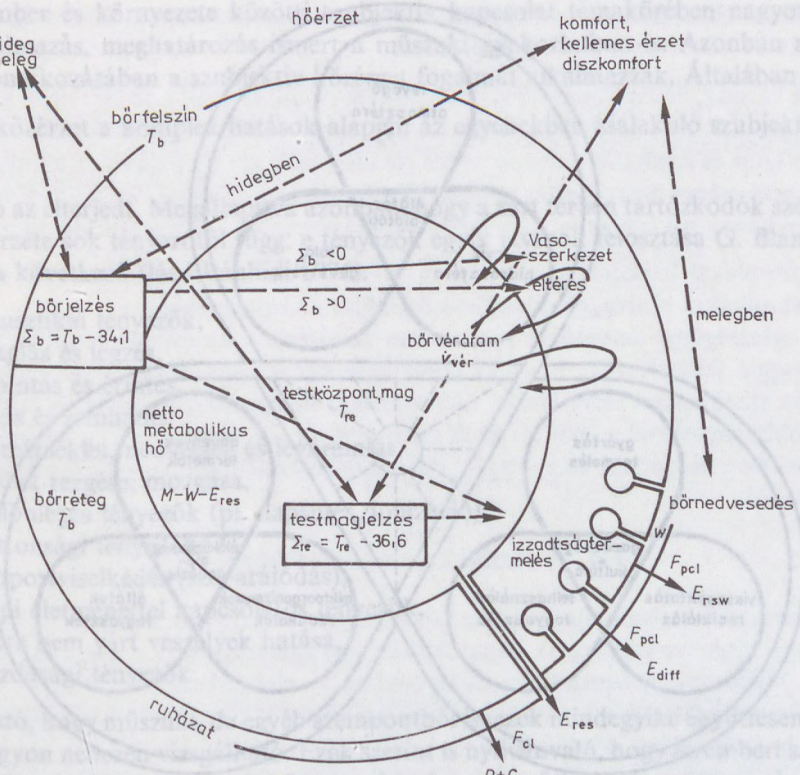
E négy forrás egyben azt is kijelöli, hogy a zárt tér egészségesebbé, kellemesebbé tétele érdekében hol kell és hol lehet beavatkozni.

Ez a megközelítés az ember és környezete közötti komplex kapcsolatot írja le. E kapcsolat azonban modellezhető is.

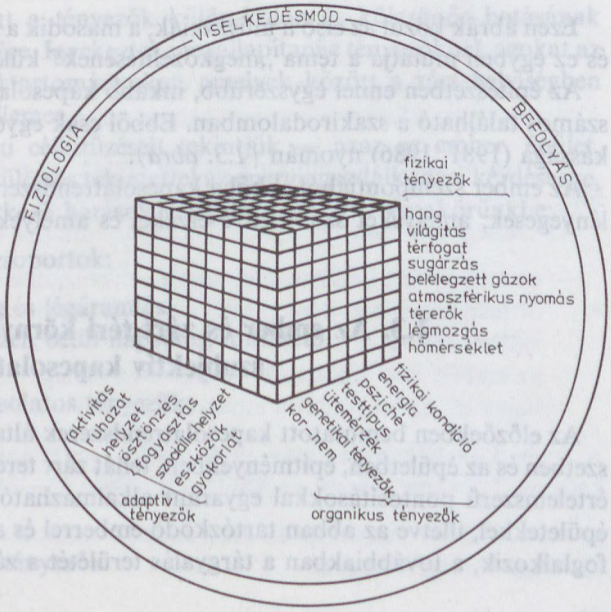
1.2. Az ember és környezete közötti kapcsolati mechanizmus modellezése

Arra vonatkozóan, hogy a műszaki gyakorlatban milyen kapcsolatrendszerrel kell vagy kellene számolnunk, jó áttekintést nyújtanak az ún. általános modellsémák, amelyek közül itt csak kettőt mutatunk be:

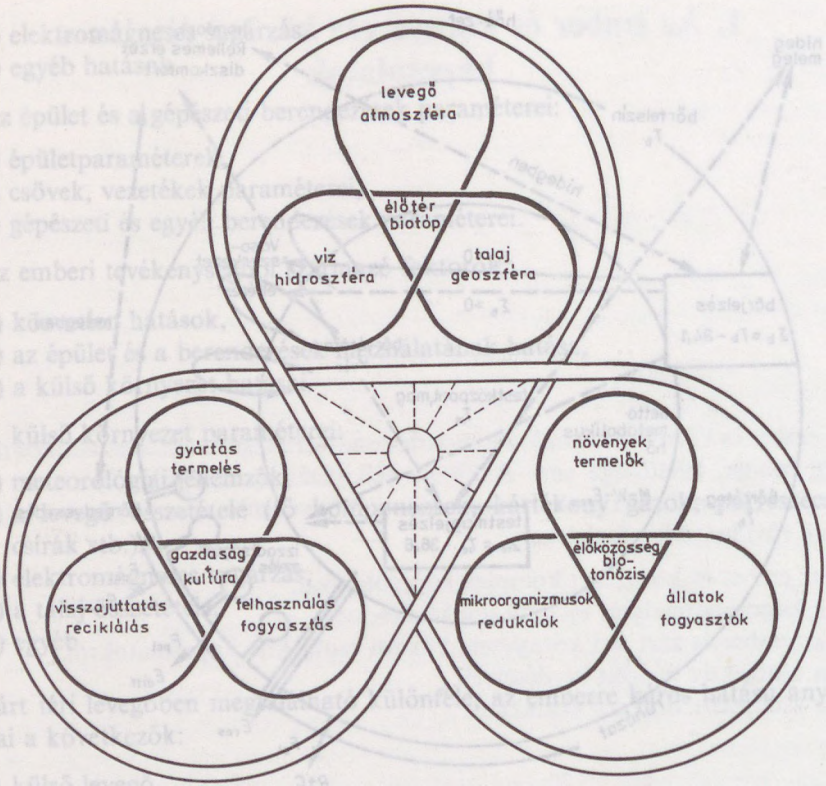
— az első az ASHRAE (1967, 1972) korábbiakban megjelent ábrázolása *(1.1. ábra)*,
— a második a Rohles (1983) által kidolgozott ún. „Ecosystem Complex" *(1.2. ábra)*, amely három dimenzióban mutatja be a környezet hatását a pszichére, a viselkedésre és a teljesítményre.



1.1. ábra. Egy koncentrikus „héj" modell az ember és környezete között (ASHRAE 1967, 1972)



1.2. ábra. A komplex „ecorendszer". Háromdimenziós bemutatása a paraméterváltozatoknak, amelyeket ellenőriznünk vagy meghatároznunk kell, ha tanulmányozni kívánjuk a környezet fiziológiai, viselkedésmódi és befolyásoló hatásait (Rohles 1981)



1.3. ábra. Az „antropogén ökoszisztéma" egyszerűsített vázlata (Gereben 1986)

Ezen ábrák közül az első a műszakiak, a második a pszichológusok részére készült, és ez egyben mutatja a téma „megközelítésének" különbségét is.

Az építészetben ennél egyszerűbb, inkább kapcsolatsémák ismertek, és ezekből is számos található a szakirodalomban. Ebből csak egyet mutatunk be, Gereben munkássága (1981, 1986) nyomán *(1.3. ábra)*.

Az ember szempontjából ebből a kapcsolatrendszerből alapvetően azok a hatások lényegesek, amelyeket szubjektíve érzékel és amelyek alapján környezetét megítéli.

1.3. Az ember és zárt téri környezete közötti szubjektív kapcsolat

Az előzőekben bemutatott kapcsolatrendszerek általánosak, azaz a szabad természetben és az épületben, építményekben, tehát zárt terekben bizonyos megkötésekkel, értelemszerű pontosításokkal egyaránt alkalmazhatók. Mivel azonban e könyv az épületekkel, illetve az abban tartózkodó emberrel és a két tényező kölcsönhatásával foglalkozik, a továbbiakban a tárgyalás területét a zárt terekre szűkítjük le.

Az ember és környezete közötti szubjektív kapcsolat témakörében nagyon sok megfogalmazás, meghatározás ismert a műszaki gyakorlatban is. Azonban a zárt terek vonatkozásában a szubjektív közérzet fogalmát alkalmazzák. Általában

„... a közérzet a komplex hatások alapján az egyénekben kialakuló szubjektív érzés..."

definíció az elterjedt. Megállapítva azonban, hogy a zárt térben tartózkodók szubjektív közérzete sok tényezőtől függ, e tényezők egyik javasolt felosztása G. Blanchere szerint a következő (lásd Bánhidi 1976):

— akusztikai tényezők,
— szaglás és légzés,
— tapintás és érintés,
— látás és színhatás,
— hőmérséklet, nedvesség és légáramlás,
— épület rezgése, mozgása,
— különleges tényezők (pl. napsütés, ionizáció),
— biztonsági tényezők,
— csoportviselkedés (szeparálódás),
— napi életmenettel kapcsolatos tényezők,
— előre nem várt veszélyek hatása,
— gazdasági tényezők.

Látható, hogy műszaki, de egyéb szempontból is, ezek mindegyike együttesen nem, vagy nagyon nehezen vizsgálható. Ezek szerint is nyilvánvaló, hogy az emberi szervezet alkalmazkodása egy adott környezethez komplex folyamat, az egyes tényezők együttesen, valamint kölcsönhatásban érvényesülnek, és a szervezet az együttes hatásra reagál.

Igen sok kutató foglalkozott a tényezők külön-külön és kölcsönös hatásának vizsgálatával az ember közérzetére. Igyekeztek megállapítani e tényezőknek azokat az értékeit, illetve azokat az értéktartományokat, amelyek között a zárt helyiségben tartózkodó egyén közérzete kellemes.

Amennyiben a könyv eredeti célkitűzéseit tekintjük — azaz az ember, épület, energia kapcsolatrendszert — különös tekintettel az energiagazdálkodási kérdésekre, az előbbi csoportokból a következő hatások vizsgálata tartozik témakörünkbe:

a) közvetlenül ható tényezőcsoportok:

— hőmérséklet, nedvesség és légáramlás,
— különleges tényezők; ezen belül napsütés, ionizáció,
— gazdasági tényezők,
— napi életmenettel kapcsolatos tényezők;

b) Közvetve ható tényezők:

— szaglás és légzés,
— látás és színhatás,
— egészségügyi, higiéniai tényezők.

A továbbiakban elsősorban a közvetlenül ható tényezők szempontjából dolgozzuk fel a témát. A közvetve ható tényezők közül

— a szaglás, illetve szaghatások kérdéseivel — mivel azok a szellőztetés, szellőzési energiafelhasználás szempontjából fontosak — külön fejezet foglalkozik,
— a látás és színhatás kérdésköréből röviden csak két tényezővel, a természetes és mesterséges megvilágítás energiafelhasználási mutatóival, valamint a színdinamikának a közérzettel és a hőérzettel kapcsolatos kérdéseivel foglalkozunk.

Ez utóbbival kapcsolatban azonban inkább csak a megfelelő további irodalmi forrásmunkákra utalva, röviden összefoglaljuk az ismereteket.

Az egészségügyi tényezőkre részleteiben nem térünk ki, csupán érintőlegesen, hiszen joggal feltételezzük, hogy az egészségre káros vagy kedvezőtlen megoldások tudatos alkalmazása eleve kizárt, illetve azokat az egészségügyi normák rögzítik.

A többi tényezővel — bár pl. az akusztikai tényezők, illetve zajvédelem kérdése bizonyos fokig belejátszik az épület- és energiafelhasználás témakörébe —e könyv nem foglalkozik.

1.4. A szubjektív hőérzet kérdéséről

Az előzőekben bemutatott három közvetlenül ható tényezőcsoport közül közvetlenül vagy közvetve mindegyik kapcsolatban van egy szubjektív emberi kategóriával, az ún. hőérzettel. A nemzetközi szakirodalom — elsősorban Fanger és Christensen (1986) munkássága eredményeképpen — a szubjektív hőérzetre a következő 6 paraméter hatását tekinti döntőnek:

— a levegő hőmérsékletét, annak térbeli, időbeli eloszlását, változását,
— a környező felületek közepes sugárzási hőmérsékletét,
— a levegő relatív nedvességtartalmát, illetve a levegőben lévő vízgőz parciális nyomását,
— a levegő sebességét,
— az emberi test hőtermelését, hőleadását, hőszabályozását,
— a ruházat hőszigetelő képességét, párolgást befolyásoló hatását.

E tényezők közül az utóbbi kettő az emberi szervezet alkalmazkodóképességével függ össze; a hőháztartás egyensúlyának fenntartása szempontjából fontos.

Az emberi szervezet hőegyensúlya szempontjából alapvető tényezők:

— az emberi test hőtermelése, amely elsősorban a végzett tevékenység függvénye, de belejátszik bizonyos fokig az egyén kora, neme stb., tehát ez műszakilag nem változtatható,
— az emberi test hőleadása, amely viszont nagymértékben függ a ruházkodástól, valamint az előzőekben említett műszaki paraméterek hatásától.

A szubjektív hőérzetet egyes országokban szabványok rögzítik, mégpedig az ún. kellemes hőérzetet, amely az ASHRAE (1981) 55—81 szabvány szerint a következő:

„... A kellemes hőérzet az a tudati állapot, amely a termikus környezettel kapcsolatos elégedettséget fejezi ki ..."

A kérdés az; ezt a „kellemes szubjektív" érzést hogyan lehet számszerűsíteni, általánosan alkalmazhatóvá tenni.

A szubjektív hőérzet „számszerűsítésére" az ún. szubjektív hőérzeti skálákat alkalmazzák. Ezek közül jelenleg kettő, az ún. Bedford-skálát (Bedford 1948), valamint az ASHRAE-skálát alkalmazzák. Összehasonlításképpen egy közös táblázatban mutatjuk be mindkettőt *(1.1. táblázat)*.

1.1. táblázat. A Bedford- és ASHRAE-hőérzeti skálák (Bánhidi 1977)

Bedford-skála		ASHRAE-skála	
Túlságosan meleg	7	Forró	+3
Nagyon meleg	6	Meleg	+2
Kellemesen meleg	5	Kellemesen meleg	+1
Kellemes	4	Neutrális	0
Kellemesen hűvös	3	Kellemesen hűvös	−1
Nagyon hideg	2	Hűvös	−2
Túlságosan hideg	1	Hideg	−3

Néhány megjegyzés e témakörhöz:

— a szubjektív hőérzeti skálákkal kapcsolatban bővebb adatok találhatók McIntyre (1978, 1980) és Bánhidi (1976, 1983) műveiben,

— a szakirodalomban számos egyéb hőérzeti skála található 3—25 felosztásig. Orvosi vonatkozásban és Kelet-Európában például elterjedt az ún. 5 pontos skála, amelyből hiányzik a kellemesen hűvös és a kellemesen meleg kategória.

A megfogalmazás, a kérdés megközelítésének témaköre azonban még egyáltalán nem lezárt, és érdekesek Brundrett (1982) összehasonlító adatai.

2. Az ember és környezete közötti energia-, illetve hőcserefolyamatok

2.1. Az emberi test hőtermeléséről általában

Az emberi testben égési folyamat megy végbe, és az ennek során átalakuló energia részben hő formájában szabadul fel, részben fizikai értelemben vett hasznos, illetve izommunka végzésére fordítódik.

Az emberi test energiatermelését a fiziológusok az oxigénfogyasztással határozzák meg. Nyugalmi állapotban lévő felnőtt ember oxigénfogyasztása — az ún. alapanyagcsere — normális körülmények közt 0,25 l/min, 15,0 l/h ($4{,}2 \cdot 10^{-6}$ m^3/s). Ha az oxigén elégésekor felszabaduló hőt kerekítéssel $21 \cdot 10^3$ J/m^3 értékkel vesszük figyelembe, ez 88 W teljesítményértéket jelent (Bálint 1975).

Az ún. komfortkutatások szakirodalmi adatai ehhez közelállóak. Például DuBois (1937) szerint az időegységre vonatkoztatott alapanyagcsere-érték 70 W. Idesorolható továbbá néhány 24 órára vonatkoztatott érték is, mégpedig: Lusk (1928) szerint $7{,}7 \cdot 10^6$ J; Benedikt (1934) szerint $6{,}5 \cdot 10^6$ J értékkel számolhatunk. Közel hasonló eredményekre jutottak korábban Rubner és Lewaschev (1897), majd Gagge és mtsai (1938).

Izommunka végzésével az oxigénfogyasztás a nyugalmi állapot sokszorosára nő. Átlagos ember esetében rövid időtartamra elérheti a nyugalmi érték 12-szeresét, tehát 3 l/min. ($0{,}051 \cdot 10^{-3}$ m^3/s) értéket, amely megfelel 1060 W értéknek.

Az anyagcsere során az ún. hasznos munka hatásfoka Bálint (1975), valamint Winslow és Harrington (1949) szerint 20%, tehát az emberi szervezet jobb hatásfokkal dolgozik, mint az átlagos gőzgép (14%). Emellett az anyagcsere állandó hőmérsékleten $37 \pm 0{,}5$ °C-on megy végbe. Ez az alapvető eltérés az egyszerű égés — amelynek hőmérséklete nem állandó — és az anyagcsere között.

Az átlagos munkavégző képességre csak megközelítő adatok vannak. Ezek szerint egy átlagos fiatalember oxigénigénye — rendszeres munkavégzés esetén — 1 l/min ($17 \cdot 10^{-6}$ m^3/s), amely megfelel 350 W teljesítménynek. Ebből levonva az alapanyagcsere 88 W értékét, 262 W eredményt kapunk.

Ilyen terhelésnek tekinthető pl. a kb. 6 km/h (1,66 m/s) sebességű járás sík terepen (lásd később a 2.1. táblázatot). Ez a terhelés azonban napi 48 km-es gyaloglást jelentene, amelyet huzamosabban (több napig) csak megfelelően gyakorlott ember tudna teljesíteni.

Az emberi teljesítőképesség felső határát sportolók esetében mérték. Ezek szerint a maximális oxigénfogyasztás elérheti a 4—5 l/min. ($68—85 \cdot 10^{-6}$ m^3/s) értéket is.

20% hatásfokot és 1 l/min. ($17 \cdot 10^{-6}$ m^3/s = 350 W) energiaegyenleget feltételezve ez 327 W teljesítménynek felel meg. A jó izomerejű, trenírozott emberek teljesítménye ennek az értéknek 60—80%-a. Rövid időtartamra (egy percen belül) a sportolók elérhetik a 735—960 W teljesítményt is.

Ha a munkaterhelés meghaladja az egyén teljesítőképességét, bekövetkezik a kimerülés állapota, még akkor is, ha a munkavégzéshez szükséges oxigénfelvételt lehetővé tettük. A kimerülés okai:

— a munkavégzés során termelt hő leadása elégtelen (hyperthermia), amely főleg meleg, nedves klímában végzett munka esetén következhet be:
— a szervezet szénhidrátkészletének kimerülése (hypoglykaemia);
— a szívműködés a túlzott igénybevétel miatt elégtelen lesz.

A hasznos munka energiaszükségletét — mint a korábbiakból láttuk — a gyakorlatban az oxigénfogyasztásból határozzák meg, mégpedig oly módon, hogy a mért fogyasztásból levonják a nyugalmi (vagy más néven alapanyagcsere) oxigénfogyasztást. A különbség az adott munka energiaigénye, vagy más módon kifejezve az adott munkatípushoz a szervezetnek ennyi energiát kell termelnie.

Általánosan elterjedt a munkák intenzitás szerinti osztályozása, és ezek szerint három kategóriát különböztetünk meg:

a) Könnyű munkának nevezik azokat a tevékenységeket, amelyek során a teljes oxigénfogyasztás a nyugalmi állapot fogyasztásának kétszeresét nem haladja meg, tehát a 0,5 l/min ($0{,}85 \cdot 10^{-6}$ m^3/s) 175 W értéknél kisebb. Ide sorolhatók az ülőfoglalkozások.
b) Közepes súlyosságú munka esetén az oxigénfogyasztás a nyugalmi érték 2—4-szerese, tehát 0,5—1,0 l/min (8,5—$17 \cdot 10^{-6}$ m^3/s), illetve az időegységre jutó teljes energiafogyasztás 175—350 W, amelyből az izommunka teljesítményszükséglete 88—264 W. Ide sorolhatók a nem gépesített házimunkák, kézműipari tevékenységek stb.
c) Nehéz munka esetén a teljes oxigénfogyasztás a nyugalmi érték 4—8-szorosa, tehát 1—2 l/min ($17—34 \cdot 10^{-6}$ m^3/s). Az időegységre jutó teljes energiafogyasztás 350—700 W, melyből levonva az alapanyagcsere-értéket, 264—615 W értéket kapunk. Idesorolható a nehézipari és mezőgazdasági munkák legnagyobb része.

2.2. Az emberi test hőtermelésének műszaki számításakor figyelembe vehető adatai

2.2.1. Általános adatok

Az emberi test hőtermelésére vonatkozóan számtalan irodalmi adat található, például Benedikt (1934), Sherman (1946), USA ASHRAE Guide (1954), Macskásy és Bánhidi (1985). A műszaki gyakorlatban azonban ma már világszerte a Fanger (1982) által kidolgozott, illetve összegyűjtött adatokat használják, például ez található az ISO Standardban (ISO 1984) is.

Ezen táblázatos adatok megértéséhez, megfelelő kezeléséhez azonban néhány alapfogalmat tisztáznunk kell. Ezek közül az első, az ún. metabolizmus, amely azoknak a folyamatoknak az összessége, amelyek az élő szervezet anyagfelvételével, átalakításával, raktározásával, valamint leadásával kapcsolatosak.

Az energiaforgalom a tápanyag elégetését, az anyagcserét, a hőtermelést, a hasznos munkát tartalmazza. Természetesen egyensúly akkor következik be, ha az energia termelése (anyagcsere, metabolizmus) egyenlő a leadással.

Itt kell megjegyeznünk, hogy e szakterület a szükséges energiafogyasztást, ill. annak hőegyenértékét időegységre vonatkoztatva, tehát hőteljesítményben adja meg, melynek mértékegysége a W, mégis a metabolikus hő, felvett hő, leadott hő stb. szakkifejezéseket használja. E könyvben is így lesz, vagyis ha a „hő" kifejezést használjuk, akkor valójában mindig hőteljesítményre kell gondolnunk.

A metabolikus hőenergia az oxigénfogyasztás arányával mérhető, és a következő összefüggéssel magyarázható meg:

$$M = RQ \cdot 5{,}8 \cdot \frac{V_{O_2} \cdot 60}{F_{Du}} \quad [W], \tag{2.1}$$

ahol

RQ a kilégzett szén-dioxid (V_{CO}) és a belélegzett oxigén (V_{O_2}) aránya, értéke 0,83 (pihenés) és 1,0 (nehéz fizikai munka) között változik;

V_{O_2} az oxigénfogyasztás l/min értéke, 0 °C hőmérséklet és $1{,}0132 \cdot 10^5$ Pa levegőparaméterek esetén;

5,8 egy liter oxigén energiaértéke W h/l értékben, 0 °C és $1{,}0132 \cdot 10^5$ Pa levegőparaméterek esetén, ha $RQ = 1$.

A következő alapfogalom, amely az előző összefüggésben is található az ún. DuBois-felület, amely az emberi test felületének meghatározására alkalmas, és számszerű értéke az

$$F_{Du} = 0{,}203 G^{0{,}425} L^{0{,}725} \quad [m^2] \tag{2.2}$$

összefüggésből határozható meg, ahol

G az egyén tömege [kg],
L az egyén magassága [m].

A nemzetközi szakirodalomban az átlagos ember 1,73 m magas, 70 kg tömegű, és DuBois-felülete 1,8 m^2.

Végül még három fogalmat kell tisztáznunk a táblázatokkal kapcsolatban:

— a külső mechanikai munkát,
— a külső mechanikai munka hatásfokát és
— a relatív sebességet.

Ezek magyarázatát azonban együttesen adjuk.

Az emberi testben végbemenő oxidációs folyamat Fanger elmélete szerint két részből tevődik össze: a külső mechanikai munkából (W) és a belső hőszükségletből (H).

A külső mechanikai munka itt úgy értendő, hogy az ember által végzett mechanikai munkához szükséges hőmennyiséget ugyancsak az emberi testben végbemenő oxidációs folyamat fedezi.

W pozitív akkor, ha a fizikai munkához az energiát az M értékéből kell fedezni (pl. lépcső megmászása), viszont W negatív, ha lejtőn sétálunk lefelé.

A metabolikus hő tehát két részre osztható:

$$M = H + W \quad [\mathrm{W}]. \tag{2.3}$$

A mechanikai munka hatásfoka ezek szerint kifejezhető az

$$\eta = \frac{W}{M} \tag{2.4}$$

összefüggésből. Ezt a kifejezést visszahelyettesítve az egyenletbe;

$$H = M(1-\eta) \quad [\mathrm{W}], \tag{2.6}$$

vagy egységnyi testfelszínre kifejezve:

$$\frac{H}{F_{\mathrm{Du}}} = \frac{M}{F_{\mathrm{Du}}}(1-\eta) \quad [\mathrm{W/m^2}]. \tag{2.6}$$

A relatív sebesség magyarázata a következő. Az adott tevékenységet végző test egyes részei az álló levegőhöz viszonyítva elmozdulnak, így a köztük és az álló levegő között kialakuló sebességet — amelytől nagymértékben függ a konvekciós hőcsere — nevezik relatív sebességnek.

Végül fontos megjegyezni, hogy a különböző munkavégzés számszerű hőegyenértékének meghatározására a nemzetközi gyakorlatban a „met" egységet használják, és 1 met = 58 $\mathrm{W/m^2}$.

2.2.2. Táblázatos méretezési adatok

A következőkben a mérnöki gyakorlatban közvetlenül felhasználható négy táblázatot mutatunk be részben met, részben $\mathrm{W/m^2}$ egységben:

1. A metabolikus hőfejlődés különböző tipikus tevékenységek esetén met egységben a *2.1. táblázat*ban található (ASHRAE 1985). A táblázattal kapcsolatban néhány általános megjegyzés:
   - — 1 met értéknek tekintik a nyugalomban lévő ember 1 $\mathrm{m^2}$ felülete által leadott hőmennyiséget,
   - — egy átlagos ember által leadott hőmennyiséget közelítő számításkor 100 W értéknek tekinthetjük,
   - — egy normál, 20 éves, egészséges férfi maximális energiakapacitása 12 met. Ez az érték 70 éves korra 7 met-re csökken,
   - — a nők esetében a maximális energiakapacitás kb. 30%-kal kevesebb, tehát 8,5 és 5 met.

2.1. táblázat. A különféle tipikus tevékenységek metabolizmusa (ASHRAE 1985)

Tevékenység	M/F_{Du} [met]
Pihenés	
Alvás	0,7
Fekvés	0,8
Ülő helyzet	1,0
Álló helyzet	1,2
Gyaloglás	
sebesség [m/s]	
0,89	2,0
1,34	2,6
1,79	3,8
Különböző munkatevékenységek	
Sütöde (pl. tisztítás, rakodás)	1,4—2,0
Sörfőzdei munka (pl. palackozás, ládák rakodása szállítószalagra)	1,2—2,4
Asztalosmunka	
munka asztali fűrészgépen	1,8—2,2
kézi fűrészelés	4,0—4,8
kézi gyalulás, csiszolás	5,6—6,4
Öntödei munka	
munka kovácsprésnél	3,0—3,4
kohókezelés	5,0—7,0
Garázsmunka (pl. kerékcsere, emelés kézi emelővel)	2,2—3,0
Általános laboratóriumi munka	1,4—1,8
Gépmunka	
könnyű (pl. elektromos ipar)	2,0—2,4
nehéz (pl. acélipar)	3,5—4,5
Bolti eladó	2,0
Tanár	1,6
Műszerész, órás	1,1
Gépjárművezetés	
személygépkocsi	1,5
motorkerékpár	2,0
tehergépkocsi, autóbusz	3,2
repülőgép, rutin repülés	1,4
repülőgép, leszállás	1,8
harci gép vezetése	2,4
Házimunka	
Takarítás	2,0—3,4
Főzés	1,6—2,0
Kézi mosás és vasalás	2,0—3,6
Bevásárlás	1,4—1,8
Irodai munka	
Gépírás	1,2—1,4
Egyéb irodai munka	1,1—1,3
Rajzolás	1,1—1,3

2.1. táblázat folytatása

Tevékenység	M/F_{Du} [met]
Szabadidő-tevékenységek	
Folyami horgászat	1,2—2,0
Gimnasztika	3,0—4,0
Társasági tánc	2,4—4,4
Tenisz, egyéni	3,6—4,6
Squash, egyéni	5,0—7,2
Kosárlabda, félpályás	5,0—7,6
Versenyszerű birkózás	7,0—8,7
Golf, sétával	1,4—2,6
Golf, kocsival	1,4—1,8

2. A hazai gyakorlatban ismertebb, ún. Fanger-féle adatok a *2.2. táblázat*ban találhatók (Fanger 1982). Ebben a metabolikus hő W/m^2 egységben van megadva, és minden tevékenységre vonatkozóan a mechanikai hatásfok *(η)* és a nyugvó levegőben a relatív sebesség (v_{rel}) értéke is megtalálható.

3. A *2.3. táblázat*ban (ASHRAE 1985) a különböző irodai munkára vonatkozó metabolikus adatok találhatók. Felhasználása esetén az

$$M = M_1 + M_2 + \ldots + M_n \qquad (2.7)$$

összefüggést kell alkalmazni, ahol az $M_1, \ldots, M_n$ alatt az egyes tevékenységekkel töltött idő százalékos értékét kell figyelembe venni. Például valaki idejének 50%-ában ülve gépel és 50%-ában táblázatot tölt ki, így

$$M = 65 \cdot 0{,}5 + 80 \cdot 0{,}5 = 32{,}5 + 40 = 72{,}5 \quad [\mathrm{W/m^2}].$$

4. A *2.4. táblázat*ban (ASHRAE 1985) különböző fizikai tevékenységekre vonatkozó méretezési adatok találhatók, melyekkel kapcsolatban a következők ismerete szükséges:

— az értékek kvázistacioner tevékenységekre vonatkoznak,
— V a belélegzett levegő mennyisége [l/min],
— V_{O_2} az oxigénfogyasztás [l/min],
— M/F_{Du} a metabolikus hő, egységnyi testfelületre vonatkoztatva, met az ismert energiaegység (1 met = 58 W/m^2),
— HR a szívverések száma/perc.

2.2. táblázat. Különféle típustevékenységek metabolikus értékei (Fanger 1982)

Tevékenység	M/F_{Du} [W/m^2]	η	v_{rel} [m/s]
Pihenés			
Alvás	41	0	0
Pihenés	47	0	0
Nyugodt ülés	58	0	0
Állás laza testtartással		0	0
Sétálás sík terepen			
sebesség [km/h]			
3,2	116	0	0,9
4,0	140	0	1,1
4,8	152	0	1,3
5,6	186	0	1,6
6,4	222	0	1,8
8,0	338	0	2,2
Sétálás lejtőn			
lejtés [%] sebesség [km/h]			
5 1,6	140	0,07	0,6
5 3,2	175	0,10	0,9
5 4,8	232	0,11	1,3
5 6,4	356	0,12	1,8
15 1,6	169	0,15	0,4
15 3,2	268	0,19	0,9
15 4,8	410	0,19	1,3
25 1,6	210	0,20	0,4
25 3,2	392	0,21	0,9
Különböző foglalkozások			
Pék	82—116	0—0,1	0—0,2
Serfőzdei munkás	70—140	0—0,2	0—0,2
Asztalos			
gépi fűrészelés	105	0	0—0,1
kézi fűrészelés	232—280	0,1—0,2	0,1—0,2
kézi gyalulás	326—374	0,1—0,2	0,1—0,2
Lakatos	128	0—0,1	0,1—0,2
Öntödei munka			
öntvénytisztítás pneumatikus kalapáccsal	187	0—0,1	0,1—0,2
formakészítés	232	0—0,1	0,1—0,2
öntvénymozgatás (kb. 60 kg)	316	0—0,2	0,1—0,2
olvasztári munka	396	0—0,1	0,1—0,2
salakeltávolítás	432	0—0,1	0,1—0,2
Garázsmunka	128—175	0—0,1	0,2
Laboratóriumi munka			
metszetvizsgálat	82	0	0
normál laboratóriumi munka	93	0	0—0,2
készülék mozgatása	128	0	0—0,2
Gépi munka			
könnyű (pl. elektromos ipar)	116—140	0—0,1	0—0,2
gépszerelő	163	0—0,1	0—0,9
nehéz (pl. festőipar)	232	0—0,1	0—0,2

2.2. táblázat folytatása

Tevékenység	M/F_{Du} [W/m^2]	η	v_{rel} [m/s]
Konzervipar	116—232	0—0,1	0—0,2
Ülő, de nehéz, végtagokkal végzett munka	128	0—0,2	0,1—0,4
Cipész	116	0—0,1	0—0,1
Bolti eladó	116	0—0,1	0,2—0,5
Tanár	93	0	0
Órás	64	0	0
Járművezetés			
autó kis forgalomban	58	0	0
autó nagy forgalomban	116	0	0
erőgép	187	0—0,1	0,05
éjszakai repülés	70	0	0
műszeres landolás	105	0	0
Nehéz munka			
targoncatolás (57 kg, 4,5 km/h)	145	0,2	1,4
50 kg-os zsák hordása	232	0,2	0,5
kubikus munka	232—280	0,1—0,2	0,5
árokásás	350	0,2	0,5
Házimunka			
Takarítás	116—198	0—0,1	0,1—0,3
Főzés	93—116	0	0—0,2
Mosogatás állva	93	0	0—0,2
Mosás kézzel és vasalás	116—210	0—0,1	0,2
Bevásárlás	93	0	0,2—1
Irodai munka			
Gépelés (elektromos)			
szó/min			
30	52	0	0,05
40	58	0	0,05
Gépelés (kézi)			
szó/min			
30	64	0	0,05
40	70	0	0,05
Számítógépes	70	0	0
Különböző irodai munka (pl. ívek kitöltése, ellenőrzés)	58—70	0	0—0,1
Rajzolás	70	0	0—0,1
Szórakozás			
Torna	175—232	0—0,1	0,5—0
Tánc	140—266	0	0,2—2
Tenisz	268	0—0,1	0,5—2
Vívás	410	0	0,5—2
Tollaslabda	420	0—0,1	0,5—2
Kosárlabda	440	0—0,1	1—3
Birkózás	510	0—0,1	0,2—0,3

2.3. táblázat. Az irodai munka metabolikus hőfejlődése (ASHRAE 1985)

Tevékenység	M/F_{Du} [W/m²]
Olvasás ülő helyzetben	55
Írás ülő helyzetben	60
Gépírás ülő helyzetben	65
Iratkezelés ülő helyzetben	70
Beszélgetés ülő helyzetben	65
Beszélgetés álló helyzetben	70
Iratkezelés álló helyzetben	80
Gyaloglás	100
Emelés, rakodás	120

2.4. táblázat. A fizikai munka osztályozása (ASHRAE 1985)

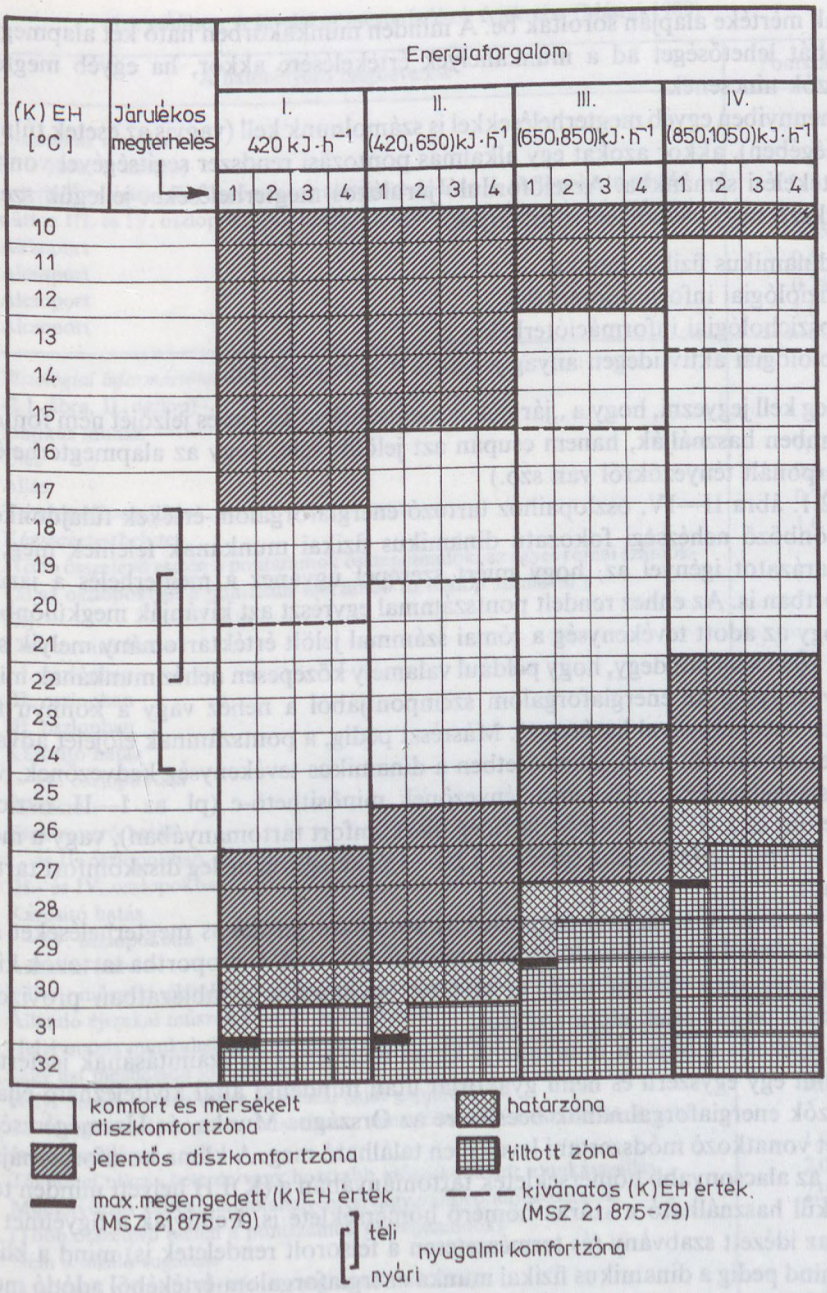
Osztályozás	V [l/min]	V_{O_2} [l/min]	M/F_{Du} [met]	HR
Igen könnyű	10	0,5	1,6	80
Könnyű	10—20	0,5—1,0	1,6—3,3	80—100
Mérsékelt	20—35	1,0—1,5	3,3—5,0	100—120
Nehéz	35—50	1,5—2,0	5,0—6,7	120—140
Nagyon nehéz	50—65	2,0—2,5	6,7—8,3	140—160
Rendkívül nehéz	65—85	2,5—3,0	8,3—10	160—180
Kimerítő	85+	3,0+	10,0+	180

2.2.3. A munkahelyi komplex terhelés értékelése

Napjainkban hazánkban, kiinduló alapnak tekintve a munkavédelmet, egy új komplex értékelési módszer került kidolgozásra.

A munkahelyi komplex terhelésértékelés élettani szempontjait Erdélyi, Mitsányi és Hódos foglalták össze, Mátrai: Munkavédelmi Műszaki Zsebkönyvében (Mátrai 1989). Ebből idézzük a továbbiakat.

Az értékelést arra alapozták, hogy a komplex munkahelyi megterhelés különböző minőségű és jelentőségű összetevői között mindenkor meg lehet különböztetni az állandóan és mindenütt jelenlevő és ható tényezőket. A valamilyen fokú fizikai aktivitást viszont — a rendelkezésre álló előírások keretei között — az időegység alatt fogyasztott oxigén mennyiségével, illetve a belőle számolható energiaforgalommal jellemezhetünk. Ezért a *2.1. ábrán* bemutatott diagram alapparamétereiként a mikroklímát jellemző (korrigált) effektív hőmérsékleti [(K)EH] skálát (sorok) és a munka nehézségi fokának energiaforgalom szerinti osztályozását vették (I—IV. oszlopok). Az utóbbi megfelel a szabvány követelményeinek (II—IV. oszlopok), azzal a kiegészítéssel, hogy az itt I. fokozatként jelölt „szellemi munkát" is a szervezet energiaforgal-



2.1. ábra. Diagram a munkahelyi komplex megterhelés értékeléséhez (Mátrai 1989)

mának mértéke alapján sorolták be. A minden munkakörben ható két alapmegterhelés tehát lehetőséget ad a munkahelyek értékelésére akkor, ha egyéb megterhelő tényezők nincsenek.

Amennyiben egyéb megterhelésekkel is számolnunk kell (vagyis az esetek túlnyomó többségében), akkor azokat egy alkalmas pontozási rendszer segítségével vonhatjuk be értékelési sémánkba. Az előforduló járulékos megterheléseket jellegük szerint a következő négy csoportba sorolhatjuk:

1. dinamikus fizikai munka,
2. fiziológiai információterhelés,
3. pszichológiai információterhelés,
4. biológiai aktív idegen anyag jelenléte a környezetben.

(Meg kell jegyezni, hogy a „járulékos megterhelés" kifejezés jelzőjét nem fontossági értelemben használják, hanem csupán azt jelölik vele, hogy az alapmegterhelésekre szuperponált tényezőkről van szó.)

A 2.1. ábra II—IV. oszlopaihoz tartozó energiaforgalom-értékek tulajdonképpen a különböző nehézségi fokozatú dinamikus fizikai munkának felelnek meg, ezért magyarázatot igényel az, hogy miért szerepel ugyanez a megterhelés a járulékos csoportban is. Az ehhez rendelt pontszámmal egyrészt azt kívánják megkülönböztetni, hogy az adott tevékenység a római számmal jelölt értéktartomány melyik szakaszába esik (nem mindegy, hogy például valamely közepesen nehéz munkának minősülő tevékenység az energiaforgalom szempontjából a nehéz vagy a könnyű fizikai munka tartományával határos-e). Másrészt pedig, a pontszámnak előjelet adva az is figyelembe vehető, hogy adott esetben a dinamikus tevékenység kedvezőnek, vagyis az összmegterhelést csökkentő tényezőnek minősíthető-e (pl. az I—II. oszlopban mindenütt és a II—IV. kategória rideg diszkomfort tartományában), vagy a megterhelést súlyosbító faktornak (például a III—IV. kategória meleg diszkomfort tartományában).

Az 1., 2. és 3. sorszámú csoportokba sorolható járulékos megterheléseket a *2.5. táblázat* tünteti fel, a javasolt pontszámokkal együtt. A 4. csoportba tartozók kimunkálása még nem történt meg, ezért ezek bevonására a táblázatban provizorikus javaslatot terjesztettek elő a szerzők.

Az értékelés módja, a munkahelyi klíma mérésének és számításának ismertetése, valamint egy egyszerű és némi gyakorlat után mindenki által kivitelezhető eljárás a dolgozók energiaforgalmának becslésére az Országos Munka- és Üzemegészségügyi Intézet vonatkozó módszertani leveleiben található meg. A klíma komfortzónájában, illetve az alacsonyabb hőmérsékletek tartományában a (K)EH helyett minden további nélkül használható a száraz hőmérő hőmérséklete is. Felhívják a figyelmet arra, hogy az idézett szabvány (és természetesen a felsorolt rendeletek is) mind a klimatikus, mind pedig a dinamikus fizikai munka energiaforgalom-értékéből adódó megterhelést idősúlyozott műszakátlagként érti, ez pedig teljes műszakos klímaméréseket, illetve energiaforgalom-becsléseket (méréseket) jelent (kivéve természetesen azokat az eseteket, amikor a dolgozó ugyanabban a környezetben ugyanazt a munkafeladatot ciklikusan, többször egymás után hajtja végre). Az idézett módszertani levelekből az idősúlyozott műszakátlagok számításának részletei is elsajátíthatók.

2.5. táblázat. A járulékos megterhelések értékelése (Mátrai 1989)

	A hatótényező megnevezése	Pontszám
1.	*Dinamikus terhelés* (2.1. ábra, 1. oszlop) A terhelés mértékétől függően négy alcsoport az 1. és II. oszlopokban mindenütt, a III. és IV. oszlopokban a hideg diszkomfort zónában negatív előjellel	
1.1.	Alcsoport	0,25
1.2.	Alcsoport	0,5
1.3.	Alcsoport	0,75
1.4.	Alcsoport	1,0
2.	*Fiziológiai információterhelés* (2.1. ábra, II. oszlop)	
2.1.	Statikus munka	
2.1.1.	Ülés	0,25
2.1.2.	Állás	0,5
2.1.3.	Teheremelés-szállítás	0,75
2.1.4.	Kényszertesthelyzet (Több összetevő esetén a pontszámok összegezendők; az egyes római számokkal az oszlopokban a pontszám szorzandó az oszlop számával.)	1,0
2.2.	Zaj	
2.2.1.	Csak zavaró hatás	
	I. oszlopban	2
	II. oszlopban	1
	III. oszlopban	0
2.2.2.	Károsító hatás I—IV. oszlopokban	4
2.3.	Vibráció	
2.3.1.	Csak zavaró hatás	
	I.- és II. oszlopokban	1
	III.- és IV. oszlopokban	0
2.3.2.	Károsító hatás I.—IV. oszlopokban	4
2.4.	Aritmiás életvitel	
2.4.1.	Váltott műszaki, éjszakára is kiterjedő munkarenddel I.—IV. oszlopokban	1
2.4.2.	Állandó éjszakai műszak I.—IV. oszlopokban	0,5
2.4.3.	Helyi utazás munkahelyekre és vissza, tömegközlekedési eszközzel, 2 × 1 óra vagy azt meghaladó időtartam	0,5
2.4.4.	Helyi utazás munkahelyre és vissza, saját gépjárművel	0,5
2.4.5.	Távolsági utazás naponta oda-vissza, tömegközlekedési eszközökkel, többszöri átszállással	1,0
2.4.6.	Távolsági utazás hetente vagy hosszabb időszakonként; munkásszállás	2,0
2.4.7.	Munkavégzés változó munkahelyen és/vagy változó időbeosztással (Több összetevő esetén a pontszámok összegezendők)	2,0
2.5.	Nem ionizáló sugárzás (a normál városi háttérszintet meghaladó mértékű) I—IV. oszlopokban	0,5
2.6.	Lokális hőhatás (hideg-meleg egyaránt) I—IV. oszlopokban	1
2.7.	Atmoszférástól eltérő légnyomás I—IV. oszlopokban	1

2.5. táblázat folytatása

A hatótényező megnevezése	Pontszám
3. *Pszichológiai információterhelés*	
3.1. Környezeti terhelések	
3.1.1. Ingerszegény környezet	1 tényező 0,25
3.1.2. Elégtelen megvilágítás (ESZ 6179)	2 tényező 0,5
3.1.3. Nem megfelelő munkaasztal, — szék	3 tényező 0,75
3.1.4. Szervezett szünet hiánya	4 tényező 1,0
3.2. Individuális munkavégzésből eredő terhelések	
3.2.1. Egyoldalú terhelés	1,0
3.2.2. Azonos elemi műveletek nagy gyakoriságú, változtatás nélküli ismétlése kényszerütemben, változatlan munkatempóban	0,75
3.3. Futószalag- vagy szalagszerű technológia terhelő hatásai. A dolgozóra kiosztott egy részművelet 3 percnél rövidebb idejű, kötelezően szinkronizált ütemidőben teljesítendő	
3.3.1. Szervezett tevékenységcserével	1,0
3.3.2. Szervezett tevékenységcsere nélkül	2,0
3.4. Szellemi munka terhelő hatása	
Sokoldalú, felelős szellemi aktivitás, széles körű ismeretek adekvát felhasználásával, ismétlődő szituációban	
3.4.1. Időkényszer nélkül	1,0
3.4.2. Időkényszer viszonyai között	2,0
3.5. Emberekért és anyagi értékekért viselt fokozott felelősség terhelő hatása	
3.5.1. Időszakosan érvényesül	1,5
3.5.2. Állandóan fennáll	2,0
3.6. Baleseti veszély	
A dolgozó tevékenysége saját magának és/vagy más személy(ek)nek	
3.6.1. Átmeneti egészségkárosodást okozhat	1,0
3.6.2. Maradandó egészségkárosodást okozhat	1,5
3.6.3. Halálát okozhatja	2,0
Összesen:	
4. *Biológiai hatást kifejtő anyag jelenléte a környezetben* (2.1. ábra, IV. oszlop) (Kidolgozandó)	

A hivatkozott szabályozásokat figyelembe véve a 2.1. ábra felületét zónákra osztották. A munka nehézségi fokától függő maximálisan megengedhető (korrigált) effektív hőmérsékletek (31, 29 és 27 °C) nem léphetők át: az ezt meghaladó klimatikus terhelést tiltott zónának minősítették (keresztben csíkozott legalsó mező). Ugyancsak eleve tiltott zónába kerül az az eset is, amikor a határértékeket elérő klimatikus terhelés mellett még valamilyen járulékos terhelés is hat (a 2—4. oszlopok és a 31, 29, 27 °C (K)EH sorok által kijelölt keresztben csíkozott négyzetek). Nyilvánvalóan kritikus értékelést kíván a tiltott zónával határos sáv (ferdén keresztben csíkozott mező). Ha nem is kritikus, de alapfeltételeiben minősített megterhelést jelentenek a számottevő meleg és hideg diszkomfort zónák (ferdén sávozott mezők). A komfortzónát, illetve a mérsékelt diszkomfort tartományát az üres négyzetek alkotják.

Miután megállapították, hogy egy adott munkakör a munkaosztályozás és a mikroklímaviszonyok alapján melyik zónába esik, sorra kell venni a 2.5. táblázat alapján a járulékos tényezőket, meg kell állapítani pontszámaikat és azok oszlopösszegeit az 1., 2., 3. (és a későbbiek során remélhetőleg a 4.) oszlopokban, majd mindezeket összegezni kell. Ennek a végösszegnek a kritikus értéke nyilván különböző lesz az egyes zónákban. Vonatkozó javaslatok:

komfort és mérsékelt diszkomfort zóna	4 pont
jelentős diszkomfort zóna	3 pont
határzóna	2 pont.

(Kritikus értéket elérő pontszámot természetesen akár egyetlen járulékos tényező is kaphat.)

Minden olyan esetben, amikor a diagram szerinti értékelés túlzott megterhelésre utal (pl.

energiaforgalom, III. oszlop jelentős diszkomfort zóna (K)EH 25 °C

1. járulékos terhelés, $d=$	+1
2.1. járulékos terhelés, $b=0{,}5\times \mathrm{III}=$	+1,5
2.6. járulékos terhelés	+1
összesen:	+3,5

vagyis, 0,5 ponttal több, mint a fenti kritikus érték), mindenekelőtt alapos helyszíni vizsgálatot kell végezni annak megállapítása céljából, hogy csökkentésre milyen műszaki vagy szervezési lehetőségek kínálkoznak. Ha a példában ismertetett esetben akár a (K)EH műszakátlagát tudjuk a munka-pihenési rend átszervezésével 2 °C-kal csökkenteni, akár a dolgozó sugárzóhő-terhelését sikerül megfelelő védőernyővel kiküszöbölni, akkor a problémát lényegében meg is oldottuk.

Komolyabb esetekben bonyolultabb vizsgálatokra és a megterhelések mérésén túlmenően igénybevételi mutatók regisztrálására is szükség lehet, nem is szólva az egyéb szakterületekre tartozó kérdésekről, illetve vizsgálatokról (toxikológia, kémia stb.). Ezeket a megfelelő módszeres és személyi háttérrel rendelkező multidiszciplináris intézmények tudják elvégezni.

Az előbbiekben ismertetett módszer új és fiziológiai és munkavédelmi szempontból világítja meg a kérdést.

2.3. Az emberi test hőleadásának módjai

Az emberi test a benne fejlődő hőt négy módon tudja leadni:

— konvekcióval,
— sugárzással,
— vezetéssel,
— párolgással.

A műszaki gyakorlatban a vezetés és konvekció értékét együttesen kezelik. Az első három hőleadási módot száraz hőleadásnak is nevezik. Ezek mértékére és arányára vonatkozóan a szakirodalomban sok adatot találunk.

A konvekciós hőleadás a összhőleadás kb. 32—35%-a (Rubner 1896). Ideszámítjuk a vezetéssel (kondukcióval) leadott hőmennyiséget is, amely általában kicsi (2—4%), ezért a továbbiakban külön nem vesszük figyelembe. A konvekció 2—3%-a a belélegzett levegő felmelegítésére szolgál, a többi a bőr felszínéről, részben a ruházaton át távozik. Ha a környező levegő hőmérséklete magasabb, mint a test felszínéé, akkor a konvekció lehet hőfelvétel is.

A sugárzással leadott hő az összes hőmennyiségnek 42—44%-a. A hőleadás e módjának vizsgálatát a harmincas évekig — Rubner (1896) méréseinek ellenére — mellőzték, és végül a jelenséget, valamint a leadott hő nagyságát csak Aldrich (1928), Bohnenkampf és Pasquay (1931) kutatásai tisztázták. Bebizonyították, hogy a test sugárzásos hőleadása a Stephan—Boltzman törvények alapján megy végbe. Ugyancsak a sugárzásos hőleadással, illetve ennek mértékével foglalkozott Deighton (1933), valamint Bedford (1948), Hardy (1953) és DuBois (1937), akik hasonló eredményre jutottak, mint Bohnenkampf. Hasonlóan a konvekciós hőleadáshoz, a sugárzásos hőcsere lehet pozitív és negatív is.

A párolgásos hőleadás két fő részre osztható:

— láthatatlan párolgásra (perspiráció insensibilis),
— látható izzadásra (perspiráció sensibilis).

2.6. táblázat. Az izzadság maximális mennyiségének változása az idő függvényében (Wyndham 1966)

Kísérleti időtartam [h]	1	2	3	4	5
Izzadság mennyisége [g/h]	1130	1130	870	600	485

2.7. táblázat. Az izzadság mennyiségi változása az idő függvényében, középnehéz fizikai munkavégzés során, szabad és korlátozott folyadékfelvétel esetén (Sargent és mtsai 1972)

Kísérleti időtartam [h]	1	2	3	4	5	6
Izzadság mennyisége						
szabad vízfelvétel [g/h]	420	680	680	600	550	610
korlátozott vízfelvétel [g/h]	360	600	600	550	500	600

A szervezet naponta kb. 800—1000 ml ($0{,}8—1{,}0 \cdot 10^{-3}$ m^3) vizet párologtat el, amely az alapanyagcsere-körülmények között leadott hő 20—25%-a, mivel minden gramm víz elpárologtatása 2400 J (0,67 W) hőt von el a szervezettől. Így a napi hőelvonás kb. $21{,}8—25 \cdot 10^5$ J értéket igényel, ami 580—690 W teljesítményt jelent. A semlegesnél alacsonyabb hőmérséklet esetén az elpárologtatott vízmennyiség nagyjából változatlan. Magasabb hőmérséklet esetén azonban értéke nő.

Az izzadság mennyiségének meghatározására vonatkozó néhány adat:

1. A normál környezetben könnyű munkát végző ember esetében általában 1 l/h ez az érték. Rövid időre azonban felmehet nagyon meleg környezetben és nehéz fizikai munkánál akár 2,5—4 l/h értékre is. Az izzadság mennyisége azonban az idő függvényében csökken. Erre vonatkozóan két táblázatos adatot mutatunk be:

— a *2.6. táblázat*ban Wyndham (1966) 5 órán keresztül mért adatai,
— a *2.7. táblázat*ban pedig Sargent és mtsai (1972) értékei láthatók.

Az utóbbi vizsgálat egy ún. „tread mill" (futószőnyeg) kísérlet eredménye, amelynél két eset különböztethető meg:

— amikor a kísérleti alany szabadon vehetett magához folyadékot, és
— amikor az ivás tiltva volt.

2. Külön kell foglalkoznunk az emberi test izzadságos súlyveszteségének kérdésével napsugárzás esetén. Ezzel kapcsolatban Givoni és Berner-Nir (1967) adataira támaszkodunk:

a) A sugárzás 0,288 és 0,313 μm közötti hullámhossz-intervalluma esetén, a különféle tevékenységek és ruházat viselése mellett leadott izzadság mennyisége a *2.8. táblázat*ban látható.

2.8. táblázat. A napsugárzás hatása az emberi test izzadságtermelésére, a ruházat és a végzett tevékenység függvényében (Givoni 1969)

Tevékenység	Izzadság [g/h]		
	közel meztelen	ruhában	különbség
Ülés	324	132	192
Munka	240	176	64
Átlag	282	154	128

2.9. táblázat. A tevékenység és a légsebesség hatása az izzadság okozta súlyveszteségre, napsugárzásban (Givoni 1969)

Légsebesség [m/s]	Izzadság mennyisége [g/h]	
	ülve	sétálva
1	341	259
2,5	306	220

b) A *2.9. táblázat* két légsebesség-határértéket is figyelembe vesz.
c) Ami a talaj reflektálási hányadát illeti, álló ember esetében

$$I_r = 0{,}35r \cdot I_h, \tag{2.8}$$

vagy

$$I_r = 0{,}3r \cdot I_n \qquad (2.9)$$

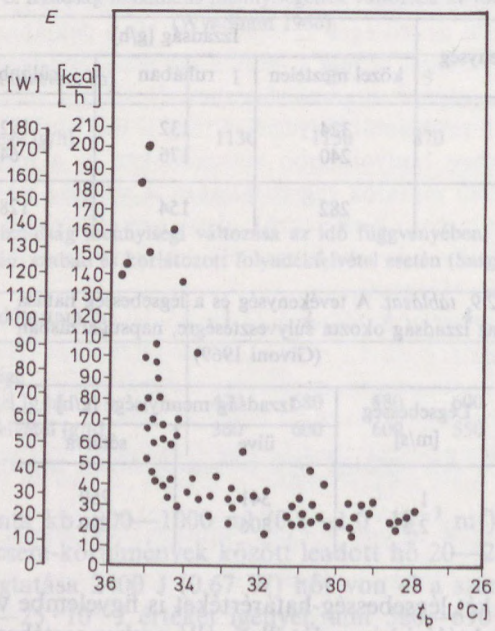
összefüggéssel számítható, ahol

I_r a reflektált napsugárzás,
I_h az előző horizontális irányban, míg
I_n a normális irányban leadott hányada,
r a környezet reflektáló képessége.

Az utóbbiról néhány adat:
— erdőben 4%,
— sivatagban 15%,
— hóval borított területen 25%.

A verejtékezés 28—29 °C környezeti hőmérsékleten kezdődik, és 34 °C felett a párolgás, illetve verejtékezés a szervezet egyetlen hőleadási lehetősége. A verejtékezéssel leadott hő és a bőrhőmérséklet összefüggése jól látható Winslow és mtsai (1940) diagramján *(2.2. ábra)*.

A párolgásos hőcsere előjele egyértelműen csak negatív lehet. A párolgásos hőleadás mennyisége az összhőleadás 21%-a Rubner (1896), 20—34%-a Soderstrom és DuBois (1931), 30% Benedikt és Root (1926) szerint +23 °C hőmérsékleten. Aldrich (1928) szerint +18 és +24 °C között a sugárzó és konvekciós hőveszteség 62—69%-a



2.2. ábra. A párolgás révén leadott hőmennyiség (E) változása a bőrhőmérséklet (t_b) függvényében (Winslow és mtsai 1940)

az összes hőveszteségnek, tehát a párolgásos hőveszteségnek 31—38%-a. A legújabb kutatások alapján Winslow és Harrington (1949) szerint 20—25%. Ez az érték két fő részre, a bőr, valamint az orr és a garat nyálkahártyáinak párolgására osztható.

A műszaki gyakorlatban a komfortparaméterek tartományában

— a sugárzásos hőleadást 42—44%-kal,
— a konvekciós hőleadást 32—35%-kal,
— a párolgásos hőleadást 21—26%-kal

(hőleadási aránnyal) számítjuk.

2.4. Az emberi test és környezete közötti hőcsere és a hőegyensúly kérdése

2.4.1. Az emberi test hőegyensúlya

Mint az előzőekben láttuk, az emberi testben hő fejlődik, amelyet az négy különböző módon tud leadni. Teljesen logikus, hogy az ember szempontjából az az optimális állapot, amikor is a hőcserefolyamat egyensúlyban van, tehát a termelt és leadott hő nagysága megegyezik.

Ezt a feltételt egy nagyon egyszerű összefüggéssel szokták jellemezni

$$Q_w = M - W - E \pm S \pm C, \tag{2.10}$$

ahol

Q_w az emberi test hőtárolása, illetve hőmérséklet-változása egységnyi idő alatt,
M metabolikus hő,
W a mechanikai munka,
E a teljes párolgásos hőleadás,
S a sugárzásos hőleadás,
C a konvekciós hőleadás.

Amennyiben az egyenlet jobb oldala pozitív, a test hőmérséklete növekszik, tehát az egyénnek melege van, míg negatív esetben a test hőmérséklete csökken, tehát az egyén fázik. Hőegyensúly $Q_w = 0$ esetben adódik, ekkor az ember hőérzete kedvező, kellemes.

Egy nagyon fontos alaptétel: az emberi test sugárzással és konvekcióval le is adhat és fel is vehet hőt, párolgással azonban hőt csak leadni tud.

2.4.2. Néhány általános adat az emberi test hőcserefolyamataihoz

Az ember és környezete között energia-, illetve hőcserefolyamatokkal kapcsolatban a következőkben néhány általánosan alkalmazásra kerülő adathalmazt mutatunk be, amelyek ismerete a következő fejezetekben részletesen kifejtendő műszaki, számítási módszerek megértéséhez szükséges.

Az ismertetésre kerülő témák a következők:

— a hőcserére jellemző hőmérsékletértékek,
— a testhőmérséklet meghatározása,
— a bőrhőmérséklet meghatározása,
— a bőr hőmérsékletét, hőátadási viszonyait befolyásoló adatok.

2.4.2.1. Az emberi test hőcseréjének számításakor alkalmazott hőmérsékletértékek

Az emberi test hőcseréjének számításakor a szakirodalomban számos hőmérsékletértékkel találkozunk, amelyek közül a legfontosabbak:

1. az ambiens hőmérséklet, jele t_a,
2. a közepes sugárzási hőmérséklet, jele t_{ks},
3. az operatív hőmérséklet, jele t_o,
4. az eredő hőmérséklet, jele t_R,
5. a ruházat közepes hőmérséklete, jele t_{cl}.

(A számításokat a t [°C] vagy a T [K] értékekkel is végezhetjük.)

Ezek közül néhány esetben csak a megfogalmazást, míg más esetekben az alkalmazható összefüggéseket is bemutatjuk.

1. *Az ambiens hőmérséklet* a környezet azon hőmérséklete, amikor a levegő és határoló felületek hőmérséklete azonos. Mérésére árnyékolt léghőmérőt alkalmaznak.

2. *A közepes sugárzási hőmérséklet* — mint az emberi test sugárzásos hőcseréje szempontjából alapvetően fontos értéke — meghatározására általában a szakirodalomban több összefüggést találunk, ezekből négyet mutatunk be.

a) A legegyszerűbb a felületek nagyságának és hőmérsékletének átlagértékét figyelembe vevő

$$t_{ks} = \frac{F_1 t_1 + F_2 t_2 + \ldots + F_n t_n}{F_1 + F_2 + \ldots + F_n} \quad [°C] \tag{2.11}$$

összefüggés, ahol

$F_1, \ldots, F_n$ a környező felületek területe [m^2],
$t_1, \ldots, t_n$ az azonos indexű felületek hőmérséklete [°C].

b) A következő az általánosan ismert

$$t_{ks} = \sqrt[4]{\sum_{i=1}^{n} \varphi_{EF_i} T_{F_i}^4} - 273 \quad [°C] \tag{2.12}$$

összefüggés (Macskásy 1952), amely már figyelembe veszi a sugárzásos hőcserében részt vevő testek közötti besugárzási tényezők is, mivel

φ_{EF_i} a test súlypontjába helyezett függőleges felületelem és az egyes határoló felületek közötti besugárzási tényező,
T_{F_i} a környező határoló felületek hőmérséklete [K].

c) Az angolszász irodalomból Belding (1967) összefüggése:

$$t_{ks} = t_g + 0{,}24v^{0{,}5}(t_g - t_{lb}) \quad [°C], \tag{2.13}$$

ahol

t_g a gömbhőmérséklet [°C],
t_{lb} a belső (helyiség) levegő-hőmérséklet [°C],
v a levegő sebessége [m/s].

d) Végül, mint a hőkomfort-méretezés szakirodalomban legjobban elterjedt számítási összefüggéseket, a Fanger (1967) által kidolgozottakat mutatjuk be. E szerint a közepes sugárzási hőmérséklet a következő módon határozható meg:

$$T_{ks}^4 = \frac{1}{\sigma}(B_1\Phi_{EF_1} + B_2\Phi_{EF_2} + \ldots + B_n\Phi_{EF_n}), \tag{2.14}$$

ahol

B_i az i-edik környező felületek sugárzása,
Φ_{EF_i} az ember és az i-edik felületek közötti közepes besugárzási tényező,
σ a Stefan—Boltzmann-állandó [$5{,}7 \cdot 10^{-8}$ W/(m^{2}K)],

s egyben látható, hogy a ruházat felületi hőmérséklete nincs hatással a közös sugárzási hőmérsékletre. Mivel azonban a B meghatározása nehézkes, használhatjuk azt az egyszerűsítést, hogy helyette az adott felület abszolút hőmérsékletét vesszük figyelembe, tehát

$$T_{ks}^4 = T_1^4\Phi_{EF_1} + T_2^4\Phi_{EF_2} + \ldots + T_n^4\Phi_{EF_n}. \tag{2.15}$$

Kis hőmérséklet-különbségek esetén pedig további elhanyagolást tehetünk, és az alábbi összefüggéssel is számolhatunk:

$$T_{ks} = T_1\Phi_{EF_1} + T_2\Phi_{EF_2} + \ldots + T_n\Phi_{EF_n}. \tag{2.16}$$

3. *Az operatív hőmérséklet* a műszaki gyakorlatban általánosan alkalmazott hőmérsékletérték, amely a levegő és a környezet közepes sugárzási hőmérsékletének értékét egyaránt figyelembe veszi. Meghatározására általánosan alkalmazott a

$$t_o = \frac{(\alpha_s t_{ks} + \alpha_c t_{lb})}{\alpha_s + \alpha_c} \quad [°C], \tag{2.17}$$

összefüggés, ahol

α_s a sugárzásos hőátadási tényező [W/m^{2}K],
α_c a konvekciós hőátadási tényező [W/m^{2}K].

A szakirodalomban két esetre konkrét összefüggés is található, mégpedig

— mezítelen, nyugalomban lévő emberre

$$t_o = 0{,}48t_{ks} + 0{,}52t_{lb} \quad [°C], \tag{2.18}$$

— felöltözött, nyugalomban lévő emberre

$$t_o = 0{,}55t_{ks} + 0{,}45t_{lb} \quad [°C]. \tag{2.19}$$

4. *Az eredő hőmérséklet* (t_R) fogalma közismert. Általános matematikai formája:

$$t_R = (1-R)\, t_{lb} + R t_{ks}, \tag{2.20}$$

és a t_{ks} sugárzási hőmérséklet a (2.11) összefüggésből számítható, R pedig 0,5 körüli érték.

A szakirodalomban azonban az R értékére gyakran találhatók konkrét adatok, ezekből hármat mutatunk be.

a) Missenard (1957) szerint maximum 0,1 m/s légsebességig az eredő hőmérséklet meghatározható a

$$t_R = 0{,}45 t_{lb} + 0{,}55 t_{ks} \quad [°C] \tag{2.21}$$

összefüggésből.

b) A másik adat Baturintól származik (1953):

$$t_R = 0{,}55 t_{lb} + 0{,}45 t_{ks} \quad [°C]. \tag{2.22}$$

c) A magyar előírások szerint az eredő hőmérséklet a következő összefüggéssel számítható

$$t_R = 0{,}5 t_{lb} + 0{,}5 t_{ks} \quad [°C]. \tag{2.23}$$

5. *A ruházat közepes hőmérsékletére* a különböző összefüggésekben található t_{cl} kifejezés tulajdonképpen a ruházat és a ruházattal nem borított testfelületek átlagos hőmérséklete. Mivel a ruházattal nem borított testfelület még a rövidujjú inget feltételező 0,6 clo értékkel reprezentált nyári ruházat esetén is csak kb. 15%-a a teljes testfelületnek, ezért alkalmazzák a hőmérséklet indexeként a cl-t.

Számszerű értéke a 21—26 °C közötti komforthőmérséklet-tartományban 28 °C. Pontos értéke viszont meghatározható az ún. Fanger-féle komfortegyenletből, erre azonban a 4. fejezetben térünk ki részletesen.

2.4.2.2. A test hőmérsékletének meghatározása

Az emberi test átlagos hőmérsékletének (t_E) meghatározásával kapcsolatban a szakirodalomban (Mayer 1985, Stolwijk és Hardy 1966) számos mérési lehetőség található. Ebből azonban kettőt használnak a komfortméretezések esetében, az emberi test átlagos hőmérsékletének meghatározására a bőrhőmérsékletet (t_b) és az ún. rectál- vagy maghőmérsékletet (t_{re}), mégpedig a következő összefüggés segítségével:

ahol

$$t_E = (1-k) t_b + k t_{re} \quad [°C], \tag{2.24}$$

$t_{re} = 36$—38 °C,
$k = 0{,}8$—$0{,}9$ (hőegyensúly és izzadás esetén),
$k = 0{,}67$ (hideg környezetben).

2.4.2.3. A bőrhőmérséklet értékei

Az emberi test bőrfelületeinek hőmérsékletértéke eltérő. Korábbiakban a következő testrészek hőmérsékletét tekintették adott körülmények között állandó és jellemző értéknek: kézfej, alkar, felkar, arc, mellkas, hát, has, comb, lábszár és lábfej. A

műszaki gyakorlatban azonban általában az átlagos bőrhőmérséklet-értékek ismerete szükséges. Ez négy módon határozható meg:

1. *Termoviziós felvételekkel*, amikor is az egyes ruházattal borított és mezítelen testrészek bőrhőmérséklete külön-külön, valamint átlagos értékük is meghatározható.

2. *Számítások segítségével*, amikor is a mezítelen emberre a

$$t_b = 24{,}85 + 0{,}332t_o - 0{,}00165t_o^2 \quad [°C], \tag{2.25}$$

0,6—1,0 clo értékű ruházatot viselő ember esetében pedig a

$$t_b = 25{,}8 + 0{,}267t_o \quad [°C] \tag{2.26}$$

összefüggést alkalmazhatjuk, ahol t_o az operatív hőmérséklet. Mindkét összefüggés egyébként ülő, nyugalomban lévő emberre vonatkozik.

Ismert még a szakirodalomból Bedford (1948) meghatározása is — 30 férfin és 11 nőn végzett 2558 mérései alapján:

$$t_b = 0{,}399t_{lb} + 0{,}363t_{cl} + 25{,}76 \quad [°C] \tag{2.27}$$

de ez az érték csak 0,15 m/s, vagy ennél kisebb légmozgás esetén alkalmazható.

Ismeretes még az ún. Vincent-féle egyenlet:

$$t_b = 26{,}5 + 0{,}3t_{lb} + 0{,}2E - 1{,}2v \quad [°C], \tag{2.28}$$

ahol

E a közönséges és leárnyékolt higanyos hőmérővel mért értékek különbsége [°C],
v a légsebesség [m/s].

Itt kell megemlítenünk a bőrhőmérséklettel kapcsolatban két olyan fogalmat, amelyet az emberi test hőcseréjének meghatározásakor a gyakorlatban használnak Stevens (1969) vizsgálatai alapján:

a) Az érintésre érzett szubjektív meleghőmérséklet, amely meghatározható a

$$t_m = K(t - 32{,}5)^{1{,}6} \tag{2.29}$$

összefüggésből, ahol

t a stimuláló hőmérséklet [°C],
32,5 °C a tapintható melegérzet küszöbértéke,
K egy konstans érték.

b) A szubjektív hidegérzet értékére pedig a

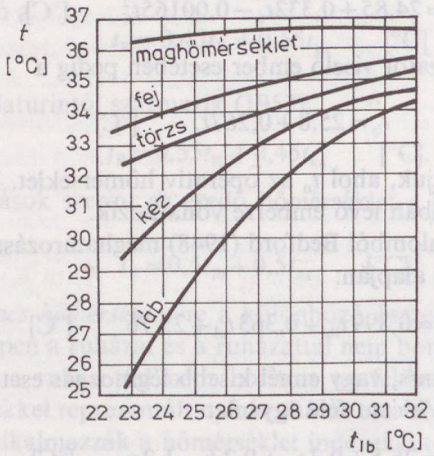
$$t_h = K(31{,}0 - t) \tag{2.30}$$

összefüggést használják, ahol 31,0 °C a tapintható hidegérzet határértéke (Mayer 1988).

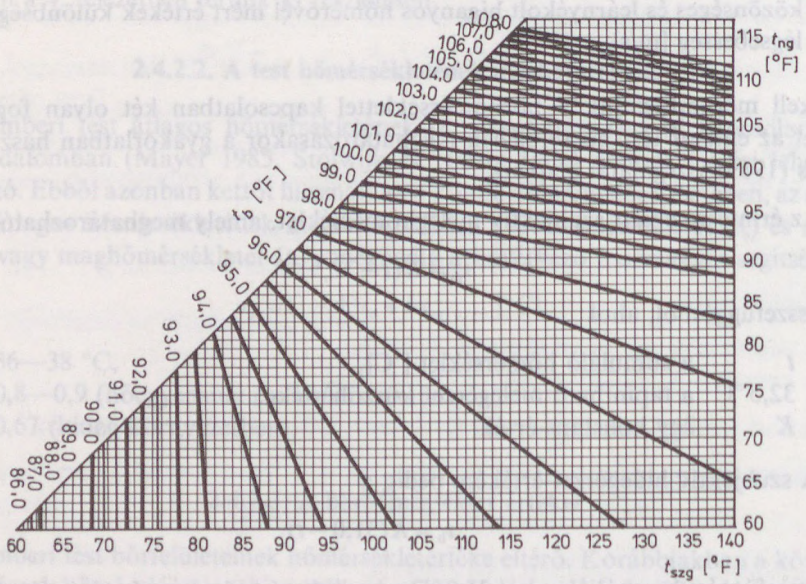
3. *A bőrhőmérséklet meghatározására szolgáló diagramok segítségével,* amelyekből hármat mutatunk be:

a) Bradtke és Liese (1952) test- és bőrhőmérséklet-értékeit a környezeti levegőhőmérséklet függvényében *(2.3. ábra)*.

b) Givoni és Berner-Nir (1967) által kidolgozott diagramot, amely nyugvó levegőben nyugalomban lévő ember bőrhőmérsékletének meghatározására szolgál, a nedves és száraz gömbhőmérsékletek függvényében *(2.4. ábra)*.



2.3. ábra. A test- és bőrhőmérséklet összefüggése a levegő-hőmérséklettel (Bradtke és Liese 1952)



2.4. ábra. Diagram az átlagos bőrhőmérséklet meghatározására nyugalomban lévő, légmozgás nélküli térben tartózkodó emberre (Givoni 1969)

Az utóbbi alkalmazásával kapcsolatban két összefüggést is célszerű ismerni:

— a 0,15 m/s feletti korrekciós tényező számítására alkalmas összefüggést:

$$\Delta t_{bc} = 0{,}282(v-30)^{0{,}2}[(t_{lb}-t_b)^{0{,}2}-0{,}51] \quad [°C], \tag{2.31}$$

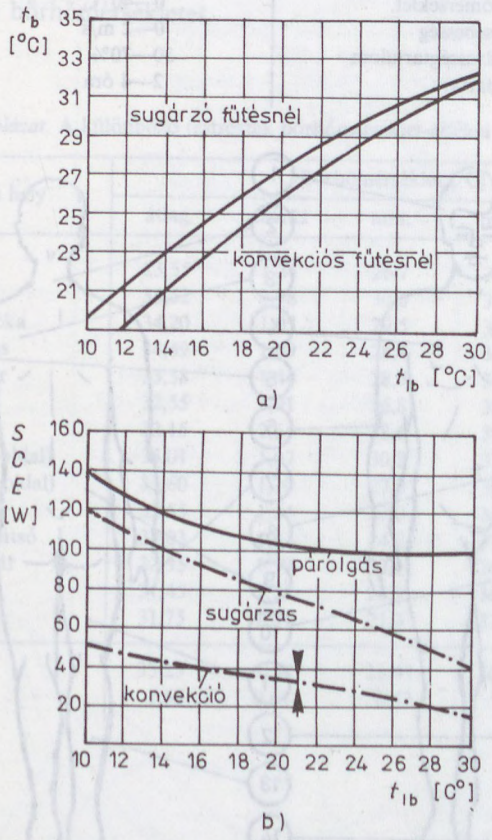
ahol

Δt_{bc} a bőrhőmérséklet eltérése a diagramban megadott értéktől [°C],
v a légsebesség [m/s],
t_b a diagramból leolvasott bőrhőmérséklet [°C];

— abban az esetben, ha a közepes sugárzási hőmérséklet eltér a levegő hőmérsékletétől, a

$$\Delta t_{bs} = 0{,}0057(t_{ks}-t_{lb}) \tag{2.32}$$

összefüggést kell alkalmazni.



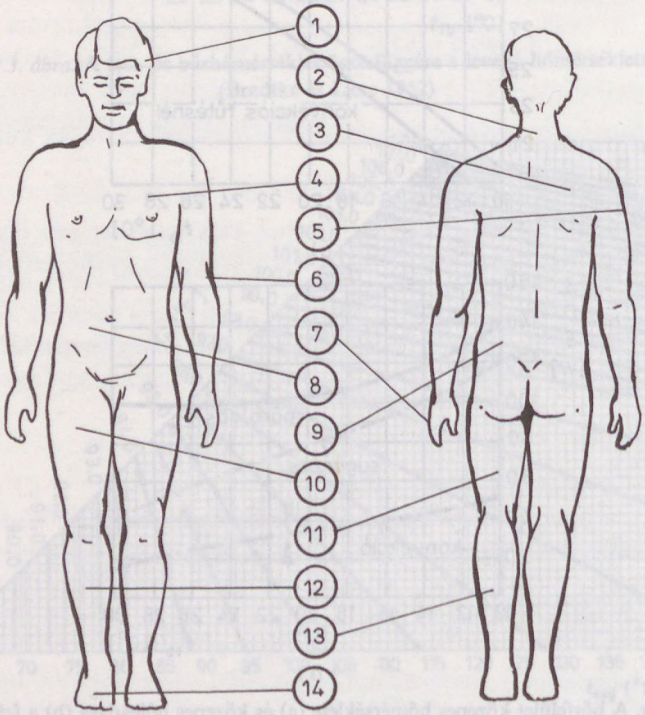
2.5. ábra. A bőrfelület közepes hőmérséklete (a) és közepes hőleadása (b) a felöltözött embernek, különböző helyiséglevegő-hőmérsékletek esetén (Kollmar 1971)

c) Kollmar (1971) kettős diagramját *(2.5. ábra)*:

— az a) ábrán az ember felületének átlagos bőrhőmérséklete állapítható meg, sugárzó és konvektív fűtésnél a léghőmérséklet függvényében,
— a b) ábrán az emberi test hőleadása látható, ugyancsak a léghőmérséklet függvényében.

2.10. táblázat. A környezeti állapotok (operatív hőmérséklet, légsebesség, levegő nedvességtartalma), a ruházat, a végzett tevékenység és az életkor értékei a vizsgálatok során (Olesen 1984)

Kor	18—84 év
Tevékenység	1,0—2,0 met (58—120 W/m²)
Ruházat	0,1—1,5 clo (0,016—0,233 m² °C/W)
Operatív hőmérséklet	0—40 °C
Relatív légsebesség	0—2 m/s
Relatív nedvességtartalom	30—70%
Mérési időtartam	2—4 óra



2.6. ábra. A bőrhőmérséklet javasolt mérési helyei (Olesen 1984)

4. *Mért értékek alapján.* A mért értékek alapján történő átlaghőmérsékletek megállapítására napjainkban a szakirodalomban nagyon sok módszer található. Ezeket Olesen (1984) hasonlította össze, és ebből idézzük a legfontosabb adatokat:

— a *2.10. táblázat*ban a vizsgált módszerek esetében alkalmazott paraméterek tartománya látható,
— a *2.6. ábrán* a vizsgálatok során mért helyek láthatók,
— a *2.11. táblázat*ban a mért bőrhőmérsékletek átlag-, valamint maximális, minimális és tartományértékei láthatók,
— végül az összehasonlításhoz megvizsgált 12 módszer adatai láthatók a *2.12. táblázat*ban.

Olesen megállapította, hogy a pontos átlagértékhez valóban 14 mérési hely szükséges, azonban jó közelítő adatokat kapunk, ha
— meleg környezetben 2—4,
— neutrális, kellemes környezetben 4—8,
— hidegben pedig 8—12

pontban mérjük a bőrhőmérsékletet.

2.11. táblázat. A különböző testrészek bőrhőmérséklet-értékei (Olesen 1984)

Mérési hely	Bőrhőmérséklet [°C]				
	átlag	szórás	min.	max.	különbség
1 Homlok	23,55	1,24	26,7	38,3	11,6
2 Nyak	34,52	0,98	30,8	37,4	6,6
3 Jobb lapocka	34,20	1,03	29,5	36,9	7,4
4 Bal mellkas	34,49	1,09	28,4	38,3	9,9
5 Jobb felkar	33,38	1,44	28,5	36,9	8,4
6 Bal alkar	32,55	1,91	26,8	38,2	11,4
7 Bal kéz	32,15	2,64	18,6	39,8	21,2
8 Has (jobb oldal)	35,01	1,07	30,3	37,0	6,7
9 Csípő (bal oldal)	33,60	1,20	27,3	36,1	8,8
10 Jobb comb	32,55	1,54	27,0	36,5	9,5
11 Bal combhátsó	33,03	1,74	24,6	37,6	13,0
12 Jobb lábszár	32,35	1,39	23,1	36,3	13,2
13 Bal vádli	31,45	1,55	23,9	36,0	12,1
14 Jobb lábfej	31,75	2,81	21,3	37,4	16,1
Átlag	33,25	1,54	28,49	36,72	8,23
Szórás	1,62	0,64	0,43	5,27	4,84

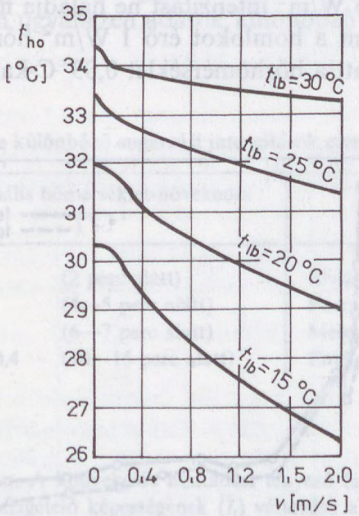
2.12. táblázat. Az átlagos hőmérséklet meghatározására alkalmazott számítási módszerek összehasonlítása (Olesen 1984)

Mérőhelyek száma	Irodalmi forrás	Az átlaghőmérséklet számítási összefüggései. A mérési hely számozását A1—A14 lásd 2.5. ábrán.	Átlagos eltérés [°C]	Átlagos hiba [°C]	Korreláció %
1	Stepwise Regr.	$1{,}027\,t_{A12}$		0,03	39
2	Stepwise Regr.	$0{,}458\,t_{A4}+0{,}539\,t_{A12}$		0,49	78
3	Stepwise Regr.	$0{,}467\,t_{A4}+0{,}148\,t_{A7}+0{,}383\,t_{A12}$		0,39	86
3	Burton (1934)	$0{,}5\,t_{A4}+0{,}14\,t_{A6}+0{,}36\,t_{A12}$	−0,19	0,53	75
3	KSU	$0{,}5\,t_{A4}+0{,}14\,t_{A6}+0{,}36\,t_{A13}$	0,13	0,57	71
4	Stepwise Regr.	$0{,}274\,t_{A2}+0{,}161\,t_{A7}+0{,}285\,t_{A9}+$ $+0{,}279\,t_{A12}$	−0,09	0,31	92
4	Ramanathan (1964)	$0{,}3\,t_{A4}+t_{A5}+0{,}2\,t_{A10}+t_{A12}$		0,49	79
6	Stepwise Regr.	$0{,}181\,t_{A3}+0{,}218\,t_{A4}+0{,}150\,t_{A9}+$ $+0{,}167\,t_{A12}+0{,}142\,t_{A13}$		0,23	95
6	Teichner (1958)	$0{,}149\,t_{A1}+0{,}186\,t_{A4}+0{,}186\,t_{A9}+$ $+0{,}107\,t_{A5}+0{,}186\,t_{A10}+$ $+(0{,}186\,t_{A10}+t_{A11})/2$	−0,28	0,55	73
6	Palmes (1947)	$0{,}14\,t_{A1}+0{,}19\,t_{A4}+0{,}19\,t_{A9}+0{,}11\,t_{A6}+$ $+0{,}5\,t_{A7}+0{,}32\,t_{A10}$	−0,12	0,42	84
7	Stepwise Regr.	$0{,}214\,t_{A3}+0{,}269\,t_{A4}+0{,}84\,t_{A7}+$ $+0{,}091\,t_{A10}+0{,}111\,t_{A11}+$ $+0{,}155\,t_{A13}+0{,}077\,t_{A14}$		0,19	97
7	Hardy és Dubois (1938)	$0{,}07\,t_{A1}+0{,}35\,t_{A8}+0{,}14\,t_{A6}+0{,}05\,t_{A7}+$ $+0{,}19\,t_{A10}+0{,}13\,t_{A12}+0{,}007\,t_{A14}$	−0,19	0,35	89
8	Stepwise Regr.	$0{,}209\,t_{A3}+0{,}196\,t_{A4}+0{,}095\,t_{A6}+$ $+0{,}067\,t_{A7}+0{,}098\,t_{A10}+0{,}113\,t_{A11}+$ $+0{,}142\,t_{A12}+0{,}082\,t_{A14}$		0,17	98
8	Gagge és Nishi (1977)	$0{,}07\,t_{A1}+0{,}175\,t_{A3}+t_{A4}+0{,}07\,t_{A5}+t_{A6}+$ $+0{,}05\,t_{A7}+0{,}19\,t_{A10}+0{,}2\,t_{A13}$	0,12	0,32	91
10	Stepwise Regr.	$0{,}104\,t_{A1}+0{,}149\,t_{A3}+0{,}107\,t_{A5}+$ $+0{,}098\,t_{A6}+0{,}066\,t_{A7}+0{,}134\,t_{A8}+$ $+0{,}080\,t_{A10}+0{,}083\,t_{A11}+0{,}096\,t_{A13}+$ $+0{,}082\,t_{A14}$		0,11	99
10	QREC	$0{,}10\,t_{A1}+0{,}125\,t_{A4}+t_{A9}+0{,}07\,t_{A5}+t_{A6}+$ $+0{,}06\,t_{A7}+0{,}125\,t_{A10}+0{,}15\,t_{A12}+$ $+(0{,}125\,t_{A10}+t_{A11})/2+0{,}5\,t_{A14}$	0,14	0,23	95
12	Stepwise Regr.	$0{,}076\,t_{A1}+0{,}126\,t_{A3}+0{,}094\,t_{A4}+$ $+0{,}080\,t_{A5}+0{,}084\,t_{A6}+0{,}067\,t_{A7}+$ $+0{,}095\,t_{A8}+0{,}077\,t_{A11}+0{,}072\,t_{A12}+$ $+0{,}079\,t_{A13}+0{,}071\,t_{A14}$		0,07	100
12	Hardy és Dubois (1938)	$0{,}07\,t_{A1}+0{,}088\,t_{A4}+t_{A9}+0{,}14\,t_{A6}+$ $+0{,}05\,t_{A7}+0{,}095\,t_{A10}+t_{A11}+$ $+0{,}065\,t_{A12}+t_{A13}+0{,}07\,t_{A14}$	0,06	0,15	98

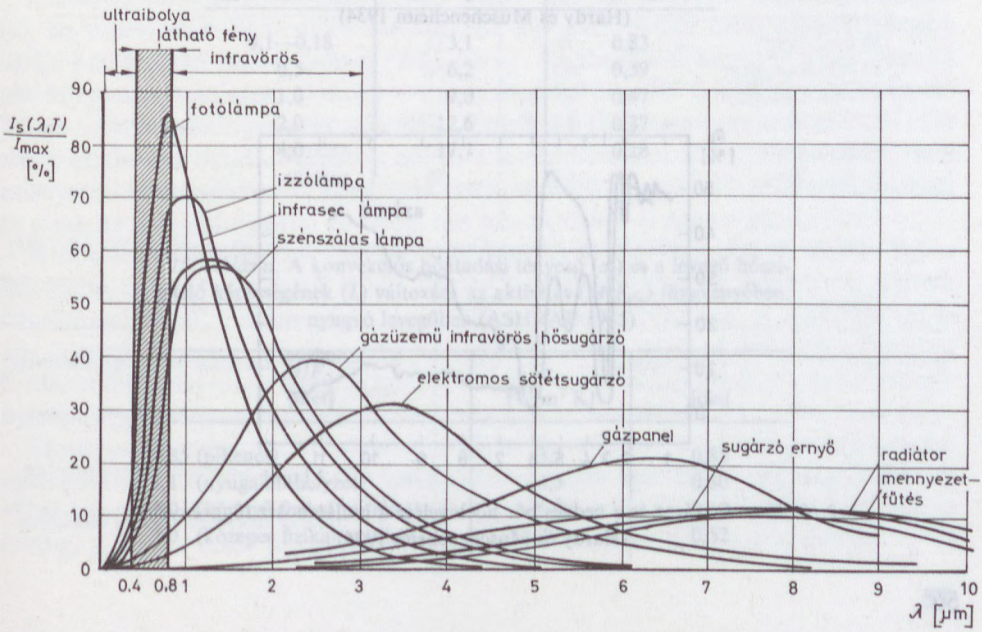
2.4.2.4. A bőr hőmérsékletét befolyásoló néhány fontos adat

A következőkben néhány olyan adatot — főleg diagramot — mutatunk be, amelyek a bőr hőmérsékletének változására vonatkoznak (Stolwijk és Hardy 1965).

A homlokhőmérséklet (t_{ho}) változása látható a légsebesség és léghőmérséklet függvényében a *2.7. ábrán*, Strauss és Schwartz szerint (Bánhidi 1976). A *2.8. ábrán* a műszaki gyakorlatban előforduló sugárzó hőforrások spektrális energiamegoszlása látható.

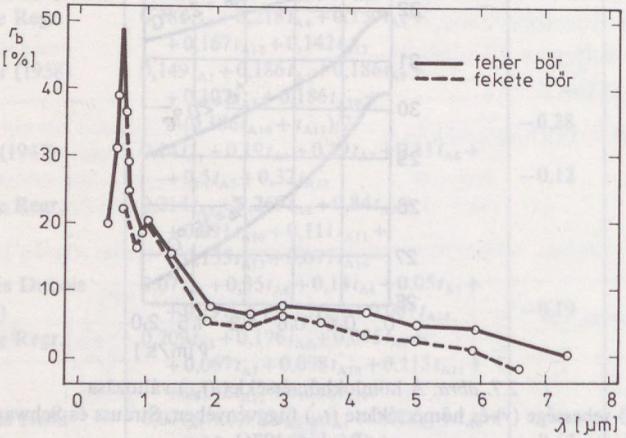


2.7. ábra. A homlokhőmérséklet (t_{ho}) változása a levegő sebessége (v) és hőmérséklete (t_{lb}) függvényében, Strauss és Schwartz szerint (Bánhidi 1976)

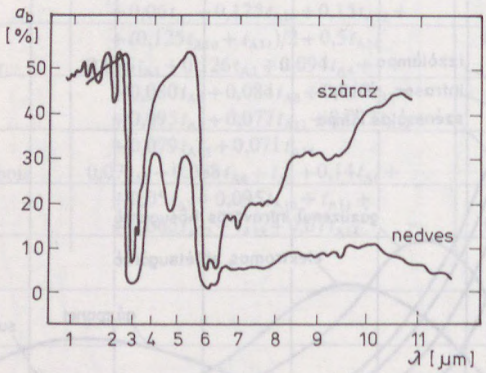


2.8. ábra. Műszaki gyakorlatban előforduló sugárzó hőforrások spektrális megoszlása (Völgyes 1960)

A *2.9. ábrán* a fekete és fehér bőr átlagos sugárzás-visszaverő képessége látható a hullámhossz függvényében, míg a *2.10. ábrán* a száraz és nedves bőr hőelnyelése látható, ugyancsak a hullámhossz függvényében. Mindkét adat Hardy és Muschencheim (1934) nevéhez fűződik. Nem közömbös azonban a bőrt érő sugárzás intenzitása és a besugárzás időtartama sem. Bradtke és Liese (1952) mérései szerint sötét, tehát 1 μm-nél nagyobb hosszúságú sugarak 20 °C hőmérsékleten már 28 W/m^2 intenzitás esetén érezhetők. Ugyanezt a hőérzést infravörös sugárzás esetén $4{,}2—4{,}9 \cdot 10^2$ W/m^2 intenzitás okozza. Bradtke szerint továbbá pl. a sugárzófűtés szempontjából az arcot érő hősugárzás a 35 W/m^2 intenzitást ne haladja meg. Oppel és Hardy (Bánhidi 1976) kísérletei szerint a homlokot érő 1 W/m^2 hőmennyiség-emelkedés a hő érzetét váltja ki, és 3 s alatt a bőrhőmérséklet 0,03 °C-kal nő.



2.9. ábra. A bőr sugárzás-visszaverő képessége a hullámhossz függvényében (Hardy és Muschencheim 1934)



2.10. ábra. A száraz és a nedves bőr hőelnyelése a hullámhossz függvényében (Hardy és Muschencheim 1934)

A különböző sugárzásintenzitások szubjektív hőérzeti reakciójára számos adat található a szakirodalomban. Ebből mutatjuk be Kollmar és Liese (1957) táblázatos értékeit *(2.13. táblázat)*.

E csoportba sorolható a következő két táblázat is (ASHRAE 1985), mivel mindkettő a testfelszín konvektív hőleadási tényezőjének meghatározására szolgál. Mindkét táblázatban I_l a levegő hőszigetelő képességét jelenti:

— a *2.14. táblázat*ban az ülő, nyugalomban lévő ember esetére vonatkozó α_c és I_l adatok láthatók a légsebesség függvényében,
— míg a *2.15. táblázat*ban ugyanezen adatok különböző tevékenységi szintre vonatkoznak.

2.13. táblázat. A hőreakció ideje különböző sugárzási intenzitások esetén (Kollmar és Liese 1957)

Elnyelt hőmennyiség [W/cm²]	Maximális hőmérséklet-növekedés [°C]		Hőérzet
0,1050	10	(2 perc alatt)	Elviselhetetlen fájdalomérzet
0,0150	6	(4—5 perc alatt)	Forróság, égésérzet az arcon
0,0035	3	(6—7 perc alatt)	Melegérzés
0,0012	0,1—0,4	(10—15 perc alatt)	Enyhe melegérzet

2.14. táblázat. A konvekciós hőátadási tényező (α_c) és a levegő hőszigetelő képességének (I_l) változása a légsebesség (v) függvényében (ASHRAE 1985)

v [m/s]	α_c [W/(m²K)]	I_l [clo]
0,1—0,18	3,1	0,83
0,5	6,2	0,59
1,0	9,0	0,47
2,0	12,6	0,37
4,0	17,7	0,28

2.15. táblázat. A konvekciós hőátadási tényező (α_c) és a levegő hőszigetelő képességének (I_l) változása az aktivitás (M/F_{Du}) függvényében, nyugvó levegőben (ASHRAE 1985)

M/F_{Du} [met]	α_c [W(m² K]	I_l [clo]
0,85 (pihenés)	3,1	0,83
1,1 (nyugalmi helyzet)	3,3	0,80
2,0 (könnyű fizikai munka)	6,0	0,60
3,0 (közepes fizikai munka)	7,7	0,52

Ez utóbbi két táblázattal kapcsolatban megjegyezzük, hogy számszerű értékeik meghatározásához a

$$\alpha_c = 5{,}7(\text{met} - 0{,}85)^{0{,}39} \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})] \tag{2.33}$$

és az

$$I_l = \frac{6{,}45}{(4{,}7 + \alpha_c)} \tag{2.34}$$

összefüggéseket alkalmazták (ASHRAE 1985).

Végül két további táblázatot mutatunk be (ASHRAE 1985) a témakörben. A *2.16. táblázat* 1,02 bar nyomás, normál légmozgás melletti konvektív hőátadási tényezőket hasonlítja össze. A *2.17. táblázat* pedig összefüggéseket ad meg α_c számítására a légsebesség függvényében.

2.16. táblázat. 1 atm nyomáson, normál légmozgás mellett kialakuló konvektív hőátadási tényezők összehasonlítása (ASHRAE 1985)

Testhelyzet	α_c [W/(m² °C)]	Ref.	Megjegyzés
Félig fekvő	3,9	23	
Álló	4,8	24	
Ülő	2,1	25	
Álló	4,3	26	
Fekvő	5,2	27	40—45 °C-on
Fekvő	3,4	27	25 °C-on
Álló műember	3,1	28	szabad konvekció 5 °C eltérésre
Álló műember	3,2	29	
Széken ülő	3,1	30	naftalin
Biciklin ülő	3,7	31	
Biciklin ülő	2,3	32	10—50 °C-on
Biciklin ülő	4,1	30	naftalin
50 ford./perc	7,6	33	
48—50 ford./perc	8,2	31	
63—68 ford./perc	9,7	31	
50 ford./perc	4,8	34	
50 ford./perc	5,4	30	naftalin
60 ford./perc	6,0	30	naftalin

2.17. táblázat. Az α_c hőátadási tényező sebességfüggésének számítási összefüggései (ASHRAE 1985)

Egyenlet	Feltétel	Ref.	Megjegyzés
$\alpha_c = 8{,}3\ v^{0{,}6}$	ülő helyzet	35	v a szobalevegő mozgási sebessége hődróttal mérve [m/s]
$\alpha_c = 2{,}7 + 8{,}7\ v^{0{,}67}$	fekvő helyzet	27	hosszirányú légmozgás sebessége hődróttal mérve [m/s]
$\alpha_c = 8{,}6\ v_{fw}^{0{,}53}$	séta	30	v_{fw} a séta sebessége normál szobalevegőben [m/s]
$\alpha_c = 6{,}5\ v_{tw}^{0{,}39}$	járószalag	30	v_{tw} a járószalag sebessége normál szobalevegőben, [m/s]

2.5. Az emberi test és környezete közötti hőcsere szabályozása

Az ember jellemzője többek között — hasonlóan az egyéb gerincesekhez (melegvérűekhez) —, hogy állandó testhőmérséklete van. Az egész test szempontjából azonban nem beszélhetünk azonos állandó hőmérsékletről, mivel a belső szervek hőmérséklete (maghőmérséklet) és a külső testfelületek hőmérséklete között jelentős különbségek vannak. Az állandó hőmérséklet tulajdonképpen a maghőmérsékletre vonatkozik, és normál körülmények között a szervezet ezt az értéket, mégpedig a 37 °C-t igyekszik tartani $\pm 0{,}5$ °C eltéréssel. Mint az előzőekből megállapítható, az emberi testben jelentős mennyiségű hő fejlődik. Ahhoz, hogy a hőtermelés a hőleadással megfelelő egyensúlyban legyen, az emberi testnek megfelelő szabályozó mechanizmusának kell lennie. Fiziológiai megfogalmazás szerint az emberi test hőszabályozási mechanizmusa, amely az állandó testhőmérséklet kialakulását eredményezi, két részre osztható (Hardy 1953, Lebrun és Lecarpentier 1972):

— a hőtermeléssel kapcsolatos ún. kémiai szabályozási folyamatokra és
— a hőleadással kapcsolatos ún. fizikai szabályozási folyamatokra.

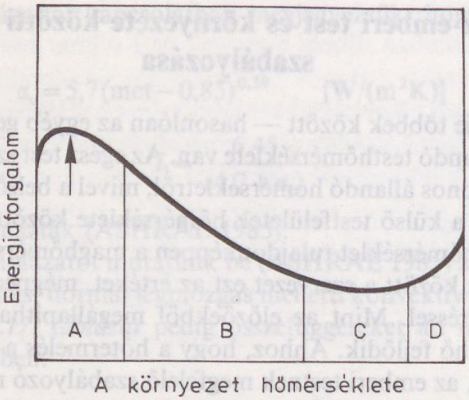
Mindkettő idegi irányítású. Az idegi irányításról röviden csak a következőket jegyezzük meg.

A hőérzés receptorszervei a bőrben lévő hőérző idegvégződések. A receptort érő ingerek az idegpályákon a III. agykamra alsó és oldalsó falában lévő kettős központba kerülnek. A központ egyik része a hűtő-, a másik a fűtőcentrum. Ezek felett még agykérgi vezérlés is van. Hideghatásra ingerületbe jutnak a bőr hőérzékelő idegvégződései, az idegpályákon át az inger eljut a fűtőközpontba, amelyet emellett az alacsony vérhőmérséklet is ingerel. Meleghatásra viszont ugyanilyen módon a hűtőközpontba jut el az inger.

A kémiai hőfokszabályozással kapcsolatban csak Bálint (1975) diagramját mutatjuk be, amely mezítelen ember esetében, az energiaforgalom változásának jellegére utal a hőmérséklet függvényében *(2.11. ábra)*. Az ábrán a C komfort- (vagy fiziológiai kifejezéssel semleges) zónában — amely megfelel 28—30 °C környezeti hőmérsékletnek — az oxigénfogyasztás minimális. Emelkedő (D zóna) vagy csökkenő (B és A zóna) esetben az oxigénfogyasztás nő, de a testhőmérséklet változatlan marad. Ha a környezeti hőmérséklet bizonyos határérték alá csökken (A jelű zóna nyíllal jelzett pontja), az energiaforgalom és vele a test hőmérséklete is rohamosan csökken.

A hőleadás szabályozásában fontos szerepe van a vérkeringésnek. Ha az egyén hűvösebb környezetbe kerül, a test felületi szövetei lehűlnek, a felületi véredények összehúzódásával e felületen csökken az átáramló vér mennyisége. A perifériás bőr és zsír szigetelőképessége nő, így a test hőleadása csökken. Meleg környezetbe jutáskor fordított folyamat megy végbe; a bőr alatti felszínes erek kitágulnak, a teljes vérmennyiség nagy része ezekben az erekben kering, és igyekszik lehűlni.

Semleges környezeti hőmérsékleten a bőrön átáramló vérmennyiség a teljes mennyiségnek csak 8—9%-a. A bőr vérellátása azonban százszoros nagyságrendben is változhat, 15—38 °C környezeti hőmérsékletértékek esetén a változás 0,2—20,0 ml/min (100 g) [$0{,}0033$—$0{,}33 \cdot 10^{-6}$ m^3/s (0,1 kg)] szövetérték-különbséget is elérheti.



2.11. ábra. Az energiaforgalom változása a környezeti hőmérséklet függvényében (Bálint 1976). (C semleges zóna; D semlegesnél magasabb környezeti hőmérséklet; A és B semlegesnél alacsonyabb környezeti hőmérséklet; B—C—D zónákban a testhőmérséklet állandó; a testhőmérséklet csökken, a nyílnak megfelelő helyen a hőtermelés elérte a maximumát)

Az izommunkával kapcsolatos fokozott hőtermelés viszonyai között — mivel legtöbbször a szervezet száraz úton nem tudja a hőegyensúlyhoz szükséges hőenergiát leadni, ugyancsak a verejtékezés a hőleadás döntő tényezője. Így például, ha az oxigénfelvétel a nyugalmi érték ötszörösére növekszik, a teljes hőleadás 75%-a verejtékezéssel megy végbe. Erős izommunka esetén a verejték óránkénti mennyisége elérheti a 2000—3000 ml-t is ($2—3 \cdot 10^{-3}$ m^3), amely 1400—2100 W leadott hőmennyiség értéknek felel meg.

Végül néhány szót kell szólni a hőszabályozással kapcsolatban a testhőmérséklet változásával összefüggő hőtárolás—hőveszteség kalóriaegyenértékről is. Ha egy 70 kg tömegű ember testhőmérséklete 1 °C-kal változik, ez 67 W (óránként $24 \cdot 10^4$ J) hő tárolását, illetve elvesztését jelenti. Ha figyelembe vesszük a nyugalmi hőtermelés 88 W értékét, a test felmelegedése, illetve lehűlése a hőszabályozásnak ugyancsak fontos tényezője.

Fontos kérdés, meddig hűlhet, illetve meddig melegedhet fel a test a szervezet károsodása nélkül?

A testhőmérséklet extrém csökkenése (hypothermia) létrejöhet:

— természetes úton, ha a lehűlés olyan nagyfokú, hogy ezzel a hőtermelés nem tud lépést tartani;
— mesterséges úton, gyógyszeres kezeléssel, amelyet az orvostudomány használ fel.

Az utóbbi hőérzeti szempontból nem jöhet számításba, csak mint érdekességet jegyezzük meg, hogy gyógyszeres adagolással a didergés megszüntetésével sikerült már 9—15 °C testhőmérsékletre lehűteni embert, és azt 60 perc múlva felélesztení.

A természetes úton bekövetkező lehűlés esetén először a didergés jelentkezik (akarattól független izomrángás, az anyagcsere fokozására), amely maximumát 34—35 °C

maghőmérsékleten éri el. További hűtéssel, 30 °C maghőmérséklet elérésekor a remegés (illetve alkalmazkodás) megszűnik, s ezután a testhőmérséklet nagymértékben csökken. A fagyhalál 25—28 °C maghőmérsékleten, légzésbénulás révén következik be.

A testhőmérséklet extrém növekedése (hyperthermia) jön létre, ha magasabb testhőmérsékleten nincs egyensúly a hőtermelés és a hőleadás között (mert a hőleadás akadályozott), az alkalmazkodás megszűnik, tehát a testhőmérséklet folyamatosan emelkedik.

Az emberi test esetében 43 °C a maghőmérséklet felső határa, ameddig — megfelelő kezelés mellett — az ember életben maradhat. További hőmérséklet-emelkedés esetén beáll a hőguta, amikor is a halál oka a perifériális keringés elégtelensége.

3. Az emberi test és környezete közötti hőcserefolyamatok figyelembevételének számítástechnikai eszköztára

Mint a 2.3. alfejezetben már ismertettük; a műszaki gyakorlatban az ember esetében

— sugárzásos,
— konvektív és
— párolgásos

hőleadással számolhatunk, melyből az első kettő egyaránt lehet pozitív és negatív (tehát hőfelvétel és hőleadás), míg a harmadik esetben csak negatív (tehát hőleadás) lehet.

A következőkben ezen folyamatok számítástechnikai eszköztárát tekintjük át. Meg kell jegyeznünk ezzel kapcsolatban: a szakirodalomban kötetekre terjedő anyag található, melyekből röviden csak annyit foglaltunk össze, amennyit e témakörben dolgozó, gyakorló mérnöknek tudnia kell. Aki viszont e kérdésekben mélyebben el kíván mélyedni, az irodalmi hivatkozásokban erre mindenkor talál utalást.

A témát az általánosan alkalmazott

— száraz hőcsere és
— nedves hőleadás

csoportosításban tárgyaljuk.

E fejezetben azonban csak a közvetlen ember—környezet összefüggéseket tárgyaljuk: a műszaki gyakorlatban az épületek zárt tereire vonatkozó közvetlenül használható módszereket, ezek alapelveit (pl. a sugárzásos hőcseréről) a következő fejezet ismerteti.

3.1. Száraz hőcsere

A száraz hőcsere a korábbiakban bemutatott (2.10) összefüggés $S+C$ tényezőire vonatkozik (ASHRAE 1985). Meghatározására felírható, hogy

$$S+C=\alpha_s(t_{cl}-t_{ks})+\alpha_c(t_{cl}-t_{lb}) \quad [W/m^2], \tag{3.1}$$

ahol

t_{cl} a ruházattal borított test átlaghőmérséklete [°C],
t_{ks} a közepes sugárzási hőmérséklet [°C],

t_{lb} a levegő-hőmérséklet [°C],
α_s a sugárzásos hőátadási tényező [W/m^2 K],
α_c a konvekciós hőátadási tényező [W/m^2 K].

Az összefüggés azonban felírható a következő formában is:

$$S+C=\alpha(t_{cl}-t_o) \qquad [W/m^2], \tag{3.2}$$

ahol a t_o operatív hőmérséklet meghatározható a (2.17) összefüggésből, míg az α „összevont" hőátadási tényezőt, az α_s és α_c tényezők közös figyelembevételére használjuk a következő összefüggés segítségével

$$\alpha=\alpha_s+\alpha_c \qquad [W/m^2K]. \tag{3.3}$$

Meghatározható azonban a száraz hőleadás a t_b átlagos hőmérsékletű bőrfelületről a ruházaton át a környezet felé az

$$S+C=\lambda_{cle}(t_b-t_{cl}) \qquad [W/m^2] \tag{3.4}$$

vagy az

$$S+C=\alpha(t_b-t_o)F_{cle} \qquad [W/m^2] \tag{3.5}$$

összefüggésekkel is, ahol

λ_{cle} a ruházat effektív hővezetési tényezője [W/m °C],
F_{cle} a ruházat ún. effektív hőtechnikai tényezője.

Ez utóbbi dimenzió nélküli szám, és az

$$F_{cle}=\frac{\lambda_{cle}}{\alpha+\lambda_{cle}} \tag{3.6}$$

vagy az

$$F_{cle}=\frac{I_l}{I_l+I_{cle}}=\frac{1}{1+I_{cle}/I_l} \tag{3.7}$$

összefüggésekből határozható meg, ahol

I_l a nyugvó levegő hőszigetelő képessége [m^2 °C/W],
I_{cle} a ruházat effektív hőszigetelő képessége [m^2 °C/W].

A ruházat hőszigetelő képességének meghatározásakor még egy számot, az f_{cl}-t is használják, melynek jelentése: a test ruházattal borított felületének növekedése a mezítelen test felületéhez viszonyítva. A ruházat hőszigetelő képességével, mint az emberi test hőcsere szempontjából egyik fontos tényezővel, később részletesebben foglalkozunk a 3.3. alfejezetben.

Ismertek a szakirodalomból egyéb egyszerű összefüggések is, mint pl. Beldingé (1967), aki szerint a sugárzásos hőleadás, félig öltözött emberre, a következő összefüggéssel számítható:

$$S=11(t_w-35) \qquad [W], \tag{3.8}$$

ahol

$$t_w=t_g+0{,}24v^{0.5}(t_g-t_{lb}) \qquad [°C], \tag{3.9}$$

és ebben az összefüggésben t_w tulajdonképpen eredő hőmérsékletnek tekinthető, ahol

t_g a gömbhőmérséklet [°C],
t_{lb} a levegő-hőmérséklet [°C],
v a levegő sebessége [m/s].

A konvekciós hőleadás számítására ugyanezen esetben a

$$C = 1{,}1v^{0{,}6}(t_{lb} - 35) \quad [W] \tag{3.10}$$

összefüggés használható.

Givoni és Berner—Nir (1967) a száraz (sugárzásos és konvekciós) hőcserére, homogén környezetben az

$$S + C = \alpha v^{0{,}3}(t_{lb} - 35) \quad [W] \tag{3.11}$$

összefüggés alkalmazását javasolja, ahol α számszerű értéke:

— félig öltözött ember esetén 15,8,
— könnyű nyári öltözetben 13,0,
— munka- és katonai ruhában 11,6.

Végül röviden foglalkozunk Fangernek a sugárzásos és konvekciós hőcsere meghatározására alkalmazott alapösszefüggéseivel.

Fanger (1982) a sugárzásos hőcsere közvetlen meghatározására — Gagge és mtsai (1964), valamint Stolwijk és Hardy (1965) kutatásai alapján — egy egyszerű összefüggést alkalmaz:

$$S = 3{,}94 \cdot 10^{-8} F_{Du} f_{cl}[(t_{cl} + 273)^4 - (t_{ks} + 273)^4] \quad [W], \tag{3.12}$$

Fanger egyébként a közepes sugárzási hőmérséklet pontos számításával kapcsolatban nem a (2.10) összefüggés alkalmazását javasolja, mert az szerinte a helyiségekben csak a közepes sugárzási hőmérsékletnek viszonylag pontatlan meghatározására alkalmas. A pontos érték számítására a következő elméleti meggondolásokból indul ki.

A kisugárzás (B) meghatározható a

$$B = \varepsilon \sigma T^4 + pH \quad [W/(m^2\ s)] \tag{3.13}$$

összefüggésből, ahol

ε a ruházattal borított test külső felületének emittálóképessége,
$\sigma = 5{,}7 \cdot 10^{-8}$ W/(m^{2}K) a Stefan—Boltzmann-állandó,
p a visszaverődési tényező, szürke test esetében $p = 1 - \varepsilon$,
H a felületegységről időegység alatt visszasugárzott energia.

Írjuk fel az

$$\varepsilon_E \sigma(T_{ks}^4 - T_{cl}^4) = \varepsilon_E[B_1 \Phi_{EF_1} + B_2 \Phi_{EF_2} + \ldots + B_N \Phi_{EF_N}] - \varepsilon_E \sigma T_{cl}^4 \tag{3.13}$$

összefüggést, ahol

ε_E az emberre vonatkozó emittálási tényező,
Φ_{EF_i} a szögtényező vagy besugárzási tényező, Fanger megfogalmazásában, az ember és a meghatározott felület között.

Ez az összefüggés kimondja, hogy sugárzásos hőcsere az embernek egy képzeletbeli fekete környezet és közepes sugárzási hőmérséklet esetén azonosnak kell lennie a N felület által kisugárzott energia abszorbeált hányadával, de ebből levonva az emberi test által kibocsátott sugárzó hőmennyiséget.

A konvektív hőcsere számítására pedig a

$$C = F_{Du} f_{cl} \alpha_c (t_{cl} - t_{lb}) \quad [W] \tag{3.15}$$

összefüggés alkalmazását javasolja.

3.2. Nedves hőleadás

Az emberi test nedves hőleadásával kapcsolatban a következő fogalmakat, erre vonatkozó adatokat, ezek meghatározási módjait szükséges ismerni:

1. teljes párolgásos hőveszteség, jele E,
2. kilégzéses respirációs hőveszteség, jele E_{res},
3. a bőr párolgásos hővesztesége, jele E_b,
4. maximális párolgásos hőveszteség, jele E_{max},
5. diffúziós párolgásos hőveszteség, jele E_{diff},
6. hőszabályozó izzadás, jele E_{rsw}.

Az egyes értékeket a következő módon határozhatjuk meg:

1. *A teljes párolgásos hőveszteség* az

$$E = \left(\frac{60 q_l}{F_{Du}}\right)\left(\frac{\Delta G}{\Delta \tau}\right) \quad [W/m^2] \tag{3.16}$$

összefüggésből számítható (ASHRAE, 1972), ahol

q_l az elpárologtatott nedvesség látens hője 36 °C bőrhőmérsékleten, amely 0,68 W/g értékkel egyenlő,
ΔG a test súlyváltozása [kg],
$\Delta \tau$ a változás időtartama [min].

Ez az összefüggés azonban súlymérési lehetőséget tételez fel. Pusztán számítási lehetőségekre az egyes tényezők bemutatása után még visszatérünk.

2. *A kilégzéssel* (respiráció) *távozó párolgásos hőveszteség* meghatározható a

$$E_{res} = 0{,}173\, m(5{,}87 - p_{dp}) \quad [W/m^2] \tag{3.17}$$

összefüggésből Fanger (1982), ahol p_{dp} a telített gőz nyomása [kPa], a t_{dp} harmatpontú levegőben. A p_{dp} helyett azonban a $\varphi \cdot p_{lt}$ szorzat is alkalmazható, ahol a φ relatív nedvességtartalom és p_{lt} a levegő hőmérsékletének megfelelő telített gőznyomás.

A tüdőbe belélegzett levegő felmelegítésére felhasznált hő pedig a következő összefüggésből számítható:

$$C_{res} = 0{,}0014\, M(34 - t_{lb}) \quad [W/m^2]. \tag{3.18}$$

3. *A bőr párolgásos hőveszteségé*e a két előző mennyiség különbségéből számítható:

$$E_b = E - E_{res} \quad [W/m^2]. \tag{3.19}$$

4. *A bőr evaporatív hőleadásá*nak két szélsőértéke van. Az első, ha a bőrfelületet teljesen beborítja az izzadság (lásd pl. Belding és Hatch 1955, Mecheels és Umbach 1979, Nishi és mtsai 1975, Rapp 1970), amely az

$$E_{max} = 16{,}7\alpha_c(p_{bt} - \varphi p_{lt})F_{pcl} \quad [W/m^2] \tag{3.20}$$

összefüggésből számítható, ahol

16,7 °C/kPa az ún. Lewis-állandó,
p_{bt} a bőr hőmérsékletének megfelelő telített gőznyomás [kPa],
φ a levegő relatív nedvességtartalma.

Az F_{pcl}-t permeabilitási hatásfoknak is nevezik (ASHRAE 1985, Nishi és Ibamoto 1969). Felépítése hasonló a már bemutatott F_{cle} értékéhez, számszerűen pedig a

$$F_{pcl} = \frac{1}{(1 + 0{,}344\alpha_c I_{cle})} \tag{3.21}$$

összefüggésből határozható meg. Ruhátlan ember esetén $F_{pcl} = 0$, és így a (3.20) összefüggés nem alkalmazható.

5. A bőr evaporatív hőleadásának másik szélsőértéke, ha az embernek nincs szabályozott izzadása, csak ún. diffúziós hőleadása, amely az

$$E_{diff} = 0{,}06E_{max} \quad [W/m^2] \tag{3.22}$$

vagy az

$$E_{diff} = (1 - w_{rsw})(0{,}06E_{max}) \quad [W/m^2] \tag{3.23}$$

összefüggésből számítható (Kerslake 1972).

Fontos alapadat, hogy $E_{res} + E_{diff}$ összegét perspiráció inszenzíbilisnek nevezik, és 40—60% relatív nedvességtartalmú levegő esetén összege 21—26%-a az emberi test teljes hőleadásának (lásd korábbiakban a 2.2. alfejezetet).

6. Amennyiben a test felületét „nedvességfilm" borítja, a párolgásos hőleadás e felületről az

$$E_{rsw} = \frac{F_{rsw}}{F_{Du}} E_{max} \quad [W/m^2] \tag{3.24}$$

összefüggéssel számítható, ahol F_{rsw} az izzadsággal borított testfelület. A F_{rsw}/F_{Du} hányadosra a nemzetközi irodalom a w_{rsw} jelölést alkalmazza, így

$$E_{rsw} = w_{rsw} E_{max}. \tag{3.25}$$

A w_{rsw}, a szabályozott izzadás okozta nedvességarány (ASHRAE 1985, Gagge 1937), kifejezhető az E_{rsw}/E_{max} hányadossal is, mint az előző összefüggésből látható, és számszerű értéke 0 és 1 között változik.

A teljes párolgásos hőleadás egy összegzésből határozható meg:

$$E = E_{res} + E_{diff} + E_{rsw}, \tag{3.26}$$

amely kifejezhető az

$$E = E_{res} + (0{,}06 + 0{,}94 w_{rsw}) E_{max} \tag{3.27}$$

összefüggéssel is.

A bőr teljes felületének nedvessége számítására alkalmas a

$$w = 0{,}06 + 0{,}94 w_{rsw} = \frac{E_b}{E_{max}} \tag{3.29}$$

összefüggés is.

Az előzőekből látható, hogy E_{diff} és E_{rsw} — tehát a diffúziós és hőszabályozó izzadás — bőrfelületen nem azonos egy-egy adott időpillanatban, hanem, ha

$$w_{rsw} = 1, \quad \text{akkor} \quad w = 1,$$
$$w_{rsw} = 0, \quad \text{akkor} \quad w = 0{,}06.$$

Más szóval, ha

$$E_{rsw} = E_b = E_{max}, \quad \text{akkor} \quad E_{diff} = 0,$$
$$E_{rsw} = 0, \quad \text{akkor} \quad E_b = E_{diff} = 0{,}06 E_{max}.$$

Meg kell említenünk néhány — hasonlóan a száraz hőleadás számításához — egyszerűbb összefüggést is. Ismét Beldingre és Givonira hivatkozunk.

Belding (1967) és Givoni (1969) szerint

— félig öltözött ember esetében

$$E_{max} = 2{,}0 v^{0{,}6} (42 - v p_{lt}) \quad [W] \tag{3.29}$$

összefüggés alkalmazható,

— könnyű öltözet esetén pedig

$$E_{max} = 1{,}33 v^{0{,}6} (42 - v p_{lt}) \quad [W]. \tag{3.30}$$

Givoni és Berner-Nir (1967) szerint

$$E_{max} = P v^{0{,}6} (42 - v p_{lt}) \quad [W] \tag{3.31}$$

összefüggés alkalmazható, ahol P egy állandó, amelynek számszerű értékei:

— félig öltözött ember esetében	31,6,
— könnyű öltözet esetében	20,5,
— munka- vagy katonai ruházat esetében	13,0.

3.3. A ruházat hőszigetelő képességéről

A ruházat hőszigetelő képességének meghatározására az ún. „clo" egységet használják (ASHRAE 1985):

$$1 \text{ clo} = 0{,}155 \text{ m}^2 \text{ °C/W}.$$

Ezen értéket behelyettesítve a (3.7) összefüggésbe azt kapjuk, hogy

$$F_{cle} = \frac{1}{(1+0{,}155\alpha I_{cle})}. \tag{3.32}$$

3.1. táblázat. Egyes ruhadarabok „clo" értékei (I_{cli} értékei) (ASHRAE 1985)

Férfiak		Nők	
ruhadarab	I_{cli} [clo]	ruhadarab	I_{cli} [clo]
Alsónemű			
Atlétatrikó	0,06	Melltartó és alsó	0,05
Poló	0,09	Rövid kombiné	0,13
Alsónadrág	0,05	Hosszú kombiné	0,19
Hosszú ujjú meleg trikó	0,35	Hosszú ujjú meleg trikó	0,35
Hosszú meleg alsó	0,35	Hosszú meleg alsó	0,35
Felsőruházat			
Ing		Blúz	
könnyű, rövid ujjú	0,14	könnyű	0,20
hosszú ujjú	0,22	vastag	0,29
vastag, rövid ujjú	0,25		
hosszú ujjú	0,29	Ruha	
(Nyakkendő vagy magas nyakú ing esetén +5%)		könnyű	0,26
		vastag	0,70
Mellény		Szoknya	
könnyű	0,15	könnyű	0,10
vastag	0,29	vastag	0,22
Nadrág		Pantalló	
könnyű	0,26	könnyű	0,26
vastag	0,32	vastag	0,32
Pulóver		Pulóver	
könnyű	0,20	könnyű	0,17
vastag	0,37	vastag	0,37
Zakó		Blézer	
könnyű	0,22	könnyű	0,17
vastag	0,49	vastag	0,37
Lábbeli			
Zoknifélék		Harisnyafélék	
bokazokni	0,04	harisnya	0,01
térdzokni	0,10	harisnyanadrág	0,01
Cipők		Cipők	
szandál	0,02	szandál	0,02
félcipő	0,04	félcipő	0,04
csizma	0,08	csizma	0,08

A teljes ruházat valódi hőszigetelésének számítása:

$I_{cl} = 0{,}82 \cdot$ (ruhadarabok egyedi „clo" értékeinek összege)

Ismét felírva a (3.1) összefüggést, az

$$S+C=f_{cl}\alpha(t_b-t_o)F_{cl} \tag{3.33}$$

formát kapjuk, ahol

F_{cl} a ruházat valódi, hőtechnikai sajátosságára mutató tényezője, a ruházat valódi hőszigetelő képességét (jele: I_{cl}) figyelembe véve.

Így

$$F_{cl}=\frac{1}{(1+0{,}155f_{cl}\alpha I_{cl})}. \tag{3.34}$$

Az f_{cl}, I_{cl} és I_{cle} összefüggésére a következő egyenletek alkalmazhatók (McNall és mtsai 1968):

$$f_{cl}=1+0{,}25I_{cl} \tag{3.35}$$

vagy

$$f_{cl}=1+0{,}3I_{cle}. \tag{3.36}$$

3.2. táblázat. Női ruházatok adatai, nyugalmi (ülő) testhelyzetben (ASHRAE 1981)

Ruházat (cipővel együtt)	I_{cli} [clo]	I_{cle} [clo]	I_{cl} [clo]	f_{cl}	F_{cle}	F_{cl}
Vékony ruha, harisnyanadrág, alsónemű (melltartó, bugyi)	0,27	0,18	0,21	1,04	0,82	0,79
Vékony ruha, harisnyanadrág, alsónemű r. u. pulóver	0,44	0,26	0,30	1,07	0,73	0,69
Vékony nadrág, harisnyanadrág, alsónemű, r. u. pulóver	0,53	0,31	0,36	1,07	0,73	0,69
Vastag ruha, harisnyanadrág, alsónemű	0,73	0,42	0,49	1,10	0,67	0,61
Vastag ruha, harisnyanadrág, alsónemű, hosszú kombiné	0,92	0,52	0,60	1,12	0,62	0,56
Vastag szoknya, harisnyanadrág, alsónemű, meleg h. u. blúz	0,61	0,35	0,41	1,08	0,71	0,65
Vastag szoknya, harisnyanadrág, alsónemű, meleg h. u. pulóver	0,69	0,40	0,46	1,09	0,68	0,63
Vastag szoknya, harisnyanadrág, alsónemű, meleg h. u. pulóver, rövid kombiné, harisnyatartó	0,85	0,48	0,56	1,11	0,64	0,57
Vastag szoknya, harisnyanadrág, alsónemű, meleg h. u. pulóver, meleg h. u. blúz	0,98	0,55	0,64	1,13	0,60	0,54
Meleg nadrág, harisnyanadrág, alsónemű, meleg h. u. blúz	0,83	0,47	0,55	1,11	0,64	0,58
Meleg nadrág, harisnyanadrág, alsónemű, meleg h. u. blúz, meleg h. u. pulóver	1,20	0,66	0,77	1,15	0,56	0,49
Meleg nadrág, harisnyanadrág, alsónemű, meleg h. u. pulóver	0,91	0,51	0,59	1,12	0,62	0,56

3.3. táblázat. Férfiruházatok adtai, nyugalmi (ülő) testhelyzetben (ASHRAE 1985)

Ruházat (cipővel együtt)	I_{cli} [clo]	I_{cle} [clo]	I_{cl} [clo]	f_{cl}	F_{cle}	F_{cl}
Vékony alsónemű, szövött r. u. ing, vékony nadrág	0,57	0,36	0,42	1,08	0,70	0,65
Vékony alsónemű, trikó, szövött r. u. ing, vékony nadrág	0,63	0,39	0,45	1,09	0,68	0,63
Vékony alsónemű, r. u. polóing, vékony nadrág	0,66	0,40	0,46	1,09	0,68	0,63
Vastag alsónemű, szövött r. u. ing, vékony nadrág	0,58	0,36	0,42	1,08	0,70	0,65
Vékony alsónemű, r. u. ingpulóver, vékony nadrág	0,79	0,47	0,55	1,11	0,64	0,58
Vékony alsónemű, r. u. meleg ingpulóver, vékony nadrág	0,82	0,48	0,56	1,11	0,64	0,57
Vékony alsónemű, trikó, szövött h. u. ing, vékony nadrág	0,73	0,44	0,51	1,10	0,66	0,60
Vékony alsónemű, trikó, szövött h. u. ing, vékony nadrág, meleg zakó	1,12	0,63	0,73	1,15	0,57	0,50
Vékony alsónemű, trikó, szövött h. u. ing, vékony nadrág, meleg pulóver	1,00	0,57	0,66	1,13	0,60	0,53
Vékony alsónemű, vékony nadrág	0,38	0,27	0,31	1,06	0,76	0,72
Vékony alsónemű, szövött r. u. ing meleg nadrág	0,63	0,39	0,45	1,09	0,68	0,63
Vékony alsónemű, trikó, szövött r. u. ing vastag nadrág, meleg zakó	1,18	0,66	0,77	1,15	0,56	0,49

A ruházat hőszigetelő képességének meghatározására táblázatok állnak rendelkezésre s ezekből hármat mutatunk be (*3.1., 3.2.* és *3.3. táblázat*ok). Ezzel kapcsolatban egy új fogalmat és egy új összefüggést kell megismernünk:

a) I_{cli} az egyes ruhadarabok valóságos szigetelési értéke; összefüggése az I_{cle}-vel kifejezhető a következő módon:

$$I_{cle} = 0{,}524 \sum_i I_{cli} + 0{,}056. \tag{3.37}$$

b) Az I_{cl} és I_{cle} értékek közötti összefüggés:

$$I_{cl} - I_{cle} = \frac{(f_{cl} - 1)}{(0{,}155 f_{cl} \alpha)}, \tag{3.38}$$

a 0,05 és 0,2 m/s közötti légsebesség-tartományra pedig az

$$I_{cl} = 1{,}16 I_{cle} \tag{3.39}$$

összefüggést alkalmazhatjuk.

A 3.1. táblázat egyes női és férfi ruhadarabok I_{cli} értékeit mutatja be, azzal a megjegyzéssel, hogy ezekből az értékekből a teljes ruházatra vonatkozó clo érték a

$$I_{cl}[\text{clo}] = 0{,}82 \cdot (\Sigma \text{ egyes clo értékek}) \tag{3.40}$$

összefüggéssel határozható meg.

3.4. táblázat. A különböző ruházatra vonatkozó clo értékek (Fanger 1982)

Ruházat	I_{cl} [clo]
Mezítelen	0
Short	0,1
Tipikus trópusi ruházat: short, nyitott nyakú ing rövid ujjal, könnyű zokni és szandál	0,3—0,4
Könnyű nyári ruházat: hosszú szárú nadrág könnyű anyagból, nyitott nyakú ing, rövid ujjak	0,5
Könnyű munkaruha: short, gyapjúzokni, pamut munkaing és munkanadrág	0,6
Tipikus üzletember-ruházat	1,0
Tipikus üzletember-ruházat + pamutkabát	1,5
Nehéz tradicionális európai üzletember-ruházat: pamut alsónemű hosszú ujjakkal és szárral, ing, gyapjúzokni, cipő, öltöny, beleértve nadrágot, kabátot és mellényt	1,5
Könnyű sportöltözet: pamuting, nadrág, short, zokni, cipő és szimpla orkánkabát	0,9
Nehéz téli öltözet, ing hideg területeken (sarkvidék)	3—4

A 3.2. táblázat a női és a 3.3. táblázat a férfiruházat nyugalmi állapotra vonatkozó értékeit mutatja be. Az egyes számszerű adatokat a következő táblázatokból és összefüggésekből határozták meg:

— I_{cli} a 3.1. táblázat segítségével,
— I_{cle} a (3.37),
— I_{cl} a (3.38),
— f_{cl} a (3.35) vagy (3.36),
— F_{cle} a (3.32),
— F_{cl} a (3.34),
— F_{pcl} a (3.21) összefüggés segítségével.

Végül a *3.4. táblázat*ban a legáltalánosabban ismert, ún. Fanger-féle értékeket mutatjuk be. Ezzel kapcsolatban két adatra hívjuk fel a figyelmet:

— az ún. nyári ruházat esetében 0,5—0,6 clo;
— az ún. „téli normál öltönyös" ruházat esetében 1,0 clo

értékkel számol a szakirodalom. Ezeket használhatjuk mi is a hazai számításaink során, illetve hazai adatok találhatók Bánhidi és mtsai (1981) publikációjában. További, e témába vágó idegen nyelvű publikációk például: Holmer és Elnäs (1981), Micheels és Umbach (1979), Munson (1981), Rohles (1978), Rohles és mtsai (1981).

4. Az ember és az épület közötti hőcsere energetikai szempontjai és figyelembevétele

Ember és környezete közötti hőcsereviszonyokról, illetve ezek számítási lehetőségeiről a 3. fejezetben már beszéltünk. Az ott ismertetettek azonban az általános, minden esetre alkalmazott módszerekre vonatkoztak, amikor is az ember, annak hőfejlődése, hőleadása volt a kiindulási alap.

Az általános alapelvek gyakorlati alkalmazásának azonban mindenkor vannak speciális esetei. Ilyennek tekinthetők a hőcsereviszonyok számítására a következőkben ismertetésre kerülő megoldások, amikor is az embert környező teret egy épület határolja, a maga sajátságos geometriai, fizikai, hőtechnikai adottságaival. Az épület hőtechnikai viselkedésének ismerete tehát feltétlenül fontos és szükséges (Bánhidi 1976, Hygge 1985).

Ezen ismeretek azonban két csoportra oszthatók:

— Első esetben az épület és külső környezete közötti hőcsereviszonyokról beszélhetünk, amelyek magukban foglalják az épületek alapvető, ún. épületfizikai tulajdonságait, éppen úgy, mint az épület hőveszteségét, hőnyereségét, napsugárzásterhelését stb. Ezekkel a kérdésekkel a II. részben, egy teljesen önálló fejezetben találkozunk.

— A második esetben az épülethatároló szerkezetek belső síkját tekintjük az ember és környezete közötti hőcsere külső határának, az általuk lehatárolt tér paraméterei tekinthetők az adott esetben peremfeltételeknek. A klasszikus hőkomfortméretezés módszerei az utóbbi feltételrendszerrel, annak hőtechnikai törvényszerűségeivel foglalkoznak.

Ahhoz azonban, hogy az emberi tartózkodásra megfelelő teret tudjunk kialakítani, mindkét rész ismerete szükséges, bár az eddigi gyakorlatban az épület—külső tér kapcsolat elsősorban az építész, a belső tér—ember kapcsolat méretezése hőtechnikai szempontból az épületgépész feladatát képezte. Egy, az ember szempontjából és hőtechnikai, energiagazdálkodási szempontból egyaránt megfelelő épület tervezéséhez, kivitelezéséhez és üzemeltetéséhez mind az építész, mind az épületgépész szakembereknek mindkét kapcsolatrendszert ismerniük kell.

Mivel az ember és az épület határoló szerkezete belső síkjai által lehatárolt tér közötti hőcsereviszonyok közül a sugárzásos hőcsere a legfontosabb — egyben ez befolyásolja legnagyobb arányban (42—44%) az emberi test hőleadását — ezért

ebben a fejezetben elsősorban ezekkel a hőtechnikai számítási folyamatokkal foglalkozunk. Bemutatjuk azonban a konvektív hőleadás ilyen szempontból fontos összefüggéseit is. E hőcsere-összefüggések, módszerek „klasszikusnak" tekinthetők, de összegzésük, rövid áttekintésük szükséges.

4.1. Alaptörvények

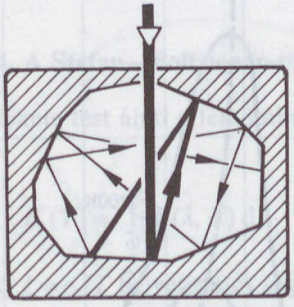
A különböző anyagok a hősugárzással szemben eltérően viselkednek. A jelenségek egységes tárgyalása érdekében egy idealizált test, az ún. abszolút fekete test ($a=1$) fogalmát alkalmazhatjuk. A fekete testre felállított törvényszerűségeket, megfelelő korrekcióval, a természetben előforduló valóságos testek ($1>a>0$) esetében is felhasználjuk.

4.1.1. A fekete test sugárzása

4.1.1.1. Az abszolút fekete test gyakorlati megvalósítása

Az abszolút fekete test a ráeső sugárzást teljesen elnyeli, ugyanakkor az emisszióképessége is a legnagyobb, vagy $\varepsilon=1$.

A természetben fellelhető testek közül a zúzmara a „legfeketébb test". Emissziós tényezője: $\varepsilon=0{,}985$. Ennél nagyobb feketeségi fok érhető el olyan zárt burokkal, amelynek sugárzást át nem engedő falait egyenletes hőmérsékleten tartjuk, és amelyen



4.1. ábra. Az abszolút fekete test modellje (Macskásy és Bánhidi 1985)

a burok felületéhez képest elhanyagolhatóan kis nyílást vágunk *(4.1. ábra)*. A nyíláson bejutó és a burok falain többszörösen visszaverődő sugárzás a falak elnyelő képessége miatt haladványszerűen gyöngül, illetve oly mértékben elnyelődik, hogy a bejutott sugárzásból a nyíláson át visszaverődő rész elhanyagolható. Így a burkon vágott nyílás a fekete test szerepét tölti be, mivel a beeső sugárzást teljesen elnyeli.

A később bemutatott Kirchoff-törvény alapján külön bizonyítás nélkül is következik, hogy a nyíláson át kilépő sugárzás csak fekete sugárzás lehet.

4.1.1.2. A Planck-törvény

A fekete test sugárzásának értékét a test hőmérséklete egyértelműen meghatározza. A sugárzás intenzitása (I_s) azonban a hullámhossz függvényébe Planck alábbi összefüggése szerint változik:

$$I_s(\lambda, T) = \frac{c_1}{\lambda^5 (e^{c_2/T} - 1)} \quad [\mathrm{W/m^2}]. \tag{4.1}$$

Ebben az állandókat a

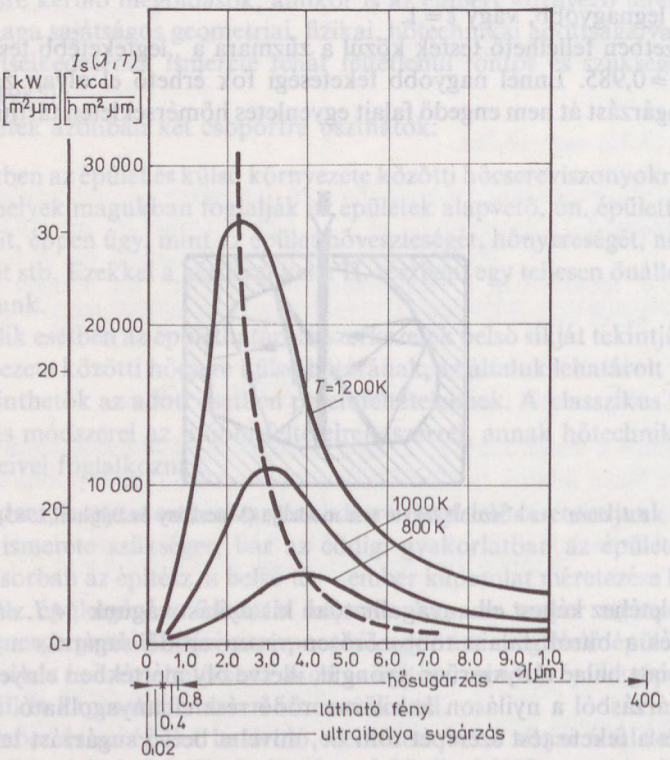
$$c_1 = 2\pi c^2 h \tag{4.1a}$$

és

$$c_2 = \frac{ch}{k} \tag{4.1b}$$

összefüggések adják meg, ahol c a fénysebesség vákuumban, h a Planck-féle hatáskvantum, k a Boltzmann-állandó, míg az s index az abszolút fekete testet jelöli. Az állandók számszerű értéke:

$$c_1 = 3{,}73 \cdot 10^{-16} \quad \mathrm{W/m^2},$$
$$c_2 = 1{,}44 \cdot 10^{-2} \quad \mathrm{m\,K}.$$



4.2. ábra. A sugárzás intenzitásának alakulása a fűtési gyakorlatban fontos hullámhossztartományban (Macskásy és Bánhidi 1985)

A sugárzás intenzitásának alakulását a fűtési gyakorlatban fontos hullámhossztartományban és néhány T értékre a (4.1) összefüggés szerint a *4.2. ábra* mutatja be.

Valamely λ és $\lambda+\mathrm{d}\lambda$ hullámhosszúságok által határolt elemi hullámhossztartományban a felületegységről időegységben kisugárzott elemi energiát a

$$\mathrm{d}E_s(\lambda, T)=I_s(\lambda, T)\mathrm{d}\lambda \quad [\mathrm{W/m^2}] \tag{4.2}$$

összefüggéssel fejezhetjük ki.

4.1.1.3. A Wien-törvény

A Planck-féle összefüggés szerint a különböző hőmérsékletű fekete testek különböző hullámhosszértéknél adják a sugárzás maximális intenzitását (lásd a 4.2. ábrát). A maximális intenzitáshoz tartozó hullámhossz (λ_{max}) a

$$\frac{\mathrm{d}I_s(\lambda, T)}{\mathrm{d}\lambda}=0 \tag{4.3}$$

egyenlettel határozható meg. A művelet elvégzése után a

$$\lambda_{max}=\frac{2896}{T} \quad [\mu\mathrm{m}] \tag{4.4}$$

egyszerű összefüggést kapjuk. Eszerint a test hőmérsékletének csökkenésével a kisugárzott energia maximuma a nagyobb hullámhosszak felé tolódik el.

A 4.2. ábrán a maximumok helyét a szaggatott vonal és a $T=$áll. görbék metszéspontja adja meg.

4.1.1.4. A Stefan—Boltzmann-törvény

Valamely T hőmérsékletű fekete test által a félgömbtérbe kisugárzott összes energiát az

$$E_s(T)=\int_0^\infty I_s(\lambda, T)\,\mathrm{d}\lambda \tag{4.5}$$

integrál megoldásával kapjuk, $\xi=c_2/T$ helyettesítés segítségével az

$$E_s(T)=\frac{6{,}494\,c_1}{c_2^4}=\sigma T^4 \quad [\mathrm{W/m^2}] \tag{4.6}$$

összefüggést kapjuk.

A törvényt a gyakorlatban az

$$E_s=C_s\left(\frac{T}{100}\right)^4 \quad [\mathrm{W/m^2}] \tag{4.7}$$

alakban használjuk, ahol

$C_s=10^8\cdot\sigma=5{,}78\ \mathrm{W/(m^2\,K^4)}$ a fekete test sugárzási együtthatója.

4.1.1.5. A Lambert-törvények

A Lambert-féle távolsági törvény azt fejezi ki, hogy egy pont alakú forrásból a koncentrikusan elhelyezkedő gömbfelületek egységnyi felületére kisugárzott energia a távolság négyzetével fordítottan arányos.

A Lambert-féle koszinusztétel szerint a sugárzó felületről a normálishoz β szög alatt és a merőleges irányban kisugárzott energiák között *(4.3. ábra)* az

$$E_\beta = E_n \cos\beta \qquad [\mathrm{W/(m^2 sr)}] \tag{4.8}$$

összefüggés áll fenn. A kisugárzott energiát célszerűen a térszögegységre vonatkoztatjuk.

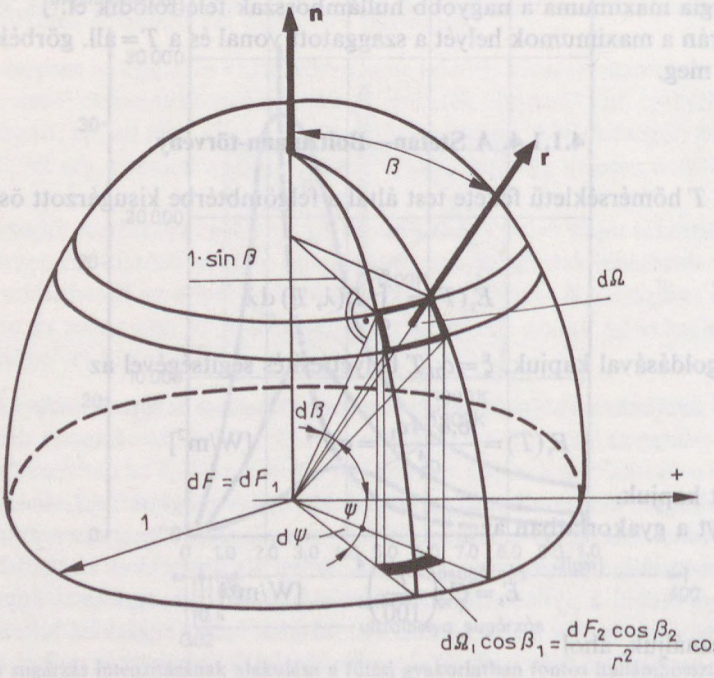
E tétel segítségével összefüggést nyerhetünk a félgömbtérségbe kisugárzott összes energia és a csak merőleges irányban kisugárzott energia között is.

A (4.8) összefüggés a felületegységről a β beesési szög irányában a térszögegységbe emittált sugárzást adja. Így a felületegységről a $\mathrm{d}\Omega$ térszögbe eső rész:

$$\mathrm{d}^2 E_\beta = E_n \cos\beta \, \mathrm{d}\Omega \qquad [\mathrm{W/m^2}]. \tag{4.9}$$

A 4.3. ábráról látható, hogy az egységsugarú gömbön

$$\mathrm{d}\Omega = \sin\beta \, \mathrm{d}\beta \mathrm{d}\psi,$$



4.3. ábra. A Lambert-féle koszinusztörvény magyarázata (Macskásy és Bánhidi 1985)

és így

$$d^2E_\beta = E_n \cos\beta \sin\beta \, d\beta d\psi, \tag{4.10}$$

illetve a félgömbtérségbe kisugárzott összes energia:

$$E_s = E_n \int_{\psi=0}^{2\pi} d\psi \int_{\beta=0}^{\pi/2} \sin\beta \cos\beta \, d\beta = E_n \pi. \tag{4.11}$$

A felületegységről a térszögegységbe csak a merőleges irányba kisugárzott energia ezzel:

$$E_n = \frac{E_s}{\pi} \quad [W/m^2]. \tag{4.12}$$

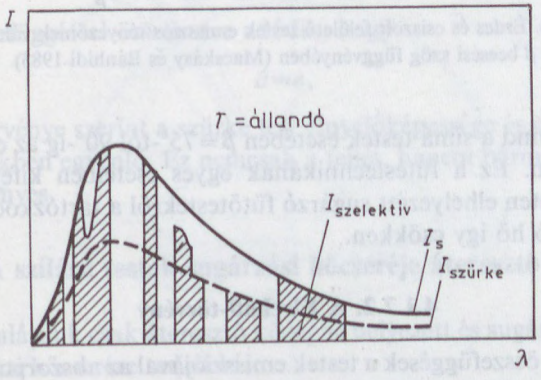
4.1.2. A valóságos testek sugárzása

A Planck által leírt eloszlási törvény minden hőmérsékletre és hullámhosszra a maximálisan kisugárzott energiát adja. Ennél nagyobb energiát sem az egyes hullámhosszakon, sem az egyes hullámhossztartományokon a test kibocsátani nem tud.

A valóságban előfordulnak olyan testek, amelyek minden hullámhosszúságon és hőmérsékleten a fekete test által kisugárzott energia azonos hányadát emittálják *(4.4. ábra)*. Ezeket szürke testeknek hívjuk.

Vannak viszont olyan anyagok is, amelyek nem minden hullámhosszon sugároznak, viszont egyes tartományokban elérhetik a fekete test sugárzását. Az ilyen testek sugárzását szelektívnek nevezzük. Idetartoznak az elektromos vezetők, továbbá a gázok.

A fűtéstechnikában előforduló szilárd testek sugárzását igen jó közelítéssel „szürkének" foghatjuk fel.



4.4. ábra. Szürke testek, amelyek a fekete test által kisugárzott energia azonos hányadát emittálják (Macskásy és Bánhidi 1985)

4.1.2.1. A fekete testre vonatkozó törvények alkalmazása szürke testre

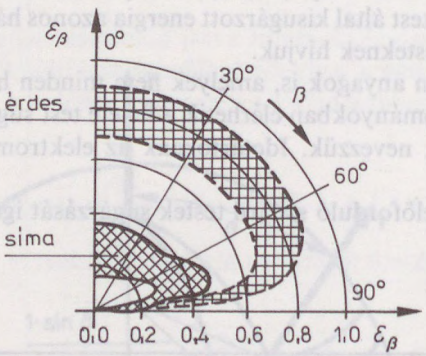
A szürke test emisszióját (E) az előzőek szerint úgy foghatjuk fel, mint az azonos hőmérsékletű fekete test sugárzásának hullámhosszaktól független konstans hányadát. Ezt a hányadot az

$$\varepsilon = \frac{E}{E_s} = \frac{C\left(\frac{T}{100}\right)^4}{C_s\left(\frac{T}{100}\right)^4} = \frac{C}{C_s} \tag{4.13}$$

összefüggésből kapjuk, és emissziós tényezőnek vagy relatív emisszióképességnek nevezzük; míg az emittált energiát pedig a szürke test emisszióképességének, röviden emissziónak. Az ε tényezőt kísérleti úton határozzák meg.

A valóságos testek sugárzásának a különböző beesési szögek szerinti megoszlását a Lambert-féle koszinusztörvény nem teljesen pontosan írja le. Ezekre az emissziós tényező az egyes irányokba mutatkozó tényezők átlaga.

A *4.5. ábra* érdes és csiszolt felületű testek emissziós tényezőjének változását mutatja a β beesési szög függvényében. Érdes testekre: $\varepsilon \cong \varepsilon_{\beta=0}$; sima testekre viszont: $\varepsilon = 1{,}2 \cdot \varepsilon_{\beta=0}$.



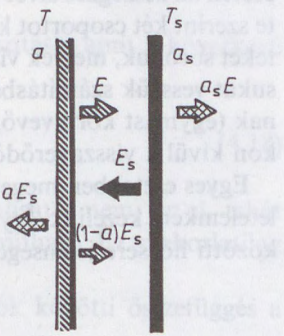
4.5. ábra. Érdes és csiszolt felületű testek emissziós tényezőinek változása a β beesési szög függvényében (Macskásy és Bánhidi 1985)

Mind az érdes, mind a sima testek esetében $\beta = 75°$-tól 90°-ig az emissziós tényező rohamosan csökken. Ez a fűtéstechnikának egyes eseteiben kifejezetten előnyös. Például a mennyezeten elhelyezett sugárzó fűtőtestekről a tartózkodási téren kívülre (ablakokra) sugárzó hő így csökken.

4.1.2.2. A Kirchoff-törvény

Az eddig tárgyalt összefüggések a testek emissziójával az abszorpciójával kapcsolatos jelenségeket egymástól elkülönítve írják le. Kirchoff törvénye az ezek közötti viszonyt tárja fel.

A törvényszerűség leírása és levezetése érdekében egy-egy végtelen nagy síkfelületű abszolút fekete és szürke testet egymáshoz olyan közel képzeljük, hogy azok csak egymást sugározzák be a *4.6. ábra* szerint. Az abszolút fekete test E_s sugárzásától a szürke test aE_s részt elnyel és $(1-a)E_s$ részt visszaver, tehát a szürke test valóságos sugárzása: $E+(1-a)E_s$. Ezt az abszolút fekete test teljesen elnyeli.



4.6. ábra. A Kirchhoff-törvény magyarázata, egy-egy végtelen nagy síkfelületű, szürke és abszolút fekete testre vonatkozóan (Macskásy és Bánhidi 1985)

Ha $T=T_s$, akkor a hőcsere értéke mind a fekete testre, mind a szürke testre:

$$Q=E-aE_s=0, \tag{4.14}$$

mivel a termodinamika II. főtétele szerint azonos hőmérsékletű rendszerben hőáramlás nem jöhet létre, s így a hőcsere értéke nulla. A (4.14) összefüggésből:

$$E=aE_s. \tag{4.14a}$$

Ebből a Stefan—Boltzmann-összefüggés felhasználásával kapjuk, hogy

$$C\left(\frac{T}{100}\right)^4=aC_s\left(\frac{T}{100}\right)^4, \tag{4.14b}$$

egyszerűsítés után:

$$a=\frac{C}{C_s}. \tag{4.14c}$$

Ezt a (4.13) összefüggéssel összevetve adódik, hogy

$$a=\varepsilon, \tag{4.15}$$

azaz Kirchoff törvénye szerint a szürke test elnyelőképessége és a relatív emissziókészsége számértékben egyenlő. Ez nemcsak a teljes, hanem bármely hullámhossztartományra is érvényes.

4.1.3. A szilárd testek sugárzási hőcseréje áteresztő közegben

További tárgyalásunk csak áteresztő közegbe helyezett és sugárzást át nem engedő szilárd testek közti hőcserére terjed ki.

Fűtéstechnikai vonatkozásban a sugárzó testek felületei között többnyire levegő van, amely a szokásos tisztaságával (1—5 mg/m^3 porszennyeződése, 60%-ig terje-

dő relatív nedvessége és csekély szén-dioxid-koncentrációja miatt) áteresztő közegnek tekinthető. Egyes munkahelyeken előfordulhat a levegő olyan mérvű szennyeződése (öntöde, kovácsműhely, hengerde, festőde stb.), hogy ennek hatásával is számolni kell.

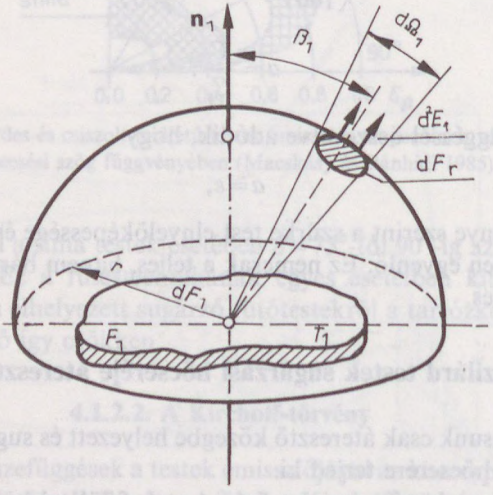
Az egyszerűség kedvéért a hőcserét csak két felület között vizsgáljuk; több test esetén az összegzés elvét alkalmazhatjuk. E két felület egymáshoz viszonyított helyzete szerint két csoportot különböztethetünk meg. Egyikbe az általános helyzetű felületeket soroljuk, melyek visszavert sugárzását elhanyagoljuk, azaz csak a saját sugárzásukat vesszük számításba. A másik csoportba a különleges helyzetű felületek tartoznak (egymást körülvevő, vagy párhuzamos nagy felületek), amikor saját sugárzásukon kívül a visszaverődő és egymást újból érő sugárzást is figyelembe vesszük.

Egyes esetekben megengedhető egyszerűsítés, ha a jelentősen kisebb felületet felületelemként kezeljük. Így a gyakorlatban mind a felületelem és felület, mind e felületek közötti hőcsere jelenségével találkozhatunk.

4.2. Sugárzásos hőcsere két általános, illetve tetszőleges helyzetű síkfelület között

A két tetszőleges helyzetű síkfelület közötti sugárzásos hőcsere számítási módszerének ismertetésekor a *4.7. ábrán* bemutatott két tetszőleges helyzetű test közötti sugárzásos hőcsere általános értelmezéséből kell kiindulni. Ennek értelmében a dF_1 felületelem által az $\mathbf{n}_1$ normálishoz képest β_1 szögben időegység alatt kisugárzott energiának a

$$d\Omega_1 = \frac{dF_r}{r^2} \tag{4.16}$$



4.7. ábra. Két tetszőleges helyzetű test közötti sugárzásos hőcsere általános értelmezése (Macskásy és Bánhidi 1985)

térszögbe eső részét másodrendűen végtelen kicsiként kezelhetjük, és d^2E_1-gyel jelöljük. Az összefüggésben r a felület köré elhelyezett félgömb sugara, F_r a félgömb felületének egységnyi része. Az egységnyi felületről időegység alatt β_1 szögben kisugárzott és az

$$\Omega = \frac{F_r}{r^2} = 1 \tag{4.17}$$

egységnyi térszögbe eső energiamennyiség a sugárzás intenzitása, amit a következő összefüggéssel határozunk meg:

$$E_1\beta_1 = \frac{d^2E_1}{dF_1 d\Omega_1} \quad [W/(m^2 sr)]. \tag{4.18}$$

Amennyiben a sugárzás iránya a sugárzó felület normálisától nem tér el, tehát $\beta_1 = 0$, akkor az egységnyi térszögbe kisugárzott energia számítható. Ez gyakorlatilag a normális irányában vett sugárintenzitás (E_{1n}).

A normális és a különböző irányú sugárzási intenzitások közötti összefüggés a Lambert-féle koszinusztörvény alapján határozható meg:

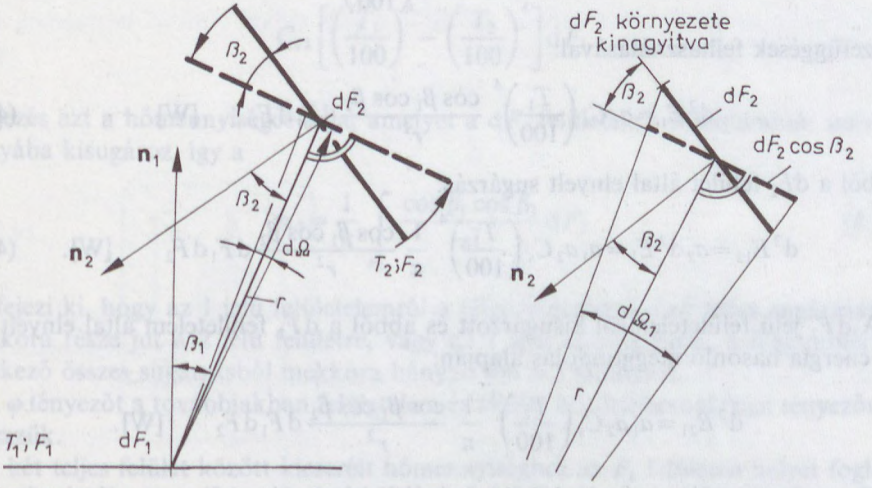
$$E_1\beta_1 = E_{1n}\cos\beta_1. \tag{4.19}$$

Az F_1 felületű test egységnyi felületéről időegység alatt a félgömbtér minden irányában kisugárzott energia (E_1) a következő egyenlettel fejezhető ki:

$$E_1 = \pi E_{1n} \quad [W/m^2]. \tag{4.20}$$

A Stefan—Boltzmann-törvény értelmében viszont

$$E_1 = C_1\left(\frac{T}{100}\right)^4 \quad [W/m^2], \tag{4.21}$$



4.8. ábra. Általános helyzetű felületek sugárzásos hőcseréjének magyarázata, amikor a visszavert sugárzást elhanyagoljuk, s csak a saját sugárzásokat vesszük számításba (Macskásy és Bánhidi 1985)

ahol

C_1 (az F_1 felületű test sugárzási együtthatója [W/(m^{2}K^4]),
T_1 az F_1 felületű test hőmérséklete [K].

A teljes F_1 felületről kisugárzott összes energiamennyiség ($E_{1ö}$) a következőképpen számítható:

$$E_{1ö} = F_1 E_1 = F_1 C_1 \left(\frac{T}{100}\right)^4 \quad [\mathrm{W}]. \tag{4.22}$$

Az előzőekben ismertetett alapegyenletekkel meghatározható a sugárzási hőcsere két tetszőleges helyzetű síktest között.

Ennek értelmében tekintsük kiindulási alapnak a *4.8. ábrán* látható F_1 és F_2 jelű síkfelületeket, amelyek hőmérséklete T_1 és T_2, abszorpciós tényezője pedig a_1 és a_2. Meghatározandó stacioner állapotban a két felület közötti hőcsere mértéke.

A $\mathrm{d}F_1$ felületelemről kilépő és a $\mathrm{d}F_2$ felületelemet érő, nagyságrendjében másodrendű végtelen kis sugárzást, a Lambert-féle koszinusz-törvény felhasználásával, a

$$\mathrm{d}^2 E_1 = E_{1n} \cos \beta_1 \, \mathrm{d}F_1 \, \mathrm{d}\Omega_1 \quad [\mathrm{W}] \tag{4.23}$$

összefüggéssel fejezhetjük ki. A 4.8. ábra kinagyított részlete alapján

$$\mathrm{d}\Omega_1 = \frac{\mathrm{d}F_2 \cos \beta_2}{r^2},$$

továbbá az

$$E_{1n} = \frac{E_1}{\pi}$$

és

$$E_{1n} = a_1 C_s \left(\frac{T}{100}\right)^4$$

összefüggések felhasználásával:

$$\mathrm{d}^2 E_1 = a_1 C_s \left(\frac{T_1}{100}\right)^4 \frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2}{r^2} \mathrm{d}F_1 \mathrm{d}F_2 \quad [\mathrm{W}]. \tag{4.24}$$

Ebből a $\mathrm{d}F_2$ felület által elnyelt sugárzás:

$$\mathrm{d}^2 E_{12} = a_2 \mathrm{d}^2 E_1 = a_1 a_2 C_s \left(\frac{T_1}{100}\right)^4 \frac{1}{\pi} \frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2}{r^2} \mathrm{d}F_1 \mathrm{d}F_2 \quad [\mathrm{W}]. \tag{4.25}$$

A $\mathrm{d}F_2$ jelű felületelemről kisugárzott és abból a $\mathrm{d}F_1$ felületelem által elnyelt elemi energia hasonló meggondolás alapján:

$$\mathrm{d}^2 E_{21} = a_1 a_2 C_s \left(\frac{T_2}{100}\right)^4 \frac{1}{\pi} \frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2}{r^2} \mathrm{d}F_1 \mathrm{d}F_2 \quad [\mathrm{W}].$$

Ez esetben a saját sugárzások különbségéből képezzük a hőcsere eredményét, mert a felületelemekről visszaverődő elemi energiának csak elenyésző hányada éri a másik

felületelemet. Így a dF_1 és dF_2 felületelemek sugárzási hőcseréjét a

$$d^2Q_{12} = d^2E_{12} - d^2E_{21} =$$

$$= a_1 a_2 C_s \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \frac{1}{\pi} \frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2}{r^2} dF_1 dF_2 \quad [W] \qquad (4.26)$$

összefüggés adja. Bevezetve az

$$a_1 a_2 C_s = \frac{a_1 C_s a_2 C_s}{C_s} = \frac{C_1 C_2}{C_s} = C_{12} \quad [W/(m^2 K^4)] \qquad (4.27)$$

kölcsönös sugárzási együtthatót, a következő alakot nyerjük:

$$d^2Q_{12} = C_{12} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \frac{1}{\pi} \frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2}{r^2} dF_1 dF_2 \quad [W]. \qquad (4.28)$$

Az dF_1 jelű felületelem és a F_2 jelű felület között kicserélt hőmennyiséget F_2-re végzett integrálással kapjuk. A felületelemek között csak a

$$\frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2}{r^2} dF_2$$

tényezővel kifejezett geometriai viszony változik, a többi kiemelhető, vagyis

$$dQ_{12} = C_{12} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] dF_1 \frac{1}{\pi} \int_{F_2} \frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2}{r^2} dF_2 \quad [W]. \qquad (4.29)$$

A

$$C_{12} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] dF_1$$

kifejezés azt a hőmennyiséget adja, amelyet a dF_1 felületelem a félgömbtér minden irányába kisugároz, így a

$$\varphi_{12} = \frac{1}{\pi} \int_{F_2} \frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2}{r^2} dF_2 \qquad (4.30)$$

azt fejezi ki, hogy az 1 jelű felületelemről a félgömbtérbe távozó teljes sugárzásnak mekkora része jut a 2 jelű felületre, vagy az 1 jelű felületelemre, a félgömbtérből beérkező összes sugárzásból mekkora hányad jön a 2 felületről.

A φ tényezőt a továbbiakban felületelem és felület közötti besugárzási tényezőnek nevezzük.

A két teljes felület között kicserélt hőmennyiséghez az F_1 felületen helyet foglaló számtalan dF_1 elem és az F_2 felület között cserélt elemi energiák összegzésével, más szóval a (4.29) kifejezés dF_1 szerinti integrálásával jutunk:

$$Q_{12}=C_{12}\left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4-\left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right]\frac{1}{\pi}\int_{F_1}\left(\int_{F_2}\frac{\cos\beta_1\cos\beta_2}{r^2}\,\mathrm{d}F_2\right)\mathrm{d}F_1=$$

$$=C_{12}\left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4-\left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right]\int_{F_1}\varphi_{12}\,\mathrm{d}F_1 \quad [\mathrm{W}]. \tag{4.31}$$

Az F_1 és F_2 felületek közti sugárzási hőcserét kifejezhetjük a

$$Q_{12}=A_1C_{12}\left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4-\left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right]\Phi_{12} \quad [\mathrm{W}] \tag{4.32}$$

egyenlettel is. Itt az

$$A_1C_{12}\left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4-\left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right]$$

tényezőcsoport a T_1 abszolút hőmérsékletű F_1 felület hőcseréje az őt övező T_2 hőmérsékletű felülettel. A 4.8. ábra tanúsága szerint az F_1 felület által emittált sugárzásnak csak egy hányada éri az F_2 felületet. Ezt a hányadot a Φ_{12} tényező fejezi ki, amely így az 1 jelű felületnek a 2 jelű felületre vonatkozó közepes besugárzási tényezője. A „közepes" szó arra mutat, hogy 1 felületen elhelyezkedő számtalan $\mathrm{d}F_1$ felületelemnek a 2 felületre vonatkozó besugárzási tényezői a geometriai helyzettől függő változó értékek. Ezekből a későbbiak szerint számított átlagos érték a Φ_{12}.

A két előbbi egyenletből ugyanis azt kapjuk, hogy

$$Q_{12}=F_1C_{12}\left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4-\left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right]\Phi_{12}=$$

$$=C_{12}\left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4-\left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right]\frac{1}{\pi}\int_{F_1}\int_{F_2}\frac{\cos\beta_1\cos\beta_2}{r^2}\,\mathrm{d}F_1\,\mathrm{d}F_2 \quad [\mathrm{W}], \tag{4.33}$$

ahonnan a közepes besugárzási tényező:

$$\Phi_{12}=\frac{1}{F_1}\int_{F_1}\frac{1}{\pi}\int_{F_2}\frac{\cos\beta_1\cos\beta_2}{r^2}\,\mathrm{d}F_1\,\mathrm{d}F_2, \tag{4.33a}$$

illetve

$$\Phi_{12}=\frac{1}{F_1}\int_{F_1}\varphi_{12}\,\mathrm{d}F_1. \tag{4.33b}$$

Ez utóbbi egyenletekhez az F_1 felület hőleadásából kiindulva jutottunk. A cserélt hőmennyiség értéke természetesen az F_2 felülettel is éppen így kifejezhető, illetve az F_2 felületnek az F_1 felületre vonatkozó besugárzási tényezőjével:

$$Q_{12}=C_{12}\left[\left(\frac{T_2}{100}\right)^4-\left(\frac{T_1}{100}\right)^4\right]\Phi_{12}F_1=$$

$$=C_{12}\left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4-\left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right]\Phi_{21}F_2. \tag{4.34}$$

Így a jelenségben fellépő hőcserét két szemszögből írtuk le, hiszen az 1 jelű felület hőleadása a 2 jelű felület részére ugyanaz, mint a 2 jelű felület hőnyeresége az 1 jelű felülettől, avagy viszont. Tehát

$$Q_{12} = Q_{21}, \tag{4.35}$$

s ebből a számításokban használatos, igen fontos

$$\Phi_{12} F_1 = \Phi_{21} F_2 \tag{4.36}$$

összefüggés következik.

A (4.32) összefüggés helyett alkalmazzák a

$$Q_{12} = C_{12} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] F_1 \qquad [\mathrm{W}]$$

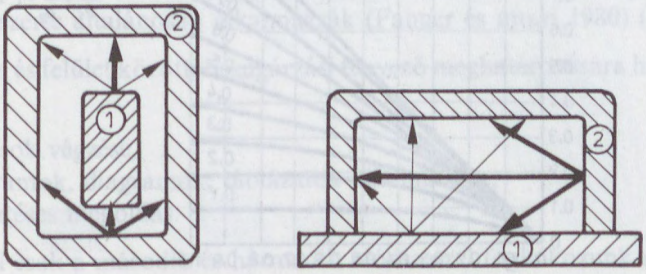
kifejezést is. Ez csak arra az esetre érvényes, ha a besugárzási tényező $\Phi_{12} = 1{,}0$ maximális értékű. Ez azonban általános helyzetű felületek esetében nem következhet be, csak egymással párhuzamos, végtelen nagy vagy egymást körülvevő felületeknél, amely utóbbit a következőkben tárgyalunk. Ez esetekben viszont a visszavert sugárzást is számításba kell venni. Tehát a fenti összefüggés csak közelítő pontosságú számításokhoz alkalmas.

4.2.1. Sugárzásos hőcsere két egymást burkoló felület között

Az egymást burkoló két felület helyzetét vázlatosan a *4.9. ábrán* mutatjuk be. A felületek egymáshoz való viszonyának különlegessége az, hogy míg az egyik felület (burkolt felület) valamennyi pontjáról kiinduló teljes sugárzás csak a másik felületet érheti, addig fordítva ez nem igaz. Ez a valóságos helyzet, ha az ember egy zárt térben tartózkodik.

A geometriai viszony szabja meg a felületek közötti besugárzási tényező értékét, azaz

$$\Phi_{12} = 1{,}0, \tag{4.37a}$$



4.9. ábra. Egymást körülvevő nagy felületek, amelyek esetében a saját sugárzáson kívül a visszaverődő és egymást újból érő sugárzást is figyelembe vesszük (Macskásy és Bánhidi 1985)

s így a (4.36) összefüggéssel:

$$\Phi_{21} = \frac{F_1}{F_2}\Phi_{12} = \frac{F_1}{F_2}. \tag{4.37b}$$

Ha az 1 jelű felületet annyira megnöveljük, hogy közel eléri a 2 jelű felület nagyságát, vagy a felületeket síkba kiterítve és méreteiket még tovább növelve egymással párhuzamos két sík felülethez jutunk. Ezek szinte csak egymás felé sugároznak, mivel a széleken eltávolodó sugárzás elhanyagolhatóan csekély. Ekkor tehát:

$$\Phi_{12} \cong \Phi_{21} = 1{,}0. \tag{4.38}$$

4.2.2. A kölcsönös sugárzási együttható

A kölcsönös sugárzási együtthatóval a (4.27) összefüggésnél már foglalkoztunk. A műszaki gyakorlatban meghatározására a

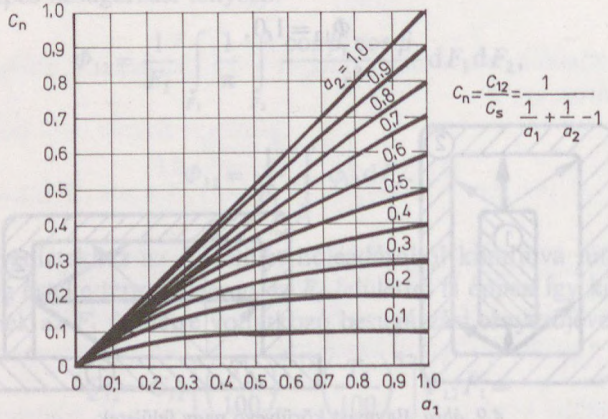
$$C_{12} = \frac{C_s}{\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} - 1} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_s}} \tag{4.39a}$$

vagy a

$$C_{12} = \frac{C_s}{\frac{1}{a_1} - \frac{1}{2} + \frac{1}{a_2} - \frac{1}{2}} \tag{4.39b}$$

összefüggést alkalmazzuk.

A kölcsönös sugárzási együttható értékének gyakorlati meghatározását pedig megkönnyíti a *4.10. ábrán* látható diagram használata.



4.10. ábra. A kölcsönös sugárzási együttható meghatározására alkalmas diagram (Macskásy és Bánhidi 1985)

4.3. Felületelem és felület közötti besugárzási tényező meghatározása

Két tetszőleges felület (F_1 és F_2) közötti sugárzásos hőcsere mértéke — mint az előzőekben már részletesen elemeztük — a (4.33) összefüggésből meghatározható. Ezen összefüggésben szerepel a besugárzási tényező [lásd (4.33a) összefüggést].

Két test sugárzásos hőcseréje esetén — állandó hőmérséklet-különbségeket és besugárzási együtthatókat figyelembe véve — e tényezőkből, illetve ennek változásától függ annak mértéke. Mivel a műszaki gyakorlatban a testek egymáshoz viszonyított helyzetének nagyon sok változata lehetséges, célszerű a besugárzási tényező meghatározási módjának — bizonyos ésszerű csoportosítás mellett — külön alfejezetet szentelni.

A besugárzási tényező számítási módszereit általában három csoportra bontva tárgyalják:

a) Felület és felületelem közötti sugárzásos hőcsere. Ezzel a feladattal találkozunk, amikor pl. a sugárzó fűtőtest felülete és az ehhez viszonyított felületelemnek tekinthető emberi koponyatető közötti hőcsere mértékét kívánjuk meghatározni.
b) Felületek közötti sugárzásos hőcsere. Ez a feladat is gyakori, sugárzó fűtések alkalmazásakor pl. a sugárzó fűtőtest sugárzásos hőleadásának meghatározása a külső falfelület felé.
c) Sugárzásos hőcsere egy geometriai sík és az emberi test valóságos felülete között. Ez a módszer — melynek kidolgozása Fanger nevéhez fűződik — tekinthető a legújabbnak az emberi test sugárzásos hőcseréjének meghatározásakor. Alapkoncepciója: a sugárzásos hőcsere szempontjából az emberi test egész felületét figyelembe kell venni, nemcsak a koponyatetőt.

E három közül

— az a) csoportból néhány olyan megoldást mutatunk be, amely a mérnöki gyakorlatban előfordul (4.3. alfejezet),
— a b) csoporttal nem foglalkozunk, arra vonatkozóan bő adathalmaz található a forrásmunkákban: Bánhidi (1976), Bogoszlovszkij (1970), Glück (1981), Kollmar és Liese (1957), valamint Macskásy és Bánhidi (1985).
— a c) csoporttal bővebben foglalkozunk, mivel ez tekinthető a legkorszerűbbnek és világszerte általánosan alkalmazzák (Fanger és mtsai 1980) (4.4. alfejezet).

Felületelem és felület közötti besugárzási tényező meghatározására három módszer ismeretes:

— számítások végzése,
— nomogramok, diagramok, táblázatok alkalmazása,
— szerkesztéses megoldás.

Ezek közül csak a második és harmadik módszerrel foglalkozunk röviden.

4.3.1. Felületelem és felület közötti besugárzási tényező meghatározása nomogramok és táblázatok segítségével

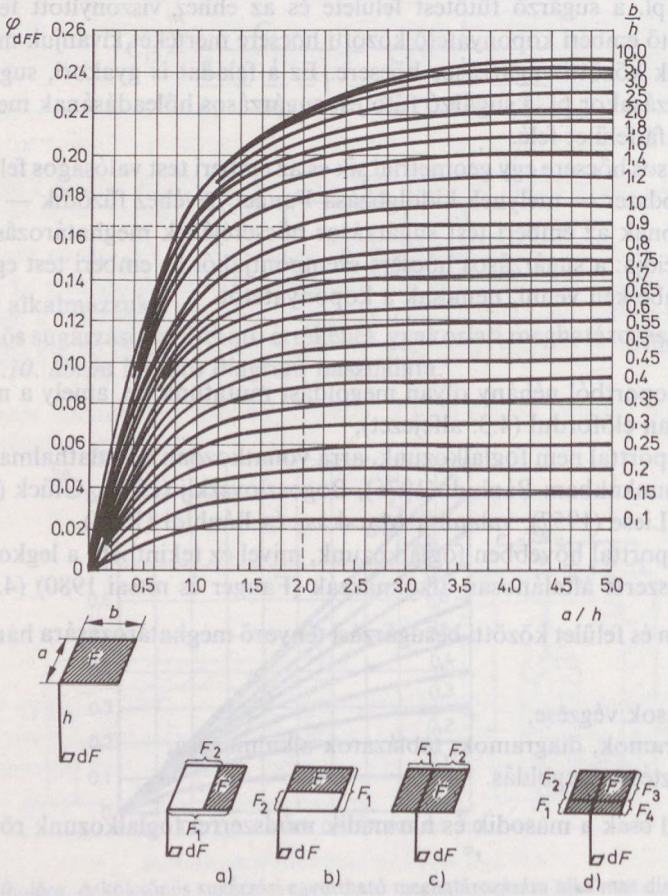
A besugárzási tényezők meghatározása számítással meglehetősen bonyolult és munkaigényes feladat. A tervezési munka megkönnyítésére ezért számos esetre vonatkozóan nomogramokat és táblázatokat dolgoztak ki. A nomogramok legtöbbjét Kollmar és Liese (1957) műveiben találhatjuk.

A *4.11. ábrán* látható nomogram az ábra alján bemutatott esetre, tehát felületelemre és vele párhuzamos felületre vonatkozik. Az ábra alján a)—d)-vel jelzett segédábrán lévő esetekre vonatkozóan a besugárzási tényező meghatározására a következő meggondolások alapján végezhető el:

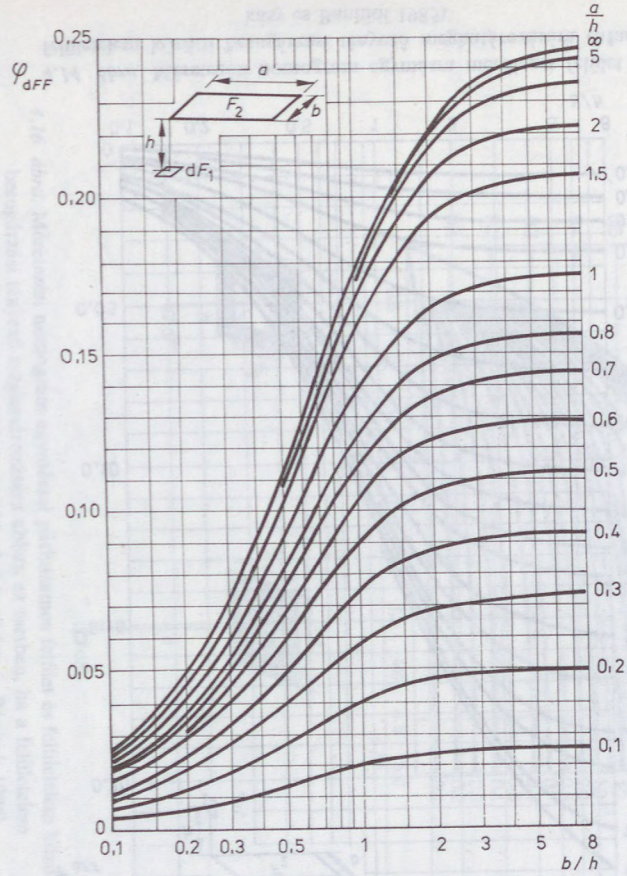
$$\varphi_{dF\,F} = \varphi_{dF\,F_1} - \varphi_{dF\,F_2}, \tag{4.40}$$

$$\varphi_{dF\,F} = \varphi_{dF\,F_1} + \varphi_{dF\,F_2}, \tag{4.41}$$

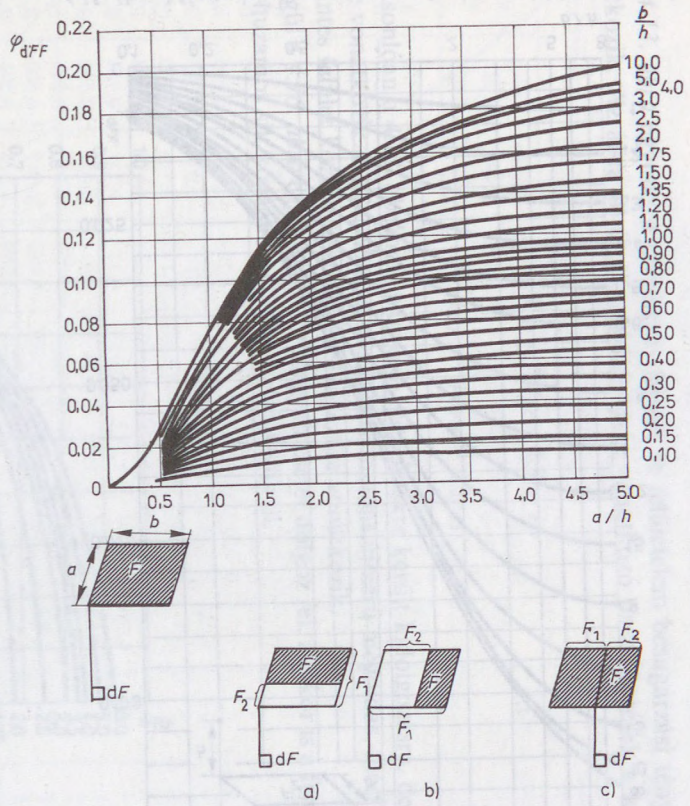
$$\varphi_{dF\,F} = \varphi_{dF\,F_1} + \varphi_{dF\,F_2} + \varphi_{dF\,F_3} + \varphi_{dF\,F_4}. \tag{4.42}$$



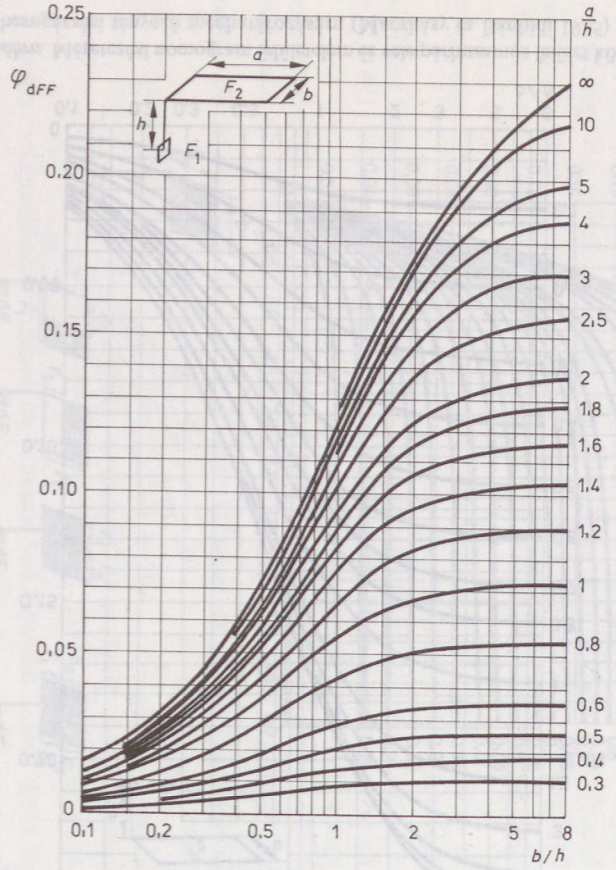
4.11. ábra. Méretezési nomogram felületelem és vele párhuzamos felület közötti besugárzási tényező meghatározására (Macskásy és Bánhidi 1985)



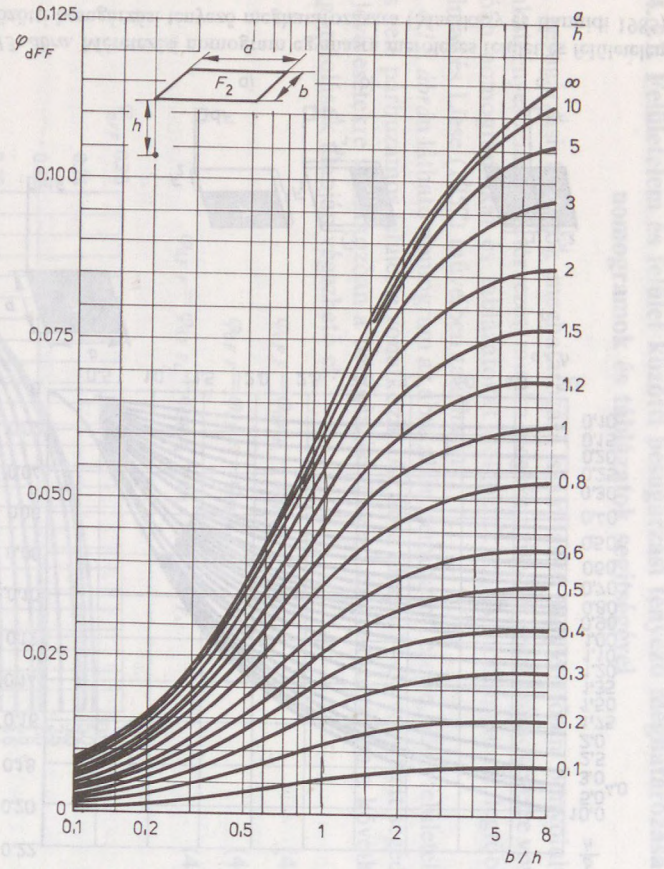
4.12. ábra. Méretezési nomogram felületelem és vele párhuzamos felület közötti besugárzási tényező meghatározására (Macskásy és Bánhidi 1985)



4.13. ábra. Méretezési nomogram egymásra merőleges felület és felületelem közötti besugárzási tényező meghatározására (Macskásy és Bánhidi 1985)



4.14. ábra. Méretezési nomogram egymásra merőleges felület és felületelem közötti besugárzási tényező meghatározására (Macskásy és Bánhidi 1985)



4.15. ábra. Méretezési nomogram pont és vízszintes felület közötti besugárzási tényező meghatározására (Macskásy és Bánhidi 1985)

Azonos esetre vonatkozik a *4.12. ábra*, de $b/h=8$ és $a/h=\infty$ értékig került kidolgozásra.

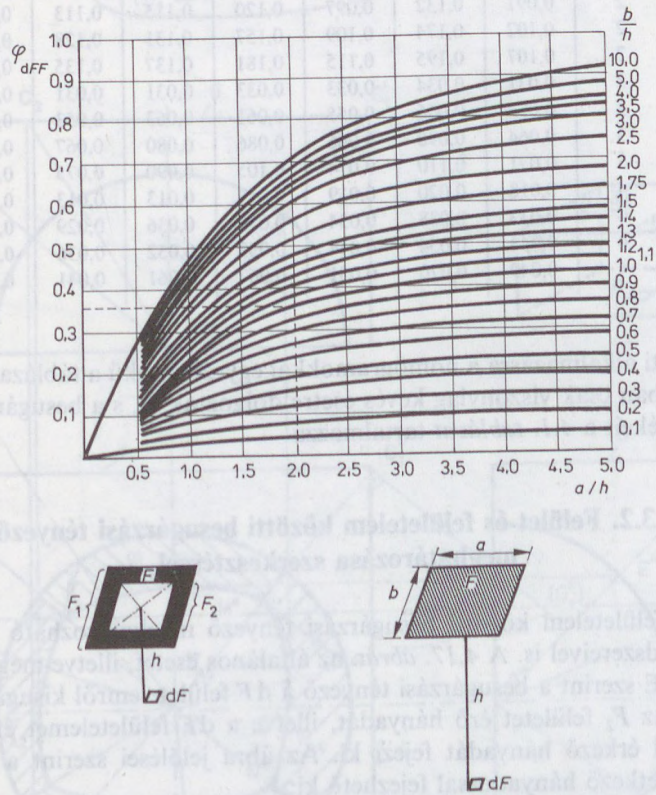
A *4.13. ábra* egymásra merőleges felület és felületelem besugárzási tényezőjére vonatkozik. Az ábra b) és c) segédábrájára vonatkozó összefüggések a következők:

$$\varphi_{dF\,F}=\varphi_{dF\,F_1}+\varphi_{dF\,F_2}, \tag{4.43}$$

$$\varphi_{dF\,F}=\varphi_{dF\,F_1}+\varphi_{dF\,F_2}. \tag{4.44}$$

Hasonlóan a 4.12. ábrához, nagyobb határértékre került kidolgozásra, de azonos esetre vonatkozik a *4.14. ábra*. A *4.15. ábra* viszont újszerű megoldás, mert pont és vízszintes felület közötti besugárzási tényezőre vonatkozik.

Végül a *4.16. ábra* egy eddig nem tárgyalt esetet dolgoz fel, amikor is a felületelem a párhuzamos sík középpontja alatt helyezkedik el.



4.16. ábra. Méretezési nomogram egymással párhuzamos felület és felületelem közötti besugárzási tényező meghatározására abban az esetben, ha a felületelem a felület középpontja alatt helyezkedik el (Macskásy és Bánhidi 1985)

4.1. táblázat. A helyiség különböző jellegzetes pontjaiba képzelt felületelemeknek a mennyezetre vonatkoztatott besugárzási tényezői (Macskásy 1952)

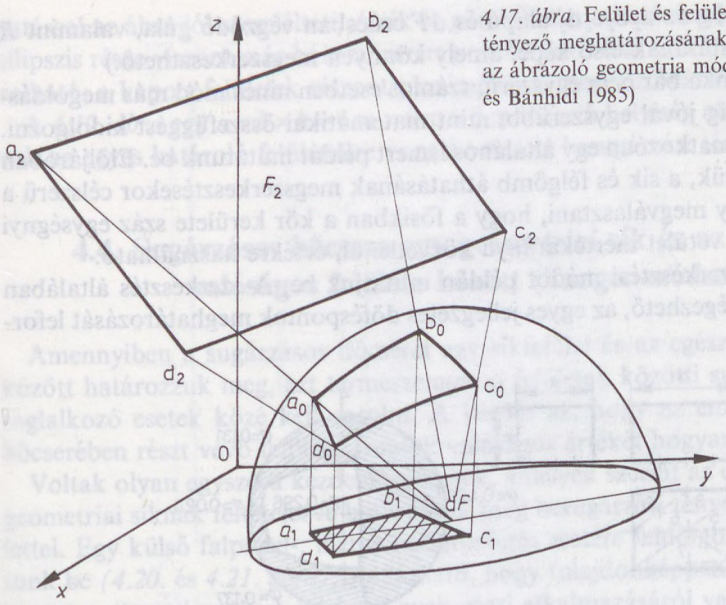
A helyiség arányai			φ besugárzási tényező							
			a padló				a fal			
oldal a vagy b	oldal b vagy a	magasság h	alábbi pontjaiban levő felületelemről							
			sarok	középpont	oldalél közép a vagy b	oldalél közép b vagy a	közép ah vagy bh	közép bh vagy ah	felső és közép	felső sarok
1	1	0,5	0,208	0,560	0,335	0,335	0,315	0,315	0,500	0,375
1	2	0,5	0,218	0,672	0,350	0,417	0,342	0,363	0,500	0,375
1	3	0,5	0,222	0,697	0,353	0,434	0,346	0,375	0,500	0,375
1	4	0,5	0,240	0,705	0,355	0,440	0,347	0,375	0,500	0,375
1	1	1	0,139	0,240	0,181	0,181	0,191	0,191	0,500	0,375
1	2	1	0,168	0,362	0,211	0,274	0,231	0,245	0,500	0,375
1	3	1	0,174	0,408	0,221	0,315	0,242	0,262	0,500	0,375
1	4	1	0,177	0,425	0,223	0,333	0,245	0,272	0,500	0,375
1	1	2	0,060	0,074	0,066	0,066	0,070	0,070	0,500	0,375
1	2	2	0,091	0,132	0,097	0,120	0,115	0,113	0,500	0,375
1	3	2	0,102	0,174	0,109	0,157	0,131	0,128	0,500	0,375
1	4	2	0,107	0,195	0,115	0,181	0,137	0,135	0,500	0,375
1	1	3	0,031	0,034	0,033	0,033	0,031	0,031	0,500	0,375
1	2	3	0,052	0,066	0,055	0,061	0,063	0,053	0,500	0,375
1	3	3	0,064	0,090	0,066	0,086	0,080	0,067	0,500	0,375
1	4	3	0,071	0,110	0,074	0,105	0,090	0,075	0,500	0,375
1	1	4	0,018	0,020	0,019	0,019	0,013	0,013	0,500	0,375
1	2	4	0,033	0,038	0,034	0,037	0,036	0,029	0,500	0,375
1	3	4	0,043	0,054	0,044	0,053	0,052	0,036	0,500	0,375
1	4	4	0,049	0,070	0,051	0,067	0,061	0,041	0,500	0,375

A gyakorlati alkalmazásra a nomogramokkal egyező értékű a táblázatos feldolgozás. Ezt azonban csak viszonylag kevés esetre dolgozták ki, s a besugárzási tényező számszerű értékeit a *4.1. táblázat* tartalmazza.

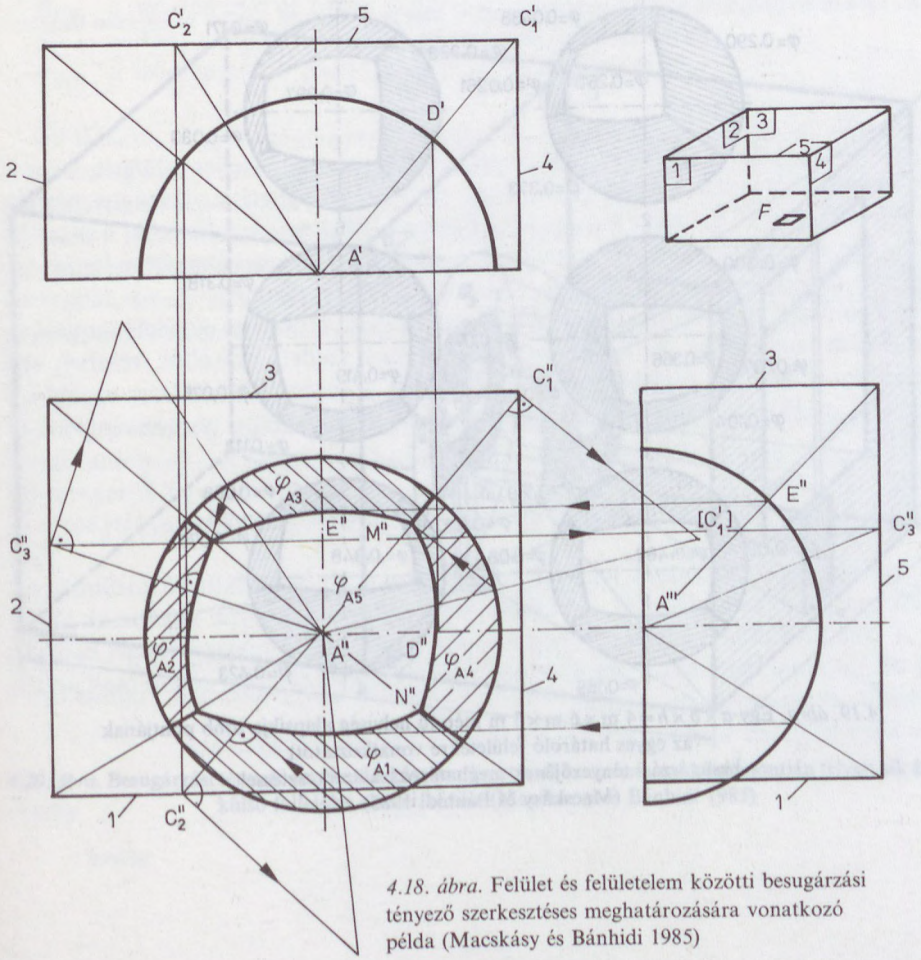
4.3.2. Felület és felületelem közötti besugárzási tényező meghatározása szerkesztéssel

Felület és felületelem közötti besugárzási tényező meghatározható az ábrázoló geometria módszereivel is. A *4.17. ábrán* az általános esetet, illetve megfogalmazást mutatjuk be. E szerint a besugárzási tényező a dF felületelemről kisugárzott összes sugárzásnak az F_2 felületet érő hányadát, illetve a dF felületelemet érő sugárzásnak F_2 testről érkező hányadát fejezi ki. Az ábra jelölései szerint a besugárzási tényező a következő hányadossal fejezhető ki:

$$\varphi_{12} = \frac{F_{a_1 b_1 c_1 d_1}}{r^2 \pi} \tag{4.45}$$



4.17. ábra. Felület és felületelem közötti besugárzási tényező meghatározásának magyarázata az ábrázoló geometria módszerei alapján (Macskásy és Bánhidi 1985)



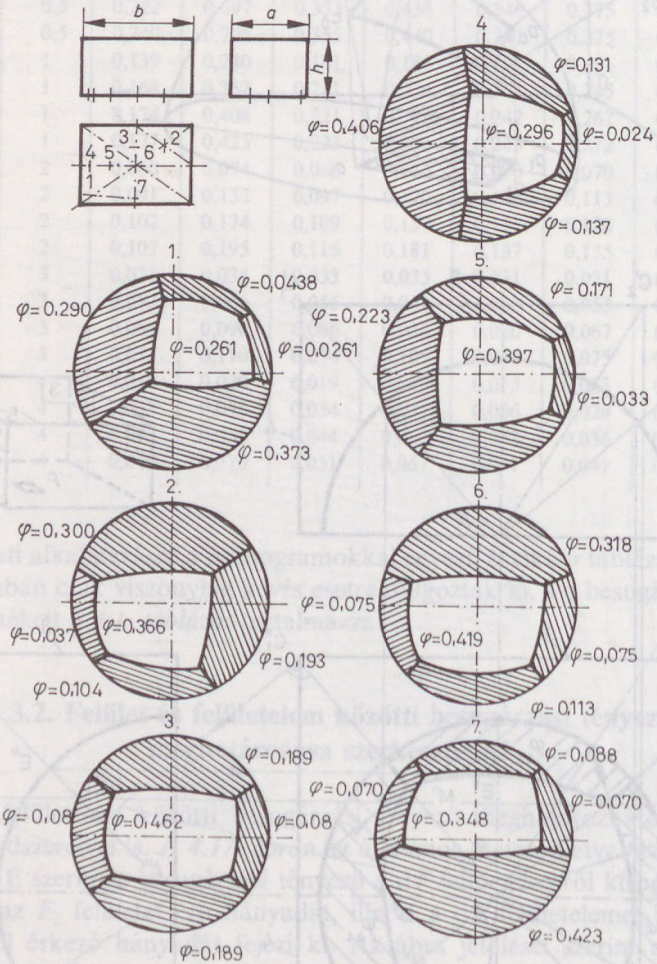
4.18. ábra. Felület és felületelem közötti besugárzási tényező szerkesztéses meghatározására vonatkozó példa (Macskásy és Bánhidi 1985)

(Az $a_1b_1c_1d_1$ négyszög az $a_2b_2c_2d_2$ alapú és dF csúcsban végződő gúla, valamint R sugarú félgömb áthatásának első képe, amely könnyen megszerkeszthető.)

A szerkesztési munka bár nem egyszerű, számos esetben nincs mód más megoldásra, illetve még mindig jóval egyszerűbb, mint matematikai összefüggést kidolgozni.

A szerkesztésre vonatkozóan egy általános ismert példát mutatunk be. Elöljáróban azonban megjegyezzük, a sík és félgömb áthatásának megszerkesztésekor célszerű a félgömb méreteit úgy megválasztani, hogy a fősíkban a kör kerülete száz egységnyi legyen, így a kapott vetület mértékaránya közvetlenül, értékre használható.

A *4.18. ábrán* a szerkesztési módot példán mutatjuk be. A szerkesztés általában három kép alapján végezhető, az egyes jellegzetes döféspontok meghatározását lefor-



4.19. ábra. Egy $a \times b \times h = 4\text{ m} \times 6\text{ m} \times 3\text{ m}$ méretű helyiség alapsíkja több pontjának az egyes határoló felületekre vonatkoztatott besugárzási tényezőjének meghatározása szerkesztéssel (Macskásy és Bánhidi 1985)

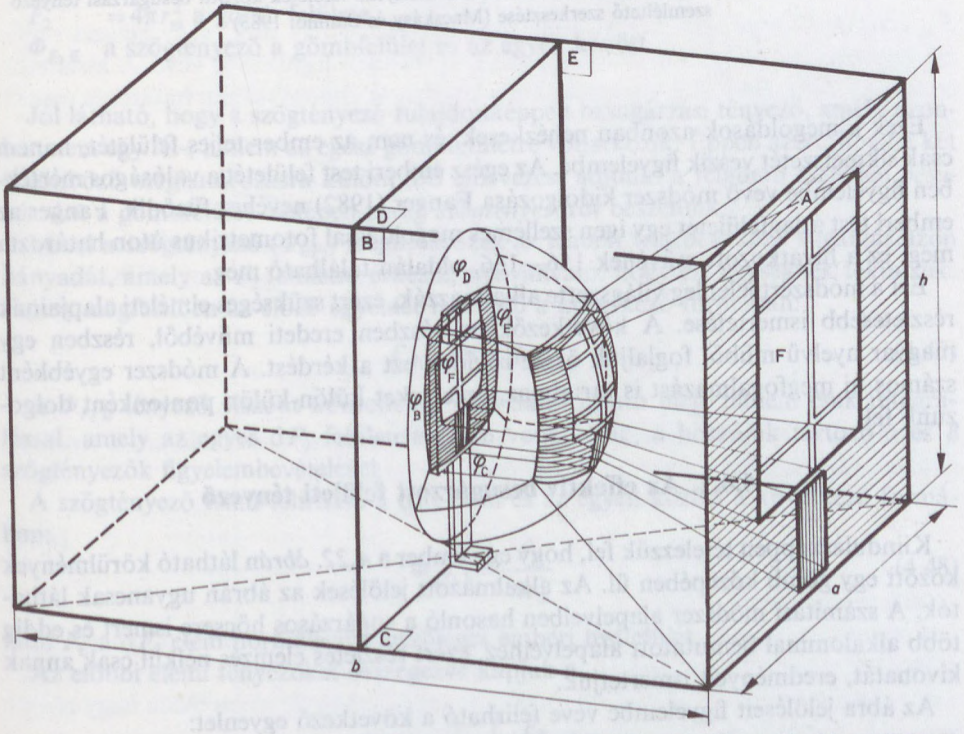
gatással az ábra jól szemlélteti. A sík és gömbfelület áthatásának felülete ellipszis, az ellipszis része viszont már három ismert ponton keresztül kellő pontossággal megrajzolható, a kapott felületek viszont planiméterrel megrajzolhatók.

A *4.19. ábra* egy $a \times b \times h = 4\ \text{m} \times 6\ \text{m} \times 3\ \text{m}$ méretű helyiség alapsíkja több pontjának az egyes határoló felületekre vonatkoztatott besugárzási tényezője látható.

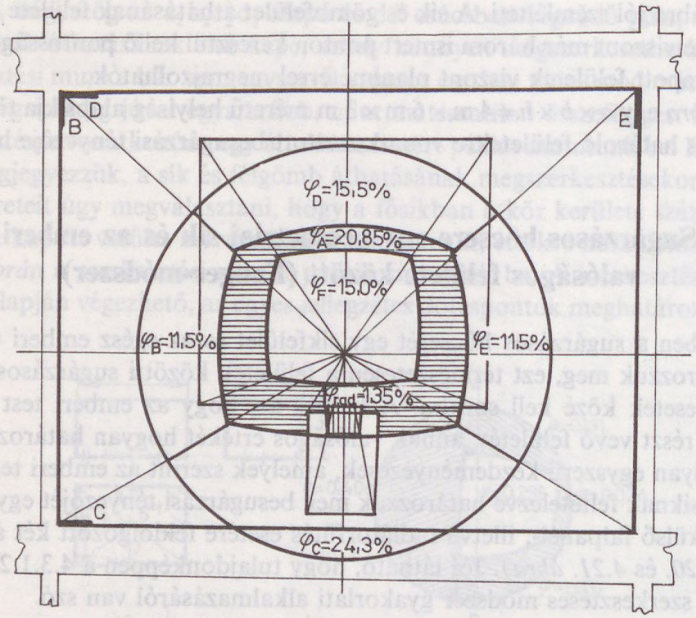
4.4. Sugárzásos hőcsere egy geometriai sík és az emberi test valóságos felülete között (Fanger-módszer)

Amennyiben a sugárzásos hőcserét egy síkfelület és az egész emberi test felülete között határozzuk meg, ezt természetesen a felületek közötti sugárzásos hőcserével foglalkozó esetek közé kell sorolni. A kérdés az, hogy az emberi test sugárzásos hőcserében részt vevő felületét, annak valóságos értékét hogyan határozzuk meg.

Voltak olyan egyszerű kezdeményezések, amelyek szerint az emberi test metszetét geometriai síknak feltételezve határozzuk meg besugárzási tényezőjét egy adott felülettel. Egy külső falpanel-, illetve radiátorfűtés esetére feldolgozott két ábrát mutatunk be *(4.20. és 4.21. ábra)*. Jól látható, hogy tulajdonképpen a 4.3.1.2. alpontban bemutatott szerkesztéses módszer gyakorlati alkalmazásáról van szó.



4.20. ábra. Besugárzási tényező meghatározása szerkesztéssel az emberi test középpontján felvett sík és egy külső falfelület elemei között (Macskássy és Bánhidi 1985)



4.21. ábra. A helyiség közepén álló ember törzse és a környező felületek közötti besugárzási tényező szemléltető szerkesztése (Macskásy és Bánhidi 1985)

Ezek a megoldások azonban nehézkesek, és nem az ember teljes felületét, hanem csak síkmetszetét veszik figyelembe. Az egész emberi test felületét a valóságos mértékben figyelembe vevő módszer kidolgozása Fanger (1982) nevéhez fűződik. Fanger az emberi test átlagfelületét egy igen szellemes megoldással fotometrikus úton határozta meg, ez a hivatkozott művének 156—166. oldalán található meg.

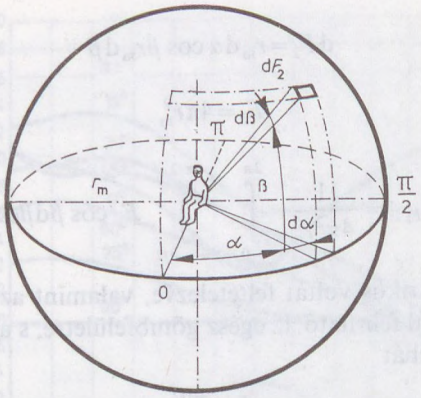
Ezt a módszert jelenleg világszerte alkalmazzák, ezért szükséges elméleti alapjainak részletesebb ismertetése. A következőkben részben eredeti művéből, részben egy magyar nyelvű műből foglaljuk össze röviden ezt a kérdést. A módszer egyébként számos új megfogalmazást is tartalmaz, amelyeket külön-külön pontonként dolgozunk fel.

4.4.1. Az effektív besugárzott felületi tényező

Kiindulásképpen tételezzük fel, hogy egy ember a *4.22. ábrán* látható körülmények között egy gömb közepében ül. Az alkalmazott jelölések az ábrán ugyancsak láthatók. A számítási módszer alapelveiben hasonló a sugárzásos hőcsere ismert és eddig több alkalommal bemutatott alapelveihez, ezért részletes elemzés nélkül csak annak kivonatát, eredményeit ismertetjük.

Az ábra jelöléseit figyelembe véve felírható a következő egyenlet:

$$F_{\text{eff}} \Phi_{\text{E}\,F_2} = F_2 \Phi_{F_2\,\text{E}}, \qquad (4.46)$$



4.22. ábra. Az effektív besugárzott felületi tényező meghatározásakor alkalmazott betűjelölések (Fanger 1982)

ahol

F_{eff} az egyén effektív besugárzási felülete,
$\Phi_{\text{E}\,F_2}$ a szögtényező az egyén és az őt környező F_2 felületű gömb között,
F_2 $=4\pi r_{\text{m}}^2$ a gömb felülete,
$\Phi_{F_2\,\text{E}}$ a szögtényező a gömbfelület és az egyén között.

Jól látható, hogy a szögtényező tulajdonképpen besugárzási tényező, amely azonban nem egy fél-, hanem az egész gömbfelületre vonatkozik. Éppen azért, hogy a két különböző meghatározásra különböző elnevezést adjunk: a félgömb esetében *besugárzási*, a gömbfelület esetében pedig *szögtényező*ről beszélünk.

Mivel a szögtényező ($\Phi_{\text{E}F_2}$) meghatározza az emberi testről érkező sugárzás azon hányadát, amely az F_2 felületre érkezik, nyilvánvaló, hogy ezt egységnek tekintsük. Ennek megfelelően az előző egyenlet felírható a következő formában:

$$F_{\text{eff}}=4\pi r_{\text{m}}^2\Phi_{F_2\,\text{E}}. \tag{4.47}$$

A $\Phi_{F_2\,\text{E}}$ tényező viszont közvetlenül nem határozható meg, hanem csak integrálással, amely az egyes $\text{d}F_2$ felületelemekre vonatkozik, a hozzájuk tartozó α és β szögtényezők figyelembevételével.

A szögtényező tehát felírható a $\text{d}F_2$ elem és az egyén között a következő formában:

$$\Phi_{\text{d}F_2\,\text{E}}=\frac{F_{\text{E}}}{\pi r_{\text{m}}^2} \tag{4.48}$$

ahol F_{E} a $\text{d}F_2$ elem normálisára merőleges emberi testfelület.

Az előbbi elemi tényezőket összegezve kapjuk a

$$\Phi_{F_2\,\text{E}}=\frac{1}{F_2}\int\frac{F_{\text{E}}}{\pi r_{\text{m}}^2}\,\text{d}F_2 \tag{4.49}$$

egyenletet, amelyből

$$dF_2 = r_m d\alpha \cos\beta r_m d\beta \tag{4.50}$$

és

$$F_2 = 4\pi r_m^2 \tag{4.51}$$

felhasználásával tehát

$$\Phi_{F_2 E} = \frac{1}{4\pi^2 r_m^2} \int_{\alpha=0}^{2\pi} \int_{\beta=-\pi/2}^{\pi/2} F_E \cos\beta d\beta d\alpha. \tag{4.52}$$

Az emberi test szimmetrikus voltát feltételezve, valamint azt, hogy F_E mindkét oldalon azonos, az integrál felírható az egész gömbfelületre, s amely egyenlő a negyedgömb négyszeresével, tehát

$$\Phi_{F_2 E} = \frac{1}{\pi^2 r_m^2} \int_{\alpha=0}^{\pi} \int_{\beta=0}^{\pi/2} F_E \cos\beta d\beta d\alpha. \tag{4.53}$$

Végül figyelembe véve a (4.47) egyenletet, felírható, hogy

$$F_{eff} = \frac{4}{\pi} \int_{\alpha=0}^{\pi} \int_{\beta=0}^{\pi/2} F_E \cos\beta d\beta d\alpha. \tag{4.54}$$

F_{eff} értékeit Fanger igen sok kísérleti személyre határozta meg, négy helyzet-ruházat kombinációt, valamint 78 különböző szögtényezőt figyelembe véve. A kísérletek eredményei alapján mezítelen egyénekre a következő viszonyszámot határozta meg és alkalmazza:

$$f_{eff} = \frac{F_{eff}}{F_{Du}}. \tag{4.55}$$

A viszonyszám számszerű értékét Fanger nagyszámú kísérlettel határozta meg, és ezek F_{eff} értékeivel együtt az előzőekben hivatkozott művekben megtalálhatók.

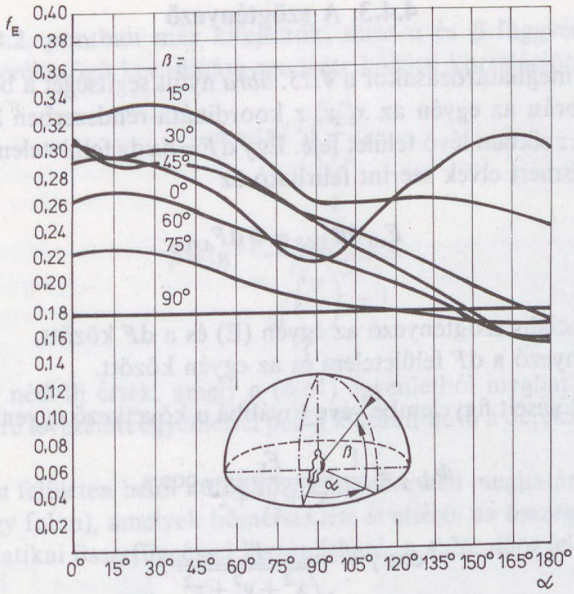
4.4.2. A tervezett felületi tényező

Az F_{eff} értékének ismeretében minden helyzet—ruházat kombinációra a tervezett felületi tényező a különböző α, β szögtényezőértékekre az

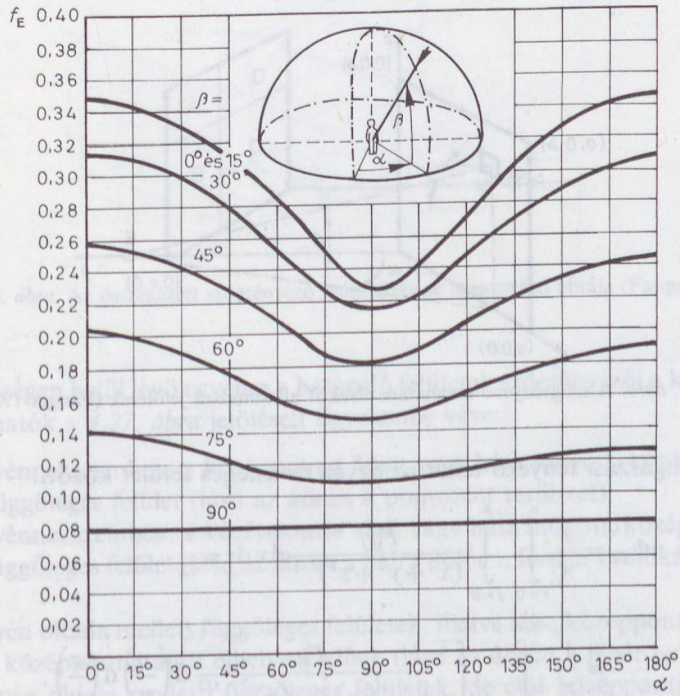
$$f_E = \frac{F_E}{F_{eff}} \tag{4.56}$$

egyenlettel meghatározható.

A mérési és számítási eredmények alapján Fanger két diagramot dolgozott ki: a *4.23. ábra* ülő egyénekre, míg a *4.24. ábra* álló egyénekre vonatkozik. Mivel kísérletei szerint férfiak és nők, valamint felöltözött és mezítelen egyének esetében nagy eltérés nem volt, mindkét diagram általánosan használható.



4.23. ábra. A tervezett felületi tényező (f_E) meghatározására alkalmas nomogram ülő emberek esetén (Fanger 1982)



4.24. ábra. A tervezett felületi tényező (f_E) meghatározására alkalmas nomogram álló emberek esetén (Fanger 1982)

4.4.3. A szögtényező

A szögtényező meghatározásakor a *4.25. ábra* nyújt segítséget a betűjelzések értelmezéséhez. Az ábrán az egyén az x, y, z koordináta-rendszerben áll (koordinátái: 0, c, 0) arccal az xz síkban lévő felület felé. Egy $dF = dx\,dz$ felületelemre és az egyénre vonatkozóan az ismert elvek szerint felírható az

$$F_{\text{eff}}\, d\Phi_{\text{E}dF} = \Phi\, dF_{dF\text{E}} \tag{4.57}$$

egyenlet, ahol

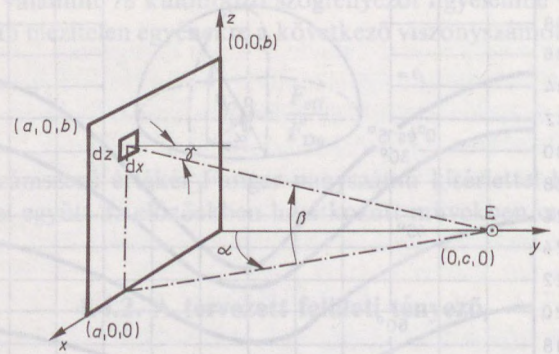
$d\Phi_{\text{E}F}$ a differenciális szögtényező az egyén (E) és a dF között,
$\Phi_{dF\,\text{E}}$ a szögtényező a dF felületelem és az egyén között.

A 4.25. ábra jelöléseit figyelembe véve továbbá a következő egyenletek írhatók fel:

$$\Phi_{dF\,\text{E}} = \frac{1}{\pi}\,\frac{F_{\text{E}}}{x^2+y^2+z^2}\cos\gamma\,, \tag{4.58}$$

$$\cos\gamma = \frac{y}{\sqrt{x^2+y^2+z^2}}\,, \tag{4.59}$$

$$\Phi\, dF_{\text{E}dF} = \frac{1}{\pi}\,\frac{F_{\text{E}}}{F_{\text{eff}}}\,\frac{y}{(x^2+y^2+z^2)^{3/2}}\,. \tag{4.60}$$



4.25. ábra. A szögtényező meghatározásakor alkalmazott jelölések (Fanger 1982)

A $\Phi_{\text{E}F}$ besugárzási tényező tehát az egyén és a teljes felület között:

$$\Phi_{\text{E}F} = \frac{1}{\pi}\int_{x=0}^{a}\int_{z=0}^{b}\frac{F_{\text{E}}\,y}{(x^2+y^2+z^2)^{3/2}}\,dx\,dz = \tag{4.61}$$

$$= \frac{1}{\pi}\int_{\frac{x}{y}=0}^{a/c}\int_{\frac{z}{y}=0}^{b/c}\frac{F_{\text{E}}}{\left[1+\left(\frac{x}{y}\right)^2+\left(\frac{z}{y}\right)^2\right]^{3/2}}\,d\left(\frac{x}{y}\right)d\left(\frac{z}{y}\right).$$

MAGYAR
TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
KÖNYVTÁRA

F_E értékét a 4.4.2. pontban már kifejeztük, mint α és β függvényét. Figyelembe véve a szög és derékszögű koordináta-rendszer közötti korrelációt:

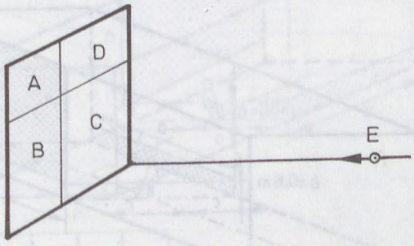
$$\alpha = \mathrm{tg}^{-1}\left(\frac{x}{y}\right), \tag{4.62}$$

$$\beta = \mathrm{tg}^{-1}\frac{\frac{z}{y}}{\sqrt{\left(\frac{x}{y}\right)^2 + 1}}. \tag{4.63}$$

Φ_{EF} dimenzió nélküli érték, amely a (4.61) egyenletből meghatározható. Az előző általános esetre levezetett egyenlettel pedig kiszámítható a derékszögű koordináta-rendszerben.

Amennyiben a felületen belül különböző elemekre kell meghatározni a szögtényezőt (pl. ablak egy falon), amelyek hőmérséklete is eltérő, az összegezett szögtényező egyszerű matematikai összefüggéssel kiszámítható, a *4.26. ábra* jelöléseit figyelembe véve:

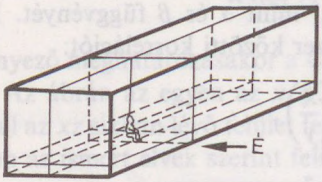
$$\Phi_{EF} = \Phi_{E-ABCD} - \Phi_{E-BC} - \Phi_{E-CD} + \Phi_{E-C}. \tag{4.63a}$$



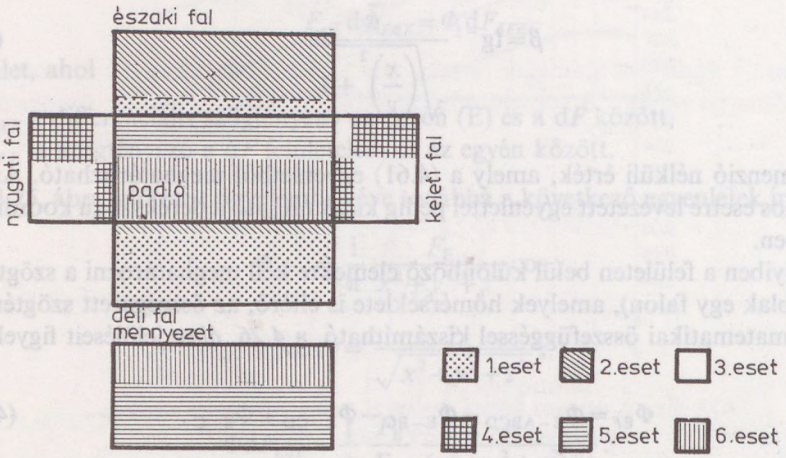
4.26. ábra. Az összegezett szögtényező számításának magyarázó ábrája (Fanger 1982)

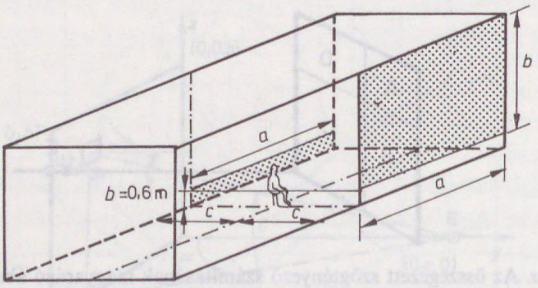
Egy helyiségen belül lévő egyénre a határoló felületek szögtényezői a következő hat esetre oszthatók a *4.27. ábra* jelöléseit figyelembe véve:

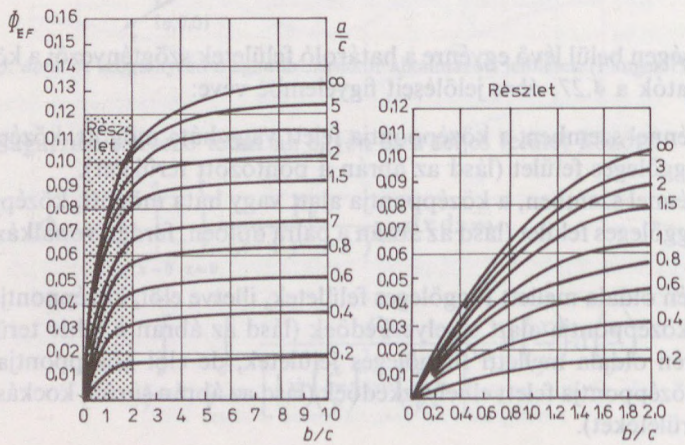
1. Az egyénnel szemben, a középpontja felett vagy háta mögött, középpontja alatt lévő függőleges felület (lásd az ábrán a pontozott területet).
2. Az egyénnel szemben, a középpontja alatt vagy háta mögött, középpontja felett lévő függőleges felület (lásd az ábrán a balra dőlően, ferdén vonalkázott területeket).
3. Az egyén oldala mellett függőleges felületek, illetve elöl, középpontja felett vagy hátul, középpontja alatt elhelyezkedőek (lásd az ábrán a fehér területeket).
4. Az egyén oldala melletti függőleges felületek, de elöl középpontja alatt, vagy hátul középpontja felett elhelyezkedőek (lásd az ábrán sűrűn, kockásan vonalkázott területeket).



4.27. ábra. Egy helyiségen belül ülő egyénre vonatkozó szögtényező (besugárzási tényező) meghatározási elvének magyarázatára vonatkozó ábra (Fanger 1982)







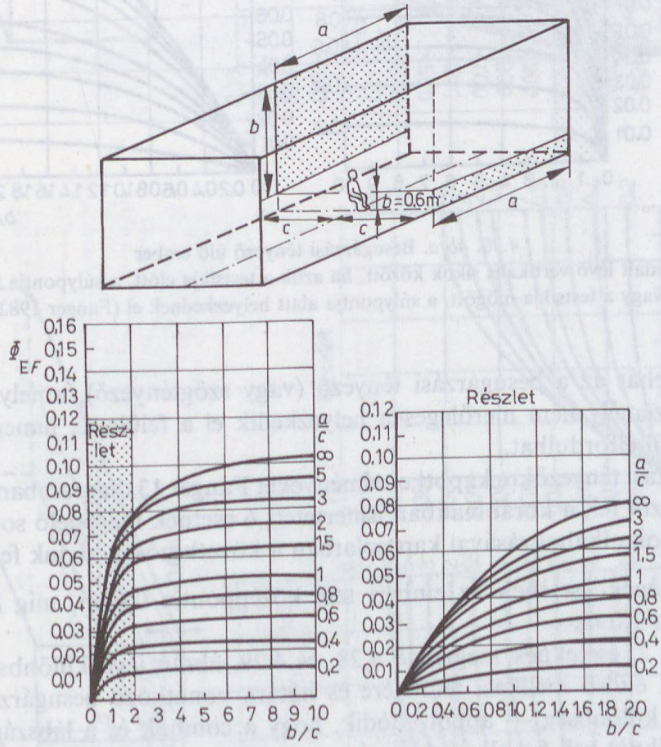
4.28. ábra. Besugárzási tényező ülő ember és vertikális síkok között, ha azok vele szemben, a súlypontja felett vagy a háta mögött a súlypontja alatt helyezkednek el (Fanger 1982)

5. Az egyén középpontjával szemben elöl, a feje fölött (mennyezet) és középpontja mögött hátul, alul (padló) elhelyezkedő vízszintes felületek (lásd ritkán, vízszintesen vonalkázott területeket).
6. Az egyén középpontjával szemben hátul, alul (padló) és középpontja mögött, hátul a feje felett (mennyezet) lévő vízszintes felületek (lásd ritkán, függőlegesen vonalkázott területeket).

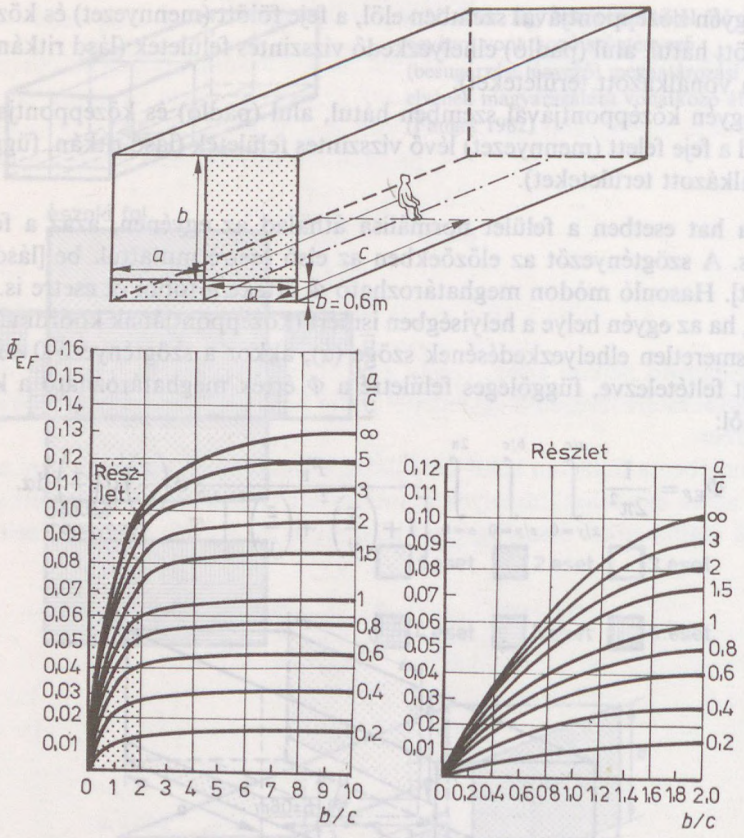
Mind a hat esetben a felület normálisa áthalad az egyénen, azaz a felület reá merőleges. A szögtényezőt az előzőekben az első esetre mutattuk be [lásd a (4.61) egyenletet]. Hasonló módon meghatározható Φ értéke a többi öt esetre is.

Akkor, ha az egyén helye a helyiségben ismert (középpontjának koordinátái ismertek), de ismeretlen elhelyezkedésének szöge (α), akkor a szögtényező $0<\alpha<2\pi$ határértékeit feltételezve, függőleges felületre a Φ érték meghatározható a következő egyenletből:

$$\Phi_{EF}=\frac{1}{2\pi^2}\int_{x/y=0}^{a/c}\int_{z/y=0}^{b/c}\int_{\alpha=0}^{2\pi}\frac{F_E}{\left[1+\left(\frac{x}{y}\right)^2+\left(\frac{z}{y}\right)^2\right]^{3/2}}\,\mathrm{d}\left(\frac{z}{y}\right)\mathrm{d}\left(\frac{z}{y}\right)\mathrm{d}\alpha. \qquad (4.64)$$



4.29. ábra. Besugárzási tényező ülő ember és vertikális síkok között, ha azok vele szemben, a súlypontja alatt vagy a háta mögött a súlypontja felett helyezkednek el (Fanger 1982)



4.30. ábra. Besugárzási tényező ülő ember
és oldalt lévő vertikális síkok között, ha azok a testsíkja előtt, a súlypontja felett
vagy a testsíkja mögött, a súlypontja alatt helyezkednek el (Fanger 1982)

Ez az Φ_{EF} tehát az a besugárzási tényező (vagy szögtényező), amely akkor érvényes, ha a személy nem merőlegesen helyezkedik el a felületre, hanem függőleges tengelye körül elfordulhat.

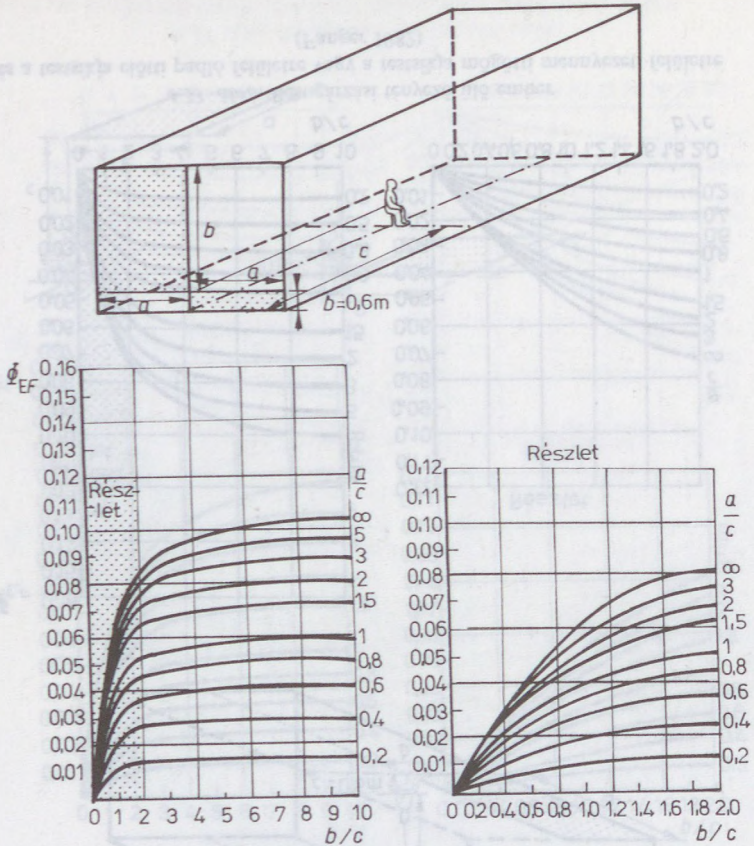
A besugárzási tényezőkre kapott eredményeket Fanger 13 diagramban (*4.28—4.40. ábrák*) dolgozta fel, a korábbiakban ismertetett 6 esetnek megfelelő sorrendben.

A diagramok alkalmazásával kapcsolatban a következőkre hívjuk fel a figyelmet:

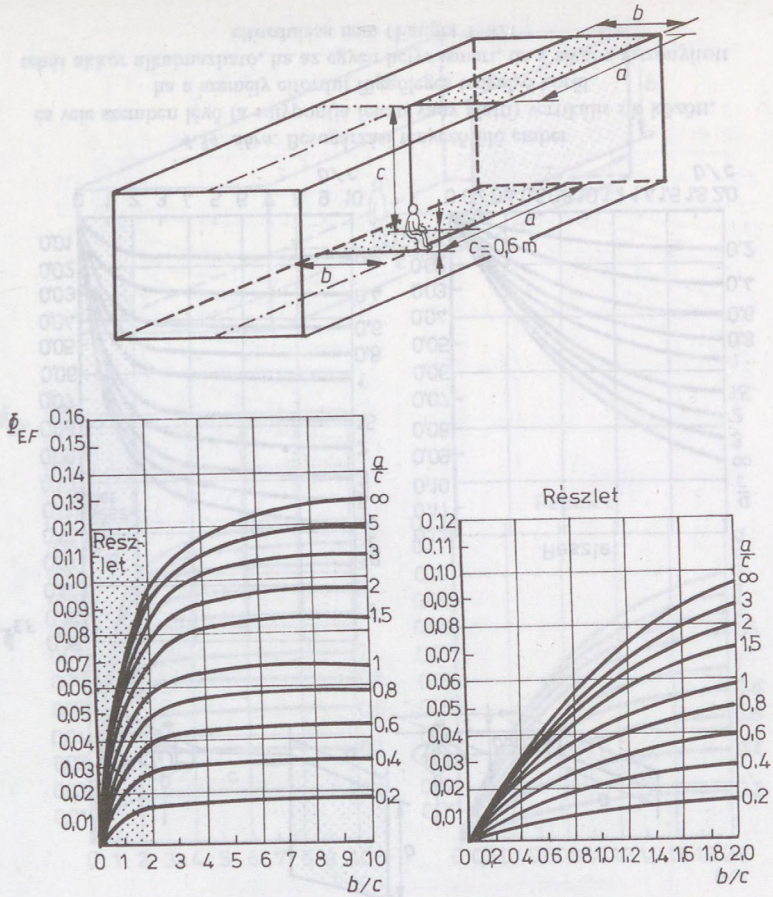
— ülő egyének esetében az emberi test középpontja 0,6 m, míg álló egyének esetében 1,0 m;

— az 1. és 2. eseteknek megfelelő 4.28. és 4.29. ábrán lévő különbség — az ülő egyének elülső mellkasi felületére és hátára vonatkozó besugárzási tényezők közötti különbség — abból adódik, hogy a combok és a lábszár felületét az elülső síknál kell figyelembe venni;

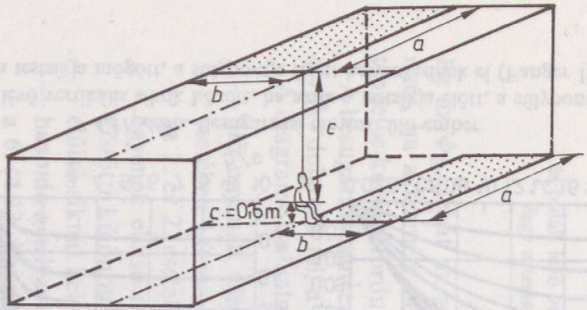
— hasonló a helyzet a 3. (4.30. ábra) és a 4. (4.31. ábra), az 1. (4.32. ábra), valamint a 6. (4.33. ábra) esetekben is;

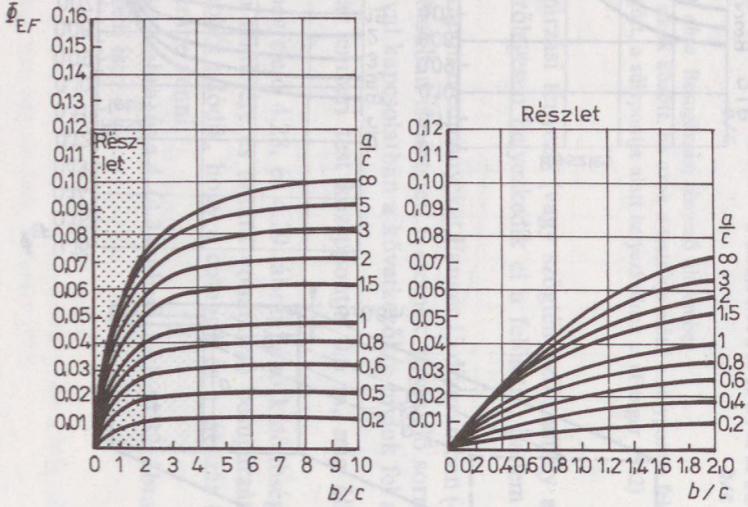


4.31. ábra. Besugárzási tényező ülő ember és oldalt lévő vertikális síkok között, ha azok a testsíkja előtt, a súlypontja alatt vagy a testsíkja mögött, a súlypontja felett helyezkednek el (Fanger 1982)

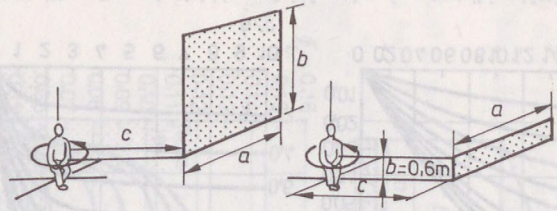


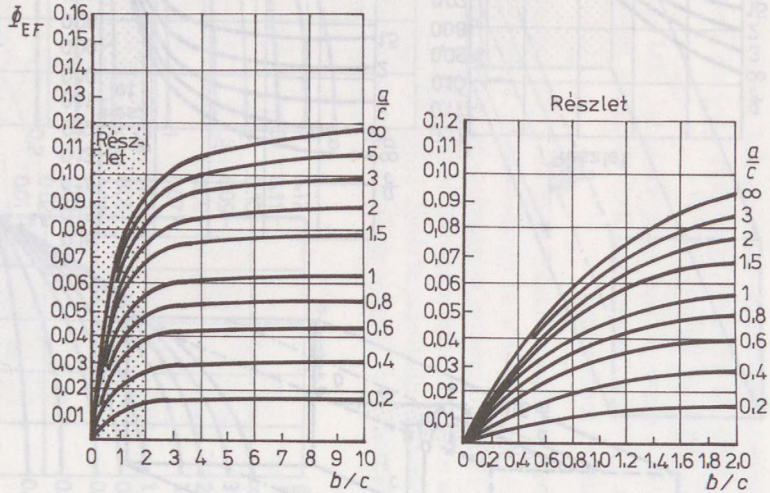
4.32. ábra. Besugárzási tényező ülő ember és a testsíkja előtti mennyezeti vagy a testsíkja mögötti padlófelületre (Fanger 1982)



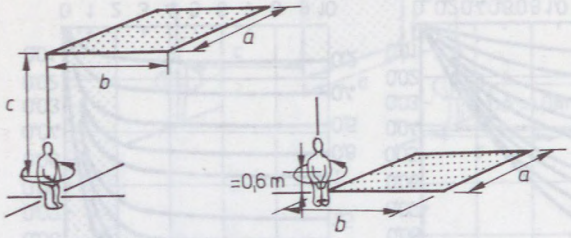


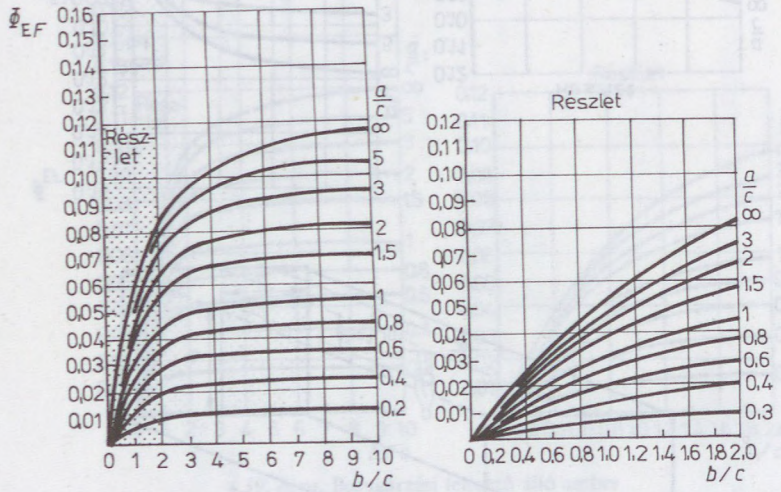
4.33. ábra. Besugárzási tényező ülő ember
és a testsíkja előtti padló felületre vagy a testsíkja mögötti mennyezeti felületre
(Fanger 1982)



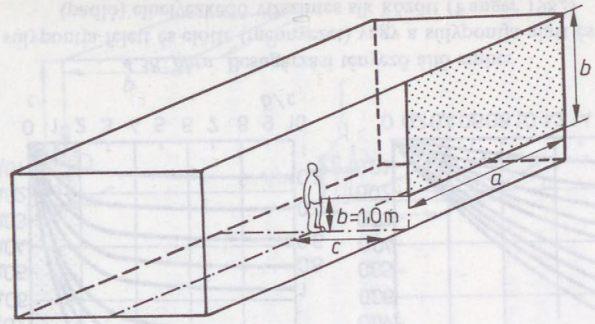


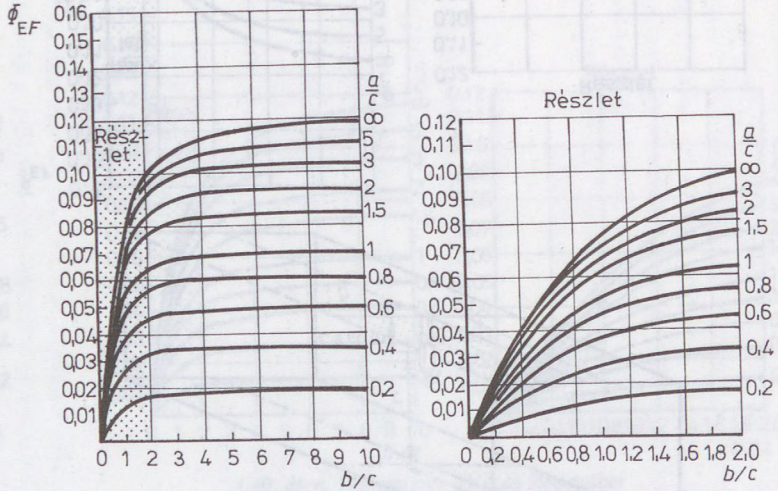
4.34. ábra. Besugárzási tényező ülő ember
és vele szemben lévő (a súlypontja feletti vagy alatti) vertikális sík között,
ha a személy elfordul függőleges tengelye körül,
tehát akkor alkalmazható, ha az egyén helye ismert, de a síkhoz viszonyított
elfordulása nem (Fanger 1982)



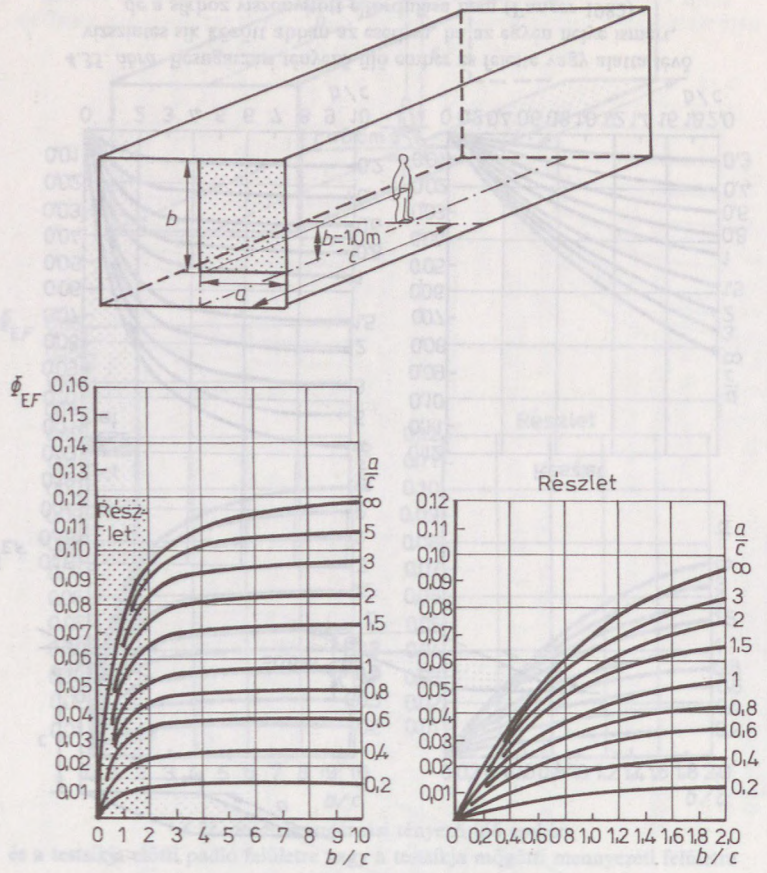


4.35. ábra. Besugárzási tényező ülő ember és felette vagy alatta lévő vízszintes sík között abban az esetben, ha az egyén helye ismert, de a síkhoz viszonyított elfordulása nem (Fanger 1982)

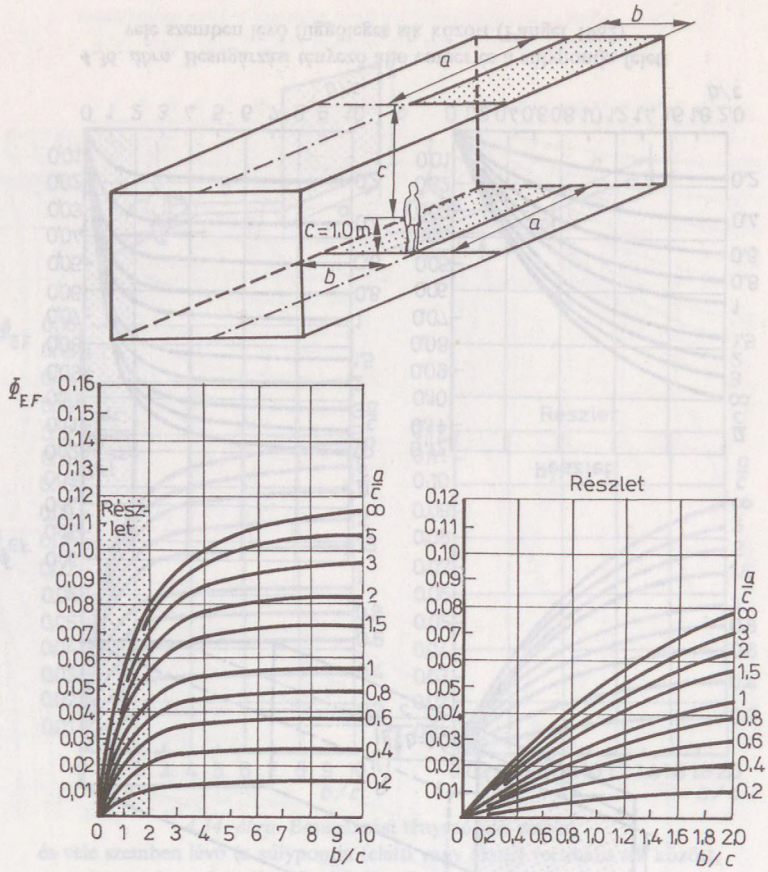




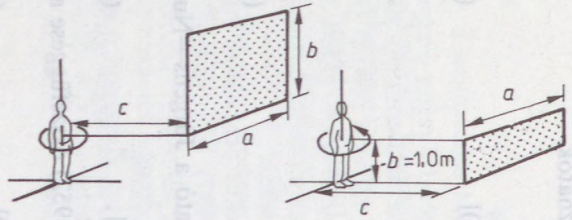
4.36. ábra. Besugárzási tényező álló ember és a súlypontja felett vele szemben lévő függőleges sík között (Fanger 1982)

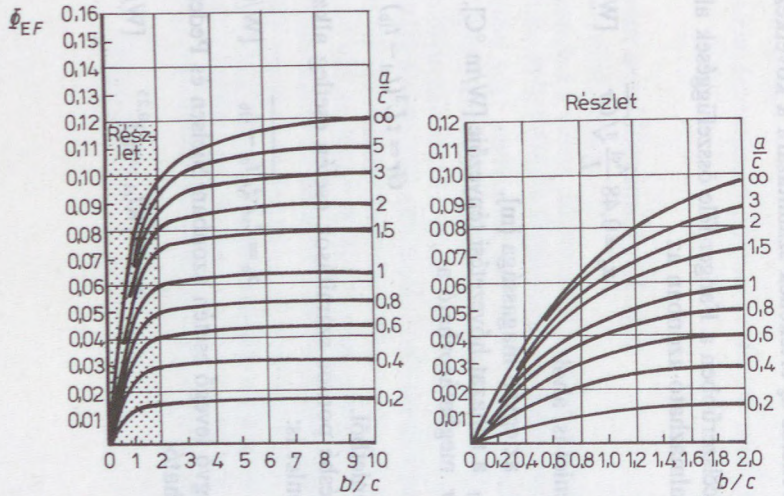


4.37. ábra. Besugárzási tényező álló ember
és a súlypontja felett oldalt elől elhelyezkedő függőleges sík között
(Fanger 1982)

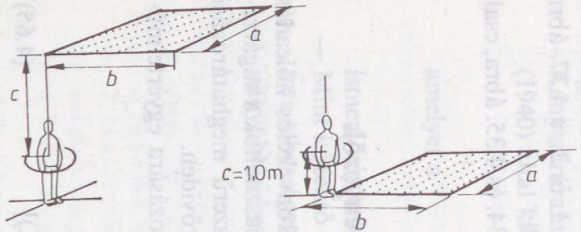


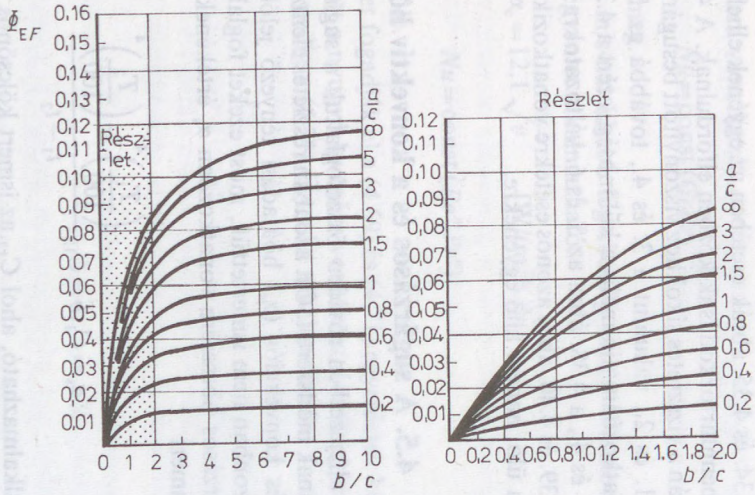
4.38. ábra. Besugárzási tényező álló ember
és a súlypontja felett és előtte (mennyezet) vagy a súlypontja alatt és mögötte
(padló) elhelyezkedő vízszintes sík között (Fanger 1982)





4.39. ábra. Besugárzási tényező álló ember
és a súlypontja felett vagy alatt elhelyezkedő vertikális sík között abban az esetben,
ha az egyén helye ismert, de a síkhoz viszonyított elfordulása nem
(Fanger 1982)





4.40. ábra. Besugárzási tényező álló ember
és felette vagy alatta elhelyezkedő vízszintes sík között abban az esetben,
ha az egyén helye ismert, de a síkhoz viszonyított elfordulás nem
(Fanger 1982)

— a 4.34. és 4.35. ábrák esetében az egyének elhelyezkedési koordinátái ismertek, de benntartózkodásuk közben elfordulnak. A 4.34. ábrán a függőleges, a 4.35. ábrán a vízszintes síkokhoz viszonyított besugárzási tényezők értékei találhatók;
— az 1. és 2., valamint a 3. és 4., továbbá az 5. és 6. esetekben álló emberre vonatkozóan minimális a különbség, ezért a 4.36. ábra az 1. és 2., a 4.37. ábra a 3. és 4., a 4.38. ábra az 5. és 6. változatokra vonatkozik;
— a 4.39. és 4.40. ábra azonos esetekre vonatkozik, mint a 4.34. és 4.35. ábra, csak nem ülő, hanem álló egyénekre.

4.5. A sugárzásos és a konvektív hőátadási tényezők

A 3.1. alfejezetben röviden összefoglaltuk a sugárzásos és konvekciós hőleadás számításának módszereit. Ott azonban részletes elemzés nélkül használtuk a sugárzásos (α_s) és konvekciós (α_c) hőátadási tényező jelölést. Számszerű meghatározási módját azonban nem ismertettük, most ezeket foglaljuk össze röviden.

A sugárzásos hőcserére vonatkozóan α_s értékének meghatározására egyértelműen a közismert

$$\alpha_s = C_{12} b = C_{12} \frac{\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4}{t_1 - t_2} \qquad [\mathrm{W/(m^2K)}] \tag{4.65}$$

egyenlet alkalmazható, ahol C_{12} az ismert kölcsönös sugárzási együttható.

A konvekciós α_c értékének számítására a következő összefüggések vehetők figyelembe:

— Legcélszerűbben a Fanger-féle összefüggések alkalmazhatók.
— Alkalmazható azonban az

$$\alpha_c = 0{,}48 \frac{\lambda_{cl}}{L} \sqrt[4]{Gr} \qquad [\mathrm{W/(m^2K)}] \tag{4.66}$$

egyenlet is, ahol

L az egyén magassága [m],
λ_{cl} a ruházat hővezetési tényezője [W/m °C],
Gr meghatározható a

$$Gr = \tau L^3 (t_{cl} - t_{lb}) \tag{4.67}$$

egyenletből.
— Kevésbé pontos számítások esetén esetleg alkalmazható a Jürgens—Nusselt-egyenlet is:

$$\alpha_c = 2{,}2 \sqrt[4]{t_{cl} - t_{lb}} \qquad [\mathrm{W/(m^2K)}]\,. \tag{4.68}$$

— Nyugvó levegő esetén azonban Nielsen és Pedersen (1952) összefüggése alkalmazható:

$$\alpha_c = 2{,}4 (t_{cl} - t_{lb})^{0{,}25} \qquad [\mathrm{W/(m^2K)}]\,, \tag{4.69}$$

amely a lamináris áramlásra vonatkozó

$$Nu = \text{const}\,(GrPr)^{0,25} \tag{4.70}$$

egyenletből határozható meg.

— Kényszeráramlás, de 2,6 m/s-nál kisebb légsebesség esetén Winslow és mtsai (1940) által kidolgozott egyenlet alkalmazható:

$$\alpha_c = 12{,}1\sqrt{v} \qquad [\mathrm{W/(m^2K)}]\,, \tag{4.71}$$

amelyet a

$$Nu = \text{const}\,(Re^m Pr^n) \tag{4.72}$$

ismert képletből vezettek le.

— Mint közelítő határértéket fogadják el a (4.69) és (4.71) egyenletek között a 0,1 m/s sebességet, amely alatt a nyugvó levegőre vonatkozó (4.69) egyenlet, ennél nagyobb sebesség esetén pedig a (4.71) egyenlet alkalmazható.

5. Zárt terek hőtechnikai méretezésének jelenleg alkalmazott módszerei

Épületek zárt tereinek méretezésére jelenleg számos módszer ismert világszerte. Ezek között vannak nagyon egyszerű, kevéssé megalapozott és nagyszámú mérésekkel alátámasztott, bonyolult módszerek egyaránt. Mindezek bemutatása nem célunk, hanem ezek közül négy jellegzeteset, illetve ezek alapelveit ismertetjük bővebb magyarázat, kritika nélkül. Az összehasonlításra a könyv IV. részében térünk ki. A bemutatott négy módszer az időrendi fejlődés sorrendjében:

— a hagyományos léghőmérsékletre méretezés,
— a mikroklímás mutatószámok,
— az emberi test hőegyensúlyán alapuló hagyományos, Fanger-féle méretezési eljárás,
— az ún. ASHRAE-módszer.

Emellett, mint ötödik csoportot, bemutatunk néhány egyéb új, figyelemre méltó megoldást is.

5.1. Léghőmérsékletre méretezés

Az ún. léghőmérsékletre méretezés, amely a helyiség közepén 1,5 méter magasságban mért levegőhőmérséklet-értéket tekinti méretezési alapnak, évtizedek óta ismert, és hazánkban jelenleg is ez van érvényben. Igaz nem a régi változat MSZH (1980, 1985), mert 1987 folyamán Zöld és munkatársai elkészítették az MSZ140 módosításának tervezetét (MSZH 1987), amely a hazai viszonyokhoz jól alkalmazható, korszerű, bár nem annyira pontos, mint a Fanger- vagy ASHRAE-módszer.

Tehát az ún. léghőmérsékletre méretezés nem teljesen tipikus példájának tekinthető az 1987. évi magyar előírás, az MSZ 04.140 (MSZH 1987). A következőkben ennek lényegét foglaljuk össze röviden, az ebben alkalmazott jelöléseket használjuk, azonban a régi adatokból is mutatunk be, egy-egy táblázat erejéig.

A fűtési szükséglet meghatározására a következő általános összefüggés szolgál:

$$Q = Q_k + Q_b + Q_f - Q_s \quad [W]. \tag{5.1}$$

Az összefüggésben

Q a fűtési hőszükséglet,
Q_k a külső transzmissziós energiaáram,
Q_b a belső transzmissziós energiaáram,
Q_f a filtrációs hőszükséglet,
Q_s a napsugárzásból származó energiaáram.

A külső transzmissziós energiaáram számítása, a méretezett helyiséget a külső környezettől elválasztó határoló és nyílászáró szerkezetekre, a

$$Q_k = \sum_{j=1}^{n} k_j F_j (t_{lb} - t_{lk}) \quad [W] \tag{5.2}$$

összefüggés alapján végzendő, ahol

j a térelválasztó szerkezet sorszáma,
n a méretezett helyiséget a külső környezettől elválasztó szerkezetek száma,
F a határoló szerkezet felülete [m^2],
k a hőátbocsátási tényező [$W/(m^2\,K)$],
t_{lb} a belső levegő hőmérséklete [°C],
t_{lk} a külső levegő hőmérséklete [°C].

A belső transzmissziós energiaáram számítása a méretezett helyiséget a szomszédos terektől elválasztó határoló és nyílászáró szerkezetekre végzendő el. A számítás alapjául szolgáló összefüggés általában

$$Q_b = \sum_{j=1}^{n} k_j F_j (t_{lb} - t_{lsz}) \quad [W], \tag{5.3}$$

ahol

t_{lsz} a szomszédos helyiség léghőmérséklete [°C].

Megjegyezzük, hogy a szomszédos helyiségek esetén mind hőveszteség, mind hőnyereség lehetséges.

A belső levegő előírt értékeire vonatkozóan közöljük Menyhárt (1977) könyvében megadott értékeket *(5.1. táblázat)*.

A filtrációs hőszükségletet a fűtőberendezés fedezi. Ettől elkülönítetten kezelendő a légtechnikai rendszerekbe beépített légfűtők teljesítménye.

Egy adott helyiségbe több térből (a környezetből, a szomszéd helyiségekből) is juthat be levegő, ebben az esetben a helyiség filtrációs hőszükséglete a számított energiaáramok algebrai összege.

Ha a helyiségbe bejutó légáram hőmérséklete a helyiségre előírt hőmérsékletnél nagyobb, akkor értelemszerűen a helyiségnek filtrációs hőnyeresége van.

A filtrációs hőszükséglet meghatározására szolgáló általános összefüggés:

$$Q_f = \dot{V}_l \varrho_{lbe} c_l (t_{lb} - t_{lbe}) \quad [W], \tag{5.4}$$

5.1. táblázat. Helyiségek előírt légállapota télen (t_{lb} a helyiség levegőhőmérséklete, φ a levegő relatív nedvességtartalma) (Menyhárt 1977)

Megnevezés	t_{lb} [°C]	φ [%]
1. Lakóépületek		
Belépő	12	50
Előcsarnok	12	50—65
Előszoba	16	50—65
Fürdőszoba, zuhany	24	75—90
Garázs	10	50
Hall	20	65
Konyha	16	75—90
Lakószoba	20	65
Lépcsőház	12	50
Mosdó	16—20	65
Mosókonyha, vasaló	12	90
Öltöző fürdőhöz	22	75
Termek	18	50—65
Üzlethelyiség	18	50
W. C.	16—18	50
Zárt folyosó	12—16	50
2. Hivatalok, irodák, intézmények		
Auditórium	18	65
Belépő	12	50
Belső lépcsőház	16	50
Büfé	18	65
Dolgozószoba	20	50
Ebédlő, étterem	18	65
Előadó terem	18	65
Előcsarnok, raktár	16	50
Folyosó	16	50
Fürdőszoba, zuhany	24	75—90
Gyűlésterem	18	65
Irattár	18	50
Irattári lerakat	12	50
Iroda, hivatali szoba	20	50
Konyha	16	75—90
Könyvtár	18	50
Laboratórium	18—20	50—65
Mosdó, W. C.	16—18	65
Olvasóterem	20	50
Öltöző	18	50
Rajzterem	20	50
Ruhatár	16	50
Tanácsterem	18	65
Váróterem	16	50
3. Kulturális épületek		
Belépő	12	50
Büfé	18	65
Dohányzó	16	65
Előcsarnok	12—16	50—65
Fürdőszoba, zuhany	24	75—90
Gyermekszoba	20	50
Iroda	20	50
Kiállítási terem	16	50
Könyvtár	18	50
Mosdó, W. C.	16—18	65
Műhely	16	50
Nézőtér	12—18	65
Olvasóterem	20	50
Pénztár	18	50
Raktár	16	50
Ruhatár	18	50
Színházi öltöző	22	50
Színpad	18	50
Ülésterem	18	65
4. Szállodák, otthonok		
Bár	18	65
Belépő	12	50
Belépő folyosó	18	50
Előcsarnok	16	50
Étterem	18	65
Fürdőszoba, zuhany	24	75—90
Hálószoba	18	65
Iroda	20	50
Lakószoba	20	50
Ruhatár	16	50
W. C.	16	50
5. Iskolák, tanintézetek		
Büfé	18	65
Dohányzó	16	65
Előadói szoba	20	50
Előadó terem	18	65
Előcsarnok	16	50
Folyosó	18	50
Fürdő-zuhanyozó	22	75—90
Iroda	20	50
Kapusszoba	18	50
Konyha	16	75—90
Könyvtár	18	50
Közös terem	18	65
Laboratórium	20	50
Lépcsőház	16	50
Mosdó	18	65
Műhely	16—20	50
Olvasóterem	20	50
Orvosi rendelő	22	50
Rajzterem	20	50
Ruhatár	18	50

5.1. táblázat folytatása (1)

Megnevezés	t_{lb} [°C]	φ [%]
Tornaterem	16	50
W. C.	16	50
6. Egészségügyi és szociális épületek		
Átadószoba bölcsődében	22	50
Átadószoba óvodában	20	50
Átadószoba napköziben	18	50
Belépő	16	50
Csecsemőápoló	22	65
Éjjeli felügyelői szoba	18	65
Elkülönítő	22	65
Előcsarnok	18—20	50
Étterem, étkező	20	65
Fürdő-zuhanyozó	24	75—90
Folyosó	20	50
Gyermekszoba	20	50
Hullaház	5	75
Incubatórium	25	50
Inhalatórium	18	65
Iszapgyógyászat	22	65
Iszap-előkészítő	12	65
Játszószoba	20	65
Konyha	16	75—90
Kórterem	20—25	50—65
Kötöző	22	50
Laboratórium	20	50
Masszás-szoba	20	50
Mosdó	20	65
Mosókonyha	20	75—90
Munkaszoba	20	50
Műhely	16—20	50
Műtő	25	50
Műtő-előkészítő	22—25	50
Nedves pakoló	25	50
Orvosi rendelő	22	50
Pihenőszoba	20—22	50
Röntgenszoba	22	50
Sterilizáló, műszerszoba	20	50
Személyzeti szoba	20	50
Szülőszoba	25	50
Tejkonyha	18	75
Várószoba	18	50
W. C.	16—20	50
7. Gyógyszertárak		
Anyagszoba	16	50
Előadó helyiség	18	50
Gyógyszerkészítő helyiség	20	50
Kicsomagolóhelyiség	16	50
Mosdó, W. C.	16	65
Receptkezelő	20	50
Várószoba	18	50
8. Fürdők, uszodák		
Belépő	12	50
Dohányzó	22	65
Előcsarnok	18	50
Folyosó	18	50
Forró légfürdő	60—70	10—20
Gőzfürdő	40	90
Kádfürdő, zuhanyzó	24	75—90
Lépcsőház	18	50
Öltöző	22	50
Pihenőterem	22	50
Tornaterem	16	50
Uszoda	24	75
Váróterem	18	50
9. Mosdók, fertőtlenítők		
Átvétel és kiadás	18	50
Fehérnemű-áztató	16	75
Fertőtlenítő	15	65
Mosóhelység	18	75—90
Ruhajavító	18	50
Szárító	16	75—90
Várószoba	18	50
Vasaló	16	65
Vegytisztító és festöde	18	65
10. Kereskedelmi épületek		
Árukiadás	16	50
Cukrászműhely	10	75
Edénymosogató	18	75
Étterem	18	65
Falatozó, büfé	16	65
Konyha	16	75—90
Laboratórium	20	50
Üzlethelyiség	18	50
Várószoba	18	50
Vásárcsarnok	5—12	50—75
11. Ipari létesítmények		
Asztalosműhely	20	50
Dohányüzem	18	75—90
Erőművek gépterme	18	50
Festöde	25	50—65
Fonoda	20—22	75—90
Gyapjúszövöde	20	75—90
Kovácsműhely	10	65—75
Laboratórium	20	50
Mintázó	20	50

5.1. táblázat folytatása (2)

Megnevezés	t_{lb} [°C]	φ [%]	Megnevezés	t_{lb} [°C]	φ [%]
Műhelycsarnok	12—15	50—65	*13. Közüzemi épületek*		
Öntöde	10	65—75	Büfé	16	65
Pamut-, selyem-, lenszövés	20—22	75—90	Előcsarnok	16	50
Szerelőcsarnok	15	50—65	Csomagfelvétel	16	50
Textilfestöde	18	75—90	Étterem	18	65
			Iroda	18	50
12. Legénységi épületek			Laboratórium	20	50
Betegszoba	20	65	Pénztár	18	50
Folyosó	14	65	Postahelyiség	16	50
Fürdő, zuhanyzó	22	75—90	Ruhatár	12	65
Hálóterem	12	75	Váróterem	16	65
Nappali termek	18	65	W. C.	16	65
Tiszti szobák	18	50			
Tanterem	18	65			

ahol

$\dot{V}_l$ a levegő térfogatárama,
ϱ_{lbe} a belépő levegő sűrűsége,
c_l a levegő fajhője,
t_{lb} a belső hőmérséklet,
t_{lbe} a levegő belépési hőmérséklete.

A filtrációs hőszükséglet bemutatásakor — mivel csak az egész méretezési módszer elvi áttekintéséről van szó — eltekintünk olyan részletkérdésekről, mint pl.

— méretezés a légcsereszám alapján,
— a szél és felhajtóerő által okozott filtrációs hőszükséglet,
— eredő filtrációs hőszükséglet.

Ezek a hivatkozott szabvány 9—11. oldalain megtalálhatók. E témakörrel azonban lényegesen bővebben foglalkozunk a 18. fejezetben.

Mivel az egész könyv alapvető célja a zárt terek humáncentrikus méretezése, bemutatjuk az előírás azon részét, amely az emberi hőérzet figyelembevételére vonatkozik.

Az előírt belső hőmérséklet helyett, konvekciós fűtések esetében, a méretezés a belső levegő hőmérsékletére végzendő az *5.2. táblázat*ban foglalt esetekben (MSZH 1980, 1985).

A táblázat adatainak használata helyett a belső hőmérséklet alapján történő méretezés is megengedett; ekkor a belső levegő szükséges hőmérséklete a felületek hőmérsékletének és a geometriai viszonyoknak a függvényében számítandó.

Azokban az esetekben, amikor a helyiség rendeltetéséből következően egyes személyek tartózkodási helye hosszabb időre rögzített (például tantermekben), a hőérzeti feltételeket arra a tartózkodási helyre kell ellenőrizni, ahol a legkisebb eredő hőmér-

5.2. táblázat. Hőérzeti korrekciós értékek (MSZH 1980, 1985)

Lehűlő felületek száma	Ebből üvegezett	Δt [°C], ha az üvegezett felület a lehűlő felülethez viszonyítva	
		<50%	>50%
1	1	0	1
2,3	1	1	2
	2	2	3
	3	3	4
4	1	2	3
	2	3	4
	3	4	5

séklet várható. Ennek legegyszerűbb, elfogadható módja a

$$t_{F_k b} \geq 19{,}2 - \frac{2{,}2}{\varphi_{EF_k}} \tag{5.5}$$

egyenlőtlenség teljesülésének ellenőrzése, ahol

$t_{F_k b}$ a külső határoló (nyílászáró) szerkezet belső felületének hőmérséklete méretezési állapotban,

φ_{EF_k} az ember besugárzási tényezője a külső határoló (nyílászáró) szerkezetre (felületelem és felület közötti besugárzást feltételezve).

A besugárzási tényező számítására a

$$\varphi_{EF_k} = 1 - 0{,}8 \cdot \frac{x}{\sqrt{F_k}} \tag{5.6}$$

közelítő összefüggés használható, ahol

x a külső felülettől mért távolság,

F_k a külső felület.

Ha $\frac{x}{\sqrt{F_k}} > 1$, akkor $\varphi_{EF_k} = 0{,}2$ értékkel számolunk.

Összehasonlítva az 5.3 alfejezetben bemutatásra kerülő Fanger-módszerrel, a különbség nagy, és tulajdonképpen magyarázatot is nyújt arra, hogy miért pontatlan e módszer, és miért adódhat hőkomfortprobléma az így méretezett belső terekben.

Megemlítjük végül a napsugárzásból származó hőnyereség számításának módját, mivel erre a kérdésre később még (pl. a könyv II. részében) visszatérünk.

A szokványos üvegezett szerkezeteken át a helyiségbe bejutó napsugárzásból származó energiaáram a

$$Q_s = A_ü q_s \quad [W] \tag{5.7}$$

összefüggésből számítható, ahol

$A_ü$ az üvegezett felület,

q_s a tájolás és a benapozás függvényében az *5.3. táblázat* meghatározott értékeivel számítandó (MSZH 1980, 1985).

A léghőmérsékletre méretezéstől való eltérésre mindenhol tesznek erőfeszítéseket, elsősorban a Fanger-módszer irányába. Az „átmenet" egyik érdekes eredménye, a volt NDK-ban készült „Raumklimanormative" lakóhelyiségekre (GAKH 1985). Ebben a következő paramétereket veszik figyelembe:

— belső rezultáns hőmérséklet,
— közepes légsebesség,
— a levegő relatív nedvességtartalma,
— a ruházat hőszigetelő képessége,
— a metabolikus hőfejlődés,
— külső léghőmérséklet.

5.3. táblázat. Üvegszerkezeteken keresztül a helyiségbe jutó napsugárzás fajlagos (q_s) értéke (MSZH 1980, 1985)

Tájolási szektor	D		DK és DN		K és N		É
Benapozás	telj.	részb.	telj.	részb.	telj.	részb.	
q_s	45	25	30	20	15	10	0

5.4. táblázat. A belső hőfejlődés és a ruházat számításakor figyelembe veendő értékei a napszak függvényében (GAKH 1985)

Napszak		6,00—18,00	18,00—22,00	22,00—6,00
Belső hőfejlődés [met]		1,2	1,0	0,8
Ruházat [clo]	fűtés nélküli időszak	0,5—0,75	0,5—1,0	változó
	fűtési időszak	1,0	1,0	$\geqq 3{,}0$

5.5. táblázat. Lakóépület méretezési határ-léghőmérséklet értékei (GAKH 1985)

Napszak	6,00—18,00	18,00—22,00	22,00—6,00
	Fűtés nélküli időszak		
Lakószoba	$\leqq 27$	$\leqq 28$	$\leqq 28$
Hálószoba	$\leqq 28$	$\leqq 28$	$\leqq 29$
Konyha	$\leqq 27$	$\leqq 27$	$\leqq 28$
	Fűtési időszak		
Lakószoba	$\geqq 20$	$\geqq 21$	$\geqq 14$
Hálószoba	$\geqq 14$	$\geqq 14$	$\geqq 14$
Konyha	$\geqq 18$	$\geqq 14$	$\geqq 14$

A tervezetből két táblázatot mutatunk be:

— a metabolikus hőfejlődés és ruházat méretezésekor figyelembe veendő értékeit a napszak függvényében *(5.4. táblázat)*,
— a téli és nyári belső léghőmérséklet határértékeket, ugyancsak a napszak függvényében *(5.5. táblázat)*.

5.2. Mikroklímás mutatószámok

Az új építési módok megjelenésével felgyorsult az a folyamat, amely a hagyományos, csak lég-, majd eredő hőmérsékletet figyelembe vevő módszerek helyett új összefüggések, diagramok kidolgozásához vezetett. Ezen módszerek nem egy összefüggő rendszert képeztek, hanem egyedi, speciális esetekre voltak alkalmasak, és mikroklímás mutatószámok gyűjtőnévvel illethetők. Jellemzőik továbbá, hogy általában két-három, esetleg négy paramétert vesznek figyelembe zárt terek méretezésekor.

Fanger hőkomfortelméletének általános elfogadásáig — tehát a 70-es évek közepéig — nagyon népszerűek voltak, és időnként még napjainkban is találkozhatunk némelyikkel a műszaki gyakorlatban. Egyesek valóban még most is alkalmazhatóak speciális esetekre, de inkább az elméleti hőkomfortszámítások kiegészítéseként, ellenőrzéseként.

Megemlítjük, hogy jelenleg is találhatóak a korszerű méretezési módszerekben olyan kisegítő diagramok, amelyek tulajdonképpen ezekkel egy csoportba is sorolhatók lennének. Mivel azonban ma már az emberi test hőegyensúlyának elméletén alapulnak, és ezen elméleti számítási módszer kiegészítésének tekinthetők, ezért külön kezeljük őket. Ilyenekkel találkozhatunk majd az 5.4. alfejezetben az ún. ASHRAE-módszer ismertetésekor. Egy másik részüket pedig e könyv IV. részében, a legújabb eredmények ismertetésekor, mutatjuk be.

Az itt röviden — a teljesség igénye nélkül — bemutatásra kerülő „hagyományos" mikroklíma-mutatószámokat a következő csoportosításban dolgoztuk fel:

— a levegő hőmérsékletét és a környező felület hőmérsékletét,
— a levegő hőmérsékletét és sebességét,
— a levegő hőmérsékletét és relatív nedvességtartalmát,
— a levegő hőmérsékletét, a környező felületek hőmérsékletét és a légsebességet,
— a levegő hőmérsékletét, a légsebességet és a relatív nedvességtartalmat,
— a levegő hőmérsékletét, a környező felületek hőmérsékletét, a légsebességet és a levegő relatív nedvességtartalmát

figyelembe vevő mutatószámok.

Külön csoportban (lásd 5.2.7. pont), az előzőek ismertetése után, mutatjuk be azokat a diagramokat, amelyek az előzőeknél korszerűbbnek tekinthetők, és tulajdonképpen átmenetet képeznek, illetve a korszerű méretezési módszerek előfutárjának tekinthetők.

Meg kell jegyezni, hogy amennyiben a környező felületek valamelyikének hőmérséklete a 35 °C-t meghaladja, azt már sugárzó fűtésként kell kezelni, és ezzel a kérdéssel külön foglalkozunk a könyv II. részében. Határesetnek a padlófűtés tekinthető, amelynek azonban a felületi hőmérséklete 35 °C-nál kevesebb.

5.2.1. A levegő és a környező felületek hőmérsékletét figyelembe vevő mutatószámok

Tulajdonképpen ebbe a csoportba sorolhatók a 2.4.2.1. alpontban ismertetett „Az emberi test hőcseréjének számításakor alkalmazott hőmérsékletértékek" közül az operatív (t_o) és az eredő (t_R) hőmérsékletek is, de ezek bemutatását ott tartottuk logikusnak. Ugyanakkor néhány, itt bemutatásra kerülő mutatószám azonban ugyancsak az eredő hőmérséklet kategóriájába lenne sorolható, de mint látni fogjuk, ezek egy meghatározott alkalmazási tartományra vonatkoznak, ezért itt kerülnek ismertetésre.

A bemutatásra kerülő fontosabb mutatószámok egy része összefüggés, egy része diagram. Az összefüggések a következők:

a) Raber és Hutchinson (1947) ún. kényelmi száma, amely szerint a kellemes közérzetnek a következő hőmérsékletarányok esetében kell megvalósulnia:

$$t_{lb} + t_{ks} = 42{,}2 \quad [°C]. \tag{5.8}$$

b) Missenard (1959) ún. eredő hőmérséklete a következő összefüggéssel számítható:

$$t_R = 0{,}45\, t_{lb} + 0{,}55\, t_{ks} \quad [°C]. \tag{5.9}$$

A szerző azonban az összefüggés alkalmazási területét maximum 0,1 m/s légsebességig korlátozza. A kellemes hőérzetre vonatkozóan Bedford (1948) 18,5 °C, Yaglou és Miller (1925), valamint Chrenko (1963) pedig 16,5—20 °C Missenard-hőmérsékletértéket, illetve -tartományt ad meg.

c) Rietschel és Raiss (1968) szerint az ún. érzékelt hőmérséklet kifejezhető a következő egyenlettel:

$$t_{ér} = \frac{\alpha_c t_{lb} + \alpha_s \bar{t}_F}{\alpha_c + \alpha_s} \quad [°C], \tag{5.10}$$

ahol

$\bar{t}_F$ a környező felületek átlagos hőmérséklete [°C].

Kis légsebességek esetén $\alpha_s \approx \alpha_c$, tehát

$$t_{ér} = \frac{t_{lb} + \bar{t}_F}{2} \quad [°C]. \tag{5.11}$$

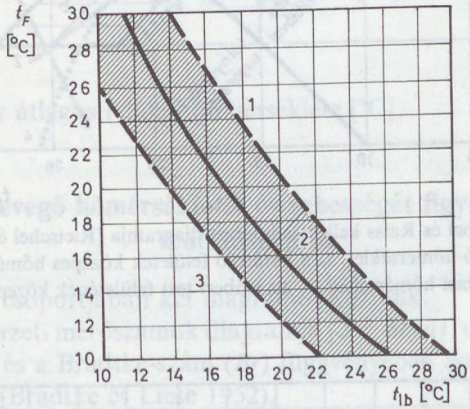
Az összefüggés alkalmazását azonban a szerzők csak a következő feltételek megvalósulása esetén javasolják:

— zárt helyiségben, nyugvó levegőben,
— 15—25 °C léghőmérséklet-határok között,
— a levegő- és felületi hőmérséklet megoszlása egyenletes,

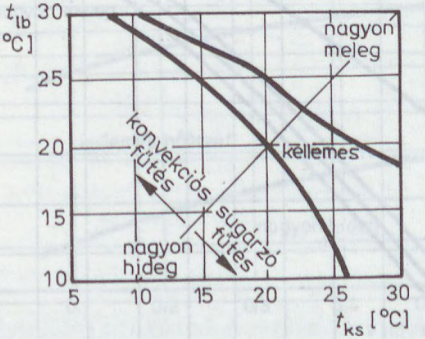
— a relatív nedvességtartalom 30—70%,
— a felületi hőmérséklet számításakor a fűtőtestek sugárzó felületét is figyelembe kell venni.

A fontosabb diagramok pedig a következők:

d) Bedford (1948) a levegő és a környező falfelületek átlagos hőmérsékletének és a hőérzetnek viszonyát vizsgáló kísérleteik eredményeit diagramban dolgozták fel *(5.1. ábra)*.

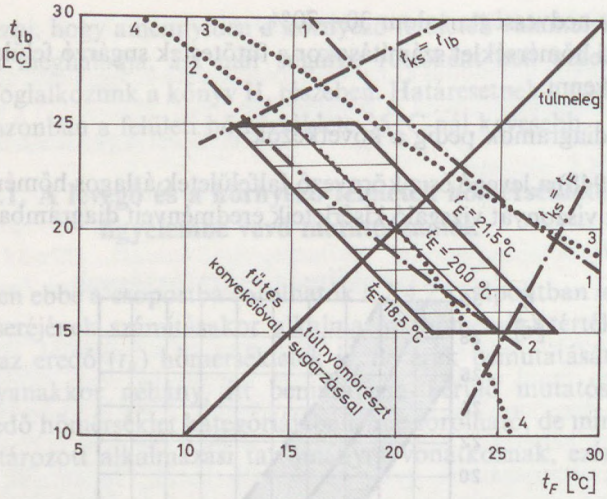


5.1. ábra. Bedford kellemes hőérzet diagramja (Bedford 1948)
(t_F a határoló felületek (falak) közepes hőmérséklete, t_{lb} a levegő-hőmérséklet)

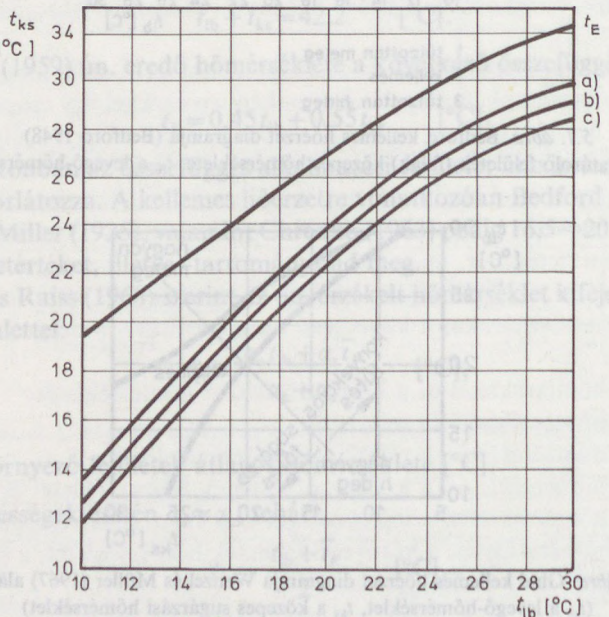


5.2. ábra. Ghai kellemes hőérzet diagramja Wenzel és Müller (1967) alapján
(t_{lb} a levegő-hőmérséklet, t_{ks} a közepes sugárzási hőmérséklet)

e) Eredetileg ipari üzemek méretezésére alkalmas az ún. Ghai-diagram, amely 0,15 m/s légsebességet vesz figyelembe. Wenzel és Müller (1967) kutatásai alapján a diagram egyéb helyiségekben is alkalmazható, 10—30 °C levegő- és közepes sugárzási hőmérséklet-határértékek között *(5.2. ábra)*.



5.3. ábra. Rietschel és Raiss kellemes hőérzet diagramja (Rietschel és Raiss (1968)
(t_{lb} a levegő-hőmérséklet, t_F a határoló felületek közepes hőmérséklete,
t_{ks} a közepes sugárzási hőmérséklet, t_E az emberi test felületének közepes hőmérséklete)



a) a legkedvezőbb t_{ks} vonala
b) a megengedhető legnagyobb t_{ks} vonala
c) a megengedhető legkisebb t_{ks} vonala

5.4. ábra. Macskásy a levegő hőmérsékletét (t_{lb}) és a sugárzási hőmérsékletet (t_{ks})
figyelembe vevő diagramja (Macskásy 1972)
(t_E az emberi test felületének közepes hőmérséklete)

f) Az *5.3. ábrán* látható diagram Rietschl és Raiss (1968) szerint minden esetben alkalmazható. A diagramban feltüntették Nielsen és Pedersen (1952) hőleadástartományait jellemző vonalait és Ghai görbéjét, valamint megjelöltek különböző értékekre meghatározott hőérzeti tartományokat is.

g) Macskásy (1972) az *5.4. ábra* megszerkesztésekor — amely a levegő hőmérsékletét és a sugárzási hőmérsékletet veszi figyelembe — a következő összefüggéssel számol:

$$t_{ks} = t_E - \frac{M}{7{,}25} \quad [°C], \tag{5.12}$$

ahol

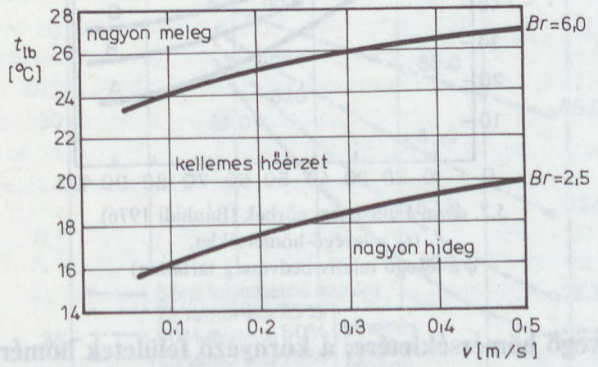
t_E az ember átlagos felületi hőmérséklete [°C].

5.2.2. A levegő hőmérsékletét és sebességét figyelembe vevő mutatószámok

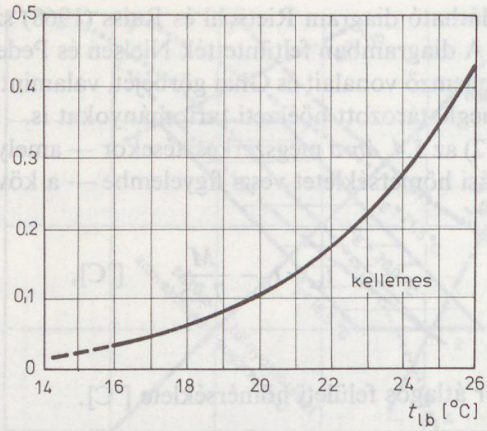
E mutatószámok csoportjában két diagramot közlünk.

Az első az ún. hőérzeti mérőszámok diagramja *(5.5. ábra)*, ez a levegő-hőmérséklet (t_{lb}), légsebesség (v) és a Bradtke-szám (Br) függvényében ad meg különböző hőérzeti tartományokat (Bradtke és Liese 1952).

A második a Reinders-féle diagram *(5.6. ábra)*, amely a légsebesség kellemes tartományát adja meg a levegő-hőmérséklet függvényében, könnyű munka esetén (Reinders 1969).



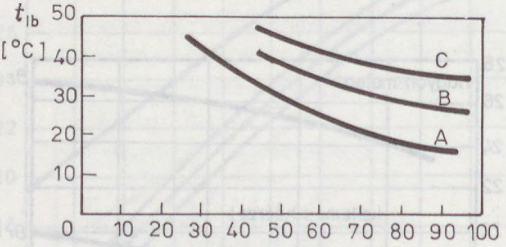
5.5. ábra. A hőérzeti mérőszámok diagramja (Bradtke és Liese 1952) (t_{lb} a levegő-hőmérséklet, v a légsebesség, Br a Bradtke-szám)



5.6. ábra. A megengedhető légsebességértékek (v) a levegő-hőmérséklet (t_{lb}) függvényében (Reinders 1969)

5.2.3. A levegő hőmérsékletét és relatív nedvességtartalmát figyelembe vevő mutatószámok

E kategóriában egy diagramot mutatunk be, az ún. „fülledtségi görbéket" *(5.7. ábra)*. Ebből az A-görbe Lancaster, Castens és Rougge nevéhez fűződik, míg a B- és C-görbe az ún. elviselhetőségi határgörbe, de két különböző szerzőpáros, Ehrigsman és Hasse, valamint Wenzler és Thauer szerint (Bánhidi 1976).



5.7. ábra. Fülledtségi görbék (Bánhidi 1976)
(t_{lb} a levegő-hőmérséklet,
φ a levegő relatív nedvesség tartalma)

5.2.4. A levegő hőmérsékletére, a környező felületek hőmérsékletére és a légmozgásra vonatkozó mutatószámok

5.2.4.1. Gömbhőmérséklet

Vernon készített egy gömb alakú hőmérőt, elsősorban eredő hőmérsékletek mérésére (Vernon 1932, Vernon és Warner 1932). Ez gyakorlatilag egy 15,7 cm átmérőjű, feketére festett üreges rézgömb, amelynek belsejébe higanyos hőmérő nyúlik. A

gömbhőmérsékletet (t_g) a következő hőtani feltételezés alapján állapítjuk meg:

$$\alpha_s F(t_F - t_g) \approx \alpha_c F(t_g - t_{lb}), \tag{5.13}$$

ahol

F a környező felület,
t_F a környező felület hőmérséklete,
t_{lb} a levegő hőmérséklete.

Ha $\alpha_s \approx \alpha_c$, akkor

$$t_g \approx \frac{t_{lb} + t_F}{2} \approx t_{ks}. \tag{5.14}$$

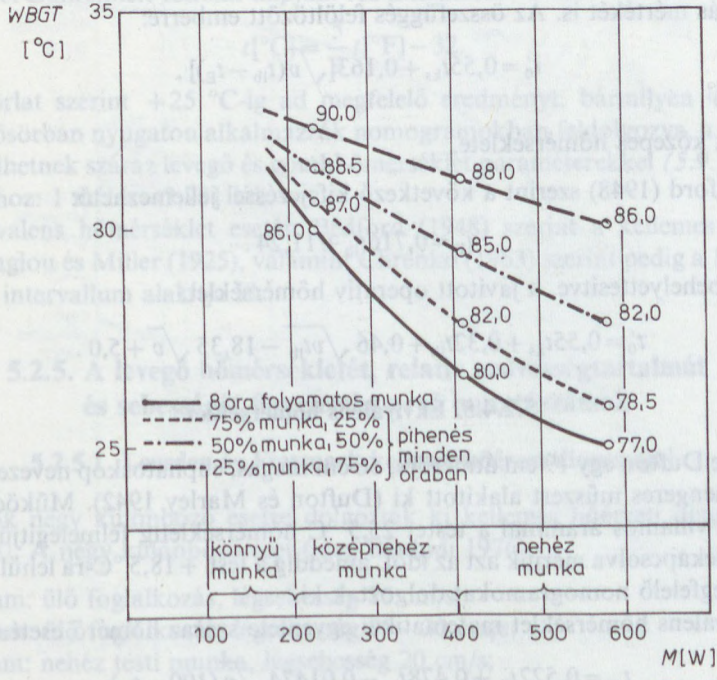
Bradtke és Liese (1952) szerint a gömbhőmérő nem alkalmas pontos értékek megállapítására, mert, ha $t_{ks} > t_{lb}$, akkor növekvő légsebességek esetén a gömbhőmérő hőmérséklete t_{lb}-hez tart. Ha pedig $t_{ks} = t_{lb}$-lel, nem reagál a légmozgás hatására.

Bedford (1948) a közepes sugárzási hőmérséklet és gömbhőmérséklet között a következő összefüggést állapította meg:

$$T_{ks}^4 \cdot 10^{-9} = T_g \cdot 10^{-9} + 0{,}128\, v(t_g - t_{lb}), \tag{5.15}$$

ahol

T_{ks} közepes sugárzási hőmérséklet [K],
T_g gömbhőmérséklet [K],
v légsebesség [m/s],
t_{lb} levegő-hőmérséklet [°C].



5.8. ábra. A „*WBGT* index" által megengedett hőterhelési határértékek (ASHRAE 1985)

5.2.4.2. *WBGT* index

Itt kell bemutatnunk az elsősorban a munkavédelmi vonatkozásban alkalmazott ún. *WBGT* indexet is. A meghatározására alkalmazott összefüggés:

$$WBGT = 0{,}7t_{ng} + 0{,}7t_g + 0{,}1t_{fg}\,, \tag{5.16}$$

ahol

t_{ng} a nedves gömbhőmérséklet,
t_g a normál gömbhőmérséklet,
t_{fg} az ún. polírozott gömb hőmérséklete.

Az index alkalmazására vonatkozóan mutatjuk be az *5.8. ábrát* (ASHRAE 1985).

5.2.4.3. Száraz rezultáns hőmérséklet

B. Krause, majd Missenard (1957) továbbfejlesztette Vernon elgondolását, és a gömbhőmérséklet-mérőt gumiból készült gömbbel készítette. Ennek előnye, hogy a mérési idő lecsökkent 5-6 percre (gömbhőmérő esetén kb. 15 perc). Mivel a hőmérséklet a levegő nedvességtartalmát nem veszi figyelembe, Missenard száraz rezultáns hőmérsékletnek nevezi.

5.2.4.4. Javított operatív hőmérséklet

Mint az előzőekben láttuk, az operatív hőmérséklet csak a levegő és a környező felületek hőmérsékletét tartalmazza. A javított operatív hőmérséklet figyelembe veszi a légmozgás mértékét is. Az összefüggés felöltözött emberre:

$$t_0' = 0{,}55t_{ks} + 0{,}163[\sqrt{v}(t_{lb} - t_E)]\,, \tag{5.17}$$

ahol

t_E a test közepes hőmérséklete,

amely Bedford (1948) szerint a következő kifejezéssel jellemezhető:

$$t_E = 0{,}716t_{lb} + 11{,}24\,. \tag{5.18}$$

t_E értéket behelyettesítve, a javított operatív hőmérséklet:

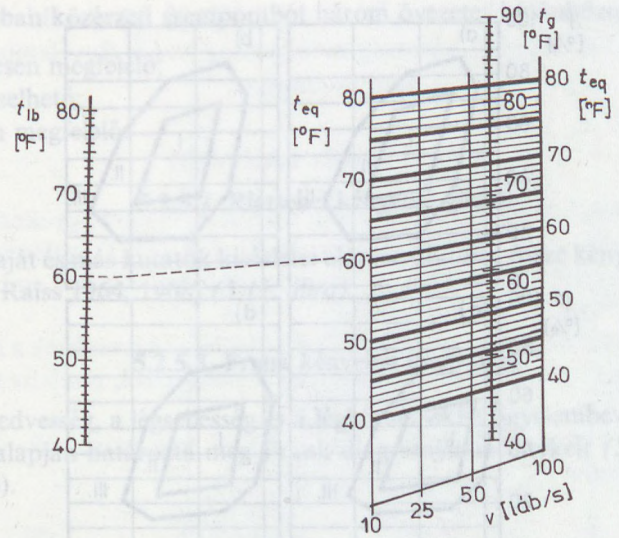
$$t_0' = 0{,}55t_{ks} + 0{,}32t_{lb} + 0{,}46\sqrt{vt_{lb}} - 18{,}35\sqrt{v} + 5{,}0\,. \tag{5.19}$$

5.2.4.5. Ekvivalens hőmérséklet

Mérésére Dufton egy 19 cm átmérőjű, 56 cm magas, euphatoskop nevezetű, feketére festett hengeres műszert alakított ki (Dufton és Marley 1942). Működési elve a következő: villamos árammal a testet 25,5 °C hőmérsékletig felmelegítjük, majd a melegítést lekapcsolva mérjük azt az időt, ameddig a test + 18,5 °C-ra lehűl. Átszámításához megfelelő nomogramokat dolgoztak ki.

Az ekvivalens hőmérséklet matematikai egyenlete száraz hőmérő esetén:

$$t_{eq} = 0{,}522t_{lb} + 0{,}478t_{ks} - 0{,}01474\sqrt{v}\,(100 - t_{lb})\,, \tag{5.20}$$



5.9. ábra. Az ekvivalens hőmérséklet (t_{eq}) diagramja (Dufton és Marley 1942) (t_{lb} a levegő-hőmérséklet, v a légsebesség, t_g a gömbhőmérséklet)

gömbhőmérő esetén:

$$t_{eq} = 0{,}522t_{lb} + 0{,}478t_{ks} + \sqrt{v}\,(0{,}0808t_{lb} - 0{,}666t_{lb} - 1{,}474)\,. \qquad (5.21)$$

Az értékeket Fahrenheit-fokban kapjuk. Az átszámítás °C-ra:

$$t[°C] = \frac{5}{9}\,t[°F] - 32.$$

A gyakorlat szerint +25 °C-ig ad megfelelő eredményt, bármilyen légsebesség esetén. Elsősorban nyugaton alkalmazzák nomogramokban feldolgozva, a nomogramok készülhetnek száraz levegő és gömbhőmérséklet paraméterekkel *(5.9. ábra)*. Az átszámításhoz: 1 méter = 3,281 láb.

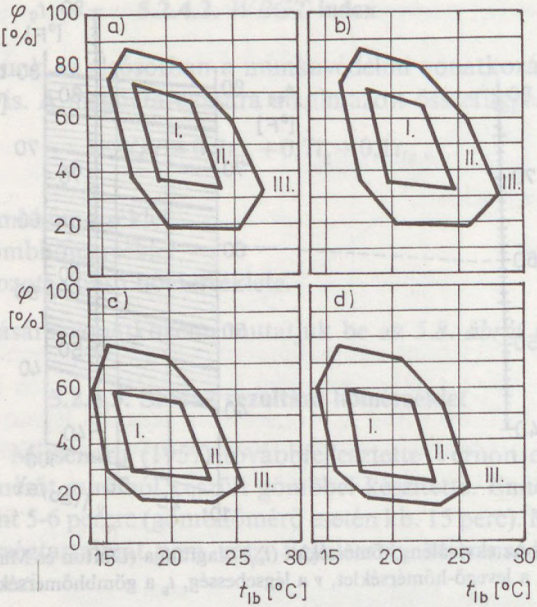
Az ekvivalens hőmérséklet esetén Bedford (1948) szerint a kellemes hőérzetet 16,5 °C, Yaglou és Miller (1925), valamint Chrenko (1963) szerint pedig a 14,5—19,0 °C közötti intervallum alakítja ki.

5.2.5. A levegő hőmérsékletét, relatív nedvességtartalmát és sebességét figyelembe vevő mutatószámok

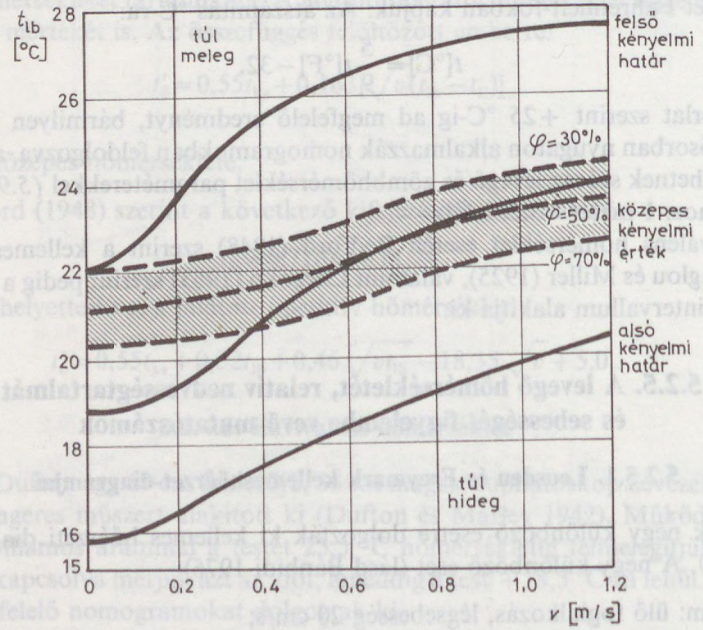
5.2.5.1. Leusden és Freymark kellemeshőérzet-diagramjai

A szerzők négy különböző esetre dolgozták ki kellemes hőérzeti diagramjaikat *(5.10. ábra)*. A négy különböző eset (lásd Bánhidi 1976):

a) diagram: ülő foglalkozás, légsebesség 20 cm/s;
b) diagram: ülő foglalkozás, légsebesség 20—30 cm/s;
c) diagram: nehéz testi munka, légsebesség 20 cm/s;
d) diagram: nehéz testi munka, légsebesség 20—30 cm/s.



5.10. ábra. Leusden és Freymark kellemes hőérzeti diagramja (Bánhidi 1976)
(φ a levegő relatív nedvességtartalma,
t_{lb} a levegő-hőmérséklet)



5.11. ábra. Rietschel kényelmi görbéi (Rietschel és Raiss 1964, 1968)
(t_{lb} a levegő-hőmérséklet, v a légsebesség,
φ a levegő relatív nedvességtartalma)

A diagramokban közérzeti szempontból három övezetet különböztetnek meg:

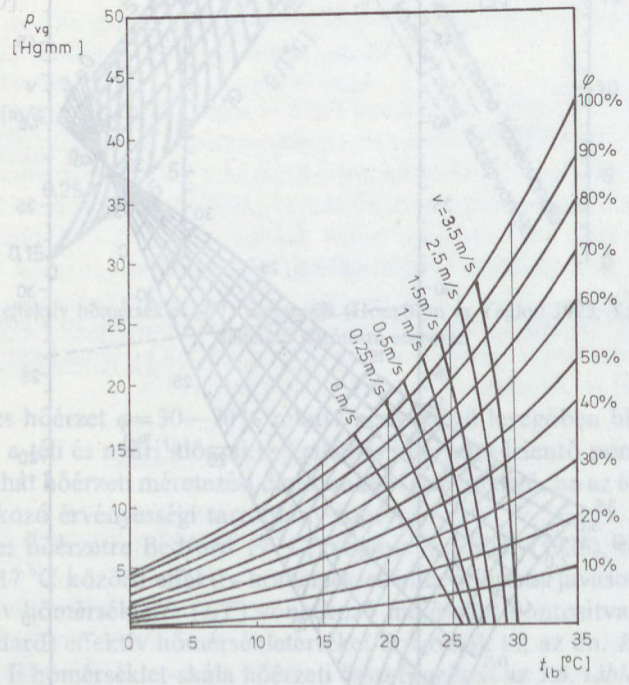
I. zóna teljesen megfelelő;
II. zóna elviselhető;
III. zóna nem megfelelő.

5.2.5.2. Rietschel kényelmi görbéi

Rietschel saját és más kutatók kísérletei alapján állította össze kényelmi diagramját (Rietschel és Raiss 1964, 1968) *(5.11. ábra)*.

5.2.5.3. Frank kényelmi diagramja

A relatív nedvesség, a légsebesség és a léghőmérséklet figyelembevételével kísérleti eredmények alapján határozta meg Frank diagramjának értékeit *(5.12. ábra)* (lásd Bánhidi 1976).



5.12. ábra. Frank kényelmi diagramja (Bánhidi 1976) (p_{vg} a levegőben lévő vízgőz parciális nyomán, t_{lb} a levegő-hőmérséklet, v a légsebesség, φ a levegő relatív nedvességtartalma)

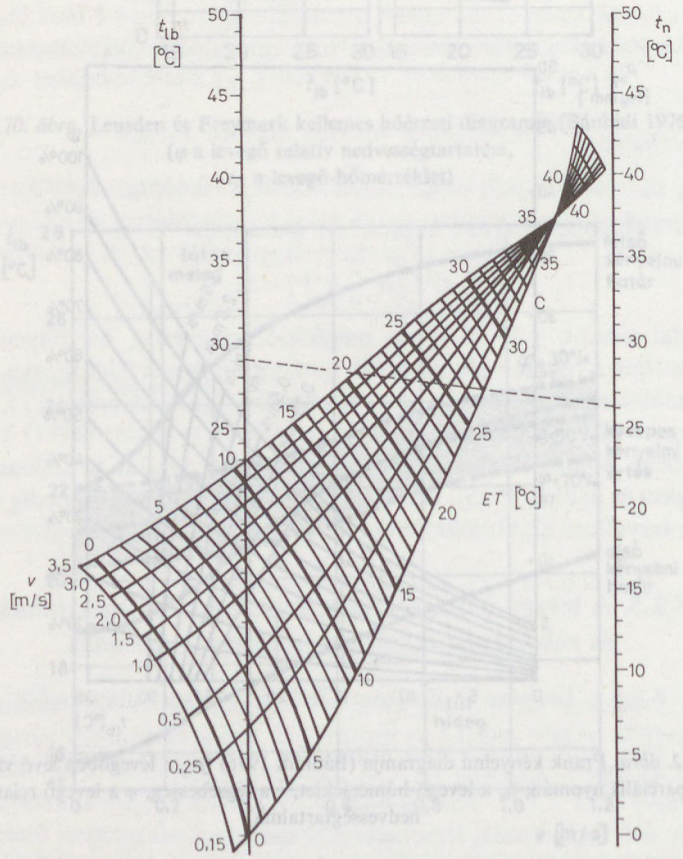
5.2.6. A levegő hőmérsékletét, a környező felületek hőmérsékletét, a levegő sebességét és relatív nedvességtartalmát egyaránt figyelembe vevő mutatószámok

5.2.6.1. Effektív hőmérséklet

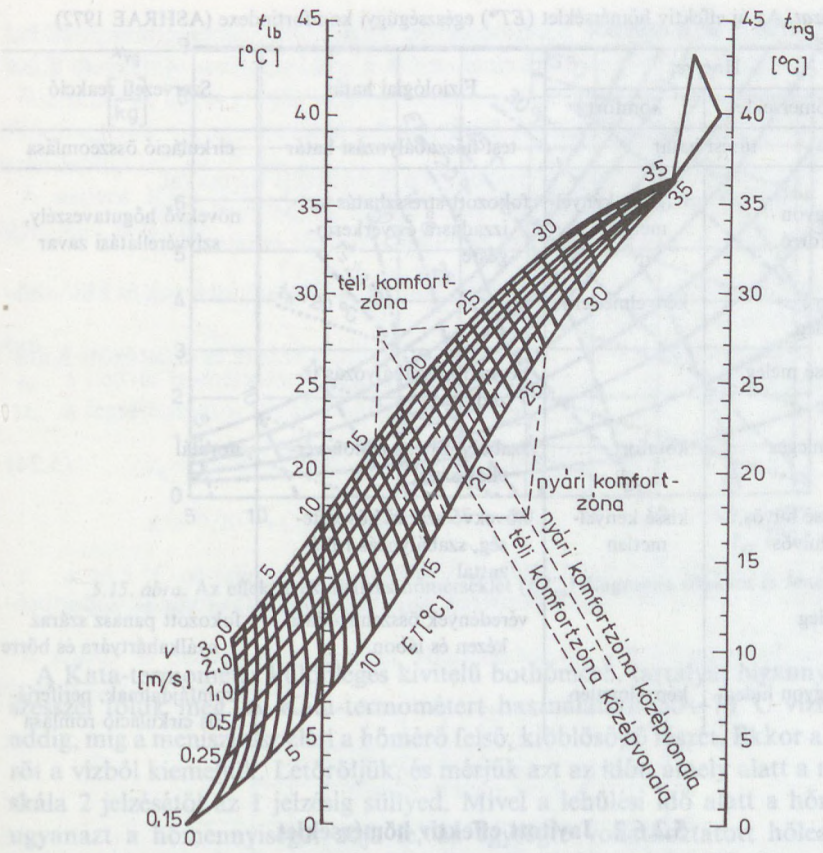
Az effektív hőmérséklet (*ET*) statisztikai alapokon nyugvó, gyakorlati értékeket mutató nomogram. Kidolgozói Houghten és Yaglou (1923), valamint Yaglou és Miller (1925). Normál ruházatú *(5.13. ábra)* és fedetlen felsőtestű emberekre *(5.14. ábra)* vonatkozó változataik ismertek.

Az effektív hőmérséklet egyébként olyan telített állapotú levegőnek a hőmérséklete, amely azonos hőérzetet okoz, mint a vizsgált t hőmérsékletű, φ relatív nedvességtartalmú levegő.

Tapasztalatok szerint a jó hőérzet télen 17—21 °C, míg nyáron 19—24 °C effektív hőmérsékleten alakul ki.



5.13. ábra. Az effektív hőmérséklet (*ET*) diagramja normál ruházatú emberre (Bánhidi 1986) (t_{lb} a levegő-, t_n a nedves hőmérséklet, v a légsebesség)



5.14. ábra. Az effektív hőmérséklet (*ET*) diagramja (Houghton és Yaglou 1923, Yaglou és Miller 1925) fedetlen felsőtestű emberre

A kellemes hőérzet $\varphi = 30—70\%$ relatív nedvességű levegőben biztosítható. Így a diagramban a téli és nyári időszakra kellemes hőérzetet jelentő pontok egy területet adnak. Ez tehát hőérzeti méretezési diagramként is megfelelő, ha az élettani paraméterekre vonatkozó érvényességi tartomány ismert.

A kellemes hőérzetre Bedford 17 °C, Yaglou és Miller (1925), továbbá Chrenko (1963) 14—17 °C közötti effektív hőmérséklet intervallumot javasol.

Az effektív hőmérsékletre (*ET*) vonatkozó méréseket pontosítva a 70-es években egy új (standard) effektív hőmérsékletértéket dolgoztak ki, az ún. *ET**-ot (Gagge és Nishi 1977). E hőmérséklet-skála hőérzeti összefüggéseit az *5.6. táblázat* tartalmazza. A táblázatból közvetlenül meghatározható, hogy egy adott új effektív hőmérsékletérték (*ET**) milyen hőérzetet definiál. Ilyen skála szerint értékeli a könyv azon ASHRAE eredetű diagramjait, amely az új effektív hőmérsékletet használja fel paraméterként (lásd: 5.4.1. pont) (ASHRAE 1972).

5.6. táblázat. Az új effektív hőmérséklet (*ET**) egészségügyi komfortindexe (ASHRAE 1972)

*ET** [°C]	Hőérzet		Fiziológiai hatás	Szervezeti reakció
	hőmérséklet	komfort		
	tűrési határ		test hőszabályozási határ	cirkuláció összeomlása
42	nagyon forró	nagyon kényelmetlen	fokozott stresszhatás az izzadásra és vérkeringésre	növekvő hőgutaveszély, szívvérellátási zavar
40				
35	forró meleg	kényelmetlen		
30	kissé meleg		normál hőszabályozás izzadással	
25	semleges	komfort	szabályozás az izmok vérellátásával	normál
20	kissé hűvös, hűvös	kissé kényelmetlen	növekvő száraz hőveszteség, szabályozás ruházattal	
15	hideg		véredények összehúzódása kézen és lábon	fokozott panasz száraz nyálkahártyára és bőrre
10	nagyon hideg	kényelmetlen		izomfájdalmak, perifériális cirkuláció romlása

5.2.6.2. Javított effektív hőmérséklet

Az effektív hőmérséklethez hasonló nomogramok, de egyik paraméterüket a száraz léghőmérséklet érték helyett gömbhőmérsékletre dolgozták ki, tehát figyelembe veszik a sugárzás hatását is. Kidolgozói Vernon és Warner (1932).

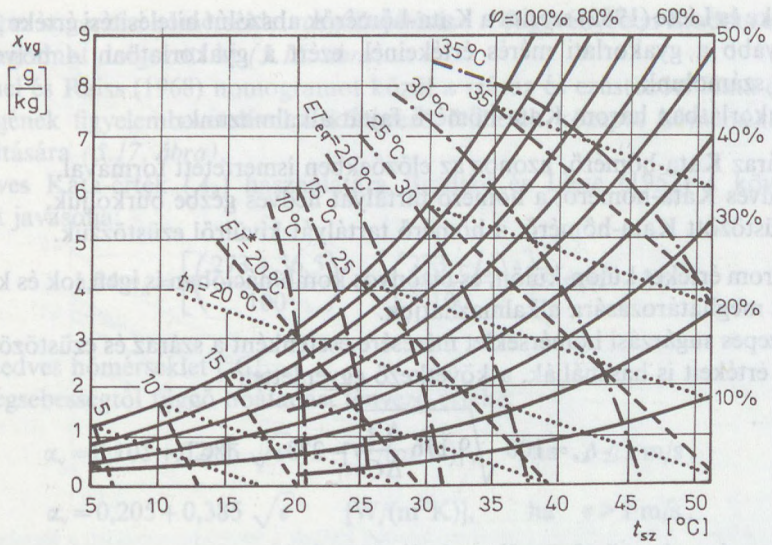
5.2.6.3. Effektív ekvivalens hőmérséklet

Ha az effektív hőmérséklet megállapításakor figyelembe vesszük a légsebességnek az effektív hőmérsékletre gyakorolt hatását, az így kidolgozott nomogramok értékeit effektív ekvivalens hőmérsékletnek (ET_{eq}) nevezzük (Bakács és Jenei 1960).

Értékei nomogramokból állapíthatók meg *(5.15. ábra)*. Például 24 °C száraz és 16 °C nedves hőmérséklet esetén 21 °C az effektív hőmérséklet, míg ugyanezek a paraméterek 1 m/s légsebesség esetén 20 °C effektív ekvivalens hőmérsékletnek felelnek meg.

5.2.6.4. Kata-termometria

A katatermometrikus méréseket — elsősorban Európában — mind közérzeti, mind hőtani szempontból igen elterjedten alkalmazzák. Ezért a katatermometriás mérések alapjait részletesebben ismertetjük.



5.15. ábra. Az effektív ekvivalens hőmérséklet (ET_{eq}) diagramja (Bakács és Jenei 1960)

A Kata-termométer különleges kivitelű bothőmérő, tartályát higannyal vagy borszesszel töltik meg. A Kata-termométert használatkor 50—70 °C vízbe helyezzük addig, míg a meniszkusz eléri a hőmérő felső, kiöblösödő részét. Ekkor a Kata-hőmérőt a vízből kiemeljük. Letöröljük, és mérjük azt az időt, amely alatt a meniszkusz a skála 2 jelzésétől az 1 jelzésig süllyed. Mivel a lehűlési idő alatt a hőmérő mindig ugyanazt a hőmennyiséget adja le, az egységre vonatkoztatott hőleadás állandó értékét (F) a hőmérőbe bevésik. Ha elhanyagoljuk a mérési idő alatt az edényből a szár felé való hőáramlást és a hőleadást a vékony üvegfalon át, a leadott hő a következő kifejezéssel határozható meg:

$$Q = \alpha_v \left(\frac{t_1 + t_2}{2} - t_{lb} \right) z \qquad [\text{mcal/cm}^2], \tag{5.22}$$

ahol

α_v a légsebességtől is függő hőátadási tényező [mcal/(cm^2 °C s)],
t_1 = 35 °C
t_2 = 38 °C a jelzésekhez tartozó hőmérsékletérték,
t_{lb} a levegő-hőmérséklet [°C],
z a lehűlési idő [s].

E hőmennyiség és a mérési idő hányadosa a Kata-érték, amely jellemző a környezetre:

$$A = \frac{Q}{z} \qquad [\text{mcal/(cm}^2\ \text{s})]\,. \tag{5.23}$$

(A Kata-értékre kialakított és jelenleg is forgalomban lévő műszerek nem az SI-nek megfelelő mértékegységet használják, ezért térünk mi is el a jelenlegi előírásoktól.)

Bradtke és Liese (1952) szerint a Kata-hőmérők abszolút hitelesítési értéke 20%-kal alacsonyabb a gyakorlati mérés értékeinél, ezért a gyakorlatban A helyett $1{,}2A$ értékkel számolunk.

A gyakorlatban három Kata-hőmérő fajtát alkalmazunk:

— száraz Kata-hőmérő, azonos az előzőekben ismertetett formával,
— nedves Kata-hőmérő, a hőmérő tartályát nedves gézbe burkoljuk,
— ezüstözött Kata-hőmérő, a hőmérő tartályát kívülről ezüstözzük.

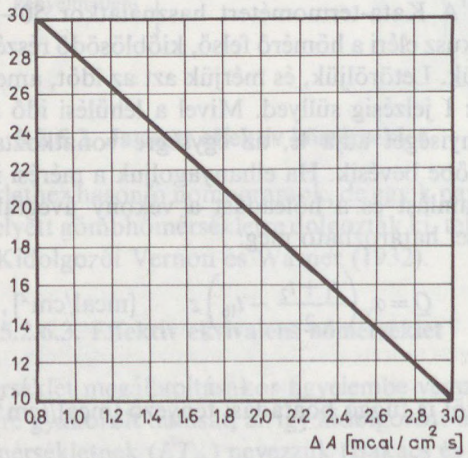
Mindhárom értéket külön-külön, és bizonyos kombinációban is igen sok és különböző érték meghatározására alkalmazhatjuk.

A közepes sugárzási hőmérséklet mérésére esetenként a száraz és ezüstözött Kata-hőmérő értékeit is használják, a következő egyenlettel:

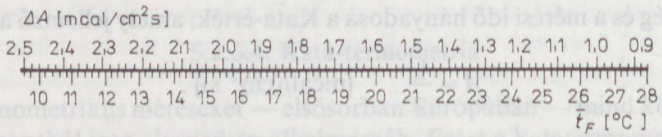
$$t_{ks} = 100 \sqrt{9{,}176 \frac{\Delta A}{\Delta C}} - 273 \quad [°C], \tag{5.24}$$

ahol

ΔA a száraz és ezüstözött Kata-érték különbsége,
ΔC a száraz és ezüstözött Kata-hőmérők sugárzási együtthatójának különbsége $(C_{sz} - C_e)$



5.16. ábra. A közepes sugárzási hőmérséklet (t_{ks}) meghatározása a Kata-érték (ΔA) függvényében (Bradtke és Liese 1952)



5.17. ábra. A közepes helyiséghatároló felület hőmérsékletének meghatározása a száraz Kata-érték függvényében (Rietschel és Raiss 1968)

A közepes sugárzási hőmérséklet megállapítására A függvényében Bradtke és Liese (1952) diagramot dolgozott ki *(5.16. ábra)*.

Rietschel és Raiss (1968) nomogramot közöl a száraz és ezüstözött Kata-értékek különbségének figyelembevételével a környező felületek közepes hőmérsékletének megállapítására *(5.17. ábra)*.

A nedves Kata-érték (A_n) használatára Bradtke és Liese (1952) a következő egyenletet javasolja:

$$1{,}24A_n = \left[\left(\frac{273+36{,}5}{100}\right)^4 - \left(\frac{273+t_n}{100}\right)^4\right] + \alpha_v(i' - i), \qquad (5.25)$$

ahol

t_n a nedves hőmérséklet [°C],

α_v a légsebességtől függő hőátadási tényező értéke:

$$\alpha_v = 0{,}105 + 0{,}485\sqrt{v} \quad [W/(m^2K)], \quad \text{ha} \quad v \leq 1\ m/s, \qquad (5.26)$$

$$\alpha_v = 0{,}205 + 0{,}385\sqrt{v} \quad [W/(m^2K)], \quad \text{ha} \quad v > 1\ m/s, \qquad (5.27)$$

i' a 36,5 °C-os telített levegő entalpiája,

i a környezet levegőjének entalpiája.

A száraz és nedves Kata-értéket alkalmazhatjuk a környezet jellemzésére mint jelzőszámokat *(5.7. táblázat)*.

5.7. táblázat. Közérzetet jellemző Kata-értékek
(Bradtke és Liese, 1952)

Hőérzet	A_{sz}	A_n
Nagyon meleg	3	10
Meleg	3—4	10—12
Kellemes	4—6	12—18
Hűvös	6—9,5	18—20
Hideg	9,5 felett	20 felett

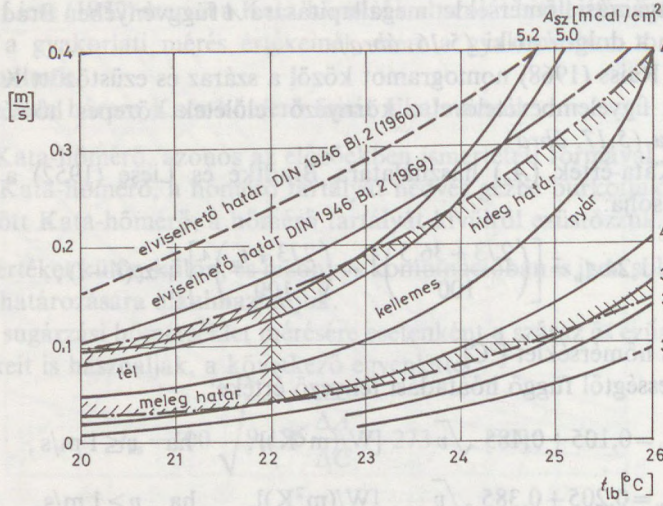
A száraz Kata-érték (A_{sz}) hőérzetre jellemző adatait feldolgozták diagramban is *(5.18. ábra)*, de használatuk a gyakorlati tapasztalatok szerint csak tájékoztató jellegű, hőérzeti ellenőrzésre javasolható (Kollmar és Liese 1957).

A Kata-érték a levegő-hőmérsékletek figyelembevételével a légsebesség (v) megállapítására is alkalmas.

A különböző összefüggések közül kettő:

— Bedford (1948) szerint sugárzó hő esetén:

$$v = \left(\frac{\frac{A_{sz}}{36{,}5 - t_{lb}} - 0{,}105}{0{,}508}\right)^2 \quad [m/s], \qquad (5.28)$$



5.18. ábra. A fiziológiailag elviselhető lehűlési értékek a levegő-hőmérséklet, a légsebesség és száraz Kata-érték függvényében (Kollmar és Liese 1957)

— Weiss szerint:

$$v = \frac{\left(\frac{A_{sz} - 0{,}14}{0{,}48}\right)^2}{36{,}5 - t_{lb}} \quad [\text{m/s}] \,. \tag{5.29}$$

A Kata-értékek igen érzékenyen reagálnak a légmozgásra, ezért alkalmasak igen kis légsebességek megállapítására is. A Kata-értékekkel igen sok adat birtokába juthatunk, téves azonban az a nézet, hogy a Kata-hőmérők felfoghatók az emberi szervezet modelljének.

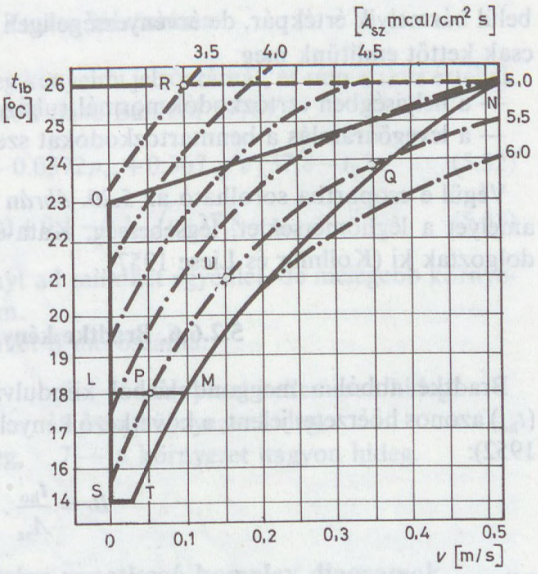
Az előzőekben ismertetett adatok a Kata-értékek felhasználásának általános elveit rögzítették. Ezen általános meggondolások alapján zárt terek helyszíni hőérzeti mérésére, ellenőrzésére igen széles körben alkalmazták, mint pontos értéket.

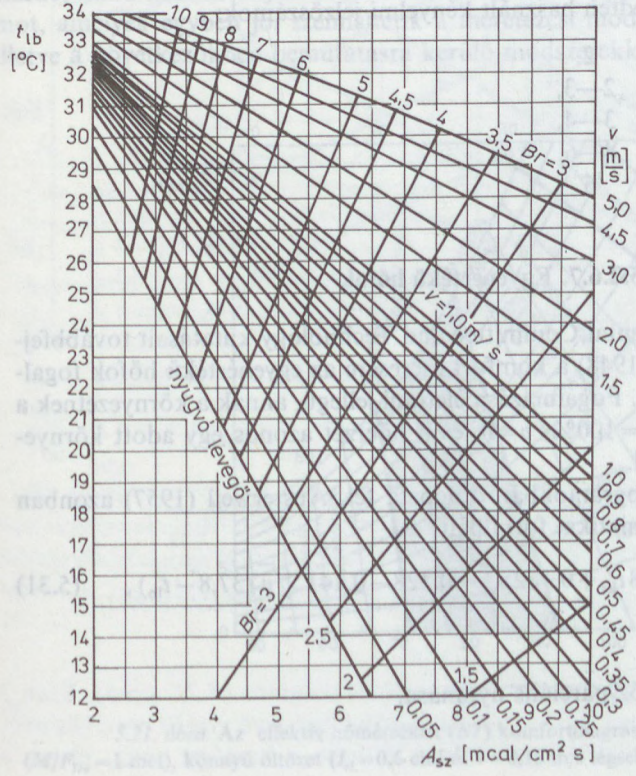
A legújabb külföldi és hazai tapasztalatok azonban nem ezt bizonyították. Mivel itt egy évtizedek óta, helyszíni vizsgálatokra általánosan alkalmazott módszer elvetéséről — helyesebben alkalmazásának meghatározott korlátok közé sorolásáról — van szó, erre a kérdésre a helyszíni vizsgálatokra vonatkozó fejezetben még kitérünk.

5.2.6.5. A jó hőérzet $t-v$ diagramja

Napjainkban a Kata-értékeket már nem tekintjük korszerű méretezési adatoknak, bár még gyakran találkozhatunk velük, pl. a hazai munkavédelmi előírásokban. Külföldön pedig néha még alkalmazzák az ún. jó hőérzet $t-v$ diagramját, amely az *5.19. ábrán* látható. A levegőáramlás sebessége, a léghőmérséklet, valamint a Kata-érték függvényében ugyanis, Rietschel és Raiss (1968) szerint, e diagrammal megállapítható a kellemes hőérzet. Eszerint kellemes hőérzetet biztosít az LMRO területen

5.19. ábra. A jó hőérzet diagramja a levegő-hőmérséklet, a légsebesség és a Kata-érték figyelembevételével (Rietschel és Raiss 1968)





5.20. ábra. Kollmar és Liese (1957) a légsebesség hőérzeti hatásának ellenőrzésére szerkesztett diagramja

belül bármelyik értékpár, de érvényessége igen sok feltételhez kötött, amelyek közül csak kettőt említünk meg:

— a helyiségben tartózkodók normál ruházatban, nyugodtan ülnek,
— a levegőáramlás a benntartózkodókat szemben éri.

Végül e csoportba sorolható az *5.20. ábrán* látható ún. Kollmar-féle diagram is, amelyet a léghőmérséklet, légsebesség, Kata-érték és Bradtke-szám függvényében dolgoztak ki (Kollmar és Liese 1957).

5.2.6.6. Bradtke kényelmi számai

Bradtke abból a meggondolásból kiindulva, hogy azonos homlokhőmérséklet (t_{ho}) azonos hőérzetet jelent, a következő kényelmi számot javasolja (Bradtke és Liese 1952):

$$Br = \frac{t_{ho}}{A_{sz}}. \tag{5.30}$$

Minden *Br* érték egy meghatározott homlokhőmérséklethez tartozik. A legkényelmesebb állapot szerinte 31,5 °C homlokhőmérsékleten tapasztalható. Ebben az esetben $Br = 3$.

Az általa javasolt és elterjedten használt kényelmi jelzőszámok:

hideg	2,
kellemesen hűvös	2—3,
kellemes	3—4,
kellemesen meleg	4—6,
nagyon meleg	6.

5.2.6.7. Egyenértékű hőfok

Az International Departmental Committee and Technology kutatásait továbbfejlesztve dolgozta ki Bedford (1948) a komfort mérésére az egyenértékű hőfok fogalmát, igen sok kísérlet alapján. Fogalmazása élettani jellegű, annak a környezetnek a hőfoka, amelyben $t_{ks} = t_{lb}$, $\varphi = 100\%$, $v = 0$, és a hőérzet azonos egy adott környezetben lévő egyén hőérzetével.

Bedford eredményeit nomogramokban dolgozta fel, Austerweil (1957) azonban meghatározta a görbék matematikai formuláit:

$$t_{ekv} = 0{,}431\, t_{lb} + 0{,}408\, t_{ks} + 0{,}182 p_{vg} - 0{,}328 - 0{,}141 \sqrt{v}\,(37{,}8 - t_{lb}), \tag{5.31}$$

ahol

p_{vg} a levegőben lévő vízgőz parciális nyomása.

5.2.6.8. Van Zuylen mérőszáma

Van Zuylen mérésekkel határozta meg kényelmi jelzőszámát, és numerikus értékek meghatározására két egyenletet is javasolt (lásd Bánhidi 1976):

$$S_1 = 7{,}83 - 0{,}1\,t_{lb} - 0{,}968\,t_{ks} - 0{,}0372\,p_{vg} + 0{,}367\,\sqrt{v}\,(37{,}8 - t_{lb}), \qquad (5.32)$$

$$S_2 = 9{,}2 + 0{,}25(t_{lb} - t_{ks}) + 0{,}1 - 0{,}1\,\sqrt{v}\,(37{,}8 - t_{lb}). \qquad (5.33)$$

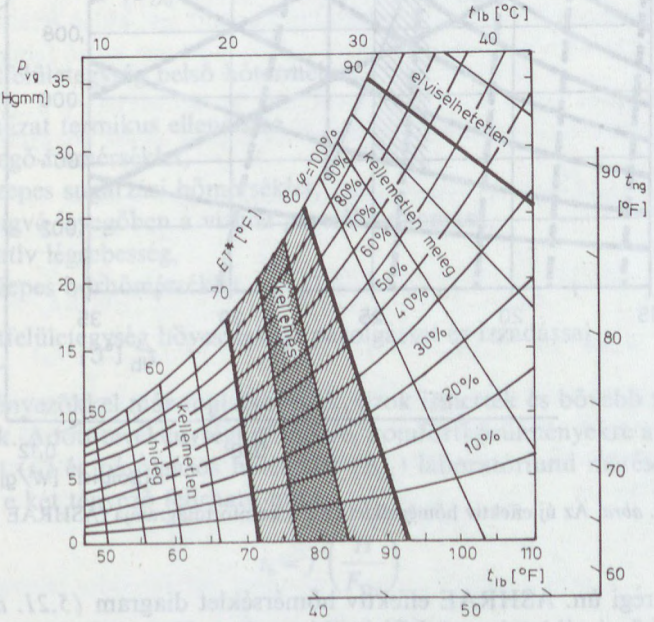
Azonos értékek esetén azonos eredményt ad mindkét egyenlet, de melegebb környezetben az (5.32) eredménye kisebb szám.

Van Zuylen szerint, ha a kellemes érzet S mérőszáma:

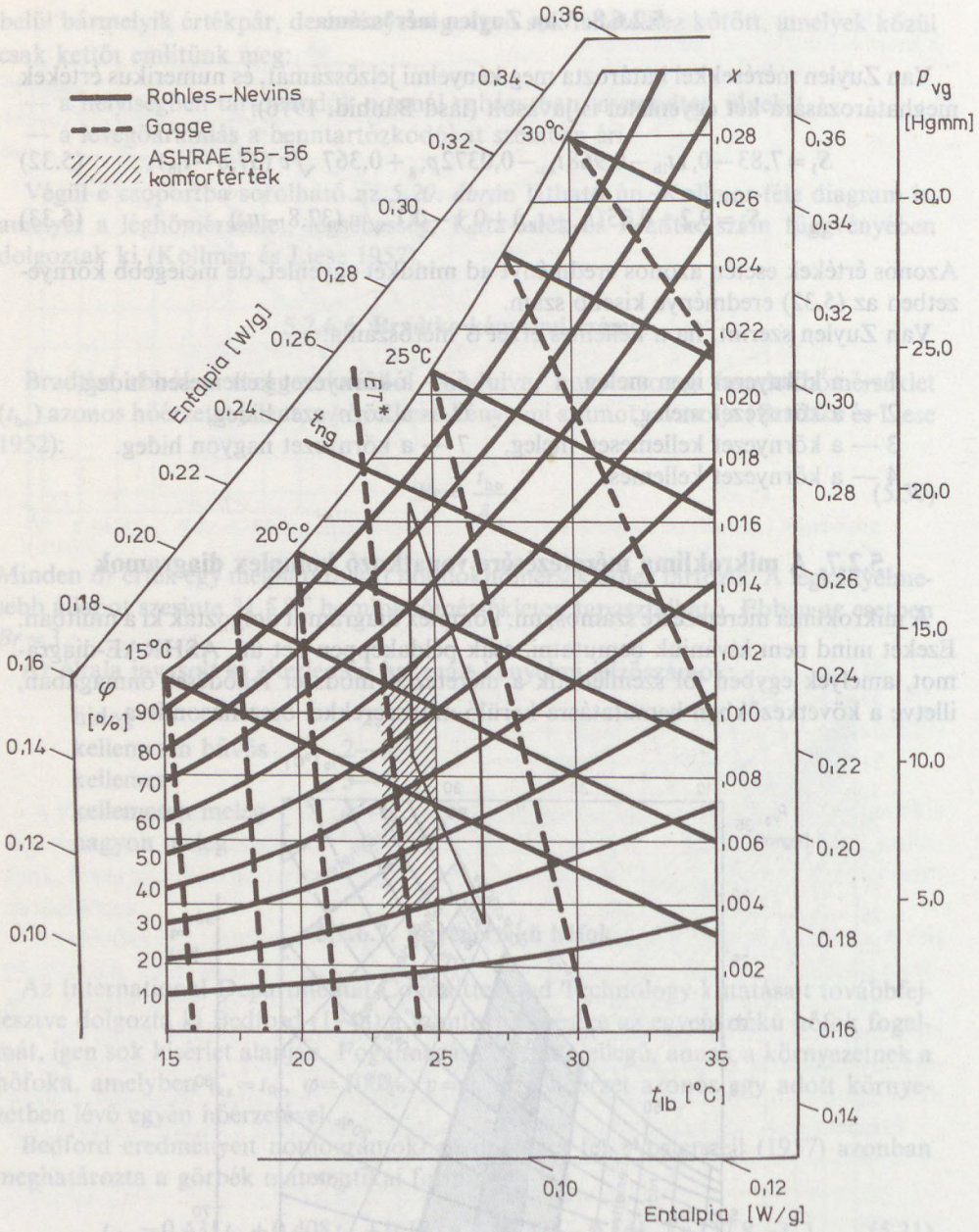
1 — a környezet igen meleg,
2 — a környezet meleg,
3 — a környezet kellemesen meleg,
4 — a környezet kellemes,
5 — a környezet kellemesen hideg,
6 — a környezet hideg,
7 — a környezet nagyon hideg.

5.2.7. A mikroklíma méretezésére vonatkozó komplex diagramok

A mikroklíma méretezésre számos, ún. komplex diagramot dolgoztak ki a múltban. Ezeket mind nem kívánjuk bemutatni, csak példaképpen két ún. ASHRAE-diagramot, amelyek egyben jól szemléltetik a méretezési módszer fejlődését önmagában, illetve a következőkben bemutatásra kerülő módszerekkel összehasonlítva.



5.21. ábra. Az effektív hőmérséklet (*ET*) komfortdiagramja nyugalmi állapot ($M/F_{Du} = 1$ met), könnyű öltözet ($I_{cl} = 0{,}6$ clo) és $v = 0{,}15$ m/s légsebesség esetén (ASHRAE 1954)



5.22. ábra. Az új effektív hőmérséklet (*ET**) komfortdiagramja (ASHRAE 1972)

Az első, a régi ún. ASHRAE effektív hőmérséklet diagram *(5.21. ábra)*. Ezen a nedves gömbhőmérséklet, levegő-hőmérséklet, a levegőben lévő vízgőz parciális nyomása és az effektív hőmérséklet függvényében látható a komfort zóna, illetve a

különböző szubjektív hőérzetet reprezentáló egyenesek, nyugalmi állapotra, 0,6 clo értékű ruházatra és 0,15 m/s légsebességre vonatkoztatva (ASHRAE 1954).

A következő *(5.22. ábra)* az előző továbbfejlesztett változata, az ún. alap *ET**-diagram. A diagram közepén látható sraffozott terület az ún. komfortzóna (ASHRAE 1972).

5.3. Az emberi test hőegyensúlyán alapuló Fanger-féle méretezési eljárás

Fanger által a 70-es évek elején publikált új méretezési módszer teljesen új alapelvre, embercentrikusra helyezte a zárt terek hőtechnikai, illetve hőérzeti méretezését. Megállapításai ma is általános érvényűek, és széles körben alkalmazzák azokat, bár néhány további finomítással egyes részeit még inkább pontosabbá tették. Ilyen jellegű lesz az 5.4. alfejezetben bemutatásra kerülő ASHRAE-módszer.

Mivel a komfortegyenletek és diagramok széles körben ismertek, így csak azok elvi felépítését, alkalmazásának formáit, lehetőségeit mutatjuk be, mindenkor hivatkozva ezek kidolgozásakor felhasznált irodalmi forrásokra. Maga a komplett módszer számos forrásmunkában megtalálható magyar és idegen nyelven egyaránt (Bánhidi 1976, Fanger 1982, Macskásy és Bánhidi 1985).

A számítási módszer kiindulási alapja szerint, az emberi test hőegyensúlya a következő tényezők függvénye:

$$f\left(\frac{H}{F_{Du}}, I_{cl}, t_{lb}, t_{ks}, p_{vg}, v, t_b, \frac{E_{sw}}{F_{Du}}\right) = 0, \tag{5.34}$$

ahol

$\frac{H}{F_{Du}}$ a testfelületegység belső hőtermelése,
I_{cl} a ruházat termikus ellenállása,
t_{lb} a levegő-hőmérséklet,
t_{ks} a közepes sugárzási hőmérséklet,
p_{vg} a nyugvó levegőben a vízgőz parciális nyomása,
v a relatív légsebesség,
t_b a közepes bőrhőmérséklet,
$\frac{E_{sw}}{F_{Du}}$ a testfelületegység hővesztesége párolgással és izzadással.

Az egyes tényezőkkel már foglalkoztunk, azok ismertek és bővebb magyarázatot nem kívánnak. Adott tevékenységi szintekre, komfortkörülményekre a közepes bőrhőmérsékletet (t_b) és párolgásos hőleadást (E_{sw}) laboratóriumi mérésekkel meghatározták, így e két tényező felírható mint

$$t_b = f\left(\frac{H}{F_{Du}}\right) \tag{5.35}$$

és

$$E_{sw} = F_{Du} f\left(\frac{H}{F_{Du}}\right), \tag{5.36}$$

így a (5.34) egyenlet felírható a következő formában:

$$f\left(\frac{H}{F_{Du}}, I_{cl}, t_{lb}, t_{ks}, p_{vg}, v\right)=0\,. \tag{5.37}$$

Ezek tehát azok a tényezők, amelyek konstans környezetben huzamosabban tartózkodó és az adott tevékenységet huzamosabban folytató egyénekre hatnak, amelyekre a hőegyensúlyi egyenlet felírható.

5.3.1. Hőegyensúlyi és komfortegyenletek

A számítási módszer ugyancsak a hőegyensúlyi alapegyenletből indul ki, de a könnyebb azonosíthatóság céljából a külföldi szakirodalom betűjelzéseit használjuk mi is, és ezek szerint a hőegyensúlyi alapegyenlet a következő:

$$H-E_d-E_{sw}-E_{re}-L-K=S+C\,, \tag{5.38}$$

ahol

H az emberi test belső hőtermelése,
E_d a bőrön keresztül páradiffúzióval való hőveszteség,
E_{sw} a bőr felszínéről az izzadás következtében elpárolgó hőveszteség,
E_{re} a kilégzés rejtett hője okozta hőveszteség,
L a kilégzés ún. száraz hővesztesége,
K a hőátadás a bőr felületéről a felöltözött emberi test külső felületére (hővezetés a ruházaton keresztül),
S a sugárzásos hőveszteség a ruházattal borított test külső felületéről,
C a konvekciós hőveszteség a ruházattal borított test külső felületéről.

Az egyenlet egyes tagjai helyébe a következő, korábbiakban a 3. fejezetben már részletesen ismertetett tényezőket behelyettesítve kapjuk az ún. hőegyensúlyi egyenletet:

$$\frac{M}{F_{Du}}(1-\eta)-0{,}35(1{,}92t_{ks}-25{,}3-p_{vg})-\frac{E_{sw}}{F_{Du}}-$$

$$-0{,}0023\frac{M}{F_{Du}}(44-p_{vg})-0{,}0014\frac{M}{F_{Du}}(34-t_{lb})=\frac{t_{ks}-t_{cl}}{0{,}18I_{cl}}=$$

$$=3{,}4\cdot 10^{-8}f_{cl}[(t_{cl}+273)^4-(t_{ks}+273)^4]+f_{cl}\alpha_c(t_{cl}-t_{lb})\,. \tag{5.38}$$

Igen részletes méréssorozat eredményeit feldolgozva és a regresszióanalízist elvégezve, a tevékenységi szint és a bőrhőmérséklet, valamint a verejtékezés között Fanger a következő számszerű összefüggéseket dolgozta ki az (5.35), illetve az (5.36) függvénykapcsolatra:

$$t_b=35{,}7-0{,}032\frac{H}{F_{Du}} \qquad [°C] \tag{5.40}$$

és

$$E_{sw}=0{,}49F_{Du}\left(\frac{H}{F_{Du}}-50\right) \qquad [W]\,. \tag{5.41}$$

Ez gyakorlatilag azt jelenti, hogy a „konstans komfortérzetekhez" különböző bőrhőmérséklet és verejtékkiválasztás tartozik. Például, ha $H/F_{Du} = 58$ W/m^2 komfortérték esetén az ehhez tartozó t_b értéke 34 °C, míg $H/F_{Du} = 176$ W/m^2 érték esetén tehát 31 °C.

Tehát a tevékenységi szint növelésével a komfortérzéshez tartozó bőrhőmérséklet érték csökken. Ugyanakkor megállapította, hogy csak nyugalomban lévő személy $H/F_{Du} = 50$ W/m^2 esetén nincs verejtékkiválasztás komfortérzéskor. Növekvő tevékenységi szinthez természetesen növekvő verejtékkiválasztás tartozik, a komfortérzés kialakulása érdekében.

Amennyiben az (5.40), (5.41) egyenleteket behelyettesítjük az (5.39) hőegyensúlyi egyenletbe, kapjuk az ún. komfortegyenletet, amely figyelembe veszi a bőrhőmérséklet és verejtékkiválasztás komforttól függő változását is:

$$\frac{M}{F_{Du}}(1-\eta) - 0{,}35\left[43 - 0{,}061\frac{M}{F_{Du}}(1-\eta) - p_{vg}\right] -$$

$$-0{,}42\left[\frac{M}{F_{Du}}(1-\eta) - 50\right] - 0{,}0023\frac{M}{F_{Du}}(44 - p_{vg}) - 0{,}0014\frac{M}{F_{Du}}(34 - t_{lb}) =$$

$$= \frac{35{,}7 - 0{,}032\dfrac{M}{F_{Du}}(1-\eta) - t_{cl}}{0{,}18 I_{cl}} =$$

$$= 3{,}4 \cdot 10^{-8} f_{cl}[(t_{cl}+273)^4 - (t_{ks}+273)^4] + f_{cl}\alpha_c(t_{cl} - t_{lb}) . \qquad (5.42)$$

Ha az egyenlet bal oldalát, tehát az alapösszefüggés szerint a

$$H - E_d - E_{sw} - E_{re} - L = K \qquad (5.43)$$

egyenletet t_{cl}-re, tehát a ruházat külső felületének közepes hőmérsékletére megoldjuk, a következőket kapjuk:

$$t_{cl} = 35{,}7 - 0{,}032\frac{M}{F_{Du}}(1-\eta) - 0{,}18 I_{cl}\left\{\frac{M}{F_{Du}}(1-\eta) - \right.$$

$$-0{,}35\left[43 - 0{,}061\frac{M}{F_{Du}}(1-\eta)p_{vg}\right] - 0{,}42\left[\frac{M}{F_{Du}}(1-\eta) - 50\right] -$$

$$\left. -0{,}0023\frac{M}{F_{Du}}(44 - p_{vg}) - 0{,}014\frac{M}{F_{Du}}(34 - t_{lb})\right\} \quad [°C] . \qquad (5.44)$$

Az (5.42) egyenlet jobb oldalát, tehát az alapösszefüggés szerint a

$$H - E_d - E_{sw} - E_{re} - L = R + C \qquad (5.45)$$

egyenletet viszont felírhatjuk a következő formában:

$$\frac{M}{F_{Du}}(1-\eta)-0{,}25\left[43-0{,}061\frac{M}{F_{Du}}(1-\eta)-p_{vg}\right]-0{,}42\left[\frac{M}{F_{Du}}(1-\eta)-50\right]-$$

$$-0{,}0023\frac{M}{F_{Du}}(44-p_{vg})-0{,}0014\frac{M}{F_{Du}}(34-t_{lb})=$$

$$=3{,}4\cdot 10^{-8}f_{cl}[(t_{cl}+273)^4-(t_{ks}+273)^4]+f_{cl}\alpha_c(t_{cl}-t_{lb})\,. \qquad (5.46)$$

Ez a forma az, amelyet a szakirodalomban komfortegyenletnek neveznek, amelyben t_{cl} az (5.44), míg α_c vagy a (4.63), vagy (4.71) egyenlet szerint behelyettesíthető.

5.3.2. Komfortdiagramok

A komfortegyenletben a megfelelő paramétereket helyettesítve és azokat különböző paramétercsoportokra megoldva dolgozta ki Fanger a komfortdiagramokat. Ezeket a komfortdiagramokat az (5.46) egyenlet alapján szerkesztették meg, s erre azért volt feltétlenül szükség, mert a gyakorlati felhasználáshoz az egyenlet megoldása nehézkes, sok iterációs lépést igényel.

A szorosan vett komfortdiagramok közé 28 diagramot sorolunk. Ezek három csoportba oszthatók.

Az első csoport $4 \times 3 = 12$ diagramja esetében a nedves gömbhőmérséklet, valamint azonos levegő- és közepes sugárzási hőmérséklet függvényében a relatív nedvességtartalom és relatív légsebesség értékek a paraméterek.

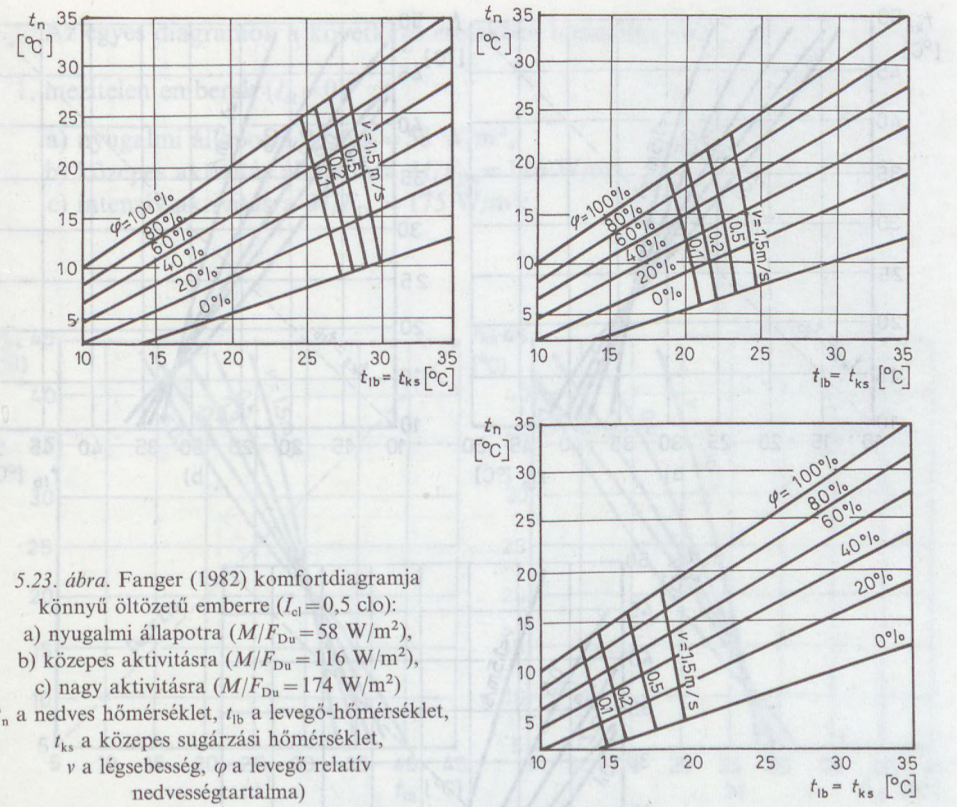
Az egyes diagramok a következő esetekre vonatkoznak:

1. mezítelen emberek ($I_{cl}=0$):
   a) nyugalmi állapotra $M/F_{Du}=58$ W/m^2,
   b) közepes aktivitás állapotára $M/F_{Du}=116$ W/m^2,
   c) intenzív aktivitásra $M/F_{Du}=175$ W/m^2;
2. könnyű öltözetű egyének ($I_{cl}=0{,}5$, ezen belül az ábrák a már ismertetett három tevékenységi szintre vonatkoznak);
3. közepes öltözetű emberek ($I_{cl}=1{,}0$);
4. nehéz öltözetű emberek ($I_{cl}=1{,}5$).

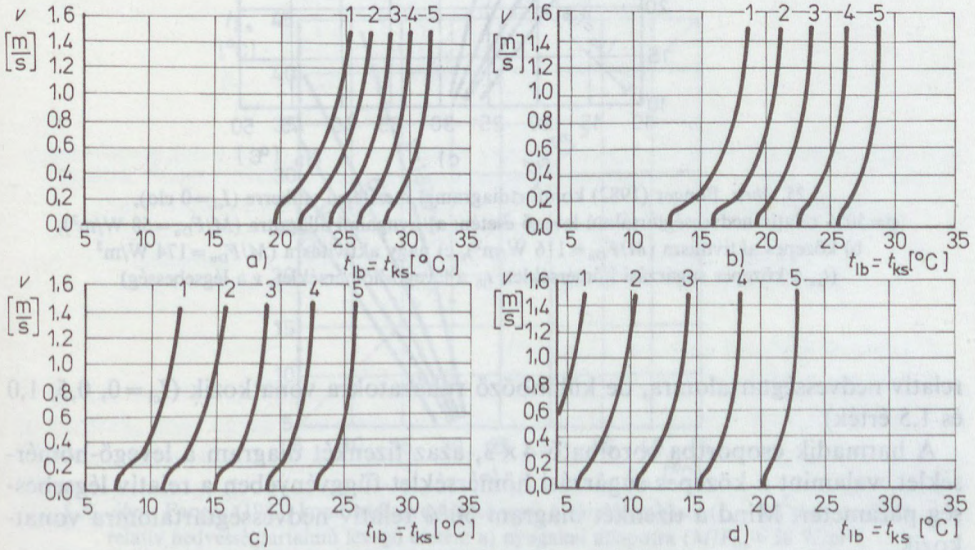
Ezek közül az 1. csoporthoz tartozó három ábrát mutatjuk be *(5.23. ábra)*.

E diagramok olyan feladatok megoldására alkalmasak, amikor a zárt térben, ismert ruházat és tevékenység esetén — adott légsebesség és relatív nedvességtartalom mellett — a kellemes hőérzetet kialakító levegő-hőmérséklet és közepes sugárzási hőmérsékletértékeket kívánjuk meghatározni. Az ábrák felhasználási módját később még részletesen ismertetjük.

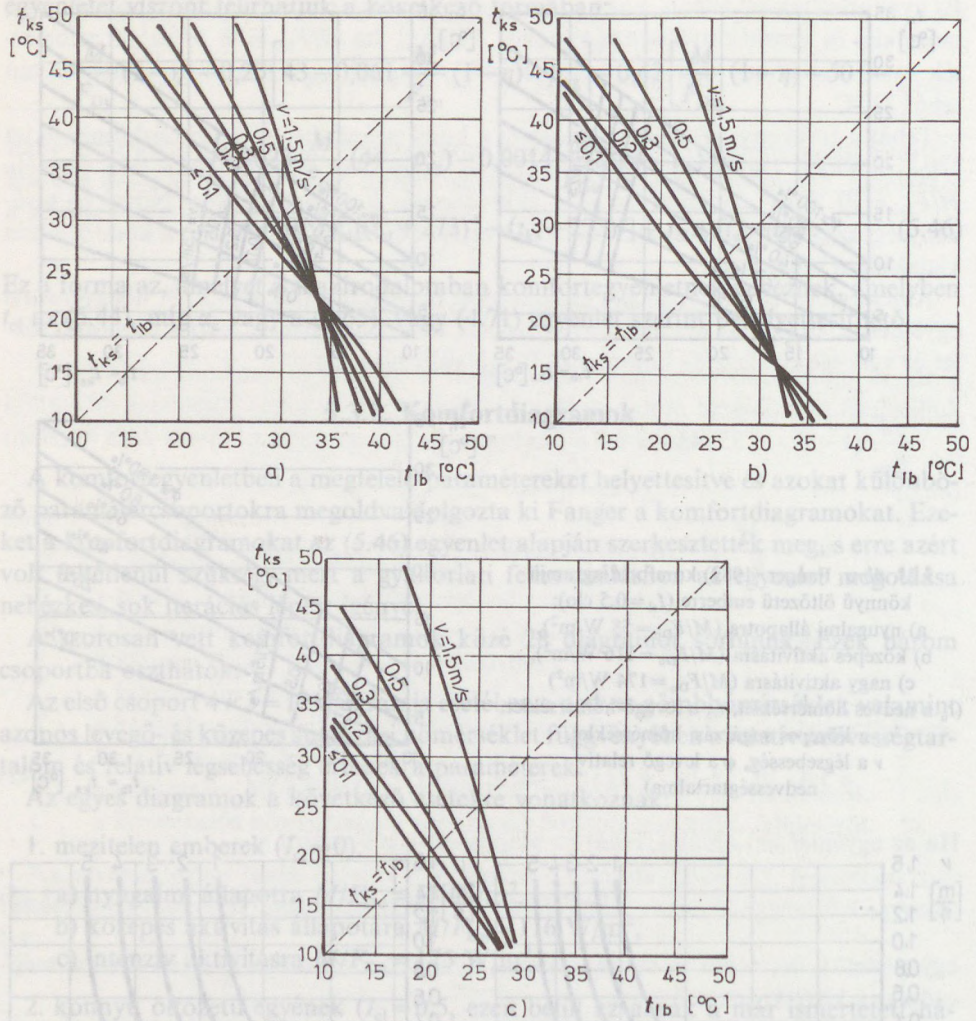
A második csoportba sorolható négy diagram *(5.24. ábra)* esetében — azonos levegő- és közepes sugárzási hőmérséklet függvényében — különböző relatív légsebességek mellett az aktivitás a paraméter. A négy különböző diagram mindegyike 50%



5.23. ábra. Fanger (1982) komfortdiagramja könnyű öltözetű emberre (I_{cl} = 0,5 clo):
a) nyugalmi állapotra (M/F_{Du} = 58 W/m²),
b) közepes aktivitásra (M/F_{Du} = 116 W/m²),
c) nagy aktivitásra (M/F_{Du} = 174 W/m²)
(t_n a nedves hőmérséklet, t_{lb} a levegő-hőmérséklet, t_{ks} a közepes sugárzási hőmérséklet, v a légsebesség, φ a levegő relatív nedvességtartalma)



5.24. ábra. Fanger (1982) komfortdiagramja
a) mezítelen emberre (I_{cl} = 0 clo), b) könnyű ruházatú emberre (I_{cl} = 0,5 clo),
c) közepes ruházatú emberre (I_{cl} = 1,0 clo), d) nehéz ruházatú embere (I_{cl} = 1,5 clo),
különböző aktivitási szintek esetén: 1. M/F_{Du} = 174 W/m² (nagy aktivitás), 2. M/F_{Du} = 145 W/m², 3. M/F_{Du} = 116 W/m² (közepes aktivitás) 4. M/F_{Du} = 87 W/m², 5. M/F_{Du} = 58 W/m² (nyugalmi állapot)



5.25. ábra. Fanger (1982) komfortdiagramja mezítelen emberre ($I_{cl}=0$ clo), $\varphi=50\%$ relatív nedvességtartalmú levegő esetén: a) nyugalmi állapotra ($M/F_{Du}=58$ W/m^2), b) közepes aktivitásra ($M/F_{Du}=116$ W/m^2), c) nagy aktivitásra ($M/F_{Du}=174$ W/m^2 (t_{ks} a közepes sugárzási hőmérséklet, t_{lb} a levegő-hőmérséklet, v a légsebesség)

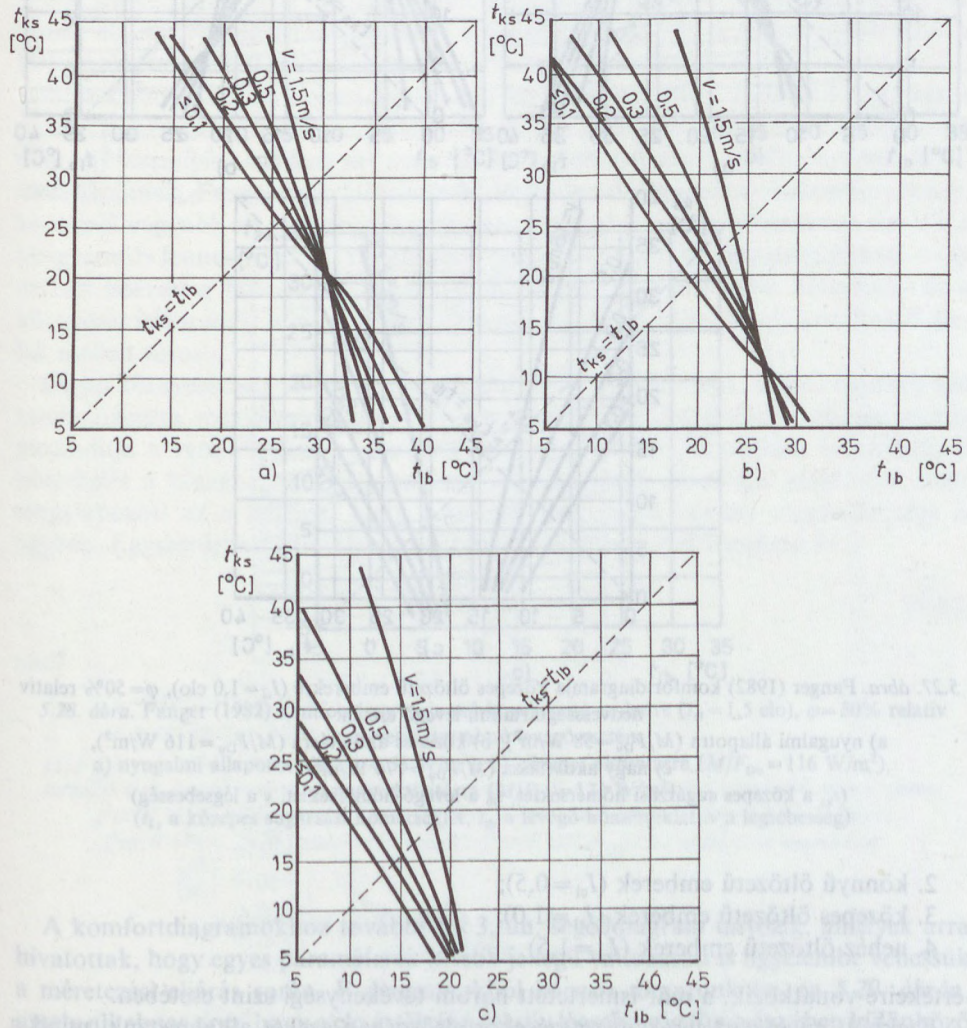
relatív nedvességtartalomra, de különböző ruházatokra vonatkozik ($I_{cl}=0$, 0,5, 1,0 és 1,5 érték).

A harmadik csoportba sorolható 4×3, azaz tizenkét diagram a levegő-hőmérséklet, valamint a közepes sugárzási hőmérséklet függvényében a relatív légsebesség paraméter. Mind a tizenkét diagram 50% relatív nedvességtartalomra vonatkozik.

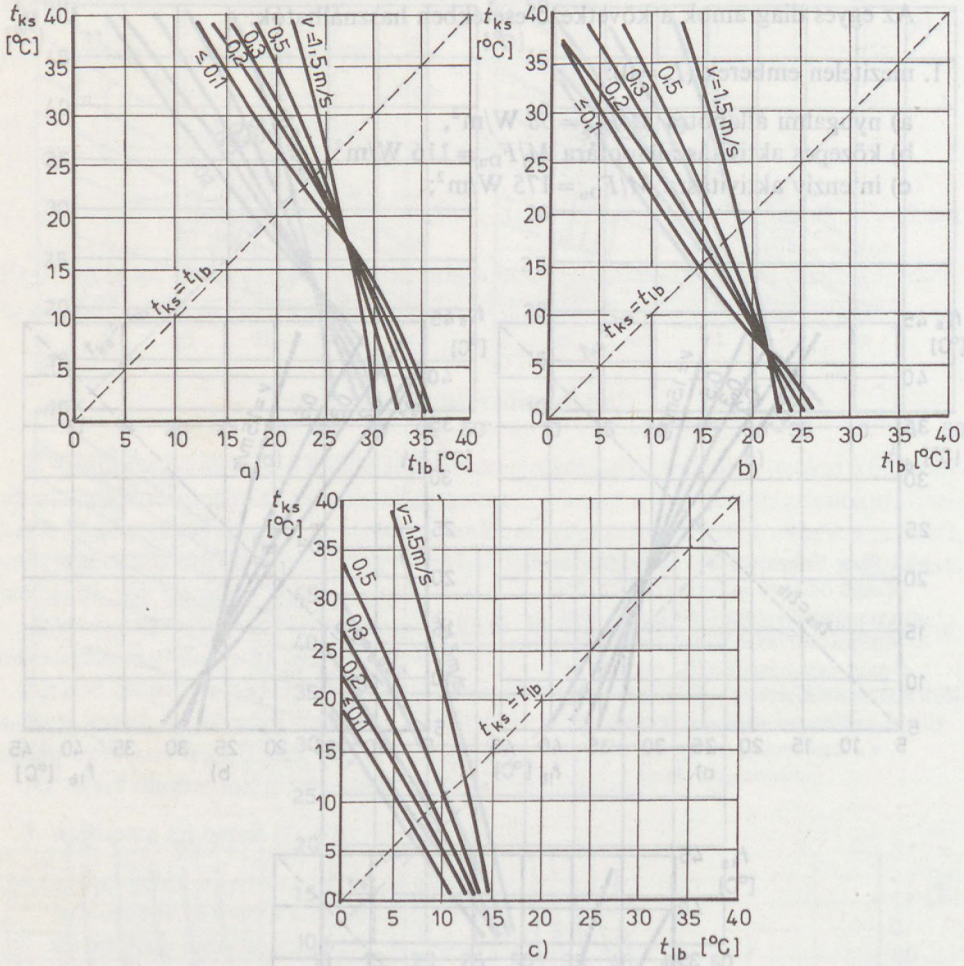
Az egyes diagramok a következő esetekben használhatók:

1. mezítelen emberek ($I_{cl}=0$):

   a) nyugalmi állapotra $M/F_{Du}=58$ W/m^2,
   b) közepes aktivitás állapotára $M/F_{Du}=116$ W/m^2,
   c) intenzív aktivitásra $M/F_{Du}=175$ W/m^2;



5.26. ábra. Fanger (1982) komfortdiagramja könnyű öltözetű emberre ($I_{cl}=0{,}5$ clo), $\varphi=50\%$ relatív nedvességtartalmú levegő esetén: a) nyugalmi állapotra ($M/F_{Du}=58$ W/m^2), b) közepes aktivitásra ($M/F_{Du}=116$ W/m^2), c) nagy aktivitásra ($M/F_{Du}=174$ W/m^2) (t_{ks} a közepes sugárzási hőmérséklet, t_{lb} a levegő-hőmérséklet, v a légsebesség)

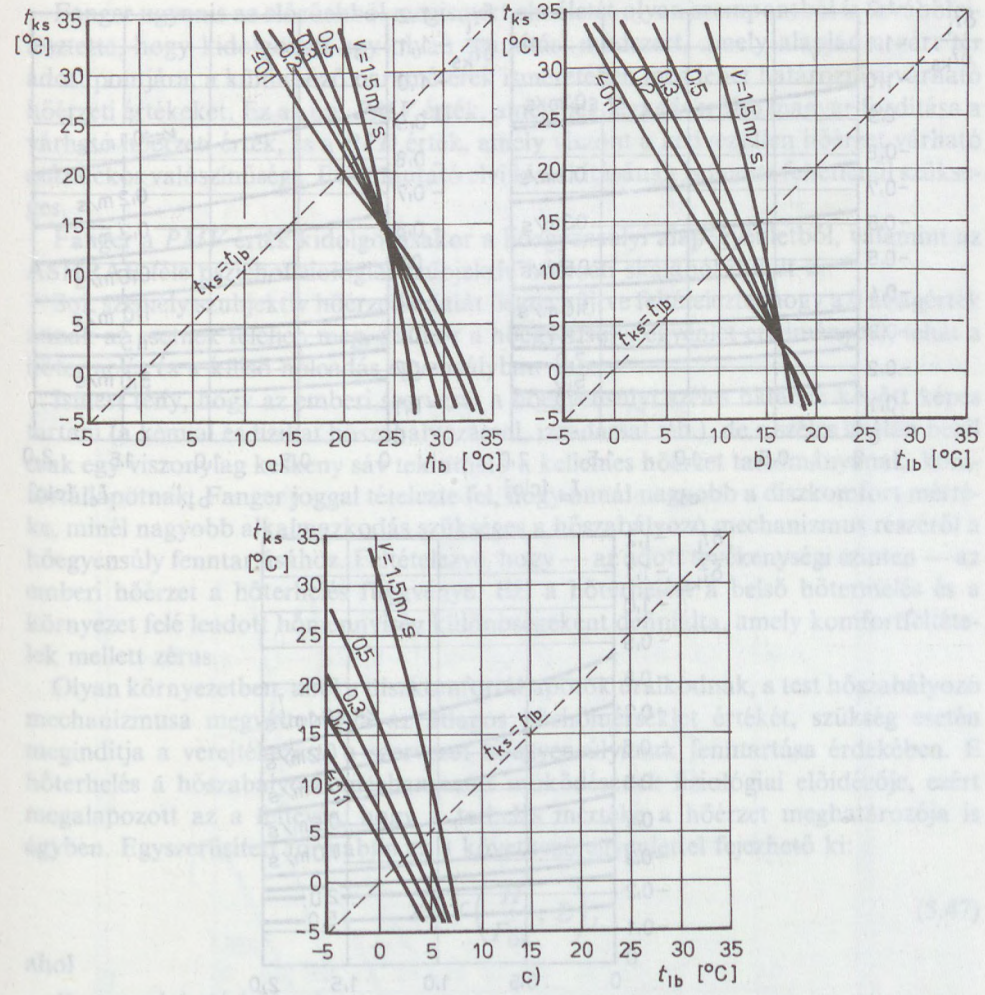


5.27. ábra. Fanger (1982) komfortdiagramja közepes öltözetű emberekre ($I_{cl}=1{,}0$ clo), $\varphi=50\%$ relatív nedvességtartalmú levegő esetén:
a) nyugalmi állapotra ($M/F_{Du}=58$ W/m^2), b) közepes aktivitásra ($M/F_{Du}=116$ W/m^2),
c) nagy aktivitásra ($M/F_{Du}=174$ W/m^2)
(t_{ks} a közepes sugárzási hőmérséklet, t_{lb} a levegő-hőmérséklet, v a légsebesség)

2. könnyű öltözetű emberek ($I_{cl}=0{,}5$);
3. közepes öltözetű emberek ($I_{cl}=1{,}0$);
4. nehéz öltözetű emberek ($I_{cl}=1{,}5$)

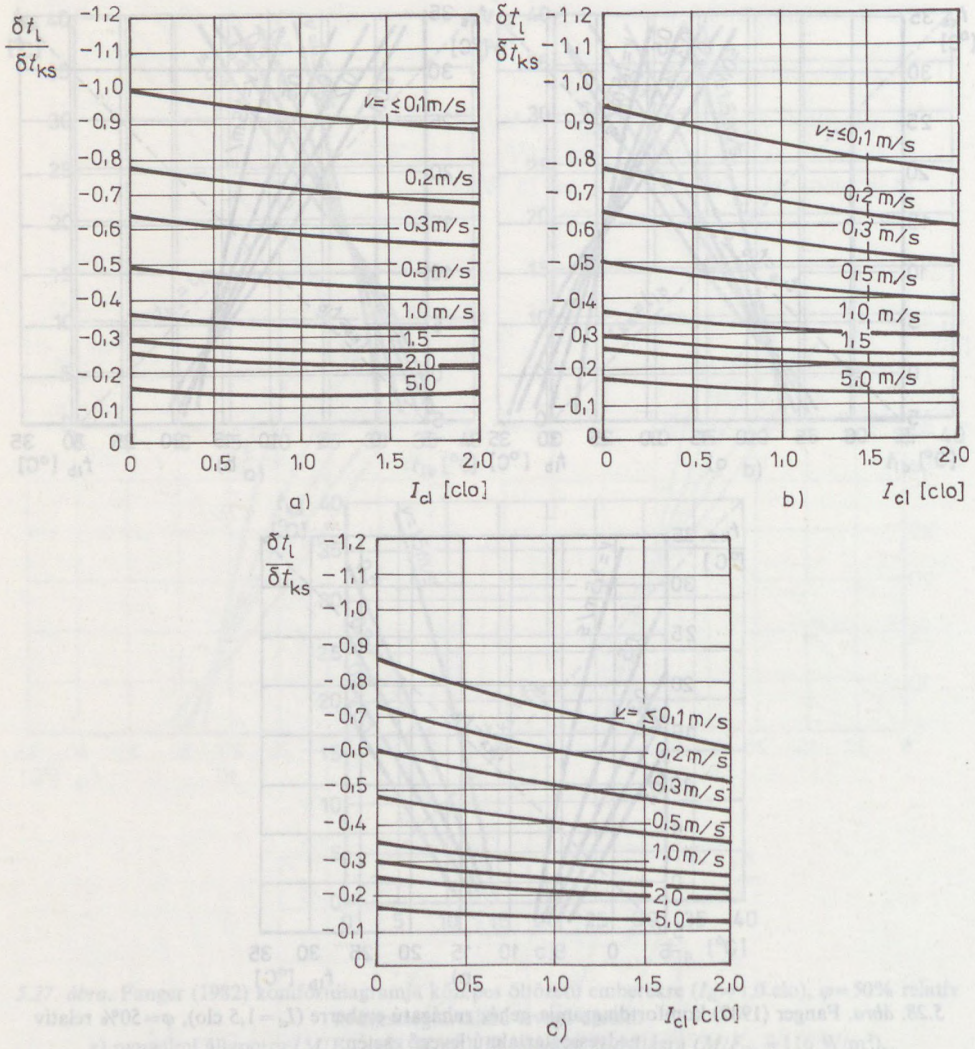
értékeire vonatkozik, a már ismertetett három tevékenységi szint esetében.

Ezekből, mivel zárt terek méretezésekor elsősorban ezeket alkalmazzuk, mind a 4×3 diagramot bemutatjuk *(5.25—5.28. ábrák)*. E diagramokból megállapítható a kellemes hőérzetet biztosító levegő- és közepes sugárzási hőmérséklet összetartozó értékei a légsebesség függvényében.



5.28. ábra. Fanger (1982) komfortdiagramja nehéz ruházatú emberre ($I_{cl}=1{,}5$ clo), $\varphi=50\%$ relatív nedvességtartalmú levegő esetén:
a) nyugalmi állapotra ($M/F_{Du}=58$ W/m^2), b) közepes aktivitásra ($M/F_{Du}=116$ W/m^2), c) nagy aktivitásra ($M/F_{Du}=174$ W/m^2)
(t_{ks} a közepes sugárzási hőmérséklet, t_{lb} a levegő-hőmérséklet, v a légsebesség)

A komfortdiagramokhoz további 5 × 3, ún. segéddiagram tartozik, amelyek arra hivatottak, hogy egyes paraméterek kisebb jellegű változásait is figyelembe vehessük a méretezési eljárás során. E diagramokból hármat mutatunk be, az *5.29. ábrán*, amely alkalmas arra, hogy a clo érték és a relatív légsebesség függvényében különböző tevékenységek esetére meghatározhassuk, hogy mennyire kell változtatni, illetve csökkenteni a léghőmérsékletet, ha a közepes sugárzási hőmérséklet 1 °C-kal növekszik.



5.29. ábra. Fanger (1982) kisegítő komfortdiagramja, amely a ruha hőszigetelő képessége és a légsebesség függvényében mutatja a levegő- és a közepes sugárzási hőmérséklet változásának hatását: a) nyugalmi állapotra ($M/F_{Du}=58$ W/m^2), b) közepes aktivitásra ($M/F_{Du}=116$ W/m^2), c) nagy aktivitásra ($M/F_{Du}=174$ W/m^2)

5.3.3. A hőérzet várható értékeinek számítása (*PMV* és *PPD* értékek)

Az előzőekben részletesen ismertettük a hőérzeti méretezés különböző módszereit. Ha ezeket olyan szempontból vizsgáljuk, hogy a műszaki gyakorlatban, elsősorban a tervezésben melyik a legjobb, legkedvezőbb, akkor — e tudományág jelenlegi állása szerint — Fanger módszerét kell első helyre tennünk.

Fanger ugyanis az előzőekből megismert elméletét olyan szempontból is továbbfejlesztette, hogy kidolgozott egy olyan számítási módszert, amely alapján a zárt tér adott pontjára, a különböző paraméterek ismeretében meg lehet határozni a várható hőérzeti értékeket. Ez az ún. *PMV* érték, amelynek legkedvezőbb magyar fordítása a várható hőérzeti érték, és a *PPD* érték, amely viszont a kedvezőtlen hőérzet várható százalékos valószínűsége. E két mutató elvi kialakításának ismerete feltétlenül szükséges.

Fanger a *PMV* érték kidolgozásakor a hőegyensúlyi alapegyenletből, valamint az ASHRAE-féle pszichofiziológiai szubjektív hőérzeti skálából indult ki.

Sok személy szubjektív hőérzeti adatát összegyűjtve feltételezte, hogy a 0 átlagérték annak az esetnek feleljen meg, amikor a hőegyensúlyi egyenlet eredménye 0, tehát a hőtermelés és a külső hőleadás egyensúlyban van.

Ismert tény, hogy az emberi szervezet a hőegyensúlyt széles határok között képes tartani (a kémiai és fizikai hőszabályozással, izzadással stb.), de e széles skálán belül csak egy viszonylag keskeny sáv tekinthető a kellemes hőérzet tartományának, komfortállapotnak. Fanger joggal tételezte fel, hogy annál nagyobb a diszkomfort mértéke, minél nagyobb alkalmazkodás szükséges a hőszabályozó mechanizmus részéről a hőegyensúly fenntartásához. Feltételezve, hogy — az adott tevékenységi szinten — az emberi hőérzet a hőterhelés függvénye. Ezt a hőterhelést a belső hőtermelés és a környezet felé leadott hőmennyiség különbségeként definiálta, amely komfortfeltételek mellett zérus.

Olyan környezetben, ahol a diszkomfortállapotok uralkodnak, a test hőszabályozó mechanizmusa megváltoztatja az átlagos bőrhőmérséklet értékét, szükség esetén megindítja a verejtékezést, a szervezet hőegyensúlyának fenntartása érdekében. E hőterhelés a hőszabályozó mechanizmus működésének fiziológiai előidézője, ezért megalapozott az a feltevés, hogy a terhelés mértéke a hőérzet meghatározója is egyben. Egyszerűsített formában ez a következő egyenlettel fejezhető ki:

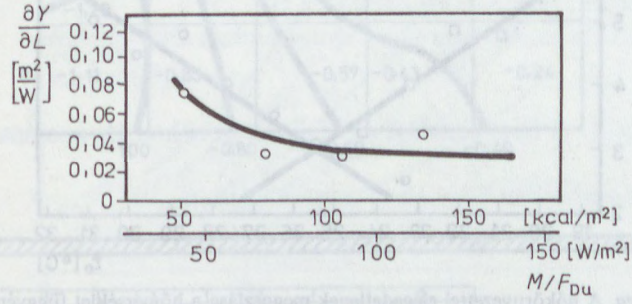
$$Y = f\left(\frac{H}{F_{Du}}, L\right), \tag{5.47}$$

ahol

Y a várható hőérzet,

L a szervezetre ható hőterhelés,

H/F_{Du} 1 m^2-re vonatkozó hőterhelés.



5.30. ábra. A $\delta Y/\delta L$ és a metabolikus érték összefüggése (Fanger 1982)

A függvényszerűség csak akkor igazolható, ha a hőérzeti szavazatokat és a hőegyensúlyi egyenletet megfelelő számú helyszíni vagy laboratóriumi kísérlettel összehasonlították.

Az adatok összehasonlításakor Fanger részben saját, részben Nevins és McNall kísérleteit vette figyelembe, négy tevékenységi szintre, olyan esetekre, amikor a levegő- és a közepes sugárzási hőmérsékletérték azonos, a relatív nedvességtartalom pedig 50% volt. Eredményeit diagramban dolgozta fel *(5.30. ábra)*. A görbe egyenlete felírható:

$$\frac{\partial Y}{\partial L} = 0{,}41\,e^{-0{,}049\,(M/F_{Du})} + 0{,}037 \qquad [m^2/W] \tag{5.48}$$

formában, és az integrálást elvégezve:

$$Y = (0{,}41\,e^{-0{,}049\,(M/F_{Du})} + 0{,}037)\,L\,, \tag{5.49}$$

mivel ha $Y=0$, akkor $L=0$.

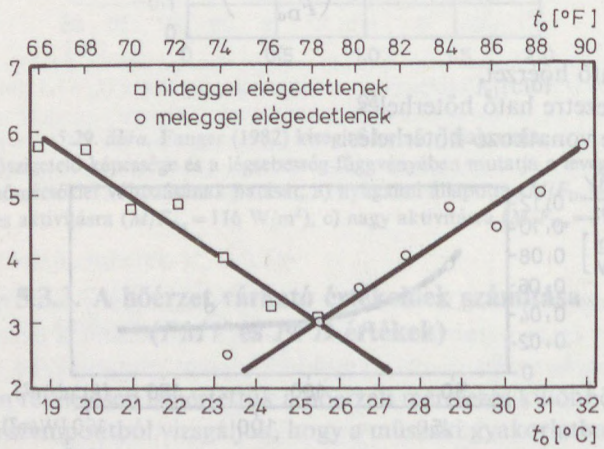
Az így kapott Y érték az ún. *PMV* érték. Matematikai kifejtése a következő:

$$PMV = 0{,}352\,e^{-0{,}042\,(M/F_{Du})} + 0{,}032\left\{\frac{M}{F_{Du}}(1-\eta) - \right.$$

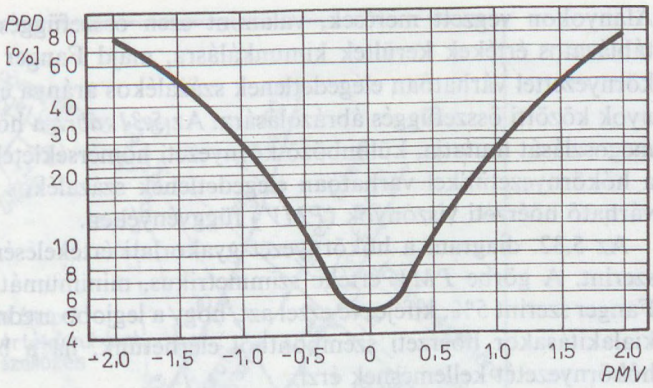
$$-0{,}35\left[43 - 0{,}061\frac{M}{F_{Du}}(1-\eta) - p_{vg}\right] - 0{,}42\frac{M}{F_{Du}}(1-\eta) - 50 -$$

$$-0{,}0023\frac{M}{F_{Du}}(44-p_{vg}) - 0{,}0014\frac{M}{F_{Du}}(34-t_{lb}) -$$

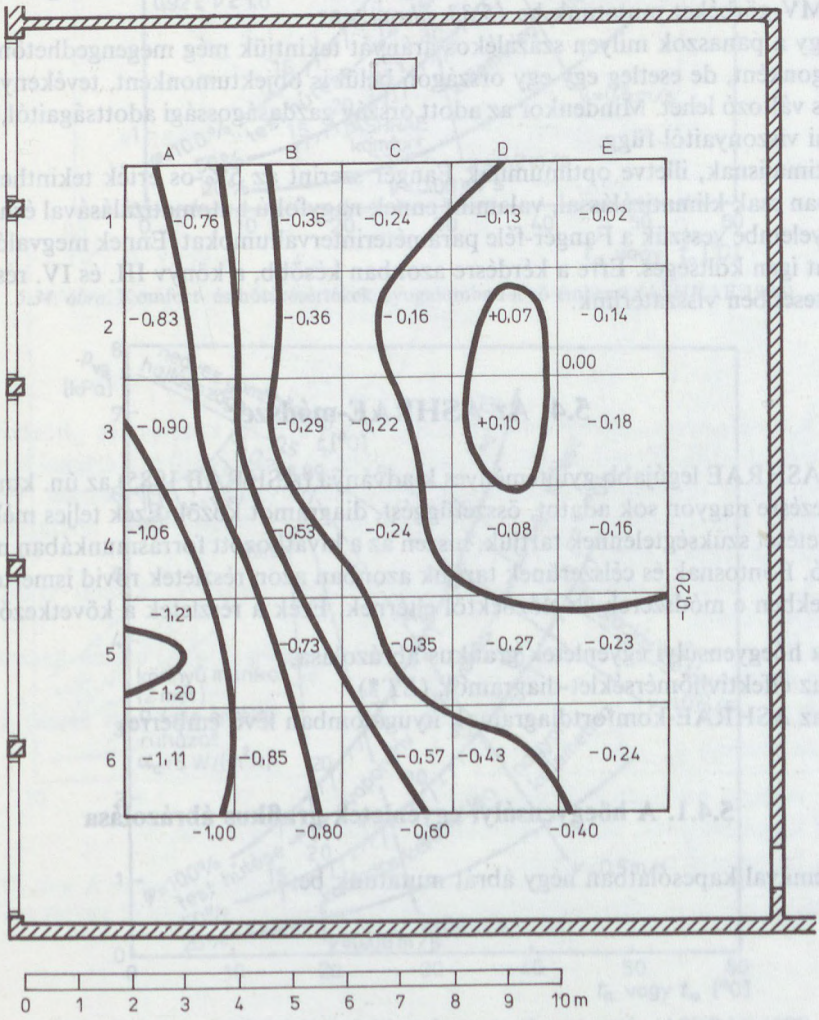
$$\left. -3{,}4\cdot 10^{-8} f_{cl}[(t_{cl}+273)^4 - (t_{ks}+273)^4] - f_{cl}\alpha_c(t_{cl}-t_{lb})\right\}. \tag{5.50}$$



5.31. ábra. A hőkörnyezettel elégedetlenek megoszlása a hőmérséklet függvényében (Fanger 1982)



5.32. ábra. A hőkörnyezetükkel várhatóan elégedetlenek százalékos aránya (*PPD*) a *PMV* érték függvényében (Fanger 1982)



5.33. ábra. Egy iskolai tanterem izo-*PMV* görbéi (Fanger 1982)

Alanyokon végzett mérések, valamint ezen összefüggések felhasználásával előbb táblázatos értékek kerültek kimunkálásra, majd Fanger diagramot dolgozott ki a környezettel várhatóan elégedetlenek százalékos aránya és a várható hőérzeti viszonyok közötti összefüggés ábrázolására. Az *5.31. ábra* a hőkörnyezettel elégedetlenek megoszlását mutatja, különböző környezeti hőmérsékletek esetén, míg az *5.32. ábra* a hőkörnyezetükkel várhatóan elégedetlenek százalékos arányát mutatja (*PPD*) a várható hőérzeti viszonyok (*PMV*) függvényében.

Az 5.32. diagram a hőkörnyezet gyakorlati értékelésének alapját képezi Fanger szerint. A görbe *PMV* értéke szimmetrikus, minimumát itt éri el. Ez a minimum Fanger szerint 5%, kifejezve ezzel azt, hogy a legjobb eredmény, amit egy mikroklíma kialakításakor hőérzeti szempontból elérhetünk, ha a benntartózkodók 95%-a a hőkörnyezetét kellemesnek érzi.

A felhasználás lehetőségére vonatkozóan egy iskolai teremre kidolgozott, ún. izo-PMV-görbéket mutatunk be *(5.33. ábra)*.

Hogy a panaszok milyen százalékos arányát tekintjük még megengedhetőnek, az országonként, de esetleg egy-egy országon belül is objektumonként, tevékenységenként is változó lehet. Mindenkor az adott ország gazdaságossági adottságaitól, szociológiai viszonyaitól függ.

Optimálisnak, illetve optimumnak Fanger szerint az 5%-os érték tekinthető. Ez azonban csak klimatizálással, valamint ennek nagyfokú automatizálásával érhető el, ha figyelembe vesszük a Fanger-féle paraméterintervallumokat. Ennek megvalósítása viszont igen költséges. Erre a kérdésre azonban később, a könyv III. és IV. részében részletesebben visszatérünk.

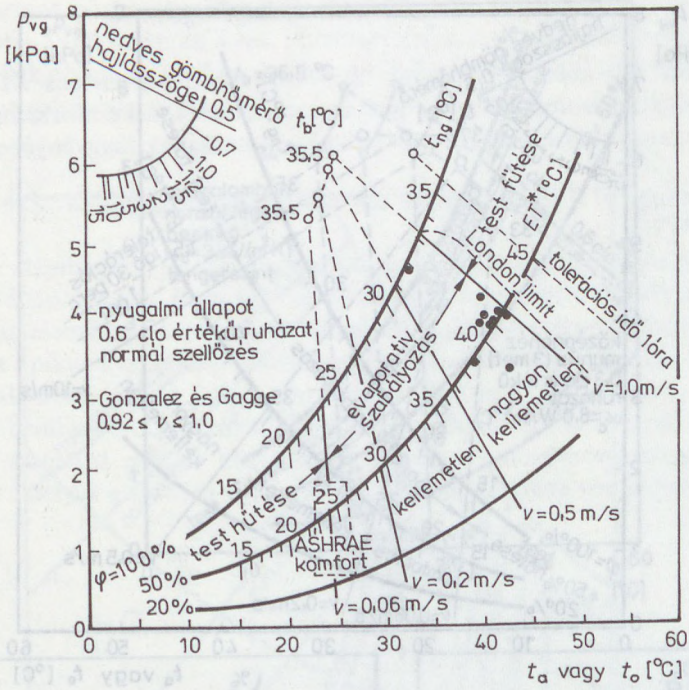
5.4. Az ASHRAE-módszer

Az ASHRAE legújabb gyűjteményes kiadványa (ASHRAE 1985) az ún. komfortméretezésre nagyon sok adatot, összefüggést, diagramot közöl. Ezek teljes mélységű ismertetését szükségtelennek tartjuk, hiszen az a hivatkozott forrásmunkában megtalálható. Fontosnak és célszerűnek tartjuk azonban azon részletek rövid ismertetését, amelyekben e módszerek az előzőektől eltérnek. Ezek a részletek a következők:

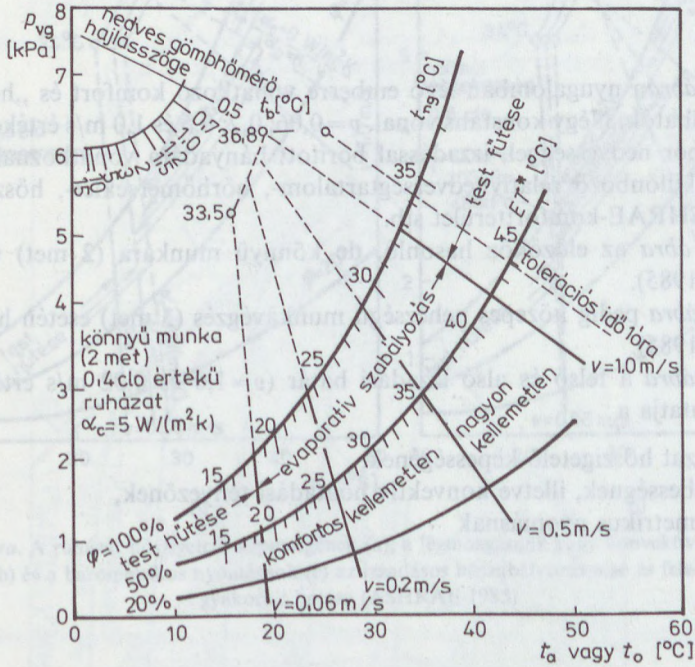
— a hőegyensúlyi egyenletek grafikus ábrázolása,
— az effektívhőmérséklet-diagramok (*ET**),
— az ASHRAE-komfortdiagramok nyugalomban lévő emberre.

5.4.1. A hőegyensúlyi egyenletek grafikus ábrázolása

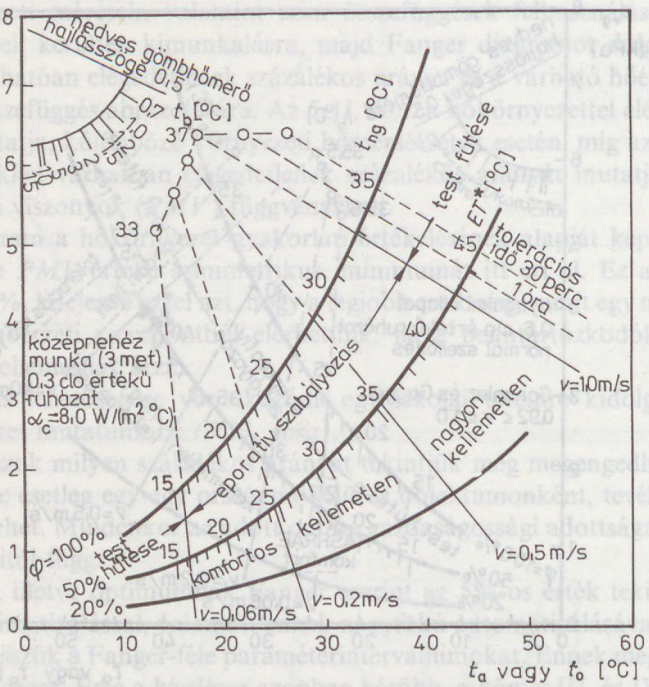
E témával kapcsolatban négy ábrát mutatunk be:



5.34. ábra. Komfort- és hőtűrésértékek nyugalomban lévő emberre (ASHRAE 1985)



5.35. ábra. Komfort- és hőtűrésértékek könnyű munka (2 met) esetén (ASHRAE 1985)



5.36. ábra. Komfort- és hőtűrésértékek közepesen nehéz munka (3 met) esetén (ASHRAE 1985)

Az *5.34. ábrán* nyugalomban lévő emberre vonatkozó komfort és „hőelviselési" értékek találhatók. Négy konstans vonal, $v = 0{,}06$; 0,2; 0,5 és 1,0 m/s értékei láthatók, amelyek a bőr nedvességgel, izzadással borított hányadára vonatkoznak. Emellett láthatók a különböző relatívnedvességtartalom-, bőrhőmérséklet-, hőszabályozási vonalak, ASHRAE-komfortterület stb.

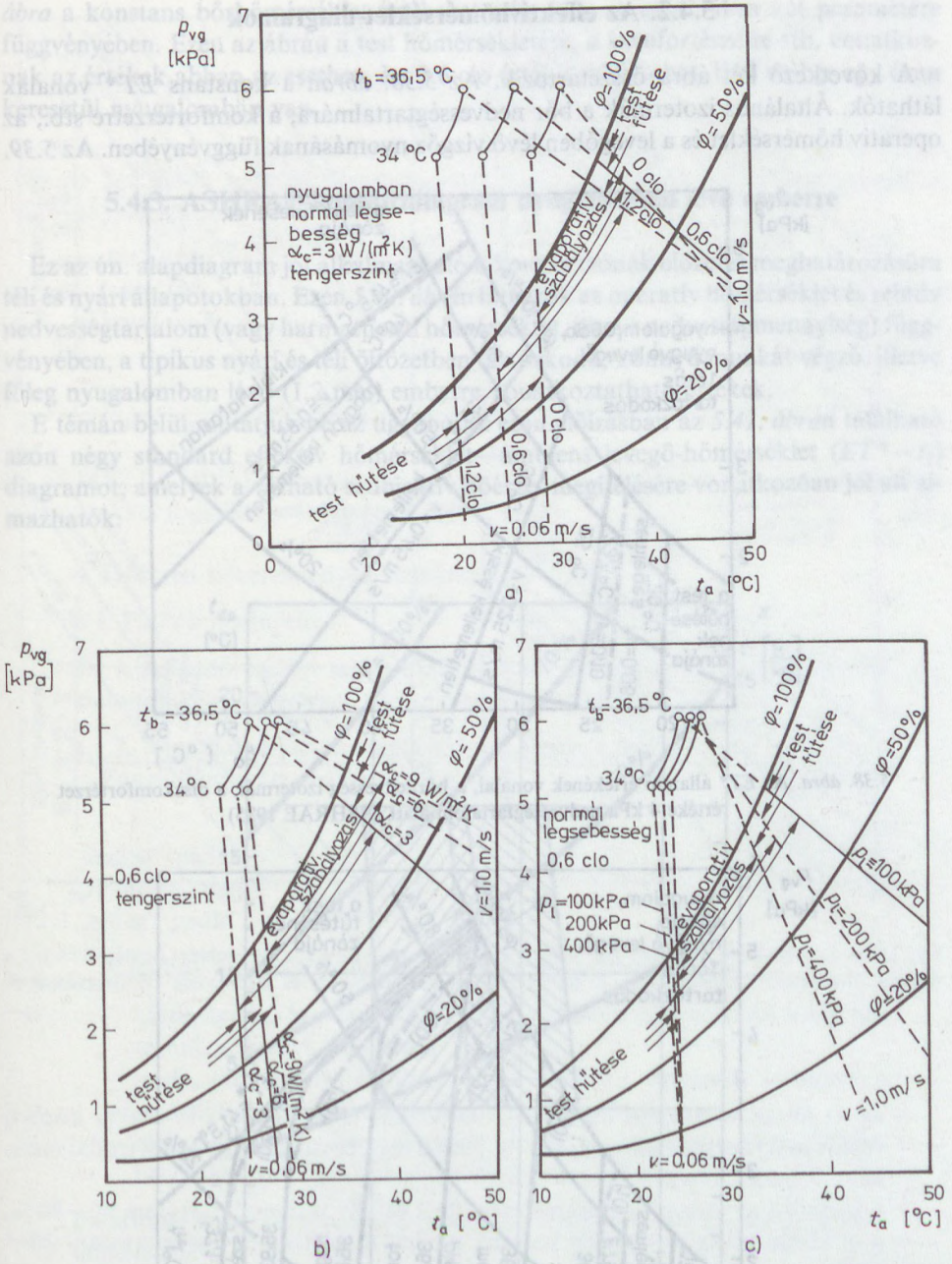
Az *5.35. ábra* az előzőhöz hasonló, de könnyű munkára (2 met) vonatkozik (ASHRAE 1985).

Az *5.36. ábra* pedig közepes nehézségű munkavégzés (3 met) esetén használható (ASHRAE 1985).

Az *5.37. ábra* a felső és alsó izzadási határ ($v = 1{,}0$ és 0,02 m/s érték) közötti zónában mutatja a

— a ruházat hőszigetelő képességének,
— a légsebességnek, illetve konvektív hőátadási tényezőnek,
— a barometrikus nyomásnak

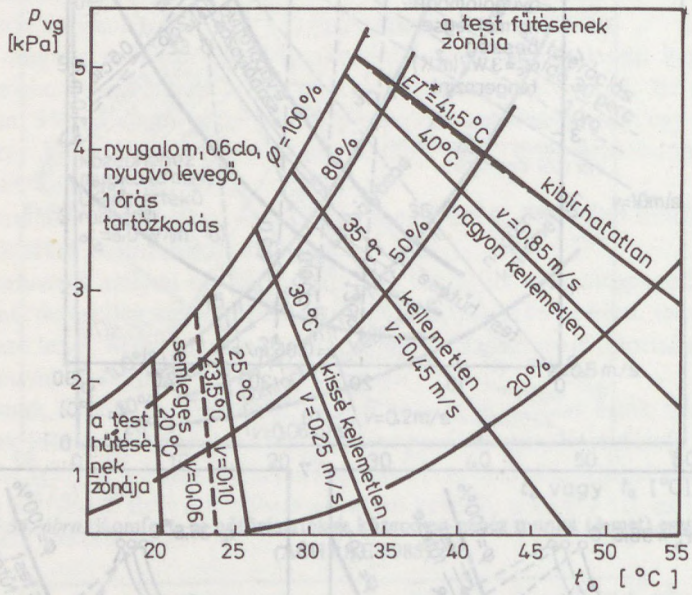
hatását.



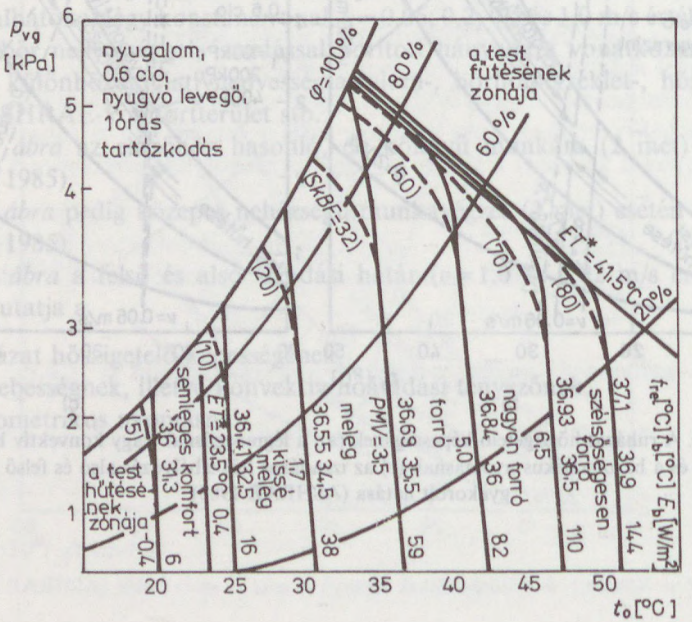
5.37. ábra. A ruházat hőszigetelő képességének (a), a légmozgásnak vagy konvektív hőátadási tényezőnek (b) és a barometrikus nyomásnak (c) az izzadásos hőszabályozás alsó és felső határértékeire gyakorolt hatása (ASHRAE 1985)

5.4.2. Az effektívhőmérséklet-diagramok

A következő két ábra összetartozik. Az *5.38. ábrán* a konstans *ET** vonalak láthatók. Általános izotermák a bőr nedvességtartalmára, a komfortérzetre stb., az operatív hőmérséklet és a levegőben lévő vízgőz nyomásának függvényében. Az *5.39.*



5.38. ábra. Az *ET** állandó értékének vonalai, a bőrnedvesség izotermái, a diszkomfortérzet értéke 4 kPa nedvességtartalom alatt (ASHRAE 1985)



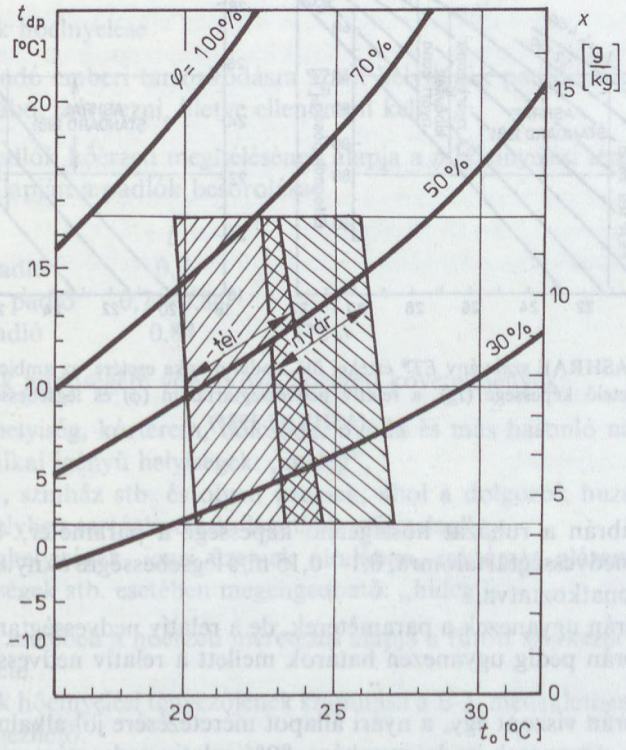
5.39. ábra. A bőrhőmérséklet (t_b), a maghőmérséklet (t_{re}) izotermái és a hőérzet párhuzamos vonalai t_b-vel (41 *ET** érték alatt, a levegő nedvességtartalmának hatása nélkül), a bőr párolgásos hőleadása és a véráramlás izotermái (ASHRAE 1985)

ábra a konstans bőrhőmérséklet-értékeket adja meg az előző ábra két paramétere függvényében. Ezen az ábrán a test hőmérsékletére, a komfortérzetre stb. vonatkoznak az értékek abban az esetben, ha 0,6 clo értékű ruházatban lévő ember egy órán keresztül nyugalomban van.

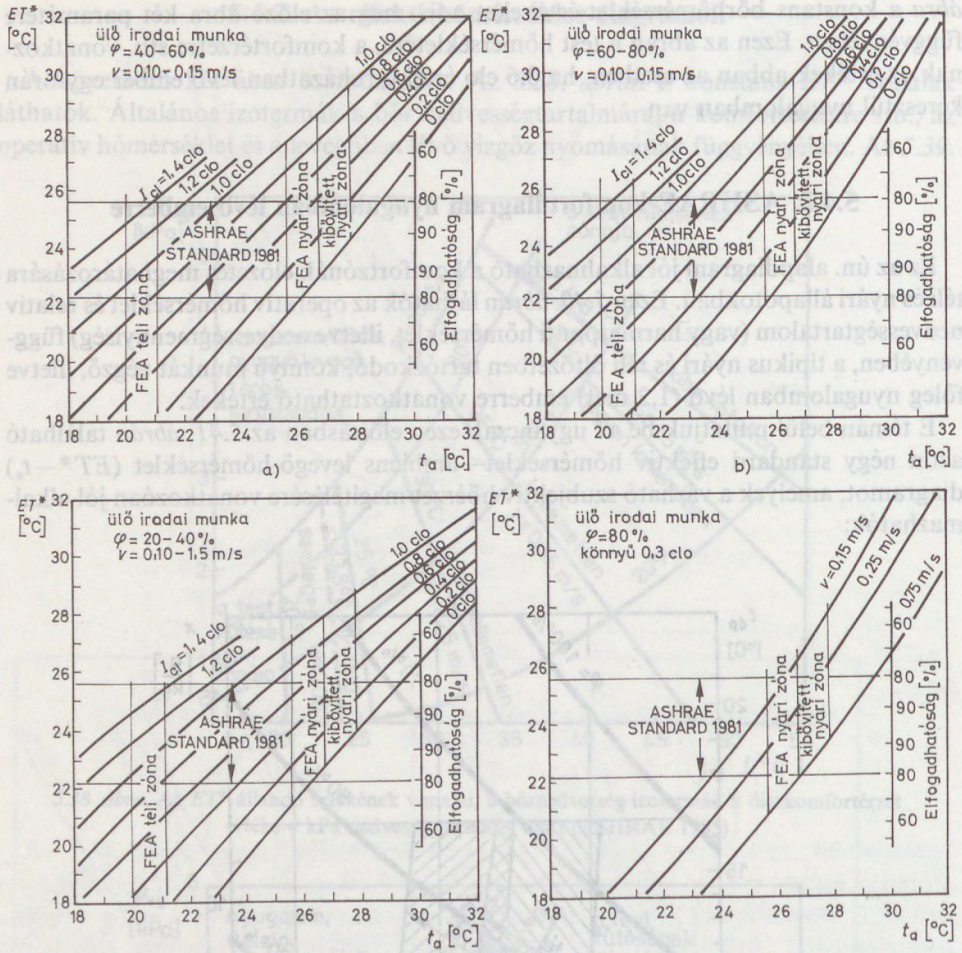
5.4.3. ASHRAE-komfortdiagram nyugalomban lévő emberre

Ez az ún. alapdiagram jól alkalmazható a komfortzónák előzetes meghatározására téli és nyári állapotokban. Ezen *5.40. ábrán* láthatók az operatív hőmérséklet és relatív nedvességtartalom (vagy harmatponti hőmérséklet, illetve nedvességmennyiség) függvényében, a tipikus nyári és téli öltözetben tartózkodó, könnyű munkát végző, illetve főleg nyugalomban lévő (1,2 met) emberre vonatkoztatható értékek.

E témán belül mutatjuk be az ugyancsak ezen előírásban az *5.41. ábrán* található azon négy standard effektív hőmérséklet—ambiens levegő-hőmérséklet ($ET^* - t_a$) diagramot, amelyek a várható szubjektív hőérzet megítélésére vonatkozóan jól alkalmazhatók:



5.40. ábra. Nyári és téli ruházatba öltözött, könnyű munkát végző, illetve nyugalomban lévő emberre (≤ 1,2 met) vonatkozó operatívhőmérséklet-tartományok (ASHRAE 1985)



5.41. ábra. Az ASHRAE szabvány *ET** értékei ülő irodai munka esetére, az ambient hőmérséklet (t_a) a ruházat hőszigetelő képessége (I_{cl}), a relatív nedvességtartalom (φ) és légsebesség (v) függvényében (ASHRAE 1985)

— az a) ábrán a ruházat hőszigetelő képessége a paraméter, 40—60% közötti relatív nedvességtartalomra, 0,1—0,15 m/s légsebességre és nyugodt irodai munkára vonatkoztatva,
— a b) ábrán ugyanezek a paraméterek, de a relatív nedvességtartalom 60—80%,
— a c) ábrán pedig ugyanezen határok mellett a relatív nedvességtartalom 20—40%,
— a d) ábrán viszont egy, a nyári állapot méretezésére jól alkalmazható diagram látható, ugyancsak irodai munkára, 80% relatív nedvességtartalomra és 0,3 clo értékű ruházatra vonatkoztatva, és ahol a légsebesség a paraméter.

5.5. Egyéb új méretezési módszerek

Ezen alfejezeten belül először is az „Épületek és határoló szerkezetek hőtechnikai méretezésének korszerűsítése" című, az MSZ 04 140/2 szabványlap korszerűsítésének „Hőérzeti követelmények és méretezés" című 4. fejezetét mutatjuk be (BME 1988). Ezután két másik módszer lényegét, illetve az azokból kidolgozott szabványokat, szabványjavaslatokat ismertetjük:

— az ISO 7730 szabványt (ISO 1984) és
— a Jokl (1986) által kidolgozott javaslatot az akkori KGST-n belüli egységes hőkomfort-méretezésre.

5.5.1. A korszerűsített MSZ 04 140/2

Az MSZ 04 140/2 korszerűsítésre kidolgozott tervezetből idézzük a hőérzeti követelményekkel foglalkozó 4. fejezetet (BME 1988):

4. Hőérzeti követelmények és méretezés

4.1. Padlók hőelnyelése

4.1.1. Állandó emberi tartózkodásra szánt helyiségek padlóit hőelnyelés szempontjából méretezni, illetve ellenőrizni kell.

4.1.2. A padlók hőérzeti megítélésének alapja a *b* hőelnyelési tényező.

Ennek alapján a padlók besorolása:

	b
„meleg" padló	0,7
„félmeleg" padló	0,7—0,84
„hideg" padló	0,84

A padlók minőségére vonatkozó hőérzeti követelmények:

— lakóhelyiség, kórterem, bölcsőde, óvoda és más hasonló nagy hőtechnikai igényű helyiségek: „meleg",
— iroda, színház stb. és olyan üzemek, ahol a dolgozók huzamosan egyhelyben tartózkodnak: legalább „félmeleg",
— meleghelyiségek, ipari üzemek általában, raktárak, alárendeltebb helyiségek stb. esetében megengedhető: „hideg".

Padlófűtés esetében a hőérzeti méretezés alapja a fűtött szerkezet felületi hőmérséklete.

A padlók hőelnyelési tényezőjének számítása a B-1. mellékletben közölt módon végezhető.

4.2. Határoló szerkezetekre vonatkozó követelmények.

4.2.1. Huzamos emberi tartózkodásra szolgáló helyiségek esetében a külső levegővel alulról érintkező födémszerkezeteket oly módon kell kialakítani, hogy azokon az átlagos padlófelületi hőmérséklet legfeljebb 2 K-nel legyen alacsonyabb a helyiség előírt belső hőmérsékleténél.

4.2.2. Azon huzamos emberi tartózkodásra szolgáló helyiségek esetében, amelyekben a személyek térbeli helyzete nem kötött, a külső határoló és nyílászáró szerkezeteket úgy kell kialakítani, hogy a helyiséget burkoló valamennyi felületnek a felületek arányában súlyozott átlagos hőmérséklete legfeljebb 2 K-nel legyen alacsonyabb a helyiségek előírt belső hőmérsékleténél.

E követelmény kielégítése helyett a hőérzeti követelmények teljesítése az eredő hőmérséklet számításával is igazolható, ebben az esetben a hőleadó felületek is számításba vehetők.

4.2.3. Egy felület átlagos hőmérsékletének meghatározása során a hőhidak hatását is tükröző

$$k_r = \frac{kA + \Sigma_j l_j k_j}{A}$$

eredő hőátbocsátási tényezőt, a helyiség előírt belső hőmérsékletét és a hőszükséglet-számításra előírt külső méretezési hőmérséketet kell figyelembe venni.

4.2.4. Azon huzamos emberi tartózkodásra szolgáló helyiségek esetében, amelyekben a személyek térbeli helyzete kötött (pl. iskolai tanterem), a hőérzeti ellenőrzést arra a tartózkodási helyre kell elvégezni, ahol a legkedvezőtlenebb eredő hőmérséklet várható.

Ennek legegyszerűbb elfogadható közelítést adó módja a

$$t_k \geq 19{,}2 - \frac{2{,}2}{\varphi}$$

egyenlőtlenség teljesülésének ellenőrzése, ahol t_k a külső határoló szerkezet belső felületének hőmérséklete, φ a besugárzási tényező. Ez utóbbi közelítéssel:

$$\varphi = 1 - 0{,}8 \frac{x}{\sqrt{A}},$$

ahol x a külső felülettől mért távolság, A a külső felület.

Ha $x/\sqrt{A} > 1$, akkor $\varphi = 0{,}2$ számítandó.

A hőérzeti ellenőrzésbe a fűtési hőleadó felülete is bevonható (az alacsony felületi hőmérséklet kedvezőtlen hatása az azonos irányban elhelyezett alkalmas felületű és hőmérsékletű hőleadóval ellensúlyozható).

4.2.5. Azokat, a külső felületükön a talajjal érintkező falszerkezeteket, amelyek egy része a terepszint fölé emelkedik, a hőérzeti követelmények szempontjából a külső falakkal azonos módon kell elbírálni.

4.2.6. A huzamos emberi tartózkodásra szolgáló lakó- és közösségi helyiségek esetén a talajon nyugvó padlószerkezeteknek az épületek kerülete mentén húzódó 1 m széles sávját a B-2. melléklet szerinti hővezetési ellenállású rétegtervvel kell kialakítani.

A táblázatban megadott hővezetési ellenállású réteg(ek) a lábazaton 1 m magasságú függőleges sávként is elhelyezhető(k).

4.2.7. Teljes egészében terepszint alatti külső falakra hőérzeti szempontból nincs követelmény.

4.2.8. Azon huzamos emberi tartózkodásra szolgáló helyiségek esetében, amelyekben a személyek térbeli helyzetet kötött (pl. iroda), a nem északi tájolású avagy nem árnyékban lévő elnyelő üvegezésű, vagy árnyékolású ablakokhoz legközelebbi tartózkodási helyekre ellenőrizni kell a

$$t_k \leq 19{,}2 + 8{,}7 \cdot \frac{1}{\varphi}$$

egyenlőtlenség teljesülését. A jelölések és értelmezések a 4.2.4. alattiakkal egyezőek.

4.3. A helyiségekre vonatkozó követelmények

4.3.1. A huzamos emberi tartózkodásra szolgáló helyiségek a nyáron várható belső hőmérséklet szempontjából megfelelőek, ha egyidejűleg teljesülnek az alábbi feltételek:

— az egységnyi helyiség térfogatra jutó (időben tartós) belső hőterhelés $Q_b = 7$ W/m^3,
— és egy főre $V = 15$ m^3 helyiségtérfogat jut,
— és a fajlagos hőtároló tömeg nem kisebb a 4.1. táblázatban az adott esetre megadott értéknél.

4.1. táblázat

Szellőztetés	Üvegezés tájolása	
	É	egyéb
Nem intenzív	2500	4000
Intenzív	1500	3000

A helyiség intenzíven szellőztetett, ha rendeltetése és használati módja szerint ablakának huzamos nyitvatartása lehetséges vagy a helyiség $n = 3$ légcsereszáma egyéb úton biztosítható.

4.3.2. Ha a felsorolt feltételek valamelyike nem teljesül, a hőérzeti feltételek teljesítése részletes méretezéssel igazolandó vagy épületgépészeti berendezés betervezésével biztosítandó. A részletes méretezésre vonatkozóan a B-3. melléklet tartalmaz tájékoztatást.

4.4. Nem állandóan használt helyiségek.

4.4.1. A hőérzeti követelmények teljesülésének ellenőrzését napi vagy évi értelemben szakaszosan vagy időszakosan használt helyiségek esetében a használati időszakra vonatkozó külső feltételekre kell elvégezni.

5.5.2. Az ISO 7730 szabvány

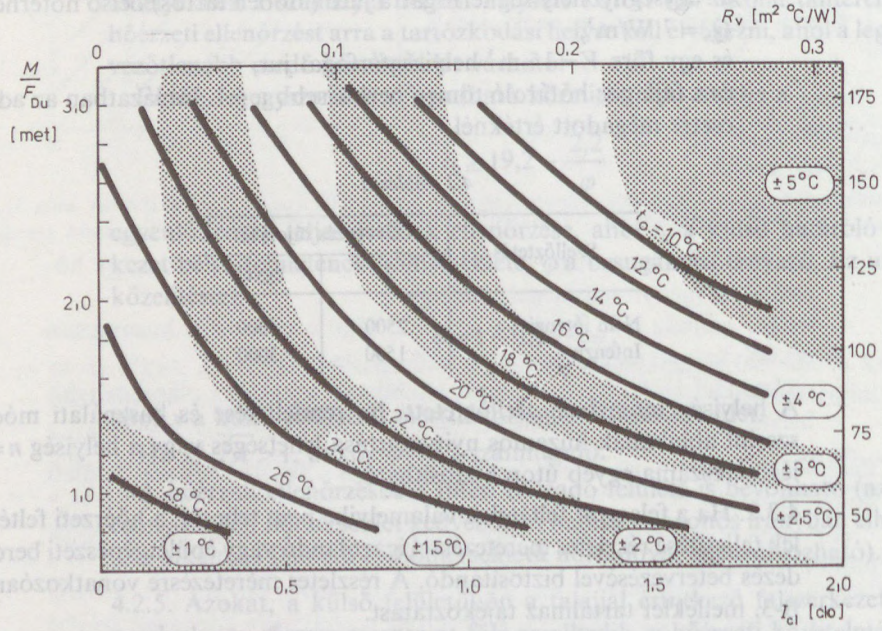
E módszert 14 ország — köztük Magyarország is — elfogadta és ebből a szabványból (ISO 1984) az Annex A-ban közölt „Javasolt komfort követelményértékek"-et mutatjuk be vázlatosan.

Általános megkötés, hogy a *PMV* érték +0,5 és −0,5 közötti legyen. Közöl továbbá az előírás egy diagramot *(5.42. ábra)*, amely a $PMV=0$ értékhez tartozó optimális operatív hőmérsékletre vonatkozik a végzett tevékenység és a ruházat hőszigetelő képességének függvényében.

Könnyű, főleg ülő tevékenységre vonatkozóan a szabvány hivatkozott részében a következő javaslatok találhatók:

A) Téli (fűtési) időszak paraméterei:

— operatív hőmérséklet 20 és 24 °C közötti (22±2 °C),
— a vertikális levegőhőmérséklet-különbség a padló felett mért 0,1 és 1,1 m magasságban (tehát bokamagasság és az ülő ember fejmagassága között) kisebb legyen, mint 3 °C,
— a padló felületi hőmérséklete 19 és 26 °C közötti, padlófűtés esetén 29 °C,
— az átlagos légsebesség legyen kisebb, mint 0,15 m/s,



5.42. ábra. Az optimális ($PMV=0$) operatív hőmérsékletek (t_o) a végzett tevékenység (M/F_{Du}) és a ruházat hőszigetelő képessége (I_{cl}, R_v) függvényében (ISO 1984)
[Az International Organization for Standardization (ISO) engedélyével]

— a sugárzási hőmérséklet-aszimmetria az ablakokra és hideg falakra vonatkoztatva kisebb legyen, mint 10 °C (a padló felett 0,6 m-re elhelyezkedő vertikális felületelemre vonatkoztatva),
— fűtött mennyezet esetén a sugárzási hőmérséklet-aszimmetria kisebb legyen 5 °C-nál (a padló felett 0,6 m-re elhelyezkedő horizontális felületelemre vonatkoztatva).

B) Nyári (hűtési) időszak paraméterei:

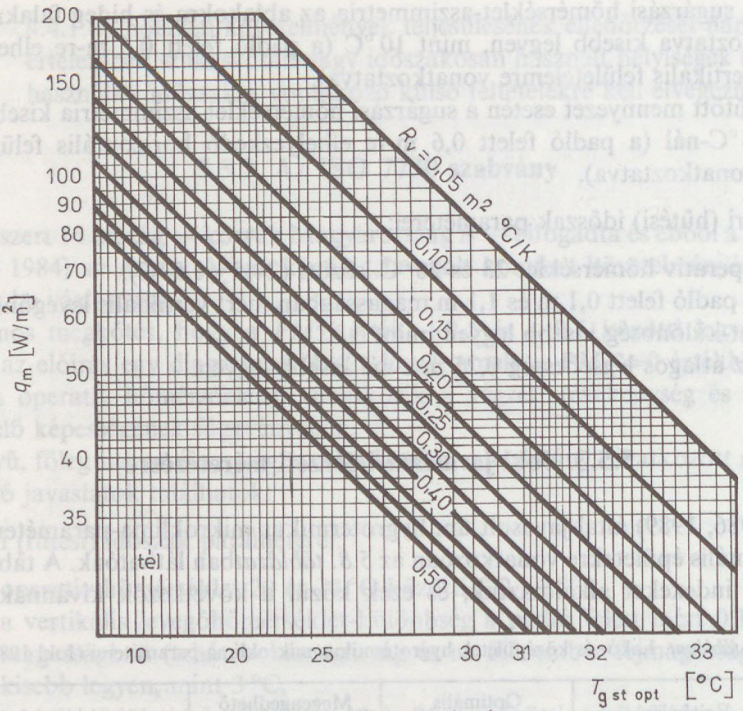
— operatív hőmérséklet 23 és 26 °C között (24,5 ± 1,5 °C),
— a padló felett 0,1 m és 1,1 m magasságban mért vertiklális levegőhőmérséklet-különbség kisebb legyen, mint 3 °C,
— az átlagos légsebesség 0,25 m/s-nél kisebb legyen.

5.5.3. Jokl javaslata hőérzeti méretezésre

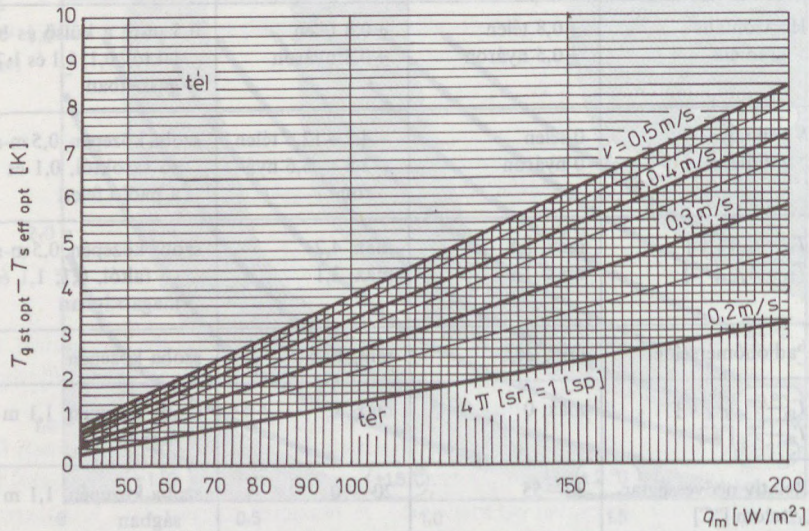
Jokl (1986, 1989) által javasolt ún. hygrotermikus mikroklíma-paraméterek lakó- és kommunális épületekre vonatkozóan az *5.8. táblázat*ban láthatóak. A táblázatban az eredeti indexeket alkalmaztuk, és ezek közül a következők kívánnak bővebb

5.8. táblázat. Lakó- és középületek hygrotermikus mikroklíma-paraméterei (Jokl 1989)

No	Kritérium	Optimális paraméter	Megengedhető paraméter	A méréshely
1	Gömbhőmérséklet a szobában (T_g) [°C]	20,8 ± 0,5 télen 26,0 ± 0,5 nyáron	18,0—23,5 télen 22,0—28,0 nyáron	szoba közepén, 1,0 méterre a padló felett
2	Horizontális gradiens	± 0,8 télen ± 0,5 nyáron	± 0,8 télen ± 0,5 nyáron	0,5 m-re a külső és belső falaktól, 0,1; 1,1 és 1,7 m magasságban
3	Vertikális gradiens	0 télen 0 nyáron	−4,2 + 12,6 télen −2,8 + 8,6 nyáron	szoba közepén, 0,5 m-re a külső saroktól, 0,1 és 1,1m-re a padló felett
4	$T_{lb} - t_{s\,eff}$ [°C] $T_{lb} - T_{g\,st}$ [°C]	max. 2,8 max. 1,2	max. 4,2 max. 2,1	szoba közepén, 0,5 m-re a külső faltól, 0,1; 1,1 és 1,7 m magasságban
5	Padlóhőmérséklet	min. 24,0	min. 17,5	szoba közepén
6	$T_{lb} - T_{s\,eff.}$ [°C] $T_{lb} - T_g$ [°C]	max. 0	max. 2,5	szoba közepén, 1,1 m magasságban
7	Relatív nedvességtartalom [°C]	30—55	20—70	szoba közepén, 1,1 m magasságban
8	Levegő sebessége [m/s]	max. 0,15	0,15(18,0 °C) − −0,2(23,5 °C) télen 0,15(22,0 °C) − −1,0(28,0 °C) nyáron	szoba közepén, 0,5 m-re a külső faltól, 0,1 és 1,1 m a padlószint felett



5.43. ábra. Télre vonatkozóan az optimális gömbhőmérséklet meghatározására szolgáló diagram a minimálisan optimális gömbhőmérséklet ($T_{g\,st\,opt}$), a metabolikus hő (q_m) és a ruházat teljes hővezetési ellenállása (R_v) függvényében (Jokl 1986)



5.44. ábra. Az optimális gömbhőmérséklet ($T_{g\,st\,opt}$) és az effektív sugárzási hőmérséklet ($T_{s\,eff\,opt}$) különbségének megengedhető felső határértéke az egész térre vonatkozóan, télen, az emberi test hőleadása (q_m) és a légsebesség (v) függvényében (Jokl 1986)

magyarázatot:

— $T_{g\,st}$, azaz sztereogömb-hőmérséklet, amely egy háromdimenziós térszögre, adott esetben az egyik félgömbtérre vonatkozni,

— $T_{s\,eff}$, azaz effektív sugárzási hőmérséklet, amely a hőmérséklete egy izotermikus „szürke" gömbtérnek, ahol az ott tartózkodó emberi test azonos hőmennyiséget cserél sugárzással, mint az aktuális nem egyenletes hőmérsékletű környezetben.

A módszer alkalmazásának elősegítésére különböző diagramok kerültek kidolgozásra, amelyekből kettőt mutatunk be, mint amelyeket adott esetben ugyancsak alkalmazhatunk:

— az *5.43. ábrán* a téli állapotra vonatkozó optimális gömbhőmérséklet-értékek láthatóak, az emberi test belső hőfejlődése és a ruházat teljes szigetelőképességének függvényében,

— az *5.44. ábrán* a megengedhető maximális különbség látható az optimális gömbhőmérséklet ($T_{g\,st\,opt}$), és az effektív sugárzási hőmérséklet ($T_{s\,eff\,opt}$) között, az emberi test belső hőfejlődése és a helyiségben lévő légsebesség függvényében ugyancsak téli állapotokra vonatkoztatva.

5.5.4. Különböző indexek és azok alkalmazási tartományai

Végül itt kell megemlítenünk az olyan méretezési hőmérsékletek és indexek alkalmazási lehetőségeit, tartományait, amelyek a nemzetközi szakirodalomban széles körben elterjedtek (Givoni 1969). Az öt index a következő:

a) *Effektív hőmérséklet* (*ET**) az az index, amely jól alkalmazható a várható fiziológiai és érzékszervi hatások meghatározására mind komfort-, mind hőstresszhatás alatt.

5.9. táblázat. A különböző indexek értékei (Givoni 1969)

Index	Metabolizmus (M) [W]	t_g [°C]	t_{gn} [°C]	Légsebesség (v) [m/s]
Effektív hőmérséklet	csak maradvány	1—43	1—43	0,10— 3,5
Eredő hőmérséklet	csak maradvány	18—45	18—45	0,10— 3,0
P_4SR	116—406	27—55	15—36	0,05— 2,5
Hőstressz index	116—580	27—60	15—35	0,25—10,0
Melegstressz index	116—700	20—55	15—35	0,10— 3,5

b) *Eredő hőmérséklet* (*RT*) elsősorban a pihenő és nyugalomban lévő ember várható szubjektív reakcióinak meghatározására alkalmas.

c) *P_4SR index* alkalmas a könnyű hőhatásnak kitett ember nyugalomban, könnyűtől középnehéz munkavégzésig várható fiziológiai hatásainak meghatározására.

d) *HSI (Heat Stress Index)* alkalmas a hőstressz alatt álló ember relatív reakciójának meghatározására, de nem alkalmas a számszerű fizikai hatások felmérésére.

e) *ITS (Index of Thermal Stress)* alkalmas pihenő vagy dolgozó egyénre ható metabolikus és környezeti hatások alapján várható fiziológiai reakciók meghatározására.

Az öt index alkalmazási tartományai az *5.9. táblázat*ban láthatók.

6. A zárt térben tartózkodó ember komfortviszonyaival kapcsolatos legújabb kérdések, eredmények

Az előzőekben elsősorban azokkal a kérdésekkel foglalkoztunk, amelyek általánosan ismertek, és eredményeik legtöbbje különböző szakirodalomban, sőt előírásokban, szabványokban már rögzítésre kerültek. A következőkben olyan kérdésekkel foglalkozunk, melyek legtöbbje csak egyes szakterületek művelői előtt ismertek, de még nem annyira általánosan elterjedtek, mintha pl. előírásokban már rögzítésre kerültek volna.

Ismételten felhívjuk a figyelmet az embert érő legfontosabb hatásoknak, az épületek komplex méretezésénél legalább olyan mélységig szükséges ismeretére, hogy

— lényegükkel, figyelembevételi lehetőségükkel legyünk tisztában,
— tudjuk milyen nagyságrendben befolyásolják a zárt terekben tartózkodó emberre vonatkozó követelményértékeket,
— milyen módon vegyük figyelembe hatásukat méretezéskor, illetve
— az utóbbi esetben milyen forrásmunkákban találhatunk bővebb adatokat.

Az előzőek értelmében a következő kérdésekkel foglalkozunk:

1. Helyi diszkomfort tényezők, ezen belül az aszimmetrikus sugárzás és a huzathatás.
2. A termikus műemberek.
3. Az emberi test hőcserefolyamatainak matematikai mdellezése.
4. Zárt terek belső levegőszennyeződése.
5. Az elektromos erőterek és a levegőionizáció.
6. A vizuális komfort kérdése, különös tekintettel annak energetikai kihatásaira.

Az olvasó néhány olyan szakterület felsorolását hiányolhatja, mint például az akusztika, akusztikai komfort. Nos a magyarázat az, hogy az akusztika önmagában egy hatalmas tématerület, amelyet ezideig is teljesen önállóan kezeltek, míg a felsoroltak esetében a közvetlen kapcsolat — igaz egyes esetekben csak ennek nyomai — már fellelhetők a komfort- és a hőtechnikai tervezésben, méretezésben. Könyvünk témáját, az energiafelhasználást illetően ezek a kérdések nem meghatározóak.

6.1. A helyi diszkomforttényezők

Az elmúlt években bebizonyosodott, hogy egy legkorszerűbb módszerekkel méretezett, zárt téren belül is adódhatnak olyan diszkrét pontok, ahol az ott tartózkodó egyénnek hőkomfortpanaszai vannak. A panaszok előfordulási helyének jellegénél fogva ezeket helyi diszkomforttényezőknek nevezik. E fogalom alatt azokat a paramétereket értjük, amelyek

— egy adott zárt térnek csak egyes pontjaiban érvényesülnek,
— hatásuk általában nem az egész emberi testre, hanem csak annak egyes részeire vonatkozik.

Az emberi hőcsere, szubjektív hőérzet szempontjából jelenleg két ilyen tényezőt tartunk számon:

— az aszimmetrikus sugárzást és
— a huzathatást.

6.1.1. Az aszimmetrikus sugárzás

Az aszimmetrikus sugárzáson azt a jelenséget értjük, ha a zárt térben tartózkodó ember egyes testrészei, valamint azok hőmérsékleténél viszonylag magasabb vagy alacsonyabb hőmérsékletű felületek között sugárzásos hőcsere jön létre. Azaz a testrészt hősugárzás éri, vagy sugárzásos hőleadása e felületek felé növekszik. Ennek egyik gyakori változata, ha a test egyik oldalán magasabb, másik oldalán viszonylag alacsonyabb hőmérsékletű felület helyezkedik el, amelyek közül az egyikből a testet sugárzásos hőnyereség éri, a másik felé viszont ő ad le, gyakran tekintélyes mennyiségű hőt, sugárzás útján.

Az általános megfogalmazásból látható, hogy egy rendkívül szerteágazó, széles határok között változó problémakörről van szó, az ember és falak közötti hőcserétől például a sugárzó fűtési megoldásokig.

E számtalan feladat közül néhány különleges esetre már született pontos megoldás, és történtek kezdeményezések a kérdés általános vagy legalábbis annak nagy részét magába foglaló megoldások kidolgozására. A továbbiakban ezekből mutatunk be négyet, mint jellegzetes és jól felhasználható módszert.

6.1.1.1. Olesen, Fanger és Nielsen módszere

Az aszimmetrikus sugárzás klasszikus — bár a sugárzó fűtésekkel csak közvetve kapcsolatban lévő — témakörére vonatkozóan végzett kísérletet a három szerző (Olesen és mtsai 1973).

Azt vizsgálták, hogyha egy ember két olyan fal között helyezkedik el, amelyekből az egyik meleg, a másik hideg, miközben a levegő és a további határoló szerkezetek hőmérséklete azonos, melyek azok a határértékek, amelyek hőérzetileg még érzékelhetők és elfogadhatók. A kísérlet további jellegzetességei

— fürdőruhában ülő emberek, tehát a clo érték 0,1,
— a hideg és meleg fal közötti hőmérséklet-különbségek arányosan voltak változtatva, ± 5, ± 10 és ± 20, tehát maximum 40 °C különbségig,
— a levegő áramlási sebessége kisebb volt, mint 0,1 m/s.

Az eredmények felöltözött emberekre adaptálva a következő meggondolásokkal történt.

Vegyünk figyelembe egy egységnyi bőrfelületet, amely egy, a bőrhőmérsékletnél kisebb vagy magasabb hőmérsékletű sugárzó felülettel szemben helyezkedik el. A vizsgálati eredmények azt bizonyították, hogy a bőrfelületre vonatkozó helyi diszkomforthatárt a személyek 5%-a akkor éri el, amikor az átlagos sugárzási hőmérsékletet 5 °C-kal csökkentik. A mérések azt igazolták hogy a t_{ks} 5 °C-os csökkentése a bőrhőmérséklet 1 °C-os csökkenését eredményezi. Ez kb. olyan H hőfluxusnak felel meg, amely egyenlő a bőr konvekciós (C) és sugárzásos (S) változásának összegével. A Fanger-féle egyenletből H értéke kiszámítható a következő módon:

$$\Delta H = \Delta C_0 + \Delta S_0 = 2{,}4[(32{,}6-28)^{1{,}25} - (33{,}6-28)^{1{,}25} + \\ + 3{,}4 \cdot 10^{-8}(305{,}6^4 - 296{,}0^4 - 306{,}6^4 + 301{,}0^4) = 12{,}0 \quad \mathrm{W/m^2}. \tag{6.1}$$

Amennyiben a bőrfelületet I_{cl} clo értékű ruházat takarja, akkor a ruházat külső felületi hőmérsékletének maximális csökkenése a következő módon számítható:

$$\Delta t_{cl} = -\Delta H \cdot 18 I_{cl} + \Delta t_{ks} = -1{,}9(I_{cl} - 1). \tag{6.2}$$

A ruházat felületi hőmérséklet csökkenését a t_{ks} csökkenése okozza, amelynek maximális értéke a következő összefüggésekből számítható:

$$H = \Delta C_1 + \Delta S_1, \tag{6.3}$$

ahol

$$\Delta C_1 = f_{cl} \cdot 2{,}05[(t_{cl} + \Delta t_{cl} - t_{lb})^{1{,}25} - (t_{cl} - t_{lb})^{1{,}25}], \tag{6.4}$$

illetve

$$\Delta S_1 = f_{cl} \cdot 3{,}4 \cdot 10^{-8}[(T_{cl} + \Delta t_{cl})^4 - (T_{ks} - \Delta t_{ks})^4 - T_{cl}^4 + T_{ks}^4]. \tag{6.5}$$

A Fanger-féle diagramok megfelelő értékeit figyelembe véve ($\varphi = 50\%$,. $t_{lb} = 25{,}6$ °C stb.) a ruházat felületi hőmérséklet értéke a következő módon számítható:

$$t_{cl} = t_{ks} - (H - E - L) \cdot 0{,}18 I_{cl} = 33{,}6 - 7{,}0 I_{cl}. \tag{6.6}$$

Feltételezve, hogy a levegő és környező felületek közepes sugárzási hőmérséklete egyenlő, a semleges hőmérsékletszint becsléséhez a következő összefüggés alkalmazható:

$$t_{lb} = t_{ks} = 28{,}5 - 5 I_{cl}. \tag{6.7}$$

Az előző összefüggésekből számított értékeket behelyettesítve a (6.3) egyenletbe, és bizonyos egyszerűsítéseket elvégezve, a közepes sugárzási hőmérséklet-különbségre, amely hőérzeti szempontból még megengedhető, a következő kifejezés használható:

$$\Delta t_{ks} = [5 - 2{,}4(f_{cl} - 1) + 3{,}6 I_{cl}]. \tag{6.8}$$

Az a hőmérséklet-differencia, amely a sugárzó hőforrás és a közepes sugárzási hőmérséklet között a benntartózkodó személy szempontjából megengedhető, végső soron a következő közelítő összefüggésből számítható:

$$\Delta t_S \leq [2{,}5 - 1{,}2(f_{cl} - 1) + 1{,}8 I_{cl}]/\Phi_{ES}\,, \tag{6.9}$$

ahol Φ_{ES} a besugárzási tényező a személy és a sugárzó hőforrás között, a Fanger-féle meghatározási módszer alapján.

Végső soron a szerzők kísérleteik eredményét a következő három pontban foglalták össze:

a) Az alanyok 50%-a érzékelte az aszimmetrikus sugárzást abban az esetben, ha a sugárzási hőmérséklet-különbség a két szemben lévő felület között 7,4 °C volt, függetlenül attól, hogy a fürdőruhába öltözött személyek arccal merre felé fordultak.

b) Hőérzetileg kellemes léghőmérséklet esetén a személyek 5%-a kényelmetlennek érezte a sugárzási hőmérséklet csökkenését, ha az 5 °C vagy ennél nagyobb volt, és a hideg fal a hátuk mögött helyezkedett el, ha a hideg fal velük szemben volt, úgy ez az érték 6,6 °C-ra adódott.

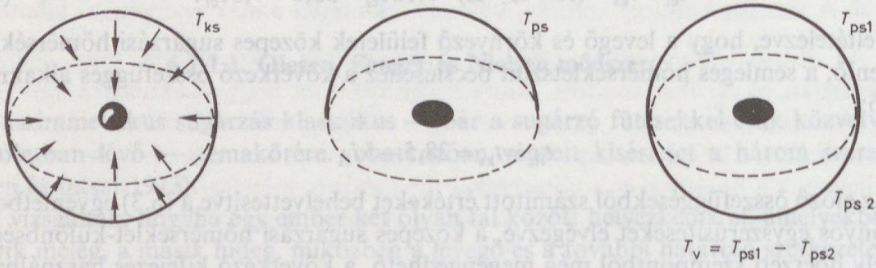
c) A megengedhető hőmérséklet-különbség meghatározására vonatkozóan — ha a személy nyugalomban ül, egy egyébként kellemes léghőmérsékletű környezetben, nyugvó levegőben — a következő összefüggés alkalmazható:

$$-2{,}4 - 1{,}8 I_{cl} \leq \Delta t_S \Phi_{ES} \leq 3{,}9 + 1{,}8 I_{cl}\,. \tag{6.10}$$

6.1.1.2. McIntyre sugárzó fűtés méretezésére vonatkozó adatai

Griffiths és McIntyre (1974) a korábbiakban 24 személyen végeztek vizsgálatokat a sugárzó mennyezetfűtések hőérzeti méretezésének megoldására, az általuk kidolgozott vektor sugárzási hőmérséklet (v. r. t.) elmélet figyelembevételével.

Elméletük szerint, ha a síkbeli sugárzási hőmérsékletet egy elméleti síkelem két ellentétes oldalán mérik, a mérési értékek közötti különbség egyben az aszimmetria mértéke az elem normálisa mentén. Felfogható ilyen alapon, hogy a két síkbeli sugárzási hőmérséklet-különbség nem más, mint a vektor sugárzási hőmérséklet (T_v, dimenziója K), amely egy vektormennyiség nagyságában és irányában, és össze-



6.1. ábra. A közepes sugárzási hőmérséklet (T_{ks}), a sík sugárzási hőmérséklet (T_{ps}) és a vektor sugárzási hőmérséklet (T_v) elvi alapjai (McIntyre 1974)

tevőit, a vektorösszeadás szabályai szerint lehet meghatározni. A v. r. t. paraméternek megfelelő matematikai mennyiség a sugárzási vektor (R, [W/m^2]), ezért

$$T_v = R/(4\sigma T_{ks}^3) \cong 0{,}17\,R. \qquad (6.11)$$

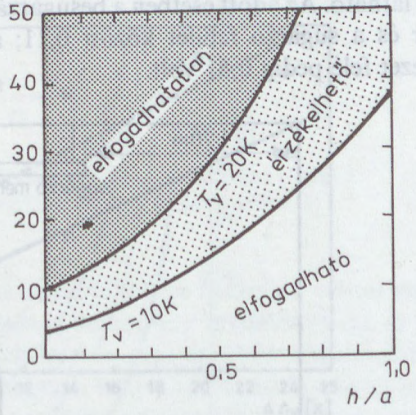
A vektor sugárzási hőmérséklet viszonya a többi hőmérséklethez jól látható a *6.1. ábrá*ból. Az ott felsorolt három hőmérséklet magyarázata a következő:

T_{ks} nem más, mint egy elméleti golyó hőmérséklete, amely a körülötte lévő gömb alakú térben a valóságnak megfelelő sugárzást állítja elő,

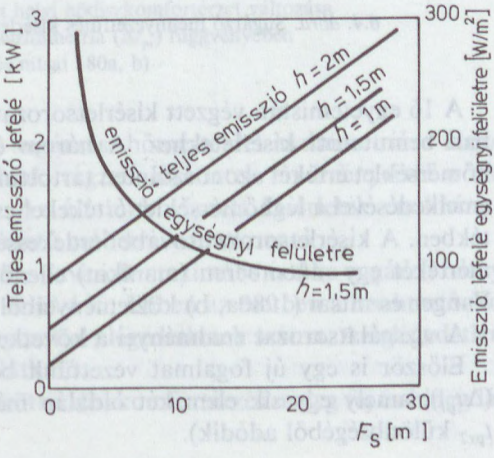
T_{ps} nem más, mint egy egységes elméleti félgömb hőmérséklete, amely az elemi sík azonos sugárzását eredményezi, mint amely a valóságos környezetben is előáll,

T_v amely egy sík elem két ellentétes oldalának hőmérséklet-különbsége a normális irányában.

Az előző, valamint McIntyre (1970, 1976) által végzett további kísérletek eredményei röviden a következőkben foglalhatók össze.



6.2. ábra. Fej felett elhelyezett sugárzó fűtőtest esetén a megengedhető, érzékelhető és meg nem engedhető hőmérsékletértékek (McIntyre 1974)

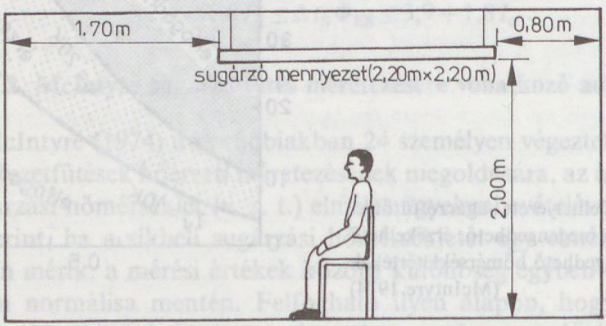


6.3. ábra. A lefelé kibocsátott sugárzó hőmennyiség a fejtől mért távolság (h) függvényében, amely 10 K megengedett vektor sugárzási hőmérsékletet eredményez a sugárzó fűtőtest középpontja alatt álló ember esetében (McIntyre 1976

A 20 K v. r. t. szint nem növelte a panaszok átlagos számát. A sugárzás ezen szintje azonban már észlelhető, és az esetleges kényelmetlen érzés miatt okként lehet figyelembe venni. Ezért a szerző azt javasolja, hogy a normál helyiség esetében a 10 K v. r. t. érték legyen a megengedett felső határ. Jól szigetelt épületek esetében e kritérium biztosítása nem ütközik nehézségekbe, viszont rossz szigetelés — tehát „hideg aszimmetrikus sugárzás" — esetében a hatást vagy fűtőtesttel, vagy a szigetelés növelésével kell ellensúlyozni. Bizonyítottnak tekinti a szerző, hogy a sugárzás iránya nagyon fontos tényező, valamint azt, hogy az emberek a hátukat érő hideg és az arcukat érő meleg sugárzást általában nehezebben viselik el. A mérési eredmények alátámasztására két ábrát mutatunk be (*6.2.* és *6.3. ábrák*).

6.1.1.3. Fanger, Bánhidi, Olesen és Langkilde új méretezési normaértékei

A szerzők által végzett laboratóriumi kísérletsorozat (Fanger és mtsai 1980a, b) — bár az aszimmetrikus sugárzásra vonatkozott —, tulajdonképpen a fej felett elhelyezett sugárzó fűtőtest esetét vizsgálta. A kísérletsorozat elvi elrendezése a *6.4. ábrán* látható. Az adott esetben a besugárzási tényező a Fanger-módszer szerint az ülő ember és a sugárzó felület között 0,11; az oldalfalak felé 0,38; a többi határoló szerkezet felé pedig 0,51 volt.



6.4. ábra. Sugárzó mennyezetfűtés kísérleti elrendezése (Fanger és mtsai 1980a, b)

A 16 egyetemistán végzett kísérletsorozat alapjaiban hasonlított a 6.1.1.1. alpontban bemutatott kísérletekhez. A három és fél órás mérési idő alatt az operatív hőmérséklet értékét azonos szinten tartottuk, tehát a sugárzó felület hőmérsékletének emelkedésével a léghőmérséklet-értékeket csökkentettük, a *6.1. táblázat* szerinti mértékben. A kísérletsorozat további érdekessége, hogy a száraz hőleadás változásának mértékét egy műemberen (manikin) ellenőriztük. A kísérlet részletes metodikája a Fanger és mtsai (1980a, b) közleményeiből követhető.

A vizsgálatsorozat eredményei a következőkben foglalhatók össze:

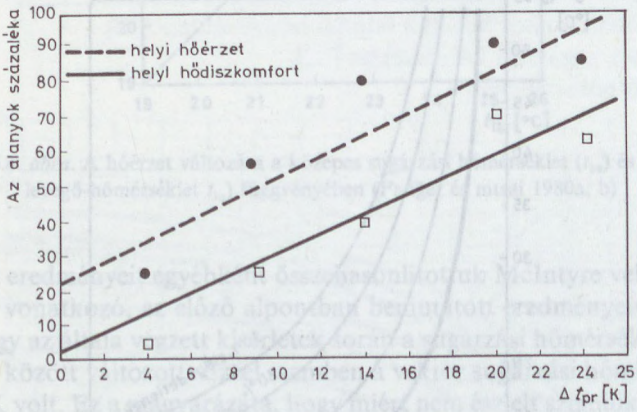
Először is egy új fogalmat vezettünk be, a sugárzási hőmérséklet-aszimmetriát (Δt_{pr}), amely egy sík elem két oldalán mérhető sík sugárzási hőmérséklet (t_{pr1} és t_{pr2} különbségéből adódik).

6.1. táblázat. A fütőfelület hőmérséklete és a levegő illetve az operatív hőmérséklettől való különbsége a kísérlet folyamán (Fanger 1980 a, b)

Idő [min]	t_s [°C]	$t_s - t_{lb}$ [°C]	$t_o - t_{lb}$ [°C]
0— 60	24,1	0	0
60— 90	34	10	0,6
90—120	43	20	1,3
120—150	52	30	2,1
150—180	63	42	3,1
180—210	69	48	3,6

Az előző fogalmat figyelembe véve a következő fontosabb megállapításokat tettük:

a) A sugárzási hőmérséklet-aszimmetria hatására a helyi hőérzet és helyi hőérzeti diszkomfortértékek az alanyok százalékos megoszlásának függvényében a *6.5. ábrán* látható.

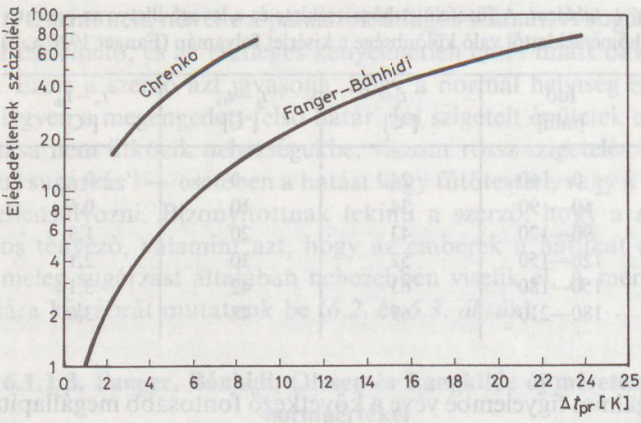


6.5. ábra. A helyi hőérzet és a helyi hődiszkomfortérzet változása a sugárzási hőmérséklet aszimmetria (Δt_{pr}) függvényében (Fanger és mtsai 180a, b)

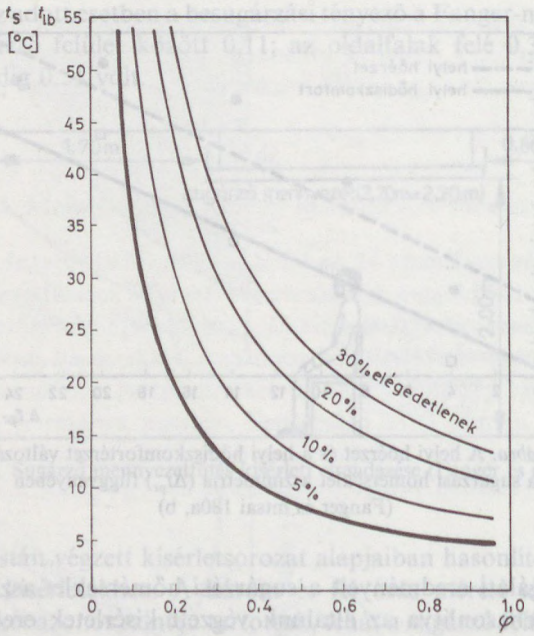
b) Chrenko vizsgálati eredményeit a sugárzási hőmérséklet-aszimmetriára átdolgozva és összehasonlítva az általunk végzett kísérletek eredményeivel a *6.6. ábrán* látható eredményt kapjuk. Az általunk végzett kísérletek eredményei nyugalomban ülő és neutrális hőérzetű emberre vonatkoznak.

c) A sugárzási hőmérséklet-aszimmetria javasolt maximális értéke sugárzó mennyezetfűtés esetén ne legyen több, mint 4 K. Ebben az esetben a benntartózkodók 5%-ánál kisebb lesz a hőkörnyezettel elégedetlenek száma. Az elégedetlenségi arány változása a *6.7. ábrán* látható.

d) Az adott kísérleti körülmények között a diszkomfortérzés meleg fej és hideg láb érzetben jelentkezett.

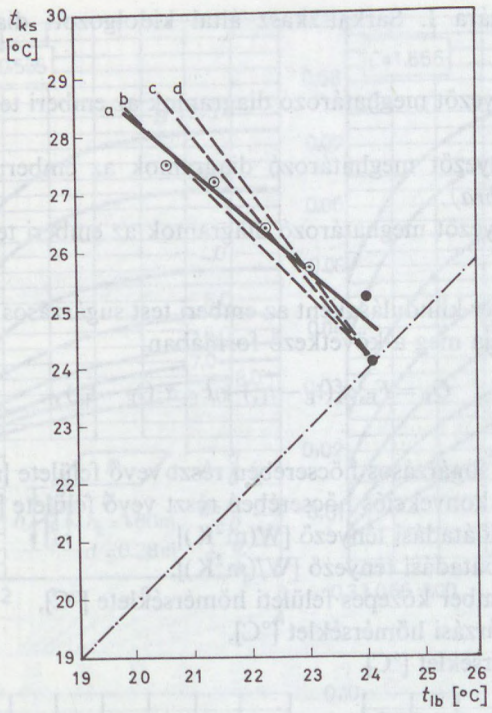


6.6. ábra. A sugárzással elégedetlenek aránya a sugárzási aszimmetria függvényében (Fanger és mtsai 1980a, b)



6.7. ábra. A megengedhető hőmérséklet-különbség a levegő és mennyzet között ($t_s - t_{lb}$) a besugárzási tényező (φ) függvényében (Fanger és mtsai 1980a, b)

e) A kísérleti eredményeket a közepes sugárzási hőmérséklet és kedvezőnek tartott léghőmérséklet szempontból feldolgozó *6.8. ábra* szerint adódó értékek jól egyeznek az ASHRAE előírásokkal és a Fanger-féle komfortegyenletből kapott értékekkel.



6.8. ábra. A hőérzet változása a közepes sugárzási hőmérséklet (t_{ks}) és a levegő-hőmérséklet t_{lb}) függvényében (Fanger és mtsai 1980a, b)

A kísérletek eredményeit egyébként összehasonlítottuk McIntyre vektor sugárzási hőmérsékletre vonatkozó, az előző alpontban bemutatott eredményeivel, és bebizonyosodott, hogy az általa végzett kísérletek során a sugárzási hőmérséklet-aszimmetria 5,1—6,9 K között változott. Ezzel szemben a vektor sugárzási hőmérséklet változása 4—11,6 K volt. Ez a magyarázata, hogy miért nem észlelt szignifikáns különbségeket a szerző a vizsgált négy esetben.

6.1.1.4. Bogoszlavszkij módszere

Az aszimmetrikus sugárzás méretezésére Bogoszlavszkij (1970) is kidolgozott módszert, amelyet röviden ismertetünk.

A közepes sugárzási hőmérséklet meghatározására a

$$t_{ks} = \sum_i \varphi_{EF_i} t_i \tag{6.12}$$

összefüggést javasolja, ahol φ_{EF_i} az ember besugárzási tényezője az i-edik felület felé, t_i a felület közepes hőmérséklete. (Az ember felületét egy felületelemnek tekintette) amely

φ_{EF_i} meghatározására I. Sarkaiszkasz által kidolgozott diagramokat használ, mégpedig

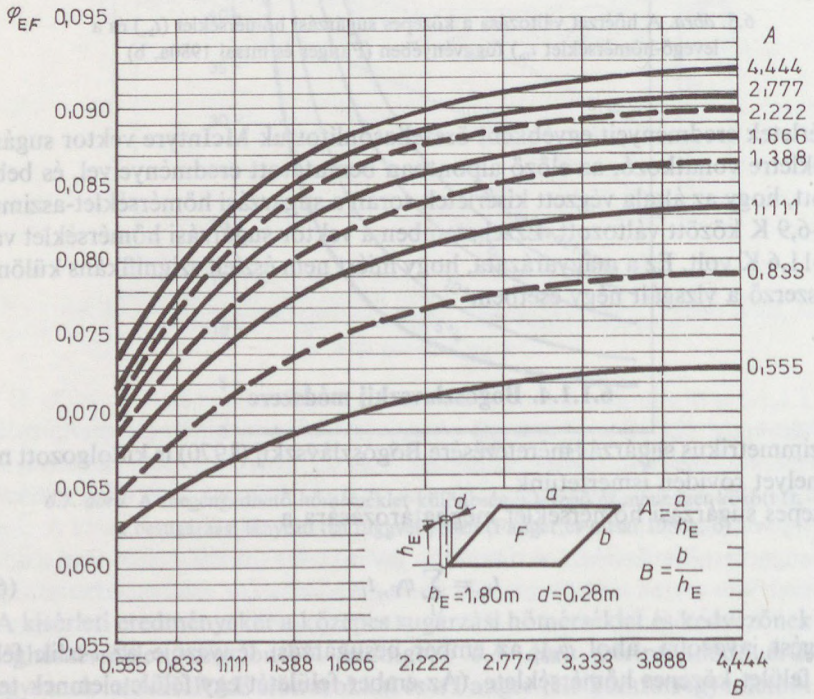
— besugárzási tényezőt meghatározó diagramok az emberi test és a padló között *(6.9. ábra)*,
— besugárzási tényezőt meghatározó diagramok az emberi test és mennyezet között *(6.10. ábra)*,
— besugárzási tényezőt meghatározó diagramok az emberi test és a falak között *(6.11. ábra)*.

A számítási módszer kiindulásaként az emberi test sugárzásos és konvektív hőcseréjének egyenletét adja meg a következő formában:

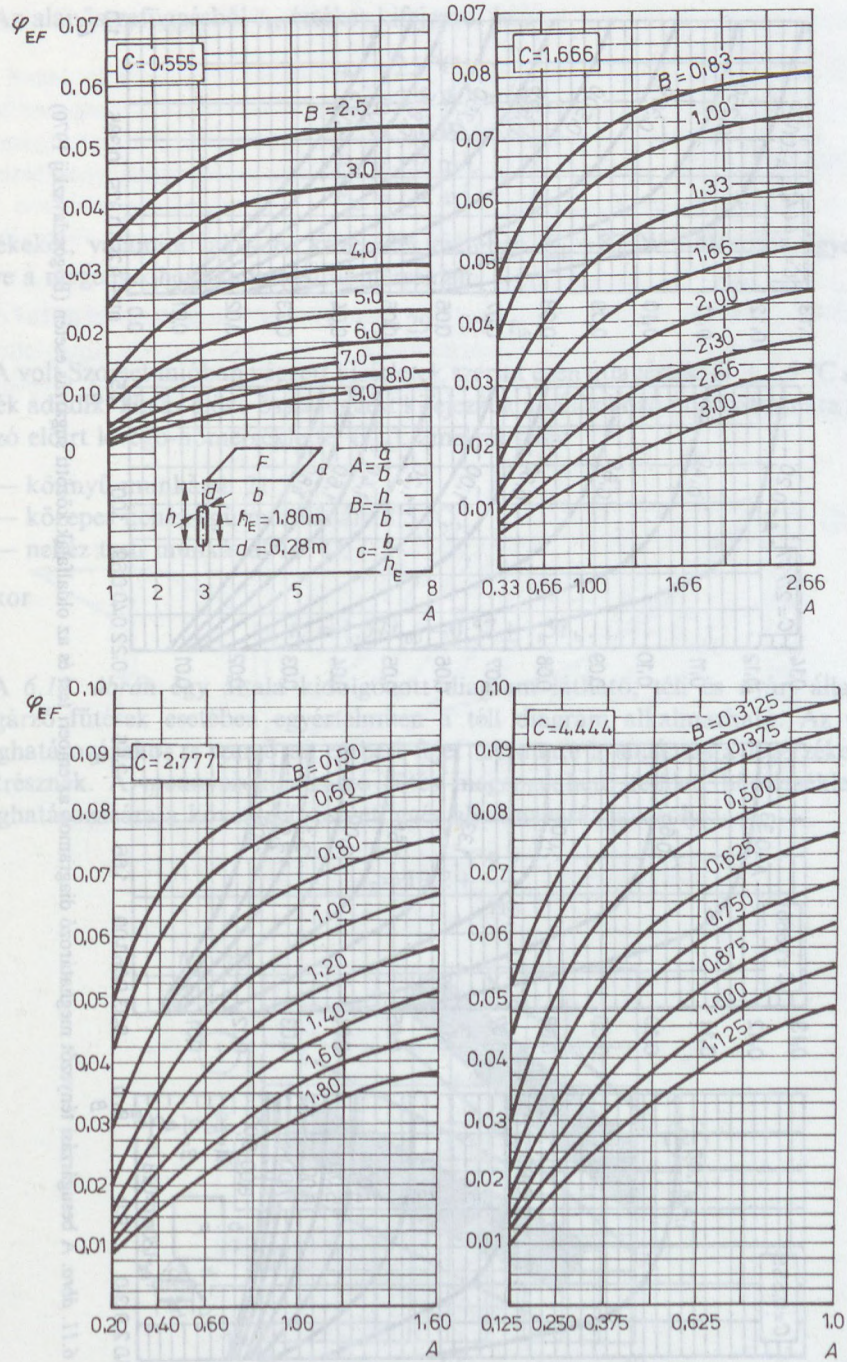
$$Q_E = F_{Es}\alpha_s(t_E - t_{ks}) + F_{Ec}\alpha_c(t_E - t_{lb}), \tag{6.13}$$

ahol

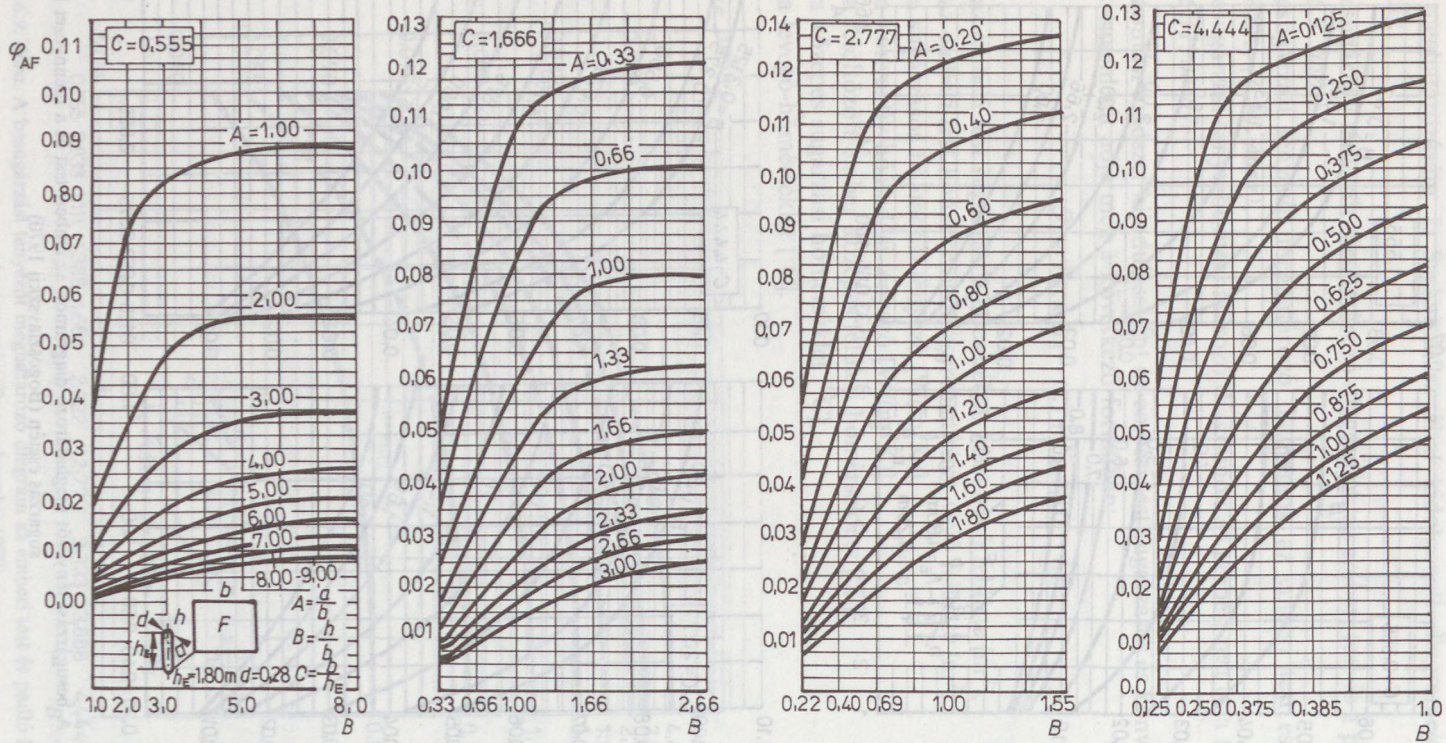
F_{Es} az emberi test sugárzásos hőcserében részt vevő felülete [m^2],
F_{Ec} az emberi test konvekciós hőcserében részt vevő felülete [m^2],
α_s a sugárzásos hőátadási tényező [$W(m^2K)$],
α_c a konvektív hőátadási tényező [$W/(m^2K)$],
t_E a felöltözött ember közepes felületi hőmérséklete [°C],
t_{ks} a közepes sugárzási hőmérséklet [°C],
t_{lb} a levegő-hőmérséklet [°C].



6.9. ábra. A besugárzási tényezőt meghatározó diagram az emberi test és padló közötti sugárzás esetén (Bogoszlavszkij 1970)



6.10. ábra. A besugárzási tényezőt meghatározó diagramok az emberi test és a mennyezet közötti sugárzás esetén (Bogoszlavszkij 1970)



6.11. ábra. A besugárzási tényezőt meghatározó diagramok az emberi test és az oldalfalak közötti sugárzás esetén (Bogoszlavszkij 1970)

Az alapösszefüggésből t_{ks} értéket kifejezve, és a

$$t_E = 25\ °C,$$
$$\alpha_c = 2{,}3\ W/(m^2K),$$
$$\alpha_s = 5{,}1\ W/(m^2K),$$
$$F_{Es} = 1{,}7\ m^2,$$
$$F_{Ec} = 1{,}9\ m^2$$

értékeket, valamint lakó- és középület esetében $Q_E = 87$ W hőleadást figyelembe véve a megengedhető sugárzási hőmérséklet:

$$t_{ks} = 29 - 0{,}57 t_{lb} \tag{6.14}$$

A volt Szovjetunióban végzett kísérletek szerint ezen átlagértéktől $\pm 1{,}5$ °C szórási érték adódik. Ha az előző összefüggést kifejezzük a különböző munkaformára vonatkozó előírt levegő-hőmérséklettel (t_{lb0}), amelyik télen

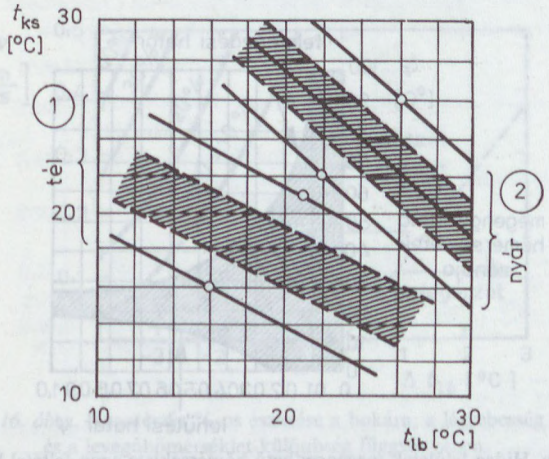
— könnyű munkánál 21 °C,
— közepes nehézségű munkánál 18,5 °C,
— nehéz testi munkánál 16 °C,

akkor

$$t_{ks} = 1{,}57 t_{lb0} - 0{,}57 \pm 1{,}5 t_{lb}\,. \tag{6.15}$$

A *6.12. ábrán* egy általa kidolgozott diagram látható, téli és nyári állapotra. Sugárzó fűtések esetében egyértelműen a téli diagram alkalmazható. Az utóbbi meghatározásakor a szerző az emberi fejet tekintette a sugárzásra legérzékenyebb testrésznek. A mennyezeti sugárzó fűtés megengedhető felületi hőmérséklete (t_S) meghatározására a következő összefüggés alkalmazását javasolja:

$$t_S = 19{,}2 + \frac{8{,}7}{\varphi_{ES}} \tag{6.16}$$



6.12. ábra. A megengedhető közepes sugárzási hőmérséklet a levegő-hőmérséklet függvényében télen és nyáron (Bogoszlavszkij 1970)

Az ember és sugárzó fűtőtest közötti besugárzási tényező (φ_{ES}) értéke jó közelítéssel meghatározható a

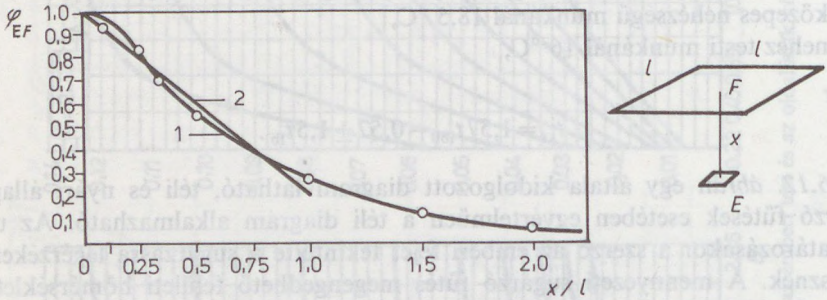
$$\varphi_{ES} = 1 - 0{,}8\frac{x}{F_S} \tag{6.17}$$

összefüggésből, ahol

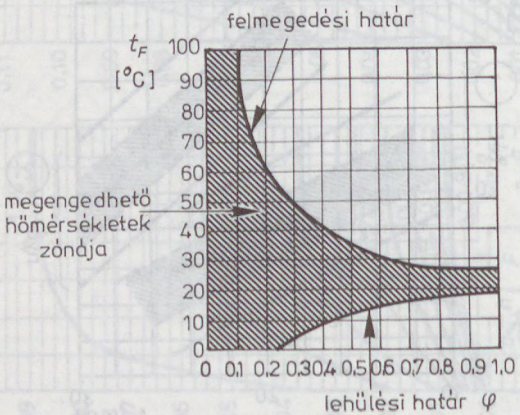
F_S a sugárzó fűtőtest felülete [m^2],
x az ember távolsága a fűtőtesttől [m].

Az elméleti és közelítő képlet egybeesését a *6.13. ábra* jól bizonyítja.

Végül megemlítjük, hogy a számításokhoz a szerző egy másik diagramot is közöl a hideg felületek megengedhető hőmérsékletére *(6.14. ábra)*, amely ama feltételt elégíti ki, hogy a hideg felületen ne legyen páralecsapódás (lásd „Sick Building" kérdéskör, 6.6. alfejezet).



6.13. ábra. Felületelem és felület közötti besugárzási tényező számítására alkalmas egyszerűsített összefüggés eredményeinek összehasonlítása a pontos értékekkel (Bogoszlavszkij 1970)



6.14. ábra. Hideg felületek megengedhető hőmérséklete azon feltétel kielégítésére, hogy azokon páralecsapódás ne jöjjön létre (Bogoszlavszkij 1970)

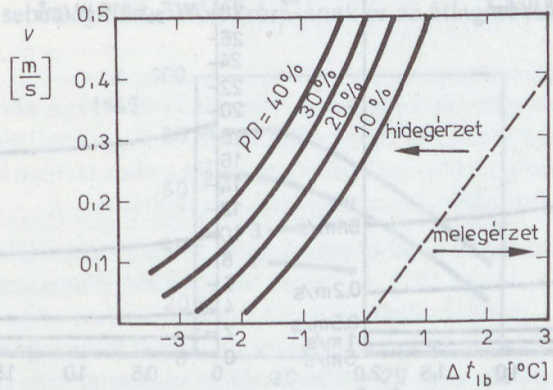
6.1.2. A huzathatás

A huzat okozta helyi diszkomfortérzés lényegesebb magyarázatot nem kíván, hiszen mindenki előtt ismert a „cúg" hatására jelentkező helyi kellemetlen hőérzet. Tervezési szinten való kiküszöbölésére már korábban is folytak erőfeszítések, amelyek eredménye néhány egyszerűsített diagram kidolgozása volt, mint amilyenekkel az 5.2.2. pontban találkoztunk.

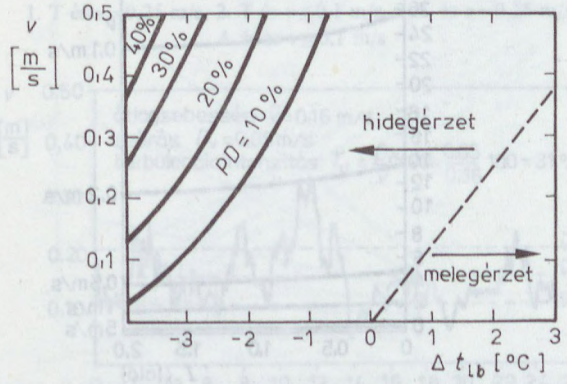
A legújabb kutatások két irányban indultak meg:

— Melyek az ember huzatra különösen érzékeny testrészei?
— Van-e különbség a huzatérzet szempontjából a légáramlás jellegét tekintve?

Az első kérdésre vonatkozóan a válasz ismert; az emberi nyak és boka a legérzékenyebb a huzathatásra. A szubjektív hőérzeti reakciók kérdésében kidolgozásra és



6.15. ábra. Huzatérzés %-os észlelése a nyakra, a légsebesség és a levegőhőmérséklet-különbség függvényében (IHVE Guide 1970)

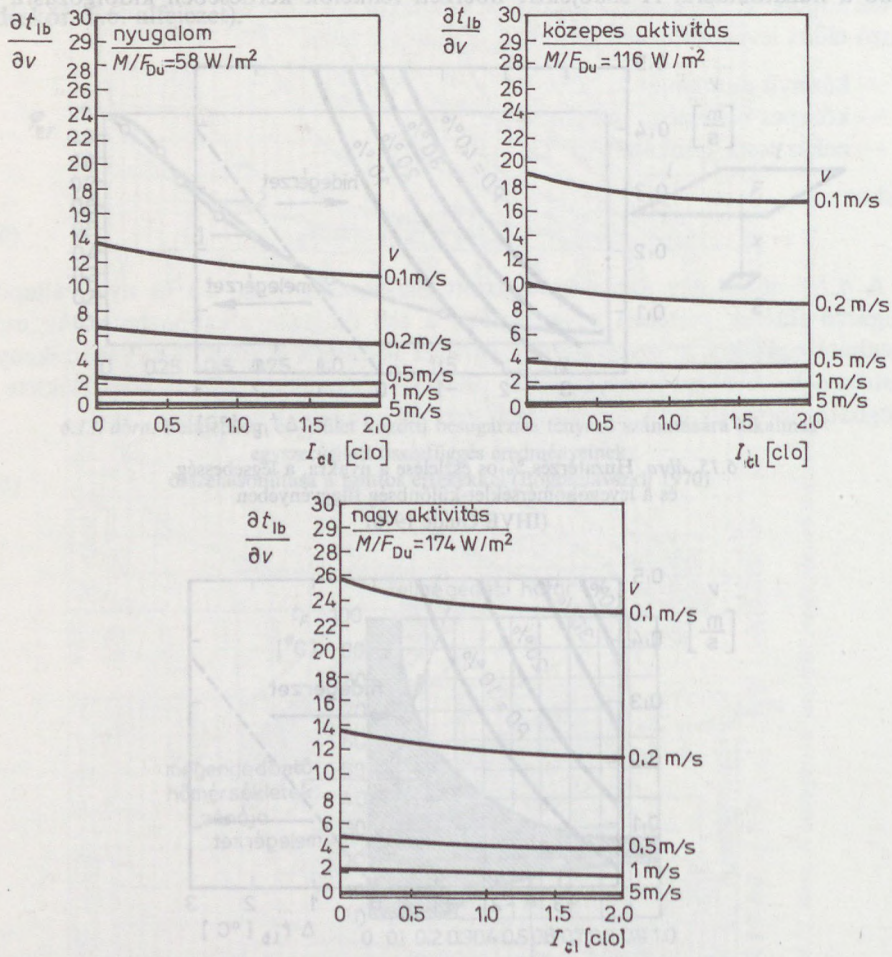


6.16. ábra. Huzatérzés %-os észlelése a bokára, a légsebesség és a levegőhőmérséklet-különbség függvényében (IHVE Guide 1970)

általánosan alkalmazásra került a *6.15.* és *6.16. ábrán* látható méretezési diagram (IHVE 1970).

A légáramlás jellegét — turbulens vagy lamináris, monoton vagy fluktuáló — tekintve ugyancsak folytak kísérletek. Ezek egy része eleve meleg környezetre vonatkozott (Azer és mtsai 1972, Dickson 1977, Geibert 1976, McIntyre 1978), mások különböző laboratóriumi és helyszíni mérések alapján igyekeztek a tervezők részére adatokat kidolgozni. Ez utóbbi eredményeket foglaljuk össze röviden.

1. Elsőként Fanger által a légsebesség hőérzeti kompenzációs értékeit feldolgozó, ún. segéddiagramját (bővebbet e témáról az 5.3.2. pontban) mutatjuk be a *6.17. ábrán* (Fanger és Christensen 1986a, b, c).

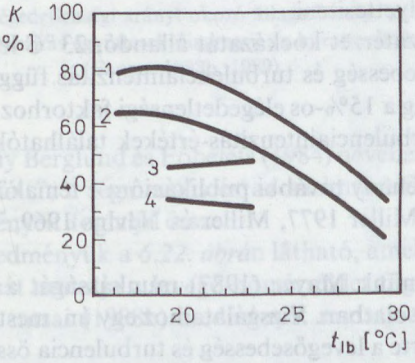


6.17. ábra. Fanger (1982) kisegítő komfortdiagramja, amely a ruha hőszigetelő képessége (I_{cl}) és a légsebesség (v) függvényében az azonos levegő- és közepes sugárzási hőmérséklet ($t_{lb}=t_{ks}$) relatív változásának hatását mutatja, különböző tevékenységi szintek esetén

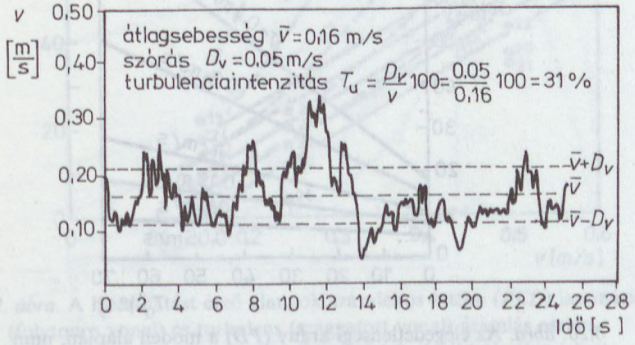
2. Másodikként a turbulens és lamináris áramlásra vonatkozóan az Építéstudományi Intézetben végzett mérések eredményeiből (Bánhidi és mtsai 1985, 1986) mutatunk be egy ábrát *(6.18. ábra)*. Ezek az értékek 0,1 és 0,25 m/s légsebességre, turbulens és lamináris áramlásokra vonatkoznak. Az ábrán a helyiség ambiens hőmérsékletének függvényében a *K*, azaz kellemetlen szavazatok százalékos aránya látható. A *K* érték magyarázata: a kísérletek során rákérdeztek a szubjektív hőérzetet zavaró, kellemetlen voltára, és *K* az ilyen szempontból adódó határérték.

3. A következővel kissé bővebben foglalkozunk, mivel a turbulens légmozgás hatására kialakuló szubjektív huzatérzés szempontjából „alappublikációnak" tekinthető és Fanger és mtsai (1988b, 1989) nevéhez fűződik.

Azt Fanger és Pedersen (1977) korábbi vizsgálatai kimutatták, hogy egy szellőztetett térben, illetve annak tartózkodási zónájában az áramlási sebesség erősen fluktuál *(6.19. ábra)*. A sebességfluktuációk szórásának és az átlagsebességnek a hányadosát



6.18. ábra. A kellemetlen (*K*) szavazatok százalékos alakulása a helyiség-hőmérséklet (t_{lb}) függvényében különböző légsebességeknél (v) lamináris (L) turbulens (T) áramlás mellett (Bánhidi 1986)
1. T és $v = 0{,}25$ m/s, 2. T és $v \leq 0{,}1$ m/s, 3. L és $v = 0{,}25$ m/s, 4. L és $v \leq 0{,}1$ m/s



6.19. ábra. Szellőztetett helyiség tartózkodási zónájában mért áramlásisebesség-fluktuációk. A turbulenciaintenzitás (T_u) a fluktuációk szórásának (D_v) és az átlagsebességnek ($\bar{v}$) a hányadosa (Fanger 1977)

turbulenciaintenzitásnak nevezik. Az e kérdés tisztázására végzett kísérletsorozatukból három lényeges adatot mutatunk be:

a) A huzatot várhatóan érzékelők százalékos arányának (PD) meghatározására dolgozták ki a következő összefüggést:

$$PD = (34 - t_{lb})(\bar{v} - 0{,}05)^{0{,}62}(0{,}37\bar{v}T_u + 3{,}14), \qquad (6.18)$$

ahol

t_{lb} a levegőhőmérséklet [°C],
$\bar{v}$ az átlagos légsebesség [m/s],
T_u a turbulenciaintenzitás [%],

Az összefüggés alkalmazásával kapcsolatban meg kell jegyezni, hogy az

— nyugalomban lévő emberre vonatkozik,
— ha $\bar{v} < 0{,}05$ m/s, akkor $\bar{v} = 0{,}05$ m/s értéket,
— ha pedig $PD > 100\%$, akkor $PD = 100\%$

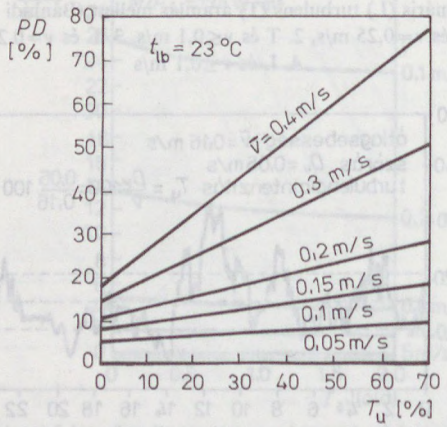
értékkel kell behelyettesíteni.

b) A *6.20. ábra* a huzatérzet kockázatát állandó, 23 °C levegő-hőmérséklet esetén mutatja be, a légsebesség és turbulenciaintenzitás függvényében.

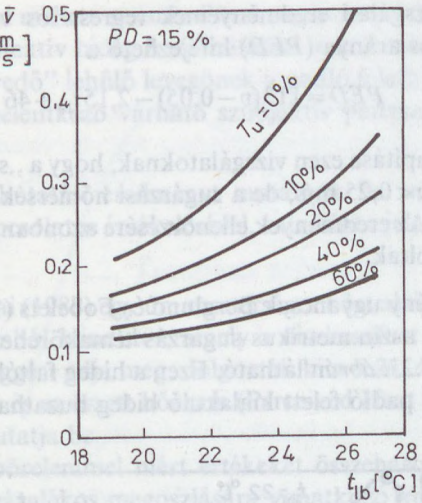
c) A *6.21. ábrán* pedig a 15%-os elégedetlenségi faktorhoz tartozó léghőmérséklet-, átlagsebesség-, turbulenciaintenzitás-értékek találhatók.

Felhívjuk a figyelmet néhány további publikációra e témakörben (Hanzawa és mtsai 1987, Menyhárt 1975, Miller 1977, Miller és Nevins 1969, Thorshauge 1982).

4. Itt kell megemlítenünk Mayer (1987) munkásságát a huzat fizikai hatásának vizsgálatával kapcsolatban. Vizsgálataihoz egy ún. mesterséges fűtött fejet alakított ki, és ezzel mérte a levegősebesség és turbulencia összefüggését a fej hőleadásával. Eredményeit helyszíni vizsgálatokkal ellenőrizte, illetve igazolta.



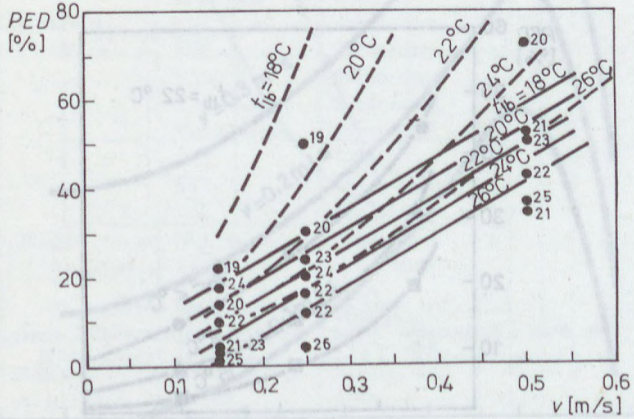
6.20. ábra. Az elégedetlenségi arány (PD) a modell alapján, mint a turbulenciaintenzitás (T_u) és az átlagos légsebesség ($\bar{v}$) függvénye. A diagram 23 °C léghőmérsékletre vonatkozik (Fanger 1988a, c)



6.21. ábra. 15%-os elégedetlenségi arányt okozó átlagsebesség, levegő-hőmérséklet és turbulenciaintenzitás együttesek diagramja, a huzatmodellel számítva (Fanger 1988b, 1989)

5. A következő eredmény Berglund és Fobelets (1984) nevéhez fűződik, és tulajdonképpen egy „kombinált", a légmozgás és az aszimmetrikus sugárzás együttes vizsgálatának eredményeit foglalja össze.

Említésre méltó eredményük a *6.22. ábrán* látható, amely a huzatot érzékelők százalékos megoszlását mutatja a levegő-hőmérséklet függvényében. A szaggatott vonal Fanger és mtsai (1988b) eredményét mutatja be, míg a folyamatos



6.22. ábra. A huzathatást érző alanyok százalékos értéke (*PED*) lamináris (folytonos vonal) és turbulens (szaggatott vonal) áramlás esetén. Minden pont 50 esetre vonatkozó levegő-hőmérsékletértéket jelent (Berglund és Fobelets 1984)

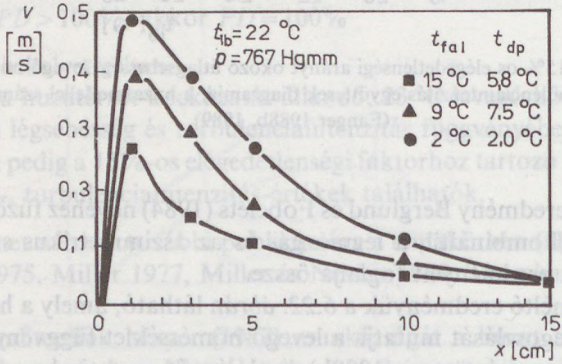
vonal a szerzők vizsgálati eredményeinek regressziós vonala, ahol a huzatot érzékelők százalékos aránya (*PED*) kifejezhető a

$$PED = 113(v - 0{,}05) - 2{,}15 t_{lb} + 46 \qquad (6.19)$$

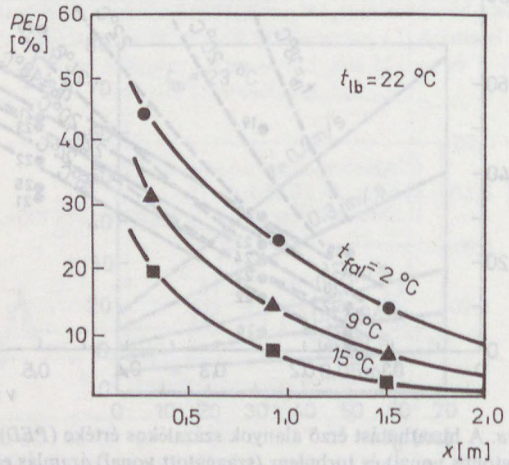
összefüggésből.

Általános megállapítása ezen vizsgálatoknak, hogy a „semleges" (azaz neutrális) hőérzet határa $v < 0{,}25$ m/s, de a sugárzási hőmérséklet-aszimmetria kisebb legyen, mint 10 °C. Az eredmények ellenőrzésére azonban a szerzők még további vizsgálatokat javasoltak.

6. A következő eredmény ugyancsak Berglund és Fobelets (1984) nevéhez fűződik, bár ez is egyben az aszimmetrikus sugárzás témaköréhez is tartozik. Az eredmény összegzése a *6.23. ábrán* látható. Ezen a hideg faltól mért távolság függvényében, 30 cm-rel a padló felett kialakuló hideg huzathatást mutatják be.



6.23. ábra. A padló melletti huzat sebességprofilja a hideg faltól mért távolság (x) függvényében, 30 cm-re a padló felett (Berglund és Fobalets 1984b)



6.24. ábra. A hideg fal mellett a padlónál lévő, a huzatot érzékelők várható százalékos aránya (*PED*) a faltól mért távolság (x) függvényében (Berglund és Fobelets 1984b)

Tehát a hideg fal mellett az emberi test sugárzásos hőleadásának megnövekedése mellett egy effektív hideg huzathatással is kell számolnunk, amely a hideg fal mellett „lesüllyedő" lehűlő levegőnek a padló feletti áramlásából keletkezik. Az ezen hatásra jelentkező várható szubjektív panaszok száma a *6.24. ábrán* látható.

7. Végül két olyan kutatási eredményt mutatunk be, amelyek a huzathatással, annak a bőrrel kapcsolatos érzékelésével, valamint a jelenség mérhetőségével van összefüggésben.

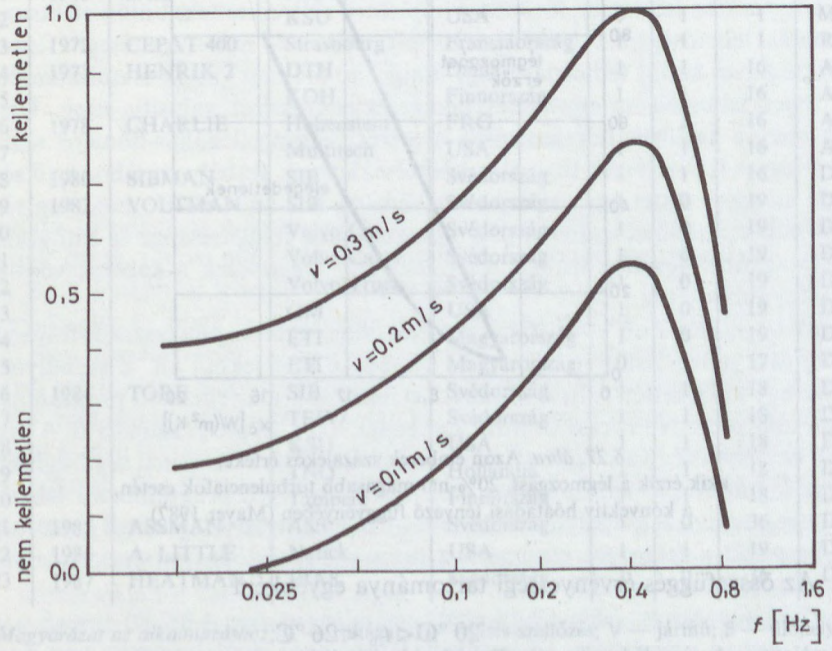
a) Madsen és mtsai (1988) egy ún. mesterséges bőrt alakítottak ki. A *6.25. ábrán* látható diagramból kiindulva, amely a diszkomfort mértéke és a frekvencia közötti összefüggést adja meg, dolgozták ki a *6.26. ábrán* látható diagramot. Ez a frekvencia és az érzett hőáram (Perceived Heat Flux, azaz PHF) közötti kapcsolatot mutatja be.

Ezt az ún. bőrelemmel mért értékeket összehasonlították az új, huzatra érzékenyebb százalékos megoszlására vonatkozó korábbi összefüggés (Fanger és Christensen 1986a, Fanger és mtsai 1989) értékeivel:

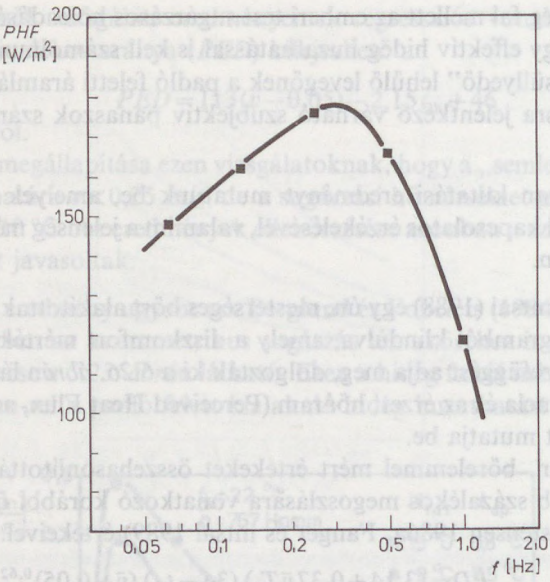
$$PD = (3{,}14 + 0{,}37\bar{v}T_u)(34 - t_{lb})(\bar{v} - 0{,}05)^{0{,}62}, \qquad (6.20)$$

ahol

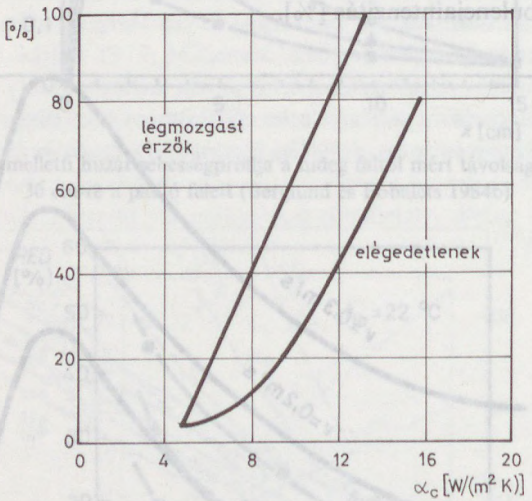
$\bar{v}$ az átlagos légsebesség [m/s],
T_u a turbulenciaintenzitás [%].



6.25. ábra. A mesterséges bőrön mért frekvencia és diszkomfort összefüggése különböző átlagos légsebesség esetén (Madsen és mtsai 1990)



6.26. ábra. A mesterséges bőrön mért frekvencia és az érzékelhető hőáram (*PHF*) összefüggése (Madsen és mtsai 1990)



6.27. ábra. Azon emberek százalékos értéke, akik érzik a légmozgást, 20%-nál magasabb turbulenciafok esetén, a konvektív hőátadási tényező függvényében (Mayer 1987)

Az összefüggés érvényességi tartománya egyébként

$$20\ °C < t_{lb} < 26\ °C,$$
$$0{,}05\ m/s < v < 0{,}4\ m/s,$$
$$0\% < T_u < 70\%.$$

Az összefüggés és az új műszerrel mért értékek között a szerző igen jó egyezést kapott, melynek részletei a hivatkozott publikációkban olvashatók.

b) Mayer (1987) ugyancsak egy érzékelőműszert dolgozott ki, amellyel mérte a konvektív hőátadási tényezőt a bőr felszínén, és ezt összefüggésbe hozta korábbi, emberekkel mért szubjektív hőérzeti értékekkel, és így kapta a *6.27. ábrán* látható diagramot.

6.2. Termikus műemberek

A belső téri mikroklíma-kutatások egyik korszerű és fontos mérőeszköze napjainkban az ún. termikus műember. Felhasználása széles körű, hiszen nemcsak az épületeken belüli mikroklíma, hanem pl. egyéb zárt terek, mint járművek belső tereinek, valamint a ruházat, illetve egyes ruházati elemek, pl. hálózsákok minősítésére, illetve műszaki fejlesztésével kapcsolatos kutatásokra, vizsgálatokra használják. Elterjedésére vonatkozóan bemutatjuk Wyon (1988) által összeállított táblázatot *(6.2. táblázat)*.

6.2. táblázat. Működő manikinek 1988-ben (Wyon 1988)

Sorszám	Dátum	Neve	Alkalmazási helye	Ország	Ülő	Álló	Testszekciók száma	Szabályozás	Alkalmazás
1	1945	SAM	Natick	USA	0	1	1	M	C
2			KSU	USA	0	1	1	M	C
3	1972	CEPAT 400	Strasbourg	Franciaország	1	1	1	R	C
4	1973	HENRIK 2	DTH	Dánia	1	1	16	A	C, H
5			KOH	Finnország	1	1	16	A	C
6	1978	CHARLIE	Hohenstein	FRG	1	1	16	A	C
7			Multitech	USA	1	1	16	A	C
8	1980	SIBMAN	SIB	Svédország	1	1	16	D	H, C
9	1982	VOLTMAN	SIB	Svédország	1	0	19	D	H, S
10			Volvo Car	Svédország	1	0	19	D	V
11			Volvo Car	Svédország	1	0	19	D	V
12			Volvo Truck	Svédország	1	0	19	D	V
13			GM	USA	1	0	19	D	V
14			ÉTI	Magyarország	1	0	19	D	H, S
15			ÉTI	Magyarország	0	1	17	D	C, H
16	1984	TORE	SIB	Svédország	1	1	18	D	C, H
17			TEFO	Svédország	1	1	18	D	C
18			KSU	USA	1	1	18	D	C, H
19			TNO	Hollandia	1	1	18	D	C
20			Tampere	Finnország	1	1	18	D	C
21	1985	ASSMAN	ASS	Svédország	1	0	36	D	C, H
22	1986	A. LITTLE	Natick	USA	1	1	19	D	C
23	1987	HEATMAN	VIAK	Svédország	1	0	36	D	H

Magyarázat az alkalmazáshoz: C — ruházat; H — fűtés-szellőzés; V — jármű; S — ülőhely; Control: szabályozás; M = kézi; R = On-off szabályozás; A — analóg; D — digitális számítógép

Mivel alkalmazása az épületeken belüli mikroklíma-kutatásokban is nagyon hasznos, hiszen, mint látni fogjuk, az előző alfejezetben ismertetett és elemzett diszkomforttényezők meghatározására kiválóan alkalmas, sőt egyedüli pontos műszer, így részletesebb megismerése e szakkönyv olvasótáborának ugyancsak szükséges.

A bemutatásra egy ún. SIBMAN típusú, második generációs, svéd gyártmányú műembert választottunk (lásd 6.2. táblázat 14, illetve 15. sorszám), amely egy korszerű megoldást jelent, és széles körben alkalmazzák Skandináviában, illetve egy példány Magyarországon az ÉTI Laboratóriumában is „dolgozik" (Bánhidi 1985, 1987, Bánhidi és mtsai 1986, 1988).

6.2.1. Az ÉTI termikus műembere

Az ÉTI termikus műembere, az ún. ÉTI-MAN, tulajdonképpen egy nagy bonyolultságú mérőrendszer, amely a termikus mérőtestből, a két processzoros vezérlő- és mérésadat-gyűjtőből és az adatfeldolgozást, valamint megjelenítést végző számítógépből épül fel (Bánhidi 1988).

A mérőtestet egy átlagos felnőtt ember testméreteivel egyező műanyag bábuból alakították ki. A bábu dán gyártmányú, üvegszál erősítésű, poliészter héjszerkezet. A test üregeibe szerelték a mechanikai tartást végző elemeket, valamint az egyes testrészekhez futó szalagkábelek rejtett vezetéséhez szükséges csöveket. Hűtőtechnikai és mechanikai megfontolásokból az összes testüreget poliuretán habbal töltötték fel. A test felszínét 18 részre osztották ülő esetben és 16 részre állónál *(6.3. táblázat)*.

Minden egyes rész felületébe fűtőhuzal-hálózatot süllyesztettek, külön elektromos csatlakoztatási lehetőséggel. Az elektromos szigetelést adó műanyag rétegre fémszórási technológiával került felhordásra egy átlagosan 0,4 mm vastag alumíniumréteg, amely a teljes felületen az egyenletes hőmérséklet-eloszlást valósítja meg. Újabb műanyag rétegre kerültek felragasztásra a mérést végző ellenállás-hőmérő szálak, amelyek az egyes felületrészek független hőmérsékletének szabályozásához szükségesek. Végül az egész testet egy esztétikai és védelmi feladatot ellátó műanyag réteg borítja. Minden önállóan szabályozott hőmérsékletű felületrészhez a fűtőáramot egy-egy szalagkábel vezeti a szabályozó egységből. Ugyanezek a kábelek végzik a mérőjelek továbbítását is.

A szabályozó egység 2 db Tour Anderson gyártmányú mikroprocesszoros folyamatirányítóból és a működésükhöz szükséges kiegészítő panelekből áll. E szabályozók mindegyike egy kifejezetten folyamatirányítási feladatokra kifejlesztett programnyelven (az ún. Interpretetiv Process Control Language = IPCL) programozható. A programozásra két lehetőség van: egy kézi módszer, az ún. Hand-Terminal segítségével és egy felügyelő számítógéppel, ha annak megvannak az ilyen programozást lehetővé tevő saját programjai. E szabályozóknak tehát van egy olyan adatátviteli csatornája, amelyen keresztül a felügyelő rendszerhez tudnak kapcsolódni programozás vagy mérési adatszolgáltatás céljából.

Az adatfeldolgozást és felügyeletet ellátó számítógép egy ABC-80 típusú, svéd gyártmányú asztali számítógép teljes kiépítésében, azaz csatlakoztatva van hozzá adatmagnó, kételemes mágneses adatrögzítő (floppy disc), 80 karakteres mátrix-

6.3. táblázat. A műember testrészfelületeinek arányai (Bánhidi 1988b)

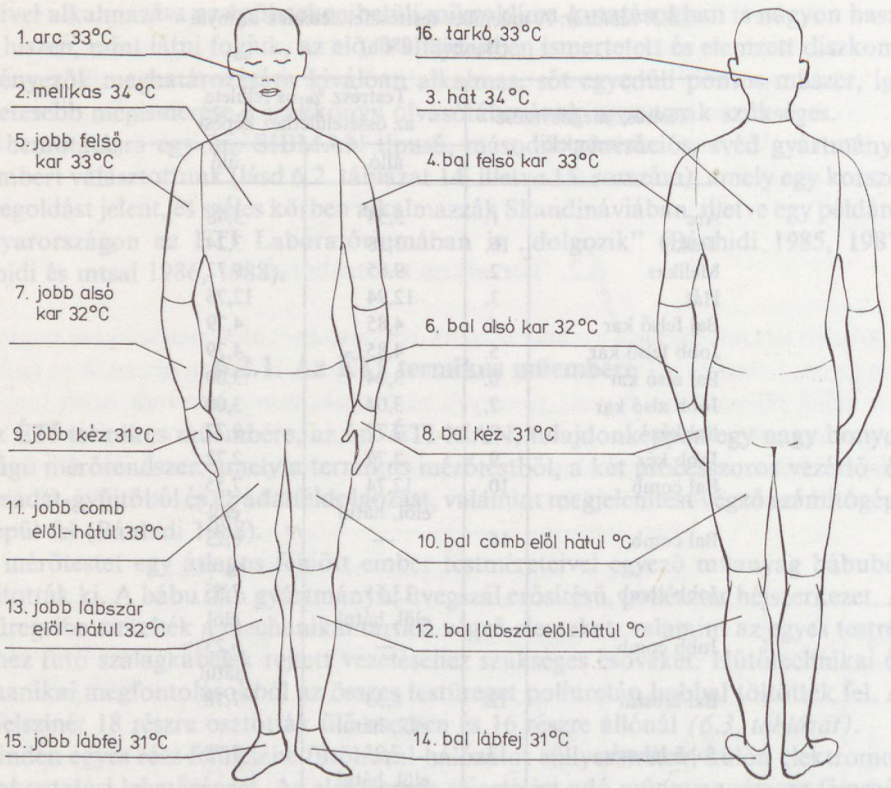
Testrész megnevezése és számjele		Testrész %-os felülete az összfelülethez képest	
		álló	ülő
Arc	1.	3,54	3,48
Tarkó	16.	3,28	3,24
Mellkas	2.	9,85	9,72
Hát	3.	12,94	12,76
Bal felső kar	4.	4,85	4,79
Jobb felső kar	5.	4,85	4,79
Bal alsó kar	6.	3,04	3,00
Jobb alsó kar	7.	3,04	3,00
Bal kéz	8.	2,77	2,72
Jobb kéz	9.	2,77	2,72
Bal comb	10.	12,74 elöl, hátul	7,55 elöl
Bal comb	16.	—	6,23 hátul
Jobb comb		13,51 elöl, hátul	7,55 elöl
Jobb comb		—	6,23 hátul
Bal lábszár	12.	8,53 elöl, hátul	7,78
Jobb lábszár	13.	7,93 elöl, hátul	7,78
Bal lábfej	14.	3,28	3,33
Jobb lábfej	15.	3,08	3,33
Összes testfelület:		100,00%	100,00%

nyomtató (printer) és rajzgép (plotter). E rendszereket az ÉTI Laboratóriumban építették össze, illetve állították üzembe svéd szakértői segítséggel (D. Wyon, C. Tennstedt). Felépítése lehetővé teszi más helyszíneken való működtetését is.

A mérés elve az, hogy az előírt felületi hőmérsékletre fűtött testrésznek (lásd a *6.28. ábrát*) ezen hőmérsékleten tartásához szükséges elektromos energiát, illetve hőmennyiséget mérik, igen nagy pontossággal. Az adatrögzítés módja pedig a következő:

A *6.4. táblázat* mutatja a mérés során kapható eredményeket. Megjegyezzük, hogy az angol nyelvű feliratozást a nemzetközi gyakorlat, valamint a számítógép betűkészlete indokolja. Itt célszerű néhány mondatban kitérni a táblázatok értelmezésére:

— A Part nevű oszlop a műember egyes testszekcióinak neveit tartalmazza.
— A DT nevű oszlop az egyes testszekciók átlagos hőmérsékletének a megkívánt hőmérséklettől való eltérését adja.
— A W/m^2 nevű oszlopban a testszekciók fajlagos hőleadásai vannak.
— A Stab és DW oszlopok a mérés lebonyolításához célszerű segédinformációkat jeleníti meg.



6.28. ábra. A műember testrészeinek jele, megnevezése, hőmérséklete (Bánhidi 1985, 1987, Bánhidi és mtsai 1986, 1988)

— A clo nevű oszlop az egyes testszekciók és a környező levegő közötti termikus ellenállás értékeinek a ruházati minősítéseknél használatos „clo" számítási módszerrel meghatározott számaiból áll. Fontos megemlíteni, hogy a meztelen test körül kialakuló határrétegnek van termikus ellenállása, amely természetesen nullától eltérő értékeket ad ebben az oszlopban, s amelyet figyelembe kell venni a ruházat clo értékeinek meghatározásánál.
— Az EHT oszlopban az egyes testszekciók által éppen érzékelt környezeti hőmérsékletek (a környezetbe beleértve a ruházatot és a hajat is) találhatók.
— A Tot nevű sorban az egyes oszlopok adatainak az egész testre számított, felülettel súlyozott átlagai vannak.
— A Date, Time a mérés időpontja, a File az adattömb sorszáma, az Smpl a táblázat adattömbbeli sorszáma, a Standing a testtartás.
— A Room T a szoba léghőmérséklete.
— A Va a levegő sebessége, az R. H. a levegő páratartalma, a Tp a falak hőmérséklete.

6.4. táblázat. A műemberes mérés számítógépes eredményei (Bánhidi 1988b)

Part	D T	W/m²	Stab	D W	Clo	EHT
Face	,05	86,8		34	,69	23,5
Chest	,06	37,0		−16	1,81	28,9
Back	,05	43,0		−15	1,55	28,7
LU Arm	,04	56,1		9	1,07	25,7
RU Arm	,05	48,7		3	1,24	26,4
RL Arm	,04	45,6		9	1,18	25,7
L Hand	,06	63,8		33	,74	23,1
R Hand	,06	52,9		22	,90	24,5
LF Thi	,04	38,8		−7	1,55	27,7
RF Thi	,06	41,3		−10	1,46	28,0
LL Leg	,05	46,0			1,17	26,7
RL Leg	,05	51,2		2	1,05	26,5
L Foot	,04	41,1		8	1,15	25,9
R Foot	,03	39,4	—	7	1,20	26,1
LB Thi	,08	20,3	—	−38	2,97	30,8
RB Thi	,07	17,6	—	−34	3,44	30,7
Scalp	,12	35,4	—	−18	1,72	28,7
Tot	32,8	43,0			1,37	27,4

File: 3 1/2 m: 50

Time: 12 : 7 Sitting Room T: 23,7

6.2.2. A második generációs műember használhatóságának elvi és fizikai korlátai

Az eddigi leírásokból egyöntetűen megállapítható, hogy a második generációs termikus műember az emberi test sugárzásos és konvekciós, tehát száraz hőleadásának nagy pontosságú mérésére alkalmas.

Az emberi test teljes hőcserefolyamatának komplex értékeléséhez azonban két további tényező ismerete szükséges:

— az evaporatív, tehát párolgásos és izzadásos hőleadásnak, valamint
— az emberi test sugárzásos és konvekciós hőnyereségének

nagysága az egyes testrészek megoszlásának függvényében.

Az evaporatív hőleadás testrészek szerinti megoszlásának tulajdonképpen a normál műszaki gyakorlatban nincs döntő szerepe, nagyon fontos viszont a mennyiségi adatok ismerete. Köztudott, hogy az evaporatív hőleadás két részből áll:

— a perspiráció inszenzibilisből, azaz az emberi test környezeti hőmérséklettől nagyjából független párolgásos hőleadásából, és
— az izzadásos hőleadásból, amely általában 28—29 °C környezeti hőmérséklet esetén indul meg, és 34 °C felett ez a szervezet egyetlen hőleadási lehetősége.

A jelenlegi második generációs műember alkalmazásának a 28—29 °C környezeti hőmérséklet eleve egy alkalmazási határértéke. Ennél alacsonyabb hőmérséklet esetén viszont a párolgásos hőleadást különböző irodalmi adatokból határozzák meg, és mint additív tényezőt adják hozzá a műemberrel mért száraz hőleadás összegéhez. Tehát a testrészenkénti párolgásos hőleadást külön-külön nem határozzák meg, illetve nem tudják meghatározni még ezen a szinten sem. Mindezek egyfelől az alkalmazásnak bizonyos elvi és fizikai korlátokat szabnak.

A másik probléma a második generációs műember felépítéséből adódik. Mint az az eddigiekből látható, csak a hőleadás mértéke regisztrálható, a hőnyereségé nem. Az egyes testrészek tehát csak addig üzemelnek, amíg a hőleadás értéke nullává nem válik. Arra tehát alkalmas ez a műembertípus, hogy meghatározzuk adott esetben azt a határértéket, ahol megszűnik az egyes testrészek száraz hőleadása. Arra viszont nem alkalmas, hogy a hőnyereség mértékét regisztrálja.

Ez tehát egy másik jellegű korlátja a második generációs termikus műemberek alkalmazásának.

Tovább bonyolítja a helyzetet, hogy az adott konstrukció esetében van egy ún. átmeneti zóna, ahol a probléma kettős, és ez a 28—29 °C-tól az adott testrész felületi hőmérséklet határáig terjedő környezeti hőmérsékleti zóna. Egyrészt ugyanis a testfelület 28—29 °C feletti hőmérséklete esetén meg kellene, hogy jelenjen az arányos izzadásos hőleadás is. Másrészt a testfelületi hőmérsékletek eltérőek, és így pl. a láb 31 °C körül száraz úton már nem tud leadni hőt, de ugyanakkor a csak izzadás hőleadás lehetősége a fiziológusok szerint 34 °C felett valósul meg. Tehát van egy 28 °C-tól az egyes testrészek határhőmérséklet értékéig tartó bizonytalan zóna. Erre vonatkozóan már voltak ellenőrzési próbálkozások mérésekkel (Bánhidi és mtsai 1988), de az eredmények még további pontosításra szorulnak.

Összegezve megállapítható, hogy a második generációs műember csak az ún. komfortviszonyok meghatározására, ellenőrzésére alkalmas, amelyet felülről 24—26 °C környezeti hőmérséklet értékkel határolhatunk be, „alsó" gyakorlati határértéke viszont nincs.

6.2.3. A termikus műember alkalmazásának szerepe és mértéke az emberi tartózkodásra szánt terek méretezésében

Az emberi test hőcseréjének 1 : 1 léptékű modellezése elsősorban azért került egyre inkább előtérbe, mert az emberi test egyes felületrészei pontos hőleadási viszonyainak megállapítása alapvetően fontos néhány szakterületen:

— a járműiparban,
— a ruházati iparban és
— az építőiparban.

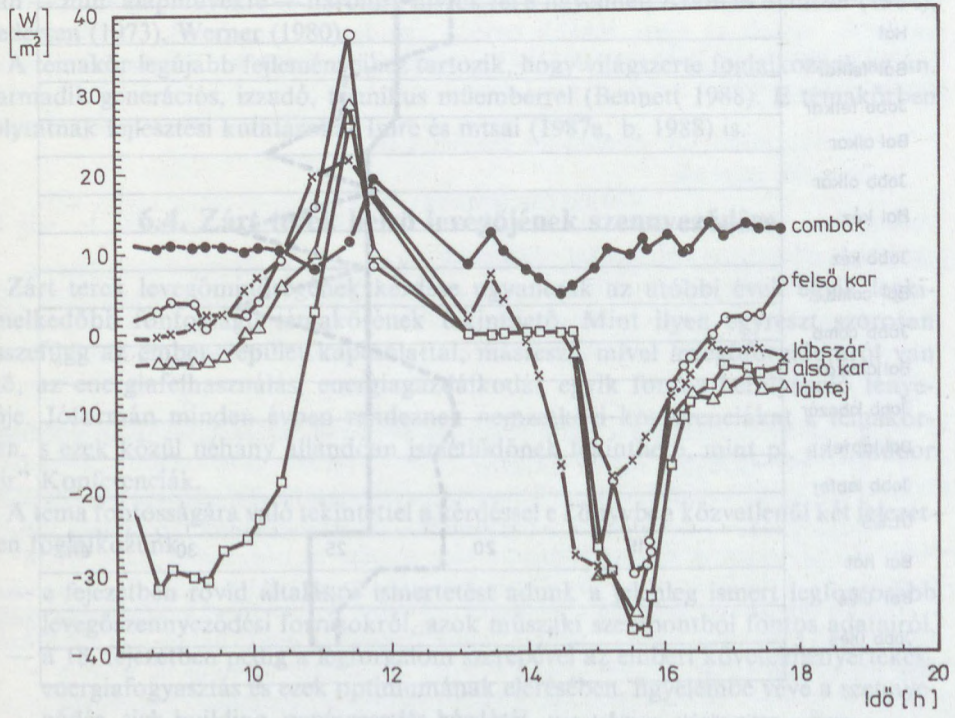
Az elsővel itt részletesen nem kívánunk foglalkozni, a második alkalmazási terület viszont zárt terek méretezése szempontjából építőipari vonatkozásban is érdekes. Mint ismert, a korszerű, zárt terekre vonatkozó, 6 paraméteres méretezési módszerek

— például ASHRAE (1981), ISO (1984) — egyik paramétere a ruházat hőszigetelő képessége.

A ruházati iparban elsősorban az a tény indokolja a termikus műemberek egyre szélesebb körű alkalmazását, hogy a hagyományos módszerekkel a ruházat szigetelőképessége csak nagyon pontatlanul határozható meg. Az egyes textilanyagok hővezetési tényezőjének külön-külön ismeretéből egy többrétegű ruházat pontos hőátbocsátási tényezője, a maga térben és méretben eltérő légrétegeivel együtt, nem határozható meg, még stacioner állapotú — tehát mozdulatlan — emberi testre sem, nemhogy egy mozgó, tevékenykedő emberre. A pontos adatok ismerete nemcsak hőkomfort szempontjából, hanem egyes munkavégzések esetében a munkavédelmi ruházat hővédelmi paramétereinek ismerete miatt is fontos.

Zárt terek méretezésekor — tehát építőipari vonatkozásban — a műemberes mérések előtérbe kerülését három tényező indokolja:

1. Egy adott zárt térben a legkedvezőbb vagy legkedvezőtlenebb helyzet, megoldás kiválasztása sokkal egyszerűbb egy műszerrel, adott esetben a műemberrel, mint az igen költséges és időigényes emberekkel végzett mérések. A műembert nem az embereken folytatandó mérések helyett, hanem azok kiegészítésére, időigényének lerövidítésére alkalmazzák.

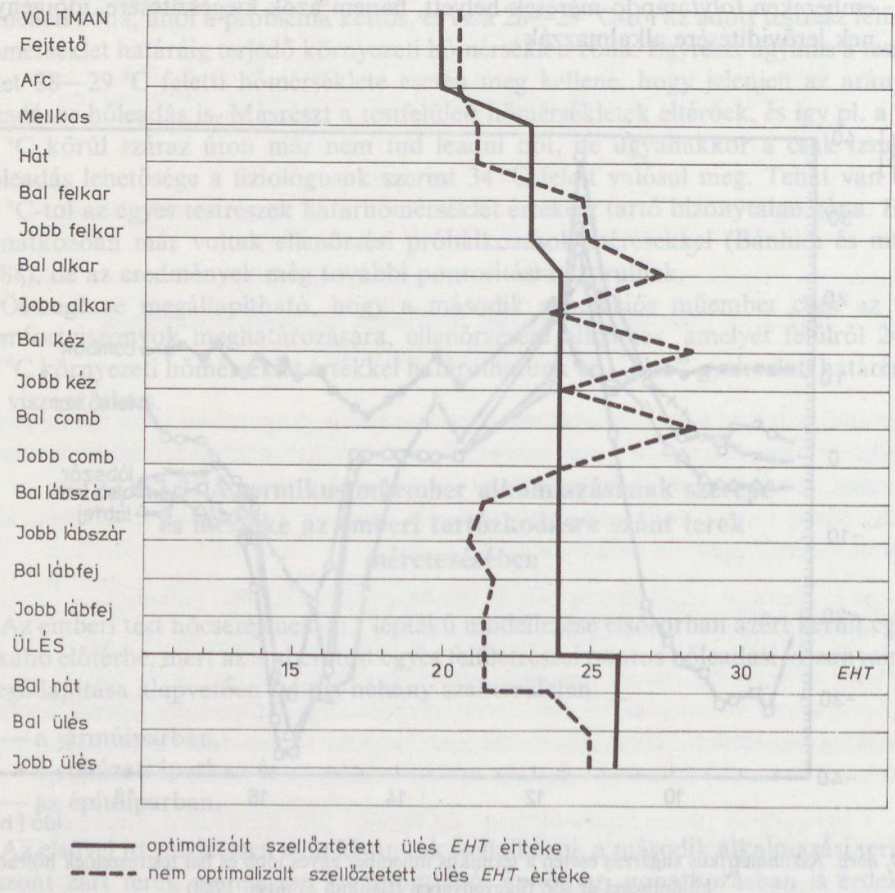


6.29. ábra. Aszimmetrikus sugárzás esetén a termikus műember egyes jobb és bal testrészeinek hőleadási különbségei az idő függvényében (Bánhidi és mtsai 1988)

2. Vannak esetek, amikor nem lehet, illetve nem szabad élő emberekkel kísérletezni, ilyenek elsősorban a megbetegedési határon lévő hideg és meleg környezetek, amelyek azonban a gyakorlatban is előfordulnak.
3. A méretezési módszerekben az ún. helyi diszkomfort tényezők előtérbe kerülése (lásd előző fejezet).

Alkalmazásának ismertetésére, nevezetesen a helyi diszkomforttényezők meghatározására vonatkozóan két példát mutatunk be:

a) Sugárzási aszimmetria meghatározására egy kísérleti napház üvegezett erkélyén végzett mérések ábráját mutatjuk be *(6.29. ábra)*, amely a jobb- és balláb, valamint a kar közötti sugárzási aszimmetria értékeket rögzíti az idő függvényében. A vizsgálatokat 1987 májusában Bécsben végezték (Bánhidi és mtsai 1988).
b) A *6.30. ábrán* egy autóbusz vezetőülésére helyezett műember *EHT* hőmérsékletére (lásd a 6.3. táblázat magyarázatát) vonatkozó profilok láthatók, különböző szellőzési megoldások esetén, így pl. szellőztetett ülésre is (lásd folyamatos vonalat) borús időben (Wyon 1988).



6.30. ábra. A szellőztetett ülés esetén mért *EHT* értékei a műembernek (Wyon 1988)

Megjegyezzük, hogy a borús időt azért mutatjuk be, mert napos időben a napsugárzás-terhelés és az annak ellensúlyozására is alkalmazott szellőztetésnek az emberi test hőleadására gyakorolt együttes hatása könnyebben kimutatható, de természetesen azok a változások is pontosan követhetők.

Mindezek véleményünk szerint bizonyítják e „műszerben" rejlő előnyöket. Felhasználásával kapott közvetlen eredményekkel a későbbiekben, e könyv IV. részében még találkozunk.

6.3. Az emberi test hőcserefolyamatainak matematikai modellezése

Az emberi testet érő hatások modellezhetőségének kérdésével az előzőekben már foglalkoztunk. Ott azonban az általános modellezési kérdéseket elemeztük, illetve az embert érő összes objektív és szubjektív hatást igyekeztünk figyelembe venni. Az emberi test hőcserefolyamatainak modellezési kérdését ott azért nem említettük, mert véleményünk szerint előbb célszerű áttekinteni az emberi test hőcsereviszonyainak alapjait, összefüggéseit.

Az emberi test hőcserefolyamatainak matematikai modellezési kérdéseivel évtizedek óta foglalkoznak, és számos publikáció jelent meg e témában. Ezek közül elsősorban — mint alapművekre — háromra hívjuk fel a figyelmet; Arkin és Schitzer (1984), Pedersen (1973), Werner (1980).

A témakör legújabb fejleményeihez tartozik, hogy világszerte foglalkoznak az ún. harmadik generációs, izzadó, termikus műemberrel (Bennett 1988). E témakörben folytatnak fejlesztési kutatásokat Imre és mtsai (1987a, b, 1988) is.

6.4. Zárt terek belső levegőjének szennyeződése

Zárt terek levegőminőségének kérdése ugyancsak az utóbbi évek egyik legkiemelkedőbb fontosságú témakörének tekinthető. Mint ilyen egyrészt szorosan összefügg az ember—épület kapcsolattal, másrészt, mivel levegőforgalomról van szó, az energiafelhasználás, energiagazdálkodás egyik fontos befolyásoló tényezője. Jóformán minden évben rendeznek nemzetközi konferenciákat e témakörben, s ezek közül néhány állandóan ismétlődőnek tekinthető, mint pl. az „Indoor Air" Konferenciák.

A téma fontosságára való tekintettel a kérdéssel e könyvben közvetlenül két fejezetben foglalkozunk:

— e fejezetben rövid általános ismertetést adunk a jelenleg ismert legfontosabb levegőszennyeződési forrásokról, azok műszaki szempontból fontos adatairól,
— a 18. fejezetben pedig a légforgalom szerepével az emberi követelményértékek, energiafogyasztás és ezek optimumának elérésében, figyelembe véve a szennyeződés, sick building, penészesedés kérdését.

A kérdéskör azonban több fejezetben közvetve ugyancsak tárgyalásra kerül.

A belső levegő szennyeződési forrásait két fő csoportba oszthatjuk:

— szakaszosan és
— folyamatosan

szennyeződést „termelőkre".

A belső levegőszennyeződés forrása szempontjából a következő főbb témakörök a legidőszerűbbek:

— formaldehid,
— radon,
— dohányzás,
— szilárd szennyezőrészecskék és a mikroorganizmusok,
— szaghatások.

Tulajdonképpen két további témakört is ide sorolhatunk:

— a levegőben lévő ionok és az elektromos terek, valamint
— az ún. „beteg épület" (sick building) szindróma

témakörét. E kettővel azonban, fontosságuk, újszerűségük miatt, még külön foglalkozunk (6.5. és 6.6. alfejezetek).

A belső levegőszennyeződés kérdése elsősorban egészségügyi okokból került az érdeklődés homlokterébe. A két legfontosabb ok: a szennyezőanyagok egy része rákkeltő, mások az egyre inkább terjedő „modern" betegségnek, az allergiának okozói közé tartoznak. A témakörrel kapcsolatos kutatások két fő irányban folynak (Seifert 1986):

— laboratóriumi, ún. szimulációs kísérletek és
— helyszíni mérések

formájában. Az előbbiekből általánosítható következtetések vonhatók le, míg az utóbbiak pillanatnyi helyzeteket rögzítenek.

A következőkben áttekintjük az egyes szennyeződés-fajtákat; forrás, méréstechnika, egészségügyi hatás stb. szempontjából, felhíva a figyelmet, hogy két szennyeződésforrással — a radonnal és a szaghatásokkal — kissé bővebben foglalkozunk. Ennek oka az, hogy

— a radonszennyeződés a legtöbb esetben közvetlen kapcsolatban van a felhasznált építőanyaggal, így az épülettel,
— a szaghatás ugyan egy régen ismert szennyeződési forrás, amelynek műszakilag megfogható új definiálása, osztályozása azonban napjainkban történt meg és Fanger nevéhez fűződik [159].

Fontos sajátosság, alapfeltétel e témakörrel kapcsolatban mind a levegőminőséggel összefüggő panaszok, mind a „terápia" vonatkozásában döntő hatása van a szellőzésnek (Seppänen 1984, 1987).

6.4.1. A formaldehid-szennyeződés

A kérdéssel nagyon sok kutató foglalkozott. Az itt közölt rövid összeállítást főleg Moschandreas (1986) publikációja alapján állítottuk össze.

A formaldehid-szennyeződés forrása nagyon sokféle lehet:

— a bútorok, amelyek ragasztásához használják ezt az anyagot,
— műanyag lakkok,
— farostlemezek,
— tapéták és szőnyegpadló-burkolatok stb.

A zárt térben előálló koncentráció erősen változó lehet. A tipikus koncentráció 0,03—0,65 ppm, de mértek már 100 ppm feletti szennyeződést is. A szennyeződés mértéke függ a forrás erőssége mellett — mely viszont függ pl. a beépítés formájától — a forrás korától, hőmérsékletétől, a belső tér levegőjének hőmérsékletétől és relatív nedvességtartalmától. Mérésére számos módszert dolgoztak ki; általában passzív és folyamatos monitorozást alkalmaznak.

A formaldehid egészségügyi hatása általában tisztázott, a kialakult vélemények szerint nem potenciálisan rákkeltő hatású, és a különböző munkaegészségügyi előírások megadják a megengedhető koncentrációhatárokat. Az újabb kutatások általában az ennél alacsonyabb koncentrációk egészségre közvetlenül nem, de közérzetre kedvezőtlen hatása miatt (kedvezőtlen szag, nyálkahártya-irritáció stb.) foglalkoznak a kérdéssel.

A szakirodalomban nagyon sok e témával foglalkozó cikk, kiadvány ismert. A különböző laborkísérletektől a helyszíni méréseken át, egészen a formaldehid-terhelés számítógépes modelljéig (Panzhauser és mtsai 1987).

6.4.2. A radonszennyeződés

A radonszennyeződés kérdése több mint két évtizede került előtérbe. Gyakorlatilag két fő csoportra osztják a szennyeződésforrásokat:

— az építőanyagokra és
— a talajra.

Az előbbi időben is megelőzte a talajjal kapcsolatos vizsgálatokat, mely utóbbiak most élik „virágkorukat". Mivel a talaj csak áttételesen van kapcsolatban az épülettel, e kérdéssel részleteiben nem foglalkozunk, csak hivatkozunk néhány kiadványra (Collé és McNall 1980, Indoor Air 1984, 1987)

Mivel Magyarországon és számos más országban az építőanyag okozta radonszennyeződés még napjainkban is előtérben lévő kérdés, a témával két kérdéscsoportban foglalkozunk:

— először az épületet természetes radioaktivitásának szabályozása és méretezése kérdésével Galambos (1985) egy összefoglaló publikációja nyomán (6.4.2.1.—6.4.2.4. alpont),
— majd néhány külföldi vizsgálati adatra, eredményre hívjuk fel a figyelmet.

6.4.2.1. Az építőanyagok természetes radioaktivitásának anyagjellemzői

Az építéshez felhasznált anyagok, a bennük lévő különböző fajtájú és tulajdonságú radioaktív elemektől függően, eltérő minőségi és mennyiségű radioaktív sugárzásokat, illetve radioaktív anyagokat bocsátanak ki magukból, nevezetesen:

— viszonylag kis áthatoló képességű alfa- és béta-részecskék, illetve
— nagy áthatoló képességű gamma-sugarakat, és
— különböző halmazállapotú fajtájú radioaktív atomokat, amelyek idővel elbomlanak és sorozatosan más-más tulajdonságú anyagokká alakulnak át, radioaktív sugárzás kibocsátásával.

Az építőanyagok természetes radioaktivitását jelenleg főleg aszerint vizsgálják, hogy milyen koncentrációban tartalmaznak radioaktív bomlású

— káliumizotópot (^{40}K),
— rádiumizotópot (^{226}Ra) és
— tóriumizotópot (^{232}Th).

Jelenleg az építőanyagok „világátlaga"-ként a fajlagos radioaktivitásokat

$$c_K = 500 \text{ Bq/kg},$$
$$c_{Ra} = 50 \text{ Bg/kg},$$
$$c_{Th} = 50 \text{ Bq/kg}$$

koncentrációértékkel veszik számításba, illetve ezekhez viszonyítják a konkrét anyag radioaktivitásának nagyságát.

A „világátlag" radioaktivitású építőanyagban az ún. ideális bomlási egyensúly és zavartalan minta esetén az egyes sugárzásfajták radioaktivitásának hozzávetőleges értékei:

— alfa-részecskékre 680 Bq/kg,
— béta-részecskékre 890 Bq/kg,
— gamma-fotonokra 280 Bq/kg.

A sugárzások közül az alfa- és béta-részecskék csak az építőanyag felületének közvetlen környezetéből tudnak kilépni, tehát külső sugárzási hatás szempontjából a gamma-fotonok dominálnak az anyag felületéről távolabbi helyeken.

Anyagjellemzőként szokás tekinteni még az ún. rádiumekvivalens koncentrációt:

$$c_{Ra\,ekv} = c_{Ra} + 1{,}26 c_{Th} + 0{,}086 c_K , \qquad (6.21)$$

amely a „világátlag" koncentrációk esetén

$$c_{Ra\,ekv} = 156 \text{ Bq/kg},$$

és ez az érték szintén vonatkoztatási alapul szolgálhat az építőanyag megítéléséhez.

6.4.2.2. A természetes radioaktivitás szerkezeti jellemzői

Az épületszerkezetek kialakítási módja szintén befolyásolja az adott radioaktív koncentrációjú építőanyag veszélyességét. A legfontosabb jellemző az épületszerkezet ún. radongáz-kibocsátó képessége (radonemissziós tényezője), amely az 1 m^2 felületen óránként kilépő radongázmennyiség radioaktivitása. Értéke pl. tégla, beton épületszerkezeteknél:

$$e = 10 - 100 \text{ Bq/(m}^2 \text{ h)}$$

nagyságrendű tartományba esik, szokványos állapotú szerkeztekre. Minél nagyobb a szerkezet radongázkibocsátó képessége, annál nagyobb az ún. inkorporációs sugárveszély a belélegzett radioaktív anyagok következtében.

6.4.2.3. A természetes radioaktivitás térjellemzői

Az épületek kialakítása pl. az 1 m^3 légtérhez felhasznált anyagok tömege, a nyílászáró arányok, az óránkénti légcsere, a meteorológiai és klímaparaméterek stb. a helyiségek következő térjellemzőire vannak hatással:

— külső sugárzások dózisteljesítményére a helyiség levegőjében,
— a radon- és thorongáz koncentrációira a helyiség levegőjében,
— a belélegzett radioaktív anyagok (porok, gázok) következtében a szervezet belsejében fellépő dózisteljesítményekre.

Az átlagos radioaktivitású épületekben pl. az összes sugárterhelés mintegy 60%-a az épületek anyagától származik. Az épületek okozta sugárterhelésből kb.

— 36% külső gamma-dózis, illetve
— 64% belső alfa- és béta-dózis.

A különböző anyagú épületek légterében fellépő radonkoncentrációk általában

$$10—10\,000 \text{ Bq/m}^3$$

nagyságrendek között változnak. A hagyományos téglaházakban 70 Bq/m^3-nél kisebb értékek gyakoriak.

A szabad levegő radonkoncentrációjára 3—37 Bq/m^3 a jellemző tartomány. Az épületek természetes radioaktivitása miatt a helyiségek levegőjében fellépő külső gamma-sugárdózistöbbletek középértékeire

— téglaházakban 800— 900 μGy/év,
— betonházakban 900—1000 μGy/év,
— faházakban 500— 550 μGy/év

tartományok a jellemzők, a kozmikus járulékon felül.

6.4.2.4. Követelményértékek

A lakások megengedhető radonkoncentrációját, éves átlagban, az újonnan átadott épületeknél 70 Bq/m^3 értékkel maximálták. A régi épületekre ennek kb. háromszorosát is megengedhetőnek vélik.

A 70 Bq/m^3 19 mWL munkaszintnek felel meg, a bomlás termékeivel egyensúlyban lévő radongáz-koncentráció esetén. Tehát régi épületekben 50—60 mWL munkaszint is megengedett. (1 WL radonmunkaszintnek 3700 Bq/m^3 koncentráció, illetve 1 WL thoronmunkaszintnek 277,5 Bq/m^3 koncentráció a vonatkoztatási alapja.)

Az épületekben kapható külső és belső többletdózisok:

1—1,5 mSv/év (100—150 mrem/év)

alatt maradnak, ha az alkalmazott építőanyagok fajlagos radioizotóp-tartalma (Bq/kg) bizonyos határokat nem lép túl, az épületekben szokásos légcserék és anyagfelhasználások esetén. Országonként eltérő értékelő faktorokat javasolnak, pl.:

— NSZK:

$$\frac{c_{Ra}}{150} + \frac{c_{Th}}{100} + \frac{c_K}{1500} = f \leq 1, \tag{6.22}$$

— „leningrádi formula":

$$\frac{c_{Ra}}{185} + \frac{c_{Th}}{259} + \frac{c_K}{4810} = f \leq 1, \tag{6.23}$$

— Lengyelország (régi KGST javaslat):

$$\frac{c_{Ra}}{370} + \frac{c_{Th}}{233} + \frac{c_K}{3700} = f \leq 1, \tag{6.24}$$

és az is teljesüljön, hogy

$$c_{Ra} \leq 185 \text{ Bq/kg},$$

— MK (ÉTI javaslata):

$$\frac{G}{200h}\frac{c_{Ra}}{150} + \frac{c_{Th}}{120} + \frac{c_K}{5800} = f \leq 1, \tag{6.25}$$

ahol

G az anyagfelhasználás 1 m^3 épülettérfogathoz [kg/m^3],
h az óránkénti légcsere [l/óra],
c az alkalmazott építőanyag átlagos radioizotóp-koncentrációja [Bq/kg].

A „világátlag" szerinti építőanyagra, $h=1$ és $G=200$ kg/m^3 esetén a követelményjavaslatok értékelő faktorai (f) az

$$f = 0{,}5—1{,}2$$

tartományon belül adódnak. A legszigorúbb követelményt a német, a leglazábbat a lengyel javaslat támasztja. Az általunk javasolt formula közepes $f=0{,}84$ értékelési faktort eredményez.

6.4.2.5. Néhány külföldi adat

Svájci vizsgálati eredmények (Zingg 1988) az alpesi területeken háromszáz Bq/m^3 értékeket adnak meg.

Finnországi mérések (Graeffe 1986) 40—230 Bq/m^3 közötti adatokat szolgáltattak, de lényeges eltérések adódtak természetes és mesterséges szellőzések esetén.

A vizsgálati lehetőségekre, módszerekre vonatkozóan az USA-ban Nero (1986) és Harrje és mtsai (1988) publikációiban találhatók adatok.

6.4.3. A dohányzás okozta levegőszennyeződés

A dohányzás okozta levegőszennyeződés kérdésében a kutatás túlsúlya az ún. passzív dohányzókat érő károsodás területére helyeződött át. Ennek magyarázata, hogy az aktív dohányosokra vonatkozó egészségügyi kihatások általában tisztázottak.

A másik kérdés, amely a dohányzással kapcsolatos vizsgálatokban előterébe került, az a dohányzás okozta „szagszennyeződés". E kérdéssel a 6.4.5. pontban még részletesen foglalkozunk.

Az aktív dohányosokra vonatkozóan általában az előírt légcsereszám vagy a légmennyiség az a normaérték, amelyet be kell tartani mesterséges szellőzés esetén. Ez a szám általában 30 m^3/h.

A passzív dohányosokkal, illetve ezek védelmével kapcsolatos megállapítások röviden a következőkben foglalhatók össze (Indoor Air 1984, 1987, Alexandersson 1984):

— célszerű a dohányzókat a nemdohányzóktól elkülöníteni,
— a nemdohányosok irritációs küszöbértéke (objektív és szubjektív) az idővel és koncentrációval szorosan összefügg,
— célszerű az előírások megengedett dohányfüst-koncentráció értékeit csökkenteni, a szellőzési légcsereszámot növelni stb.,
— a csecsemők és gyerekek károsodása szorosan összefügg az anya dohányzásának mértékével,
— passzív dohányos gyerekek esetében a légzőszervi és asztmás megbetegedések veszélye fokozottan fennáll,
— még több kutatás, vizsgálat, mérés szükséges a hatásmechanizmusok pontosabb tisztázására.

Néhány forrásmunkára hívjuk fel a figyelmet ebből a témakörből (Perris és mtsai 1984, Humphreys 1978, Schmidt 1984, Weber 1984).

6.4.4. A szilárd részecskék és a mikroorganizmusok okozta szennyeződések

Belső terek levegőszennyeződésének egyik számottevő forrásai lehetnek a különböző lebegő szilárd részecskék és a mikroorganizmusok. Legtöbbjük jól ismert mind a koncentráció, mind az okozott szimptómák vonatkozásában.

A szennyeződés mértékét általában mintavételekkel határozzák meg (McCarthy és mtsai 1984, Rosenkratz 1985, Schneider 1984). A szilárd részecskék okozta szennyeződés anyagát tekintve igen széles a skála [5]. A mikroorganizmusokat tekintve

ugyancsak széles a spektrum, de a legismertebbek a különböző penészgombák, amelyek egy része összefügg a szellőzésmegoldás minőségével (Morey és Rundus 1984). Emellett ide sorolhatók a különböző atkák és baktériumok.

A mikroorganizmusok hatása általában szorosan összefügg a sick building jelenséggel, s mindkettővel külön alfejezetben (6.6.) foglalkozunk. Néhány publikációra e témakörben azonban itt is felhívjuk a figyelmet (Hambraens 1986, Holmberg 1984, Jokl 1989, Sugawara és Joshizawa 1984).

6.4.5. A szaghatások okozta légszennyeződés

A szaghatások okozta légszennyeződéssel, annak számszerűsítésével több, mint 50 éve foglalkoznak. Általánosan elfogadott volt — kezdettől s az napjainkban is —, hogy referenciaértéknek az emberből felszabaduló szagszennyeződést választják. Az egység, illetve meghatározás vonatkozásában a 80-as évek közepéig Pettenkoffer (1958) és Yaglou és mtsai (1936) eredményeit alkalmazták. Napjainkban azonban az egész kérdést Fanger (1987c, 1988b, c) helyezte új alapokra (lásd még Langkilde 1973). Elméletének és számítási módszerének — amelyet egyre szélesebb körben alkalmaznak világszerte — lényege a következőkben foglalható össze.

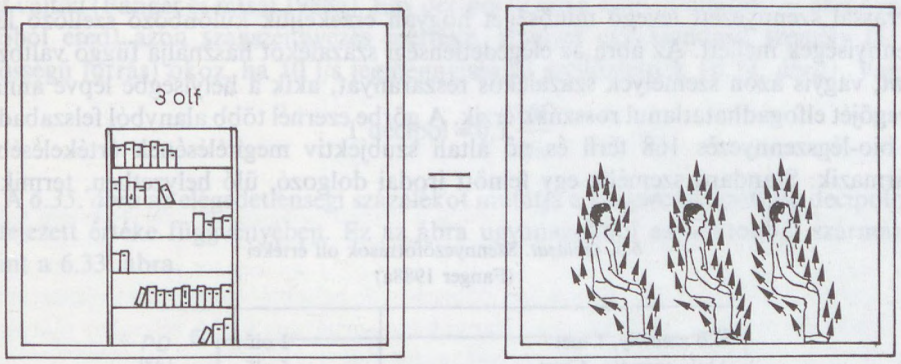
Két új mértékegységet — „olf" és „decipol" — vezettek be, az emberek által érzékelhető levegőminőség (szagszennyezés) számszerűsítésére. Az „olf" számszerűsíti a légszennyezőforrás erősségét, míg a „decipol" az érzékelt légszennyezés számszerűsítésére szolgál.

6.4.5.1. Az „olf" mértékegység

Egy olf (neve a latin „olfactus" = szagérzékelő képesség szóból ered) az egy standard személyből felszabaduló biológiai szagszennyező mennyisége *(6.31. ábra)*. Minden egyéb szennyezőforrás erőssége annyi olf, amennyi átlagos személyből felsza-



6.31. ábra. Egy olf: egy standard személy szagszennyezése.
Standard személy: egy felnőtt irodai dolgozó, ülő helyzetben, termikus komfort feltételek között, 0,7 fürdés/nap higiéniai standard szerinti tisztálkodással (Fanger 1988a)

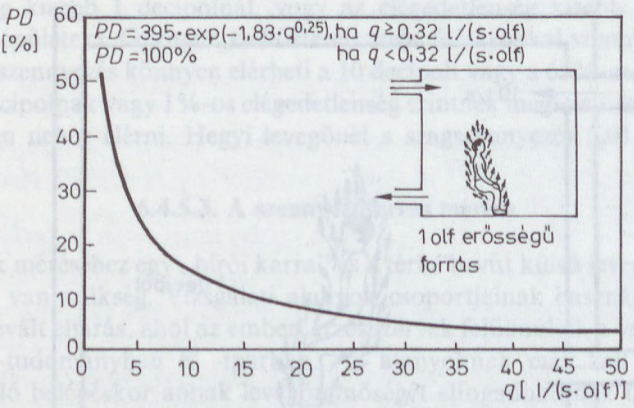


6.32. ábra. Egy szagforrás 3 olf erősségű, ha a belőle eredő szagszennyezés azonos elégedetlenséget okoz, mint 3 standard személyé (Fanger 1988a)

baduló szagszennyezés okoz ugyanakkora légszennyezettséget, mint a kérdéses forrás *(6.32. ábra)*. Így tehát az olf relatív mértékegység, hasonló a ruházat hőszigetelő képességére használt „clo" egységhez vagy a metabolikus hő „met" egységéhez.

Az emberből felszabaduló szagszennyezést azért választották referenciaértéknek, mert jól ismert, és mert számottevő ismeret összegyűlt arra nézve, hogy ez a fajta szennyezést az ember hogyan érzékeli. Pettenkoffer (1958) és Yaglou és mtsai (1936) óta, a benntartózkodó embert tartják irodák, gyűléstermek és egyéb, nem ipari épületek fő légszennyezőforrásának. Ez a gondolatmenet tükröződik a manapság világszerte használt szellőzési előírásokban, amelyek a szellőzőlevegő szükséges mennyiségét egy főre vetítve, adják meg.

A humán biológiai szagszennyezőkre vonatkozó legújabb ismereteket a *6.33. ábra* mutatja, megadva az 1 olf definíciós görbéjét. A görbe azt mutatja, hogy 1 olf erősségű



6.33. ábra. Egy olf erősségű forrás által okozott elégedetlenség különböző szellőzőlevegő-mennyiség esetén. Elégedetlen az a személy aki a helyiségbe lépve a levegő minőségét elfogadhatatlannak tartja. A görbe több mint ezer személy szagszennyezésének 168 alany általi minősítéséből ered (Fanger 1988a)

forrással szennyezett levegő minőségét hogyan érzékeljük különböző szellőző légmennyiségek mellett. Az ábra az elégedetlenségi százalékot használja függő változóként, vagyis azon személyek százalékos részarányát, akik a helyiségbe lépve annak levegőjét elfogadhatatlanul rossznak érzik. A görbe ezernél több alanyból felszabaduló bio-légszennyezés 168 férfi és nő általi szubjektív megítélésének értékeléséből származik. Standard személy: egy felnőtt irodai dolgozó, ülő helyzetben, termikus

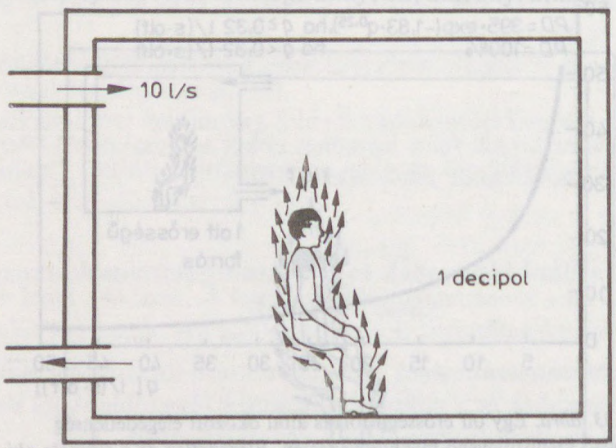
6.5. táblázat. Szennyezőforrások olf értékei
(Fanger 1988a)

Ülő személy, 1 met	1 olf
Aktív személy, 4 met	5 olf
Aktív személy, 6 met	11 olf
Dohányos, dohányzás közben	25 olf
Dohányos, átlag	6 olf
Anyagok az irodában	0—0,5 olf/m^2 padló

komfortfeltételek között, 0,7 fürdés/nap higiéniai standard szerinti tisztálkodással. A *6.5. táblázat* néhány szennyezőforrás olf értékét mutatja. Mivel az olf koncepció ilyen új, jelenleg csak néhány adatunk van, de a különféle építőanyagok és egyéb szennyezőforrások olf értékeinek meghatározása jelenleg folyik.

6.4.5.2. A „decipol" mértékegység

Légszennyező anyagok koncentrációja a forrás erősségtől és a szellőzés hígító hatásától függ. Az érzett szagszennyezést úgy definiálják, mint a humán bio-légszennyezés azon koncentrációját, amely az adott szagszennyezéssel azonos elégedetlensé-

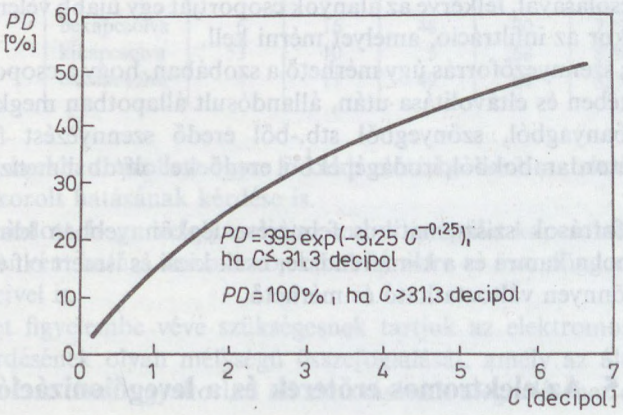


6.34. ábra. Egy decipol a szagszennyezettség egy olyan térben, melyben 10 l/s tiszta levegővel egy 1 olf erősségű forrást szellőztetnek. Állandósult állapotot és tökéletes keveredést tételezünk fel
(Fanger 1988a)

get vált ki (Fanger és mtsai 1988a). Egy decipol (a szó a latin „pollutio" = szennyezés szóból ered) azon szagszennyezés mértéke, amelyet egy standard személy (1 olf erősségű forrás) okoz, ha 10 l/s légmennyiséggel szellőztetnek *(6.34. ábra)*. Vagyis

$$1 \text{ decipol} = 0{,}1 \frac{\text{olf}}{\text{l/s}}.$$

A *6.35. ábra* az elégedetlenségi százalékot mutatja a szagszennyezettség decipolban kifejezett értéke függvényében. Ez az ábra ugyanazokból az adatokból származik, mint a 6.33. ábra.



6.35. ábra. Elégedetlenségi százalék a decipolban kifejezett szagszennyezettség függvényében (Fanger 1988a)

Sok jól szellőztetett épületben, ahol a szennyezőforrások gyengék, az érzett szagszennyezettség kisebb 1 decipolnál, vagy az elégedetlenség kisebb 15%-nál (ezek „egészséges" épületek). Gyengén szellőztetett, erős forrásokkal szennyezett terekben az érzett szagszennyezés könnyen elérheti a 10 decipolt vagy a 65%-os elégedetlenségi szintet. 0,1 decipolnak vagy 1%-os elégedetlenség szintnek megfelelő levegőminőséget belső terekben nehéz elérni. Hegyi levegőnél a szagszennyezés 0,01 és 0,1 decipol között van.

6.4.5.3. A szennyezőforrás mérése

Az olf érték méréséhez egy „bírói karra" és a térbe bevitt külső levegő mennyiségének mérésére van szükség. Vizsgálati alanyok csoportjainak használata más olyan területen is bevált eljárás, ahol az emberi érzékszervek felülmúlják a vegyelemzést, pl. az élelmiszer-tudományban és -iparban. Az alanyoknak meg kell ítélni, hogy a helyiségbe való belépéskor annak levegőminőségét elfogadhatónak találják-e. Ilyen döntés előtt a csoport néhány percig alacsony szennyezettségű, lehetőleg külső térben kell tartózkodjon. Ha a külső szennyezés jelentős, akkor a csoporttal először arról kell véleményt mondatni. Az érzett szagszennyezettség ezután decipolban megtalálható a 6.35. ábrában.

Stacioner feltételek esetén a légtérben a légszennyező források összerőssége és a szellőztető rendszer az alábbiak szerint számítható:

$$c_{outdoor} + G/\dot{V}_{sz} = c_{indoor}, \tag{6.26}$$

ahol

$c_{outdoor}$ a szagszennyezés a külső térben [pol],
c_{indoor} a szagszennyezés a belső térben [pol],
G az összes szennyezőforrás-erősség a térben és a szellőző rendszerben [olf],
$\dot{V}_{sz}$ a befújt szellőzőlevegő mennyisége [l/s].

A térbeli szennyezőforrásokat a szellőzőrendszer-beliektől külön lehet választani a szellőzés kikapcsolásával, felkérve az alanyok csoportját egy újabb vélemény nyilvánítására. A Q ekkor az infiltráció, amelyet mérni kell.

Egy bizonyos szennyezőforrás úgy mérhető a szobában, hogy a csoport véleményét a forrás jelenlétében és eltávolítása után, állandósult állapotban megkérdezzük.

Sokféle építőanyagból, szőnyegből stb.-ből eredő szennyezést felületegységre (olf/m^2), míg bútordarabokból, irodagépekből eredőeket olf/db dimenzióban célszerű megadni.

E szennyezőforrások szisztematikus felmérése legkönnyebben klímakamrákban végezhető el, ahol a kamra és a klímarendszer csak kicsi és ismert olf értékű, és ahol a szellőztetés könnyen változtatható és mérhető.

6.5. Az elektromos erőterek és a levegőionizáció

Az emberre ható objektív paraméterek sorában évek óta szerepel a levegőionizáció kérdése. Fontossága, megítélése erősen ingadozott azonban az elmúlt években. Így egy kezdeti általános érdeklődés után egyes országokban a kérdés erősen háttérbe szorult, helyesebben a 70-es—80-as évek végéig tartó periódusban a szakemberek „két táborra" szakadtak.

Az egyik tábor változatlanul a kérdés fontosságát állította, amelyet különböző kísérletekkel támasztottak alá. Ezek szerint a negatív ionok nagymértékben befolyásolják a szubjektív emberi hő- és közérzetet, a szellemi és fizikai teljesítőképességet, a szellemi koncentrációképességet, ellensúlyozzák a kifáradást stb.

A másik tábor tagadta ezeket a hatásokat, melyeket az általuk végzett ellenőrző kísérletek egyáltalán nem látszottak igazolni.

A vita az utóbbi években elcsitult, majd a kérdés ismét előtérbe került. Bebizonyosodott ugyanis, hogy

— az ionizációnak igenis van hatása az emberre (pl. a „sick building" jelenség egyik oka lehet a negatív ionok számának alacsony volta),
— az ionizáció hatása csak hosszabb időszak után érvényesül [bővebbet pl. Israel (1957) könyve, és a *6.6. táblázat* mutat].

Ez utóbbi volt tulajdonképpen az ok, ami miatt a rövid időtartamú — 2—3 órás — „klasszikus" komfortvizsgálatok nem szolgáltattak a hatásra vonatkozóan szignifikáns eredményeket.

6.6. táblázat. Statisztikai szignifikánciaértékei azon alanyoknak, akik a kísérletek alatt jobban vagy rosszabbul érezték szubjektíve magukat, összehasonlítva a korábbi ionizációs kísérletekkel (Jokl és Rohles 1987)

A kísérlet ideje	Ionizátor	A személyek érzetének száma			Mind-összesen	„*t*" próba	Megjegyzés
		rosszabb	azonos	jobb			
1973. november	bekapcsolva	22	27	43	92	3,242	szignifikáns
1974. március	bekapcsolva	23	31	36	90	2,068	szignifikáns
1974. június	bekapcsolva	12	20	50	82	6,418	szignifikáns
1974. szeptember	kikapcsolva	31	12	24	67	1,235	nem szignifikáns
1974. december	bekapcsolva	6	16	48	70	7,289	szignifikáns
1975. március	kikapcsolva	53	10	5	68	8,305	szignifikáns
1975. június	bekapcsolva	4	11	49	64	8,067	szignifikáns

Az utóbbi években emellett egyre inkább előtérbe kerül az elektromos erőterek emberre gyakorolt hatásának kérdése is.

Bebizonyosodott, hogy befolyásolja az ember és épület kapcsolatát, és áttételesen — mivel esetenként hatása van a szubjektív hőérzetre — összefügg az energiafelhasználás kérdéseivel is.

Mindezeket figyelembe véve szükségesnek tartjuk az elektromos erőterek és az ionizáció kérdésének olyan mélységű összefoglalását, amely az általános műszaki műveltséghez és e témák gyakorlati alkalmazásának megítéléséhez esetenként tudni kell.

Bebizonyosodott, hogy befolyásolja az ember és épület kapcsolatát, és áttételesen — mivel esetenként hatása van a szubjektív hőérzetre — összefügg az energiafelhasználás kérdéseivel is.

Az összefoglalás elsősorban Sváb Ferenc különböző publikációi alapján készült (Jokl 1989, Novák és mtsai 1969, 1975, Sváb 1976, 1986, 1987).

6.5.1. Természetes és mesterséges elektromos terek

Mielőtt a légköri elektromos jelenségeket előidéző fizikai folyamatok ismertetésére rátérnénk, ismerkedjünk meg a légköri elektromos áramkör elemeivel, a jelenségek mikroszkopikus leírására alkalmas paraméterekkel. Ezek: az elektromos vezetőképesség, a potenciálgradiens (potenciálesés) és a vertikális áram.

A levegő elektromos vezetőképességét létrehozó ionizáció eredményeként pozitív és negatív töltéshordozók keletkeznek. Így a vezetőképesség is egy a pozitív töltések jelenlétére visszavezethető pozitív vezetőképességből és a negatív töltéseknek tulajdonítható negatív vezetőképességből tevődik össze. A mérések azt mutatják, hogy a vezetőképesség a magasság növekedésével nő. Ez a töltéstermelő ionizáció növekedésének a következménye.

A potenciálgradiens a Föld és a kiegyenlítő réteg között 1 m magasságú levegőoszlopon mérhető feszültség, amelyet V/m-ben adnak meg. Értéke a Föld felszínén zavartalan körülmények esetén átlagosan 130 V/m.

A vertikális áram a föld felszíne és a kiegyenlítő réteg közötti feszültség és az ún. légoszlop ellenállás hányadosa értéke $2 \cdot 10^{-12}$ A/m^2. A vertikális áram néhány száz méter felett a magasságtól függetlennek tekinthető.

A Föld felszínén az egyenárammal működő tömegközlekedési eszközök (villamos, troli) és vezetékeik okozhatnak a Föld elektromos terétől eltérő erősségű és irányú elektrosztatikus teret. Az épületek és egyéb építmények külső műanyag burkolata — ha az igen nagy elektromos szigetelési ellenállású — száraz időben a szél okozta súrlódás következtében feltöltődhet, és a környezetében nagy térerősségű elektromos tér keletkezhet. A nagy egyenfeszültségű távvezetékek alatt vagy környezetében szintén keletkezhet elektrosztatikus tér, bár ezek általában a lakóterületektől távol vannak, bizonyos esetekben befolyásolhatják az épített terek elektromos terét.

Amióta műanyagokat használnak fel a belső környezetben lévő tárgyak kialakításánál, megnövekedett a szerepük az elektrosztatikus terek létrehozásában. Alacsony légnedvességnél (pl. téli időszakban) dörzselektromos hatásra több tíz kilovoltos potenciálra is feltöltődhetnek. További elektrosztatikus tereket hozhatnak létre az épített terekben egyenárammal vagy nagy egyenfeszültséggel működő berendezések (elektrosztatikus festőberendezés, rádióadó, röntgenberendezés stb.), természetesen ilyenek általában üzemi környezetben találhatók. Ezeknél a berendezéseknél feszültség vagy áramingadozások hatására kvázisztatikus elektromos tér is megjelenhet.

A Föld légkörében keletkező természetes elektromágneses térnek a légköri elektromos kisülések, a villámok a forrásai, és így a légköri elektromosság jelenségköréhez tartozik. A természetes elektromágneses tér spektruma a néhány Hz-es frekvenciától a MHz nagyságrendű frekvenciákig terjed.

Az ipari és a technikai fejlődés következtében közvetlen külső környezetünkben már igen nagy számú, különböző teljesítményű és szinte a teljes frekvencia spektrumú elektromágneses teret keltő berendezés és energiaelosztó létesítmény üzemel, tehát a környezetvédők joggal panaszkodhatnak a bioszféra elektromágneses szennyeződése miatt.

Elektromágneses forrásokat találunk az épített terekben is. Lakóépületekben ezek viszonylag kis teljesítményűek: elektromos háztartási gépek, egyes rádióvevő típusok, CB-rádióadók, tv-készülékek stb. A források jellegéből adódóan nagyobb térerősség általában a magasabb frekvenciákon mérhető.

Az utóbbi időben megjelentek a mikrohullámú sütők, így már a mikrohullámú (SHF) tér is számottevő térerősséggel megjelenhet az épített terekben. Az üzemek, ipari létesítmények belső környezetében lévő elektromágneses források teljesítménye és frekvenciája lényegesen eltér a lakóépületekben található készülékekétől. Az üzemi környezetben létrejövő elektromágneses tereket ezért célszerű külön áttekinteni. Ebben a fizikai környezetben egész különleges hullámalakok, impulzusok és térerősségek fordulhatnak elő, általában a teljes frekvenciaspektrum megtalálható. Megjelennek impulzusok, folyamatos elektromágneses hullámok vagy a két hullám együttesen. Az ULF, ELF, VLF elektromágneses impulzusok forrása az ugrásszerűen változó terhelésű egyen- vagy váltakozó áramú berendezések, kábelek, elektromos hegesztőberendezések, ívkisülésű olvasztókemencék, koronakisülések stb.

A magasabb frekvenciájú (LF, UHF, SHF, EHF) elektromágneses terek nagyfrekvenciás edző-, olvasztókemencék, különböző teljesítményű robbanómotorok, rádió-

és tv-adók, röntgenkészülékek, UHF és SHF tartományban dolgozó orvosi terápiás készülékek, radarberendezések stb. környezetében mérhetők. Ezen elektromágneses terek térerőssége igen sokszor eléri a 100 V/m értékét, az elektromágneses impulzusok amplitúdója gyakran még ennél is nagyobb, többször száz V/m.

6.5.2. Levegőionok, természetes és mesterséges ionforrások

A levegőionok a légkörben — különböző fizikai hatásokra — keletkező elektromos töltésű gázmolekula-csoportok. A levegőionok keletkezési viszonyaiktól függően három vagy akár több száz gázmolekulából álló csoportok. Az ionizáció hatására a levegőionok általában egységnyi elektromos töltéssel rendelkeznek, ami az elektron töltésének ($1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C) felel meg.

Az elektromos töltések keletkezéséhez szükséges energiát a légkörben a magassággal változó források szolgáltatják.

A Föld felszínének közelében az ionizációhoz szükséges energiát a talajban és a levegőben előforduló radioaktív anyagok sugárzása, továbbá a galaktikus kozmikus sugárzás három típusa szolgáltatja, ezek közül az alfa-sugárzás részecskéiből (héliumionokból) a béta-sugárzás elektronokból áll, míg a gamma-sugárzás elektromágneses sugárzás.

Az ionizáció során keletkező töltések a légkörben keletkezésük pillanatában elektromos térbe, a légköri elektromos térbe kerülnek, amelyeknek következtében a töltésekre elektromos erők hatnak. Ugyanakkor a levegőt alkotó molekulacsoportok, folyékony és szilárd halmazállapotú aeroszol részecskék, amelyek közé a töltések „beágyazódnak", rendezett és rendezetlen (molekuláris) mozgást végeznek. Ebben részt vesznek a töltések is. Elektromos tér jelenlétében töltéseknek erre a rendezetlen hőmozgására egy az elektromos tér irányával párhuzamos mozgás szuperponálódik. Az ionoknak ezt az elektromos térrel kapcsolatos mozgását a mozgékonysággal jellemezzük. A különböző méretű pozitív és negatív ionok elszállítása keletkezésük helyéről tehát elsősorban két folyamattal lehet összefüggésben, az ionok mozgékonyságával és a diffúzióval. A semleges részecskék nemcsak rendezetlen, hanem különböző erők (nyomásgradiens, nehézségi erő) hatására rendezett mozgást is végeznek, különböző időtartamú és térbeli kiterjedésű légmozgásokban vesznek részt, amelyek a töltések és a semleges részecskék közötti gyakori ütközések következtében a töltések mozgásában is tükröződnek.

6.7. táblázat. A légköri ionok mozgékonysága és sugara (Israels 1957)

Elnevezés	Mozgékonyság [cm^2/Vs]	Ionsugár [$\times 10^{-8}$ cm]
Kis ionok	$k = 1{,}0$	$r = 6{,}6$
Közepes ionok	$1{,}0 > k > 0{,}01$	$6{,}6 < r < 78$
Nagy v. közepes ionok	$0{,}01 > k > 0{,}001$	$78 < r < 250$
Nagy v. Langevin-ionok	$0{,}01 > k > 0{,}0025$	$250 < r < 570$
Ultranagy ionok	$k < 0{,}0025$	$r > 570$

A töltések elektromos térrel kapcsolatos mozgását a külső vagy az épített terek viszonyai között is azok mozgékonyságával jellemezzük. A mozgékonyság levezetésénél feltételezzük, hogy a töltések és a semleges részecskék közötti ütközés rugalmas, energiaveszteség nem lép fel.

A légköri ionokat a mozgékonyság alapján kezdték osztályozni. A *6.7. táblázat*ban egy ilyen osztályozást látunk, ahol a mozgékonyságon kívül az ionok sugara is szerepel. Számos laboratóriumi mérés alapján azt találták, hogy tiszta levegőben, szobahőmérsékleten és 1 atm nyomáson a pozitív kis ionok mozgékonysága 1,37, a negatív kis ionoké 1,89 $cm^2\ V^{-1}\ s^{-1}$ (Israel 1957).

A civilizált környezetben ugyanazok a fizikai jelenségek ionizálják a levegőt, mint a természetben. Az iparban használt különböző nagyfeszültségű berendezések, távvezetékek kis átmérőjű, csúcsokkal rendelkező szerkezetei elemei környezetében kialakuló inhomogén elektromos tér ütközési ionizációja hatására levegőionok keletkeznek. A nagyfeszültségű távvezetékek környezetében bizonyos időjárási helyzetben kialakuló koronakisülés igen nagy számú levegőiont termel. A mesterséges levegőionokat előállító készülék (ionizátorok) is zömmel koronakisüléssel működnek. Nagyszámú levegőion keletkezik a különböző célra alkalmazott ibolyántúli sugarakat előállító (UV) lámpák és fénycsövek körül. Ezek zömmel alacsony nyomású higanygőz világítótestek, melyeknél az ionizációt a világítótestet körülvevő alumínium ernyő is növelheti.

Az UV fényforrások 200 nm körüli hullámhosszú fényt bocsátanak ki, teljesítményük felhasználásuktól függően 5—250 W között változhat.

A természetes úton levegőbe kerülő radioaktív anyagokhoz hasonlóan, az ipari tevékenység, valamint az atomrobbantások következtében radioaktív anyagok, gázok kerülnek a levegőbe. A levegőben lévő radioaktív anyagok alfa- és kis energiájú béta-sugárzása ionizálja a gázmolekulákat.

Az épületek helyiségeinek levegőjében — a természetes ionizációhoz hasonlóan — fizikai jelenségek hatására keletkeznek a levegőionok. Az épített terek levegőjének ionizációját többnyire koronakisülés, a levegőben és a falakban lévő radioaktív anyagok, végül az esetleges UV sugárzás okozza.

A lakó- és közösségi épületek helyiségeiben koronakisülést okozhat az alkalmazott műanyagok (pl. polisztirol elektrosztatikus feltöltődése). Élek, csúcsok környezetében kialakult nagy térerősségű inhomogén tér ütközési ionizációval ionizálhatja a közelben lévő gázmolekulákat. Alacsony relatív légnedvességnél a műanyag felületek a súrlódás hatására többszáz kV-ra is feltöltődhetnek. Ionforrás lehet lakásokban a tv-készülékek nagyfeszültségű egysége.

6.5.3. Az elektromos és elektromágneses terek, valamint a levegőionok élettani hatásai

Korunk egyik jellemzője, hogy az ember életének, munkaidejének jelentős részét épületekben, zárt helyiségekben tölti el. Ezért fokozott jelentősége van annak, hogy a zárt helyiségekben a szervezet számára kedvező mikroklíma biztosítható legyen. A levegő fizikai és kémiai paramétereit olyan állapotban kell tartani, hogy a helyiségek-

ben tartózkodók jó közérzete megmaradjon, fizikai és szellemi munkavégző képessége ne csökkenjen.

Az ember közérzetét és így munkavégző képességét sok tényező befolyásolja. Kiderült az is, hogy ezekre a tényezőkre az ember sokkal bonyolultabb összefüggésekkel reagál, mint azt eddig feltételezték. A modern életforma, a rohamos technikai fejlődés, az életmódnak a normális biológiai ritmustól való eltérése fokozottabb terhet ró a szervezet alkalmazkodó képességére és a vegetatív idegrendszerre.

Az elmúlt évek hazai és külföldi vizsgálatai megállapították, hogy a levegőionok megfelelő koncentrációja — ami zárt helyiségekben csak ionkondicionálással biztosítható — kedvezően befolyásolja a központi idegrendszer működését és ezen keresztül a vegetatív idegrendszert. Növeli a szervezet oxigénfelvételét és csökkenti a levegőben lebegő csírák számát.

Levonható tehát az a következtetés, hogy a levegőionok, azaz a levegőben lévő elektromos töltésű gázmolekula-csoportok koncentrációja a jó közérzet megvalósulása szempontjából fontos mikroklíma-paraméter.

A biometeorológiai kutatások szerint a légkörben három elektromos tényezőnek lehet biológiai hatása:

— a légkörben lévő elektromos töltésű gázmolekuláknak vagyis levegőionoknak,
— a légköri elektromos kisülések által keltett igen alacsony frekvenciás elektromágneses impulzusoknak (az ún. „sterics"),
— a föld elektromos terének, illetve változásainak.

Számunkra ezeknek a paramétereknek az épületekben, zárt terekben tartózkodókra való hatása érdekes. Az eddigi mérések és vizsgálatok szerint az épületek a Föld elektromos terét szinte teljesen árnyékolják, az igen alacsony frekvenciás elektromágneses impulzusok amplitudóját is nagyságrendekkel csökkentik, és a levegőionok is rövid idő alatt semlegesítődnek a helyiségek falain. Ezért az előbb említett tényezőknek mind fizikai, mind biológiai hatása nagymértékben csökken.

Mindhárom légelektromos tényezőnek az épületekben tartózkodókra kifejtett biológiai hatását közel 20 éve vizsgálják.

Az ionok előállítását viszonylag egyszerűen meg lehet oldani, és az ionok pozitív hatása több esetben egyértelműen kimutatható. Az elektromos tér és az elektromágneses impulzusok mesterséges előállítása, illetve azok kiszűrése ezzel szemben igen költségesnek bizonyult, s a kapott eredmények is ellentmondásosak.

Az adatok ismeretében az a vélemény alakult ki, hogy az elektroklimatizálás komplex megoldásával — ionizálás, elektromos tér, elektromágneses impulzus — még korai foglalkozni, a tetemes költségek és a bizonytalan eredmények miatt.

Ezért a továbbiakban röviden csak az elektroklimatizálás témakörén belül a gyakorlati hasznosítás reális feltételeivel rendelkező ionkondicionálással foglalkozunk.

6.5.4. Az ionkondicionálás gyakorlati hasznosításának néhány példája

Közismert, hogy a levegő 21 térfogat% oxigént tartalmaz, belélegzésekor ebből a szervezet megterhelésétől függően (emésztés, fizikai munka stb.) különböző mennyiségű oxigént használ fel, ami a tüdőn keresztül a vérbe diffundál, és a haemoglobinhoz kötődve az érhálózat segítségével eljut a szervezet minden részébe. A szövetekben lejátszódó oxidációs folyamatok fontos szerepet töltenek be olyan fiziológiai funkciók elvégzésében, mint a sejtregenerálás, hőtermelés, sejtlégzés helyreállítás stb. Ezenkívül jelentékeny mennyiségű oxigén kerül a bőrlégzésen keresztül a szervezet felületi rétegébe, ahol fontos hőszabályozási feladatot is ellátva befolyásolja a hőérzetet.

Bár a mérések azt bizonyítják, hogy az oxigén a levegőben mindenütt egyforma mennyiségben van jelen, épületekben, zárt helyiségekben dolgozóknál mégis olyan tüneteket lehet megfigyelni, amelyek a szervezet elégtelen oxigénellátására vezethetők vissza. Néhány évvel ezelőtt a szakemberek véleménye az volt, hogy a korszerű szellőzéstechnikai berendezések precíz beállításával a tünetek megszüntethetők. Az egyénileg változó oxigénszükséglet okozta problémát pl. megnövelt légcserével és gondosan szabályozott légnedvességgel igyekeztek megoldani. Azonban a hagyományos klímaparaméterek leggondosabb beállításával is csak a tünetek egy része csökkent. Ennek oka, hogy a külső és belső tényezők következtében megnövekedett CO_2-koncentráció, az esetenként megemelkedő belső léghőmérséklet, valamint a gázmolekulák deionizált állapota — mesterséges ionizálással nem rendelkező zárt terekben az ionkoncentráció értéke gyakorlatilag zérus — miatt az oxigén parciális nyomása a helyiségekben csökken, és ezért a szervezet kevesebb oxigént tud felvenni.

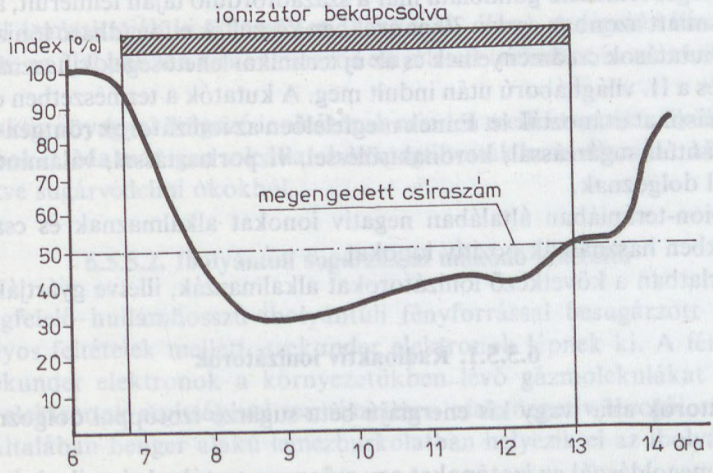
A könyv témaköréből adódóan azonban legfontosabbak azok a vizsgálatok, amelyek megállapították, hogy az oxigén atomszerkezetéből adódóan a negatív levegőionok zöme oxigénmolekula, illetve molekulacsoport. Az elmúlt években Sulman és Poillet (1976) kutatásai kimutatták, hogy a természetben a levegő oxigénjének parciális nyomása és az O_2-molekula elektromos töltése között szoros összefüggés van. A vizsgálatok alapján a kutatók a negatív oxigéniont „légzéskatalizátor"-nak nevezték el. A negatív elektromos töltésű oxigénmolekulákból, a magasabb parciális nyomás (p_{O_2}) következtében — ha eljutnak az alveolusokba vagy az egyéb légzésben részt vevő helyekre — több kerül a szervezetbe, mint az ott lévő egyéb (CO_2, N_2) gázmolekulákból. Ezzel szemben, ha a belélegzett levegő gázmolekulái semlegesek vagy pozitív elektromos töltésűek, a p_{O_2} értéke csökken, a p_{CO_2} emelkedik, így az oxigénhiány következtében légszomj keletkezhet. Az oxigén parciális nyomását és ennek hatására a szervezet oxigén felvételét tehát az oxigénmolekulák mesterséges ionizálásával egyszerűen — további vizsgálatok igazolták, hogy gazdaságosan is — lehet növelni

A tapasztalatok szerint a korszerű, megfelelő szűrővel ellátott és gondosan karbantartott komfortklímaberendezés is megakadályozhatja, hogy kívülről baktérium vagy más fertőző csíra kerüljön a klimatizált helyiségbe. Egy speciális szűrőrendszerrel ellátott kórházi klímaberendezés teljesen csíramentes levegőt szolgáltat.

Levegőhigiéniai szempontból mégsincs minden rendben, ugyanis benn tartózkodik a fő szennyező faktor — az ember. A bőrről, hajszálról leváló levegőrészecskék,

valamint a beszéd közben, köhögéskor szerte repülő mikroaeroszolok az állandó légmozgás következtében elvégzik a baktériumhordozó feladatot. Nem jobb a helyzet a központi fűtésű helyiségekben sem, ahol a fűtés okozta légáramlás, valamint az ott dolgozók mozgása órákig lebegteti a kis sűrűségű mikroaeroszolt, melyekhez a baktériumok tapadnak.

Az NSZK-ban végzett vizsgálatok szerint, különösen a modern vasbeton épületek helyiségében lebegnek hosszú ideig a fertőző csírák. A betonvasháló árnyékolja a Föld elektromos terét, és ennek hiányában a levegőben a lebegő szubmikroszkopikus részecskék szedimentációja rendkívül lelassul, így a fertőzés lehetősége hosszú ideig megmarad.



6.36. ábra. A kórterem levegőjének csíraszám-csökkenése ionkondicionálás hatására (Sváb 1976)

A levegőben lebegő csírák száma rohamosan csökken, ha levegőionizátorokat alkalmazunk — akár egyéni használatra, akár a légkondicionálóba épített változatot. A mesterséges levegőionok következtében ugyanis az elektromos töltést kapott szubmikroszkopikus részecskékhez semlegesek is csapódnak, így azok mérete, tömege 4megnövekszik, és a légmozgás ellenére is viszonylag gyorsan leülepednek. A kialakult elektromos tér is gyorsítja a percipitációt. A magyar és az USA-beli kutatók vizsgálatai azt is kimutatták, hogy a negatív levegőionok hatására a levegőben lebegő csírák nagyrésze elpusztul. Ezt mutatjuk be a *6.36. ábrán*, amelyen egy erősen fertőzött levegőjű kórteremben alkalmazott ionkondicionálás csíraszámcsökkentő hatása látható (Sváb 1976).

Az előzőek alapján megállapítható, hogy a negatív levegőionokkal történő kondicionálás esetén, a szervezet oxigénfelvételének növekedése, valamint a levegőben lebegő csírák számának csökkenése következtében, részben kedvezőbbé válnak a mikroklíma-paraméterek, részben a hasonló állapot biztosítása kisebb szellőztetési teljesítményt igényel. Az első esetben a követelmények (pl. kórházi műtők) fokozottabb

kielégítésére nyílik mód, második esetben pedig a beruházási és üzemeltetési költségek csökkennek jelentősen.

Végül ismét felhívjuk a figyelmet egy hosszabb időtartamú (16 hónapos) helyszíni vizsgálatról készült táblázatra (6.6. táblázat), amely Jokl és Rohles (1987) nevéhez fűződik. A mérések a szubjektív hőérzettel kapcsolatosan, amelyeket egy ionizátoros és egy ionizátor nélküli időszakban rögzítettek. Az eredmények és ionizátorok alkalmazásának kedvező hatását igazolják.

6.5.5 A levegőionizátorokról

A mesterséges ionizáció gondolata már a századforduló táján felmerült, a technikai nehézségek miatt azonban csak a 30-as években készültek elfogadható ionizátorok. A magfizikai kutatások eredményeinek és az új technikai lehetőségek kihasználásával az ipari fejlődés a II. világháború után indult meg. A kutatók a természetben előforduló ionizáló hatásokat utánozták le. Ennek megfelelően az ionizátorok röntgen-, radioaktív és ibolyántúli sugárzással, koronakisüléssel, vízporlasztással, valamint termikus ionizációval dolgoznak.

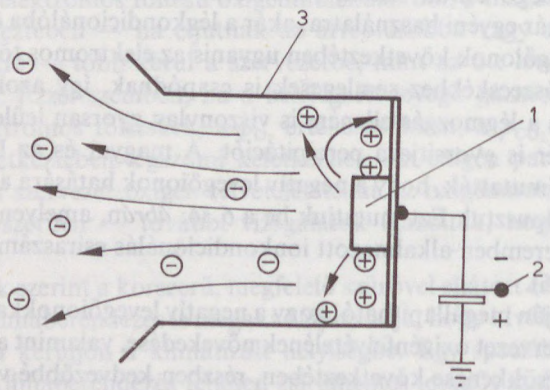
A levegőion-terápiában általában negatív ionokat alkalmaznak és csak ritkán, egyes esetekben használnak pozitív ionokat.

A gyakorlatban a következő ionizátorokat alkalmazzák, illetve gyártják.

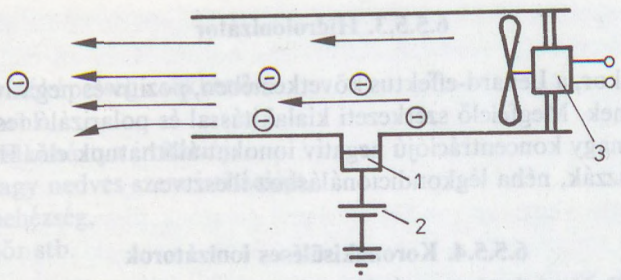
6.5.5.1. Radioaktív ionizátorok

Az ionizátorok alfa- vagy kis energiájú béta-sugárzó izotóppal dolgoznak (Sváb 1986, 1987).

Az egyik megoldásnál az izotópokat egy műanyag tartóba helyezik el, és az izotóp fémburkulatára kapcsolt polarizáló feszültség segítségével biztosítják az unipoláris levegőionokat. A henger alakú műanyag tartóból a levegőionok a kialakult elektromos tér segítségével jutnak ki a levegőbe *(6.37. ábra)*. A másik megoldásnál ventilátor



6.37. ábra. Elektromos tér segítségével működő ionizátor elvi vázlata (Sváb 1986)
1. radioaktív izotóp, 2. polarizálófeszültség, 3. burkolat



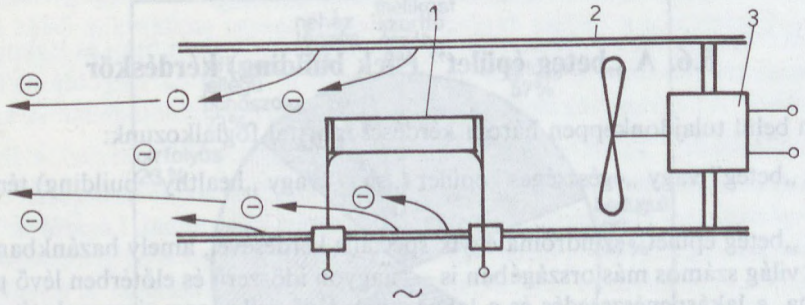
6.38. ábra. Ventilátoros ionizátor elvi vázlata (Sváb 1986)
1. UV sugárzó, 2. fémburkolat, 3. ventilátor

segítségével áramoltatják ki a levegőionokat *(6.38. ábra)*. A régebbi készülékekben poloniumot, az újabbakban zirkonlemezbe elnyeletett tríciumot és ameríciumot használnak.

A radioaktív anyaggal dolgozó ionizátorok minden melléktermék nélkül állítják elő a levegőionokat. Ma már igen sok államban megtiltották használatukat, környezetvédelmi, illetve sugárvédelmi okokból.

6.5.5.2. Ibolyántúli sugárzással működő ionizátor

Egy megfelelő hullámhosszú ibolyántúli fényforrással besugárzott fémfelületből, bizonyos feltételek mellett, szekunder elektronok lépnek ki. A fémfelületből kilépő szekunder elektronok a környezetükben lévő gázmolekulákat ionizálják. A szabad elektronok segítségével természetesen csak negatív levegőionok állíthatók elő. Általában henger alakú lemezburkolatban helyezik el az ibolyántúli fény-



6.39. ábra. Ibolyántúli sugárzással működő ionizátor elvi vázlata (Sváb 1986)
1. UV sugárzó, 2. fémburkolat, 3. ventilátor

forrást, és az ionizált levegőt ventilátorral fújják ki. Az ilyen fajta ionizátorok csak helyiség ionizálására alkalmasak, a hatásfokuk viszonylag alacsony *(6.39. ábra)* (Sváb 1986).

6.5.5.3. Hidroionizátor

Vízporlasztáskor, a Lenard-effektus következtében, pozitív és negatív töltésű aeroszolok keletkeznek. Megfelelő szerkezeti kialakítással és polarizáló feszültség alkalmazásával elég nagy koncentrációjú negatív ionokat állíthatunk elő. Helyiségionizátorként alkalmazzák, néha légkondicionáláshoz illesztve.

6.5.5.4. Koronakisüléses ionizátorok

Ma már világszerte a koronakisüléses ionizátorokat használják különböző célokra. Magyarországon is ezt az ionizátortípust fejlesztették és gyártják, már 1969 óta. A gyakorlati kivitelnél ugyanis igen jól felhasználhatók a korszerű félvezetők és a műanyag szerkezeti elemek. Ez lehetővé tette, hogy az ionizátorok mérete és súlya világviszonylatban a legkisebbek közé tartozzon. A korszerű konstrukció igen nagy variációs lehetőséget biztosít. A lakásban használható formatervezett készüléktől a gépkocsiban és trópusi körülmények között is üzembiztosan működő vagy a légkondicionáláshoz adaptálható ionizátorig minden változat kialakítható. A koronakisüléses ionizátor működési elve röviden a következő. Az igen kis átmérőjű ionizáló elektródára nagy egyenfeszültséget kapcsolunk. Az elektróda csúcsa körül kialakult erősen inhomogén elektromos tér hatására a csúcs, illetve csúcssor környezetében lévő gázmolekulák ionizálódnak. Ha az elektródára negatív feszültséget kapcsolunk, a keletkező ionpárokból a pozitív ionok azonnal rekombinálódnak a csúcson, a negatív ionok, az elektrosztatika törvénye szerint, nagy sebességgel sugár irányban szétrepülnek.

A koronakisüléskor keletkező O_3 és NO_x molekulák megfelelő konstrukcióval kiküszöbölhetők, illetve számuk minimálisra csökkenthető. Ez az ionizátorfajta dolgozik a legjobb hatásfokkal.

6.6. A „beteg épület" (sick building) kérdéskör

Ezen belül tulajdonképpen három kérdéscsoporttal foglalkozunk:

— a „beteg" vagy „egészséges" épület („sick" vagy „healthy" building) témakörrel,

— a „beteg épület" szindróma egyik speciális kérdésével, amely hazánkban — de a világ számos más országában is — nagyon időszerű és előtérben lévő probléma, a lakáspenészesedés és a lakásokban lévő mikroorganizmusok témaköre,

— az ún. „intelligens épület" (smart building) témájával.

6.6.1. A „beteg" vagy „egészséges" épület témaköre

Az ún. „beteg épület" (sick building) szindróma gyakorlatilag „modern" betegségnek tekinthető, amely zárt terekben tartózkodó embereknél jelentkezik, és szimptómái meglehetősen széles körűek:

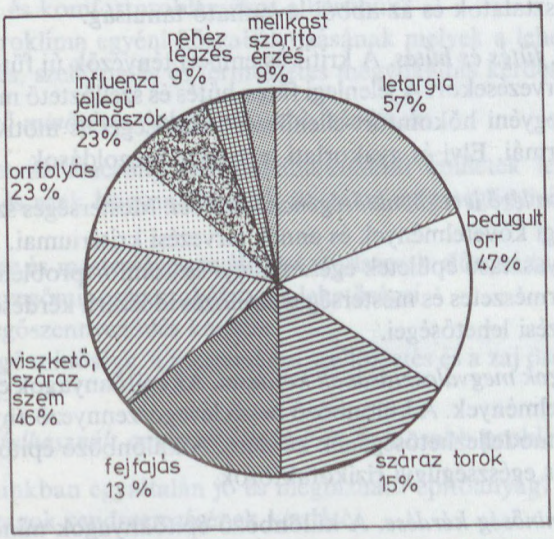
— letargia,
— fejfájás,
— koncentrálóképesség-csökkenés,
— száraz torok,
— az orrnyálkahártya irritációja,
— száraz vagy nedves szem irritációja,
— légzési nehézség,
— száraz bőr stb.

Egy Stephen (1987) által készített összetett ábrát mutatunk be *(6.40. ábra)* az egyes betegségfajták százalékos összetételére vonatkozóan.

Az okozók különböző szennyezőanyagok (Fischer és Schneider 1986, FEHVA 1987):

— kémiaiak (formaldehid, kénsavszármazékok, NO_2 stb.)
— allergének,
— mikroorganizmusok,
— a negatív ionok alacsony száma a levegőben stb.

Általában a belső tér levegőminőségével hozzák szoros összefüggésbe a jelenséget, és napjainkban a belső terekkel foglalkozó kutatások egy legdivatosabb, legjobban előtérben lévő problémája. A témakör fontosságára misem jellemzőbb, minthogy mind a „beteg" (sick building), mind ennek ellentéte, az „egészséges épület" (healthy building) témakörében nagy érdeklődéssel, magas részvétellel, szinte évente tartanak nemzetközi konferenciát. A témakör emellett napjainkban, egyéb épületekkel foglalkozó konferenciák esetében is legalább egy szekció erejéig napirendre kerül.



6.40. ábra. A „sick building" panaszok százalékos megoszlása (Stephen 1987)

Napjainkban egyébként hasonló vonatkozásban világszerte szinte állandó téma a szakmai publikációkban, konferenciákon, szimpóziumokon az ember és épület „egészségügyi" vonatkozású kapcsolata. Az egészségügyet azért kell idézőjelbe tennünk, mert tulajdonképpen az épület olyan jellegű hatásmechanizmusainak vizsgálatairól van szó, amelyek az ember szubjektív komfortérzetét és egészségét is kedvezőtlenül befolyásolják. A kihatás legtöbbször nem gyors és/vagy katasztrofális az ember egészségére, azonban hosszútávon kétségtelenül zavaróak, illetve károsak lehetnek. A témakör nagyon szerteágazó; a biológiai hatásoktól a fizikaiakig minden belefoglalható. A jelenség nemzetközi gyűjtőneve vagy „sick" vagy „healthy" tehát beteg, illetve egészséges épület. Az első csoportba sorolható munkák inkább a diagnózis, a második csoportba sorolható a terápia szempontjából közelítik meg a témát. Mindkét megfogalmazás célja optimális, egészséges épületek létrehozása.

A tématerület legfontosabb problémáit a következőkben foglaljuk össze, csoportonként. Az egyes kérdésekre vonatkozóan, különböző szakirodalmi adatokat összegyűjtve, a következő nyolc legfontosabb kérdéscsoport határolható el:

1. *A radonprobléma technikai megoldásai.* A különböző radonforrások fontossági sorrendje a felhasználók szempontjából. Javasolt technikai megoldások a radon eredetének meghatározására, valamint a minőségi ellenőrzés kérdései.

2. *A földből származó emissziós szennyeződések.* A különböző talajból származó emissziós szennyeződések a közegészségügy szempontjából. Javasolt technikai megoldások a talajszennyeződések épületekre gyakorolt hatásának elkerülésére.

3. *A nedvesség és légzáró képesség épületfizikai kérdései.* Hogyan tarthatók az épületek megfelelő szárazon, egészségügyi szempontból? Hogyan kerülhető el a felületi kondenzáció? Milyen légtömörség szükséges az épületekben? Az épületfizikai alapismeretek. Egyszerű és komplikált nedvesség- és légtömörség-problémák megoldása. Kedvezőtlen tapasztalatok és az abból levonható tanulság.

4. *Hőkörnyezet, fűtés és hűtés.* A kritikus emberi tényezők új fűtő- és légkondicionáló rendszerek tervezésekor. A jelenlegi fűtés-hűtés és szellőztető megoldások fejlesztési kérdései. Az egyéni hőkomfort-ellenőrzés lehetőségei és motívumai. A kritikus emberi reakció formái. Elvi és gyakorlati technikai megoldások.

5. *Az épületekben lévő levegő minőségének kérdései.* Mesterséges szellőzéssel biztosított levegőtisztasági követelmények és ennek tervezési kritériumai. Légszűrők kérdése. Kis energiafogyasztású épületek egészségügyi és komfortproblémái a levegőminőség tükrében. A természetes és mesterséges szellőzés időszerű kérdései. A levegőminőség egyéni ellenőrzési lehetőségei.

6. *Az építőanyagok megválasztásának kérdései.* Az építőanyagok emissziós tényezői és az emberi követelmények. A különböző belső levegőszennyező anyagok eredetének és a szennyeződés modellezhetőségének kérdése. A különböző építőanyagok használatával kapcsolatos egészségügyi rizikófaktorok.

7. *A megfelelő minőség kérdése.* A különböző építőanyagok minőségének kérdése a szabványosítás tükrében. Az épületszerkezetek minőségi kérdései. A „sick buil-

dings" és „healthy buildings" meghatározó kritériumai. Az épületfenntartás ellenőrzésének problémája egészségügyi szempontból. Épületfelújítási problémák.

8. *Építéspolitikai és szabályozási kérdések.* Az egészséges épületekkel kapcsolatos építéspolitikai és szabályozási problémák. Az egészséges komfort optimális összefüggései. A szellőzésnél felhasznált külső levegő szabályozásának kérdései.

A nyolc témakör problémái egy másik csoportosítás szerint hét csoportra oszthatók, és ezeken belül a fontosabb részproblémák a következőkben rögzíthetők:

1. *Az épületek elhelyezése és tervezése környezetvédelmi szempontból.* Ezen belül a fontosabb kérdések:

— A talaj radonkisugárzásának kérdése.
— A talajemissziós problémák.
— A külső levegő szennyeződésének kérdése.
— A város és épület kapcsolata környezetvédelmi szempontból.
— A talajt érő szennyeződések problémaköre.

2. *Épületfizikai kérdések.* A fontosabb problémakörök a következők:

— A külső nedvesség hatásai ellen hogyan óvhatók meg az épületek?
— Az épületek légtömörségének mi a valódi oka és ez milyen módon érhető el?
— Az épületek határoló szerkezeteinek témaköre.
— Az épületek infiltrációjának kérdése.

3. *Hőkörnyezet, fűtés és hűtés.* A legfontosabb kérdések:

— Hogyan érhető el a jó belső mikroklíma?
— Hogyan lehet kis energiafogyasztású épületeket úgy kialakítani, hogy az egészségügyi és komfortproblémákat elkerüljük?
— A belső mikroklíma egyéni hőszabályozásának melyek a lehetőségei?
— A fűtés, hűtés, szellőztetés és természetes megvilágítás kérdései.

4. *A belső levegő minősége.* A legfontosabb kérdések:

— Mi a helyzet az alacsony energiafelhasználású épületek levegőminőségének kérdésében, és ezek hogyan függnek össze az egészségügyi és komfortproblémákkal?
— A természetes és mesterséges szellőzési rendszerek előnyei és hátrányai.
— Az egyéni levegőminőség-szabályozás lehetőségei.
— A belső levegőszennyeződés kérdése.
— A belső levegő minősége, a mesterséges szellőztetés és a zaj összetartozó problémacsoportja.

5. *Az építésnél felhasznált anyagok kérdése.* A fontosabb problémák:

— Van-e napjainkban egyáltalán jó és megbízható építőanyag?
— Az építőanyagok rendszerezésének kérdése.

6. *Az építőanyagokkal, mikrokörnyezettel stb. kapcsolatos minőségi követelmények.* A fontosabb kérdések:

— Hogyan lehet beteg épületből egészséges épületet csinálni?
— Milyen mérési és diagnosztikai módszereket alkalmazzunk?
— Milyen legyen az ellenőrzési technológia?
— Az épületet megrendelő, illetve építtető elvárásai és követelései.

7. *A szabályozási és előírási kérdéscsoport.* A fontosabb kérdések:

— A javasolt legújabb levegőcsereszámok.
— A légcsereszámok drámai változásának melyek a racionális motívumai és hatásai?
— Mi az ára az egészséges épületeknek?

Mint az előzőekből látható, a témakör nagyon összetett és véglegesen kialakult, illetve általánosan alkalmazható törvényszerűségek nem fedezhetők fel, de ugyanakkor nagyon sok publikáció található a témában, ezek mintegy összefoglalásként egy részleges publikációs listára hívjuk fel a figyelmet, amely jó áttekintést nyújt a különböző kérdésekről: Beckert és mtsai (1986), Berglund és mtsai (1986), Fanger (1987a, b, c), Kröling (1987), Krumbein és mtsai (1987), Krusche és mtsai (1982).

Megjegyezzük, hogy a „sick building" jelenség egyes szimptómáit, illetve kiküszöbölési lehetőségeit röviden a korábbiakban már elemeztük, a 6.4. és 6.5. alfejezetekben is.

Mindenesetre általánosságban megállapítható, hogy

— téli, tehát zárt nyílászárók mellett üzemelő, általában középületekben fordul elő tömegesen,
— a középületek közül is nagy az előfordulási gyakorisága az „ultramodern" épületeknek, a legújabb anyagokat, légkondicionáló berendezéseket stb. alkalmazók esetében.

Végül a téma fontosságát alátámasztó angol adatsor egy középület 4373 dolgozójának felméréséből (Reinders 1969):

a) A megkérdezetteknek 80%-a a panaszokat munkahelyével hozta összefüggésbe,
b) a megkérdezetek 25%-ánál egy vagy két szimptóma jelentkezett, 29%-ánál 5 vagy több szimptóma,
c) a legáltalánosabb szimptómák százalékos megoszlása:

— letargia	57%,
— orrnyálkahártya-túltengés	47%,
— száraz torok	46%,
— száraz, könnyező szem	46%,
— fejfájás	43%.

6.6.2. A lakáspenészesedés és a lakásokban előforduló mikroorganizmusok kérdése

Napjaink egyik végleges megoldásra váró kérdése, illetve problémaköre a lakáspenészesedés, amelyet egyben a „beteg épület" (sick building) szindróma egyik potenciális okozójának is tekintenek, bár kétségtelen, hogy a penészesedés inkább lakásokban, míg a „beteg épület" szindróma főleg középületekben lép fel. A penészesedést viszont a lakáson belül előforduló mikroorganizmusok és egyéb szervezetek kategóriájába sorolják.

A kérdéskör hazai vonatkozásaival kapcsolatban

— hivatkozunk Ryakné és Friss (1988) munkájára, és idézünk Novák (1990) e témakörben megjelent közleményéből, valamint
— elemezzük a kapilláris kondenzáció kérdését Zöld és mtsai (1990) publikációja alapján, végül
— ismertetjük egy penészesedés okait vizsgáló helyszíni méréssorozat eredményeit (Balázs 1989).

6.6.2.1. A lakások gombaszennyezettségének egészségügyi vonatkozásai

E szakterület elismert hazai szakértőjétől, Nováktól idézünk néhány gondolatot (Novák 1990):

„A gombák az élővilág általános szervesanyag-lebontó (recudens) szervezetei közé tartoznak, és mint ilyenek mindenütt előfordulnak, elsősorban a talajban, és ennek következtében, a vizekben és a levegőben is. A levegőből a növények által megkötött szén-dioxidnak az atmoszférába való hasznos visszajuttatása és más kedvező tevé-

6.8. táblázat. A humán gombás ártalmak, illetve betegségek (Novák 1990)

TOXINOS		
táplálkozási:	gombamérgezés	(micetizmus; a toxin a mérges gomba esetében)
	mikotoxikózis	(kibocsátott penésztoxinok)
bőr és légzőszervi nyálkahártya:	mikotoxikózis	(kibocsátott penésztoxinok)
ALLERGIÁS		
Külsődleges:	szénanátha	(holt vagy élő sejtek, illetve anyagcseretermékek)
	hörgőaszthma	(holt vagy élő sejtek, illetve anyagcseretermékek)
	légzőhólyagcsa gyulladás	(holt vagy élő sejtek, illetve anyagcseretermékek)
belső (intrinsic):		(a szervezetbe betelepült gombák anyagai)
SZÖVETI INVÁZIÓS		
kültakaró		
légzőrendszer	(nyálkahártya)	
emésztőrendszer	(nyálkahártya)	
húgy-ivarszervek	(nyálkahártya)	

kenységeik (antibiotikumok, vitaminok, élelmi és élvezeti anyagok termelése) mellett számos esetben kártevőként is fellépnek. Utóbbiak közé tartozik az ember használati tárgyainak és egyéb termékeinek károsítása mellett növény-, állat- és főleg emberpatogenitásuk is *(6.8. táblázat)*.

Tekintve, hogy a gombák okozta egészségkárosodások megelőzése nemcsak elvileg, hanem ökonómiailag is helyesebb, illetve előnyösebb, mint a költségesebb és nehézkesebb, valamint gyakran nemkívánatos mellékhatásokkal is járó gyógykezelés, az előbbire kell törekednünk minden rendelkezésre álló eszközzel.

Mivel a bioszféra minden zónájában, illetve közegében gombák kisebb-nagyobb mennyiségben szinte mindig jelen vannak, életfeltételeik és tűrőképességük széles spektruma következtében *(6.9.* és *6.10. táblázat)*, így gombaexpozíciónak állandóan ki vagyunk téve. Azonban ennek sem minősége, sem mennyisége nem közömbös, éppúgy mint szervezetünk diszpozíciója sem a találkozáskor.

A fentiek alapján nyilvánvaló, hogy a veszélyt jelentő gombaexpozíciók mérséklése elsőrendű egészségügyi feladat. Így a lakások, mint rekreációs élettér, levegőjének a külső levegőt meg nem haladó gombás szennyezettsége alapvető követelmény (kondicionálás, illetve légszűrés hiányában). Ebből a szempontból az építészetnek és az egészségügynek az együttműködése kötelező érvényű. Így minden eszközzel el kell hárítani a gombáknak a lakásokba való betelepedését. Ehhez olyan mikroklímaviszonyokat kell teremteni, amelyek még „humánusak", de nem felelnek meg a gombáknak. Ez elsősorban a falak nedvességtartalmának a csökkentésével érhető el, mert a többi gomba-életfeltétel már eleve adva van a lakásokban (vö. 6.9. táblázat). További lehetőség gombaálló felületképzők alkalmazása, de ez a terület még kidolgozatlan,

6.9. táblázat. A gombák releváns életfeltételei (Novák 1990)

Tápanyag:	kevés szerves szénforrás, minimális nitrogénforrás (szerves vagy szervetlen; elemi nitrogén nem)
Levegő:	minimum 700 Pa ≈ 5 Hgmm (a normál érték 1 : 30-a) parciális oxigéntenzió (és szén-dioxid-eltávolítás)
Hőmérséklet:	fajtól függően −6 °C-tól kb. +60 °C-ig
Kémhatás:	fajtól függően pH = kb. 1-től kb. 9-ig
Nedvesség:	$a_v = 0{,}60$—$0{,}95$ vízaktivitás, illetve $ERP = 60$—95% egyensúlyi relatív páratartalom a tápanyagban, illetve a légtérben

6.10. táblázat. Néhány gombafaj extrém környezeti feltételeket tűrő képessége (növekedéshez) (Novák 1990)

Penicillium expansum	2% oxigén, 15% szén-dioxid
Penicillium roqueforti	4% oxigén, 80% szén-dioxid
Penicillium sp.	0,1 g/L uránil-szulfát
Aspergillus niger	67 g/L ólom-klorid
Rhodotorula sp.	7,4 mg/L higany-klorid
Hansenula sp.	6,0 mg/L ezüst-nitrát
Trichosporon cerebriforme	28% réz-szulfát 1,0 normál kénsav (szén- és nitrogénforrás jelenlétében)
Trichosporon cerebriforme	2,5 normál kénsav (szén- és nitrogénforrás jelenlétében)

mert egyelőre csak mérgek bevitelével érhető el, ami azonban újabb környezetszennyezéssel jár.

Hazai (és külföldi) tapasztalatok szerint, a lakások belső falfelületeinek párakondenzáció (felületi és kapilláris) következtében fellépő nedvesedése napokon belül kiterjedt gombásodáshoz, penészgombatelepek, -gyepek kialakulásához vezet, ami a lakáslevegő nagymérvű gombaszennyezését eredményezi. A falakon történő páralecsapódásnak „jelenleg" több tényező is kedvez:

1. kis kubatúrájú lakásban nagy lakósűrűség (szociális helyzet),
2. ebből adódóan fokozott páratermelés (mosás, főzés, lélegzés stb.),
3. gyenge páraelvezetés (rossz szellőzésű fürdőszoba, energiatakarékosság miatt légzáró ablakok stb.),
4. a főfalak „kritikus" hőszigetelése (hőhidak stb.),
5. „csökkentett" (gyakran szakaszos) fűtés (energiatakarékosság?).

Az eredmény a harmatpont alá került belső falfelületek.

A szabad (outdoor) levegő gombaelem-tartalma általában nem jelentős, illetve a földrajzi helyzet és az évszak függvénye, amennyiben hidegebb időszakban a környező talajban és növényzeten nem szaporodik a gombák jelentős része. Így a levegő légköbméterenkénti gombaelemszáma néhány tíz és néhány száz között ingadozik az év során. Ezres nagyságrendet csak akkor ér el, amikor a talajgombák és a növénypatogének számára különösen jó életfeltételek alakulnak ki valahol, és akkor is csak átmenetileg. Ezzel szemben penészes falú lakásokban, mivel ott az életfeltételeik állandóan jók, illetve biztosítva vannak, néhány tízezres értékek is kialakulnak, és tartósan meg is maradnak. Az általunk mért maximum 40 000 g. e./légm^3 volt, ráadásul az erősebben allergén sötéten pigmentált fajok igen nagyarányú részvételével. Hozzá kell tennünk, hogy a penészes falú lakásokban fennálló nagymérvű levegőszennyezés, illetve gombás expozíció jóval meghaladja azt az értéket — 500 g. e./légm^3 — ami az ember tüdeje szempontjából még nem jelent túlterhelést. Azaz nemcsak arról van szó, hogy allergizáló, toxinhordozó vagy éppen szöveti invázóra képes voltuk miatt veszélyes a belélegezhető méretű gombaelemeknek a levegőben való feldúsulása, hanem káros is, a tüdő idegen anyagokat eltávolító képességének a megterhelése miatt."

6.6.2.2. Kapilláris kondenzáció és penészképződés

A határolószerkezetek penészesedésével kapcsolatban egy új fogalmat kell megismernünk, és ez a kapilláris kondenzáció (Zöld és mtsai 1990). Ennek magyarázata a következő.

A belső felületképzés elemi méretű üregeiben, járataiban (a kapillárisokban) a folyékony halmazállapotú víz már akkor megjelenik, amikor még messze vagyunk a telítési légállapottól, a harmatponti hőmérséklettől. A levegő relatív nedvességtartalmának egy bizonyos értékénél a kapillárisok teljes keresztmetszetét kitöltő folyékony víz megjelenésével kell számolnunk. A levegő relatív nedvességtartalmának ezt az értékét, a kapilláris kondenzáció határértékének nevezzük, és a továbbiakban φ_{kk}-val jelöljük. Ez a φ_{kk} érték a felületivel azonos hőmérsékletű levegőben értendő!

Ha ismerjük a belső levegő hőmérsékletét és relatív nedvességtartalmát, akkor azt is meg tudjuk határozni, mennyi a belső levegő abszolút nedvességtartalma. A kérdés ezek után az, hogy az adott x gramm abszolút nedvességtartalmú, a felülettel megegyező hőmérsékletű levegőnek mekkora a relatív nedvességtartalma. Ha ez utóbbi a φ_{kk}-t eléri vagy meghaladja, kapilláris kondenzáció alakul ki.

A szokásos felületképzésekre $\varphi_{kk} \approx 75\%$, az egyes anyagoknál ettől csak csekély, néhány százalékos eltérést tapasztalunk.

6.6.2.3. A penészképződés hő- és páratechnikai feltételei

A penészképződés szükséges előfeltétele tehát a kapilláris kondenzáció létrejötte és huzamosabb fennállása. Ahhoz, hogy a penészedés valóban bekövetkezzék, még egyéb feltételeknek is fenn kell állniuk (spóra, oldott tápanyag, pórusméret).

A huzamosabb fennállás azt jelenti, hogy a tapasztalat szerint három-öt egymásra következő nap folyamán kell a kapilláris kondenzációnak fennállnia ahhoz, hogy a penészképződés folyamata beinduljon.

Ha a kapilláris kondenzációt megakadályozzuk, akkor a penészesedést megelőzzük.

Ha a kapilláris kondenzációt nem akadályozzuk meg, akkor a penészképződés elmaradása a következő okok egyikére vezethető vissza:

— a helyiség levegőjében nem volt spóra (szinte valószínűtlen eset),
— nincs oldott tápanyag (ugyancsak kis valószínűségű eset),
— a felületképzés mérgező-gombaölő szerrel van kezelve (ez utólagos javításoknál előforduló, átmeneti hatású eljárás, de a mérgek megjelenése a lakásban nem előnyös),
— a felületképzés pórusainak átmérője a gombafonalakhoz viszonyítva „túl szűk" (ennek kísérleti ellenőrzése a közeljövőben várható).

A kapilláris kondenzáció megakadályozása végett a helyiségben olyan légállapotot kell biztosítani, hogy még a felületi hőmérséklet mellett is teljesüljön a $\varphi_f < \varphi_{kk}$ feltétel. Ehhez az szükséges, hogy ne engedjük a helyiség levegőjének nedvességtartalmát egy bizonyos érték fölé nőni.

6.6.2.4. A helyiség nedvességmérlege

A helyiségben keletkező nedvesség döntő többségét a szellőzőlevegővel távolítjuk el. Van természetesen páradiffúzió is a határoló szerkezeteken keresztül, és annak ismerete nagyon fontos a keresztmetszetek állagvédelme szempontjából, a helyiség nedvességmérlegét illetően azonban a diffúzióval távozó mennyiség elhanyagolhatóan kicsiny.

Ezzel az elhanyagolással a helyiség nedvességmérlege:

$$w = \dot{m}_t - \dot{m}_{be}, \tag{6.27}$$

ahol

w a nedvességfejlődés [g/h],
$\dot{m}_t$ a szellőzőlevegővel távozó nedvesség mennyisége [g/h],
$\dot{m}_{be}$ a szellőzőlevegővel behozott nedvesség mennyisége [g/h].

Bevezetve a vízgőz-koncentráció fogalmát:

$$w = \dot{V}_{sz} c_b - \dot{V}_{sz} c_k = \dot{V}_{sz} \Delta c \,, \tag{6.28}$$

ahol

c_b a távozó, tehát a belső levegőben levő vízgőz koncentrációja [g/m^3],
$\dot{V}_{sz}$ a szellőzőlevegő térfogatárama [m^3/h],
c_k a bejövő, tehát a külső levegőben lévő vízgőz koncentrációja [g/m^3].

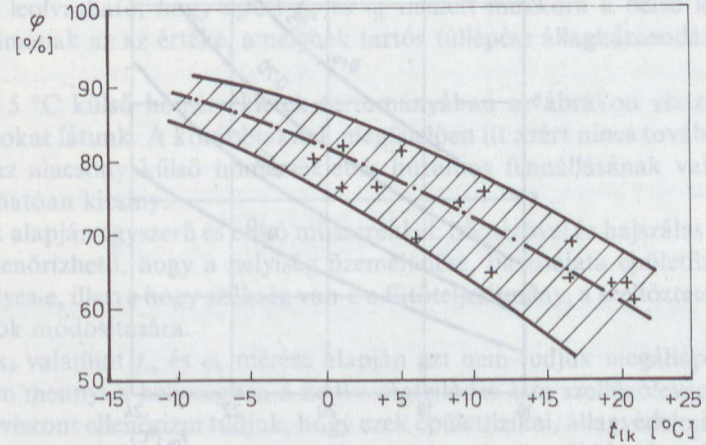
$$\Delta c = \frac{w}{\dot{V}_{sz}} \qquad \left[\frac{\text{g/h}}{\text{m}^3/\text{h}}\right] = \left[\frac{\text{g}}{\text{m}^3}\right] \tag{6.29}$$

értelemszerűen azt fejezi ki, hogy a helyiség átöblítése során mennyivel gyarapodott az egységnyi szellőzőlevegő-térfogatáram nedvességtartalma: ez az elszállított mennyiség.

Tehát az állagvédelmi ellenőrzés szempontjából a helyiségből „éppen távozni készülő" c_b vízgőz-koncentrációjú levegő állapota a meghatározó; ugyanakkor az, hogy az egységnyi szellőző légáram mennyi nedvességet képes felvenni, ha c_b értéke felülről korlátozott, attól is függ, hogy mekkora a környezetből belépő levegő c_k nedvességtartalma.

A külső levegő hőmérsékletének és relatív nedvességének legvalószínűbb összetartozó értékpárjait meteorológiai statisztikai adatok alapján *6.41. ábrán* vastagon kihúzott görbe mutatja. Az ábrán jelölt sáv az összetartozó értékpárok szórását mutatja.

A külső levegő hőmérsékletéből (t_{lk}) és relatív nedvességtartalmából (φ_k) kiindulva kiszámítható, hogy az előírt t_{lb} hőmérsékletű belső levegőnek valamilyen Δc vízgőzkoncentráció-növekvény mellett mekkora lesz a relatív nedvességtartalma (φ_b).



6.41. ábra. A külső levegő hőmérsékletének (t_{lk}) és relatív nedvességtartalmának (φ) legvalószínűbb összetartozó értékpárjai (Zöld 1989)

Látható, hogy a magasabb külső hőmérsékletek „veszélyesebbek", mert a környezetből belépő szellőzőlevegő abszolút nedvességtartalma nagyobb. Az ábra ugyan csökkenő φ_k értéket tüntet fel, de a t_{lk}, φ_k értékpárokat az $i-x$ diagramban megvizsgálva láthatjuk, hogy az abszolút nedvességtartalmak t_{lk} értékének emelkedésével ugyancsak emelkednek.

6.6.2.5. A kapilláris kondenzáció feltételei

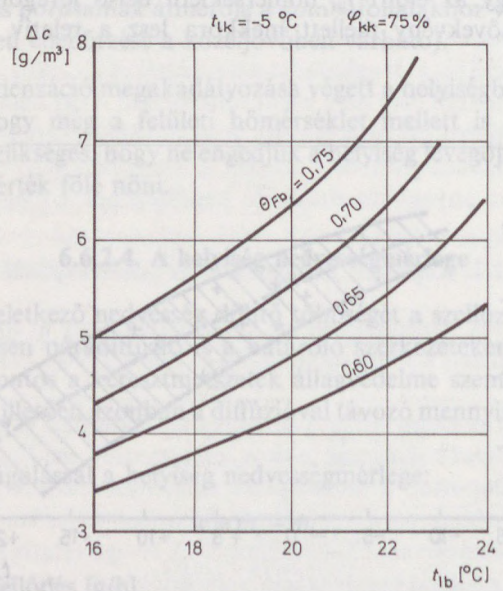
Az eddigiekben röviden bemutattuk, hogy összefüggés van a t_{lk}, φ_k külső légállapotjelzők, az egységnyi szellőző légárammal eltávolítható nedvesség mennyisége (Δc), valamint a t_{lb}, φ_b belső légállapotjelzők között. Ugyancsak láttuk, hogy összefüggés van a belső felület t_{Fb} hőmérséklete és az e hőmérsékleten megengedhető relatív nedvesség, valamint a t_{lb}, φ_b belső légállapotjelzők között.

Az említett összefüggésekkel elvégzett számítások rendszerezett eredményeit a *6.42. ábra* görbeserege foglalja össze. Az ábra arra az esetre vonatkozik, amikor $t_{lk} = -5$ °C és $\varphi_{kk} = 75\%$.

A $t_{lk} = -5$ °C a felületek állagvédelmi ellenőrzésének alapjául szolgáló külső hőmérséklet. Kiválasztásának szempontjait a korábbiakban indokoltuk.

A $\varphi_{kk} = 75\%$ azt jelenti, hogy a belső felületképző rétegben a kapilláris kondenzáció (a penészesedés feltétele) akkor kezd kialakulni, ha a felülettel megegyező hőmérsékletű levegő relatív nedvességtartalma 75% — az eddig ismert felületképzésekre ez a számszerű érték jellemző.

A belső felület hőmérsékletének döntő szerepe van, amelynek jellemzésére a sajátléptékben mért hőmérsékletet (Θ_{Fb}) használjuk. (Egyrészt azért, hogy az eredmé-



6.42. ábra. A kapilláris kondenzáció elkerülésére és méretezésére szolgáló diagram (Zöld és mtsai 1990)

nyeket ne kelljen minden egyes konkrét belső hőmérsékletre kidolgozni, másrészt azért, mert a hőhidak csomópontok jellemzésére is eleve ezt az értéket használják.) Ezek az értékek a görbék paraméterei. A sajátléptékben mért hőmérséklet egyébként meghatározható a

$$\Theta_{Fb} = \frac{t_{Fb} - t_{lk}}{t_{lb} - t_{lk}} \tag{6.30}$$

aránnyal, ami azt jellemzi, hogy az adott pont és a környezet közötti hőmérséklet-különbség hányadrésze a belső és külső hőmérséklet különbségének.

Ha tudjuk, hogy Δc legfeljebb mekkora lehet, akkor azt is tudjuk, hogy legalább

$$\dot{V}_{sz} = \frac{W}{\Delta c} \tag{6.31}$$

szellőzőlégáramra van szükség a helyiségben óránként fejlődő W mennyiségű pára eltávolításához.

Az előzőekben foglaltakat figyelembe véve került kidolgozásra a *6.43. ábrán* látható görbesereg, amely alkalmas a helyiségben megengedhető légállapotok meghatározására, a penészesedés elkerülését feltételezve (Zöld és mtsai 1990).

Minden egyes görbesereg egy-egy meghatározott sajátléptékben kifejezett felületi hőmérséklethez (Θ_{Fb}) tartozik, melynek értéke az ábrán fel van tüntetve.

Mindegyik ábra olyan belső felületképzésre vonatkozik, amelynél a kapilláris kondenzáció $\varphi_{kk} = 75\%$ relatív nedvességtartalom mellett kezdődik (ami a felületivel azonos hőmérséklet mellett értendő).

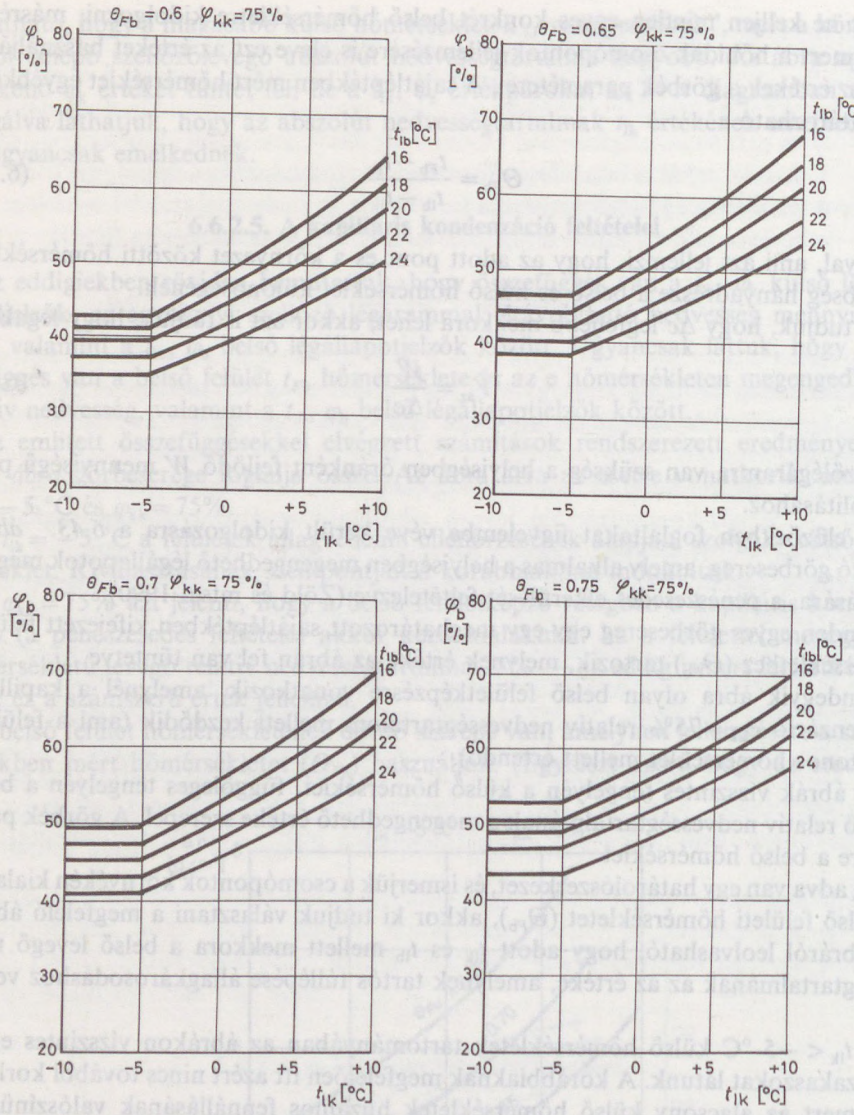
Az ábrák vízszintes tengelyén a külső hőmérséklet, függőleges tengelyén a belső levegő relatív nedvességtartalmának a megengedhető értéke szerepel. A görbék paramétere a belső hőmérséklet.

Ha adva van egy határolószerkezet, és ismerjük a csomópontok környékén kialakuló belső felületi hőmérsékletet (Θ_{Fb}), akkor ki tudjuk választani a megfelelő ábrát. Az ábráról leolvasható, hogy adott t_{lk} és t_{lb} mellett mekkora a belső levegő nedvességtartalmának az az értéke, amelynek tartós túllépése állagkárosodáshoz vezethet.

A $t_{lk} < -5$ °C külső hőmérsékletek tartományában az ábrákon vízszintes egyenes szakaszokat látunk. A korábbiaknak megfelelően itt azért nincs további korlátozás, mert az alacsony külső hőmérsékletek huzamos fennállásának valószínűsége elhanyagolhatóan kicsiny.

Az ábrák alapján egyszerű és olcsó műszerekkel: hőmérővel és hajszálas nedvességmérővel ellenőrizhető, hogy a helyiség üzemeltetése, használata épületfizikai szempontból helyes-e, illetve hogy szükség van-e a fűtőteljesítmény, a szellőztetési, használati szokások módosítására.

Az ábrák, valamint t_{lb} és φ_b mérése alapján azt nem tudjuk megállapítani, hogy számszerűen mennyi a helyiségben a nedvességfejlődés és a szellőzőlevegő térfogatárama, azt viszont ellenőrizni tudjuk, hogy ezek épületfizikai, állagvédelmi szempontból egymással összhangban vannak-e (figyelembe véve a többi adottságot — t_{lk}, Θ_{Fb} — is).



6.43. ábra. Diagram a helyiség megengedhető légállapotának meghatározására, a penészesedés elkerülése céljából (Zöld és mtsai 1990)

6.6.2.6. Egy, a penészesedés okait vizsgáló helyszíni méréssorozat eredményei

A penészesedés témakörében egy hazai helyszíni vizsgálatsorozat eredményeit, megállapításait ismertetjük röviden, amely Balázs (1989) nevéhez fűződik és jól jellemzi a témakört, problémáit. Elöljáróban idézzük a lakáspenész klimatikus életfeltételeivel kapcsolatos megállapításunkat: „Az építőanyagok kapilláris kondenzációjával kapcsolatos és részben mikrológiai természetű kutatások alapján a járatos építő-

és belső bevonati anyagok nagy többségére a gombaképződés mikroklimatikus feltételét közelítőleg és egyszerűsítve úgy fogalmazhatjuk: a felületképző anyagban a kapilláris kondenzáció fellép és fennmarad, ha a felületi határrétegben a levegő relatív páratartalma 75%-ot elér vagy túllép. Ha ez a feltétel 72 órán át fennáll, a gombaspórák vannak jelen, azok megfelelő 'táptalajban' megkapaszkodva megmaradnak, életrekelnek.

Így a penészesedés szempontjából ez a felületi páratartalom kritikus küszöbértékének tekinthető..." A vizsgálatokat egyébként Kecskeméten, két, 10 szintes lakóépületben végezték. A vizsgálatok kiterjedtek

— a meteorológiai adatok,
— a lakásokban a léghőmérséklet és a légnedvesség,
— a szellőzési légforgalom,
— a lakásokon belüli nedvességterhelés

témaköreinek részletes ellenőrzése.

Röviden összefoglalva a 10 penészes és 19 penészmentes lakásból beérkezett felmérőívek válaszait, a penészesedés rizikófaktorait a következőkben foglalták össze:

— A penészes lakások átlagos lakósűrűsége magasabb.
— A penészes lakások nedvességtermelése kb. 30%-kal magasabb.
— A penészmentes lakások szellőzési indexe 20%-kal magasabb.
— A penészes lakások lakói „fázósabbak", úgy érzik, hogy a szellőztetés hőfedezete csak 20%-os. Ugyanez az érték a penészmentes lakásokban 55%.
— A gépi szellőzést a lakók kisebbsége érzékeli, és gyakorlatilag senkit sem zavar.

A penészképződés és klimatikus feltételek összefüggéseire pedig megállapításaik a következők voltak:

„a) A penészesedést a falsarokban, néhány esetben az ablakok beépítésénél tapasztaltuk.
b) A vizsgálati időszakban új penész panaszról nem szereztünk tudomást, ilyen nem lépett fel.
c) A mérések igazolták, hogy minden olyan helyiségben, ahol penész van (vagy a vizsgálatok alatt, előtt volt) a felületi páratartalom 75%-ot meghaladó értéke, legalább egyszer, 72 órán át fennállt.
d) Ahol soha nem volt a felületi páratartalom 75% felett huzamosan (72 óra) ott nincs és nem volt penész."

6.6.3. Az „intelligens" épület témaköre

Az utóbbi két-három évben egy újabb fogalom kezdett elterjedni, és ez az „intelligens épület" (smart building). Ezen tulajdonképpen az egyre jobban szabályozott, automatizált, komputerizált épületek értendők, amelyekkel

— könnyebb biztosítani a benne tartózkodók maximális komfortját,
— a legkorszerűbb kommunikációs és szabályozó rendszerekkel teljesen automatizált üzemmód tartható,

— az előzőek eredményeképpen az épületek üzemeltetése energiatakarékos,
— az épületek flexibilitása maximális stb.

Mivel ez a téma nagyon sokféleképpen közelíthető meg, és tulajdonképpen nem képezi e könyv tárgyát, csak néhány, ehhez a témakörhöz kapcsolódó publikációra hívjuk fel a kérdéssel mélyrehatóbban foglalkozni szándékozók figyelmét (Filloux és Rubinstein 1989, Götz 1989, Kroner 1989, Macfanden 1989).

6.7. A vizuális komfort kérdése, különös tekintettel annak energetikai kihatásaira

Mint a könyv és e fejezet bevezetőjében említettük, napjainkban a belső terek mikroklímakomfortjának tervezésekor már nemcsak a hőkomfortot, hanem egyéb paraméterek emberre gyakorolt hatását is figyelembe kell venni, elsősorban a vizuális és akusztikai komfort kérdését. Sőt e paraméterekre való komfortméretezéskor nem külön-külön, hanem a többi tényezővel együttesen, a kölcsönhatások figyelembevételével kell elvégezni a feladatot. Ez utóbbi azonban ma még csak célkitűzés, elsősorban hosszabb távon.

Amikor az ember—épület—energia kapcsolatrendszert vizsgáljuk és a jelenlegi helyzetet akarjuk rögzíteni, akkor csak azt tehetjük, hogy külön-külön bemutatjuk az egyes paraméterek hatását, illetve figyelembe vételükre vonatkozó méretezési módszereket, előírási javaslatokat. Mivel emellett mind az akusztikai, mind a vizuális komfortnak önmagában könyvtárakra rúgó irodalma van és emellett ezen könyv terjedelme véges;

a) Az akusztikai komforttal egyáltalán nem foglalkozunk, mert annak energetikai kihatásai egyrészt specifikusabbak, másrészt túlságosan nagy területet ölelnének fel.
b) A vizuális komforttal is csak röviden foglalkozunk, ennek is csak két kérdéscsoportjával, mint e könyv témaköréhez legközelebb állókéval:

— a szín- és a szubjektív hőérzet összefüggéseivel,
— a mesterséges és természetes megvilágítás energetikai vonzataival.

6.7.1. A szín- és a szubjektív hőérzet összefüggéséről

Arra vonatkozóan, hogy a különböző színek hogyan befolyásolják a szubjektív emberi hőérzetet, a szakirodalomban számos publikáció található. Ezek közül az alapfogalmak bemutatására Nemcsics (1979) munkájából vettünk adatokat.

Először a színérzet fogalmáról általánosan alkalmazott definíció: Az a tudattartalom, amely akkor keletkezik, ha a megfigyelő a látótér két azonos méretű, alakú, szerkezetű, egymáshoz csatlakozó része között különbséget tud tenni a megfigyelt sugárzás spektrális eloszlásának eltérése következtében. Ez a színérzet három irányban változhat: színezetben, telítettségben és világosságban.

A színezet a látási érzetben jelentkező színek kék, zöld, sárga stb.

A telítettség alapján becsülendő, hogy valamely szín a vele azonos színezetű spektrumszín és spektrumszínnel azonos világosságú szürke között hol helyezkedik el. Azaz ez a fogalom egy adott színnek a vele azonos világosságú színtelentől való távolságát fejezi ki.

A világosság alapján pedig becsülhető, hogy egy adott felület mennyi fényt ver szórtan vissza, illetve enged szórtan át.

A telítettség és világosság véges határok között változik, a színezet változása folyamatos egy önmagába visszatérő görbén — a színkörön — valósul meg.

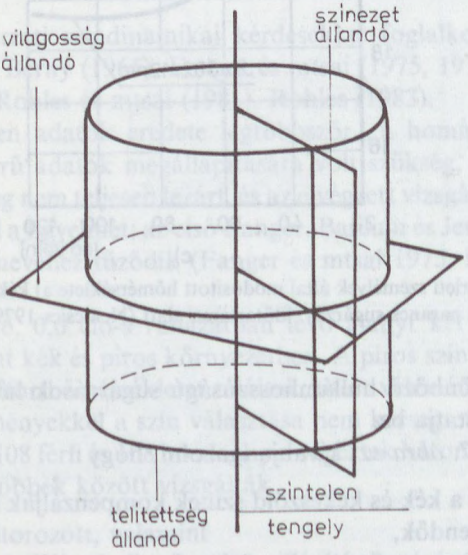
A fogalmak szemléltetésére alkalmas a hengerkoordináta-rendszerben bemutatott *6.44. ábra*. Az egyenlő színezetű színek a színtelentengellyel lezárt félsíkban foglalnak helyet (A = konstans), az egyenlő telítettségű színek (T = konstans) koaxiális hengerfelületet alkotnak, míg az azonos világosságú színek (V = konstans) a színtelentengelyre merőleges síkon helyezkednek el. A külső hengerpaláston találhatók a legtelítettebb színek.

Ami a szín és emberi hőérzet összefüggését illeti, röviden a következőket mutatjuk be.

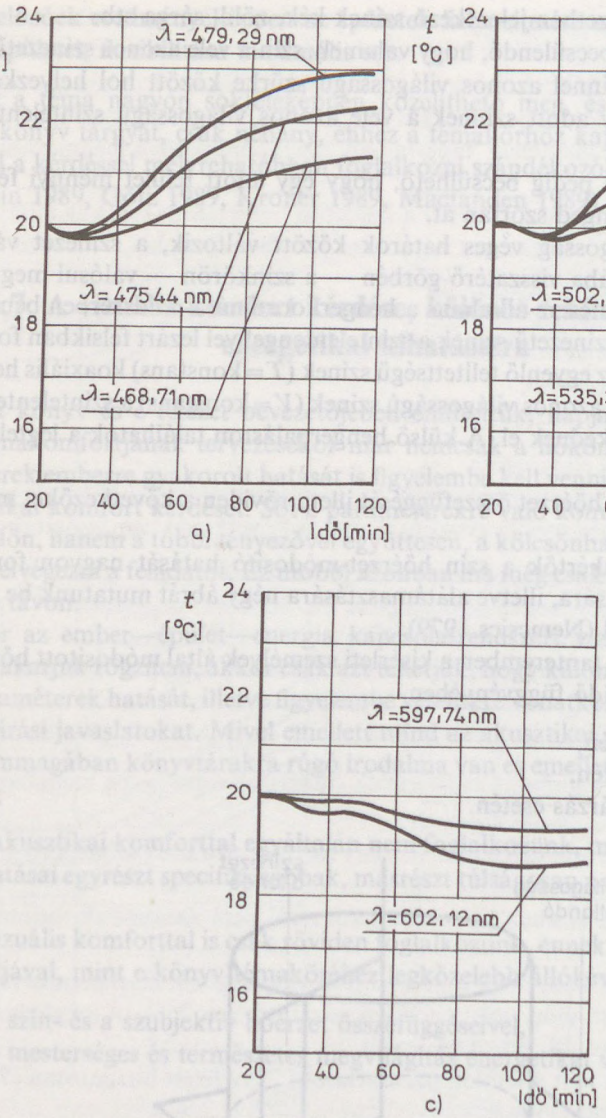
A színdinamikai szakértők a szín hőérzet-módosító hatását nagyon fontosnak tekintik. Ennek igazolására, illetve alátámasztására négy ábrát mutatunk be a hivatkozott forrásmunkából (Nemcsics 1979).

Így a *6.45. ábrán* egy tanteremben a kísérleti személyek által módosított hőmérsékletértékek láthatók az idő függvényében

a) kék sugárzás esetén,
b) zöld sugárzás esetén,
c) narancssárga sugárzás esetén.



6.44. ábra. A színek összefüggése hengerkoordináta-rendszerben (Nemcsics 1979)



6.45. ábra. A tanterem kísérleti személyek által módosított hőmérséklete a) kék sugázás, b) zöld sugárzás, c) narancs sugárzás időtartama alatt (Nemcsics 1979)

A *6.46. ábra* a különböző hullámhosszúságú sugárzások hőérzet-módosításának százalékos értékét mutatja be.

A következő, a *6.47. ábra* azt kívánja igazolni, hogy

— a száraz meleget a kék és kékeszöld színek kompenzálják legjobban, a vörös és narancsok kerülendők,

— meleg környezetben a telített vagy sötét szín alkalmazása nem előnyös, ilyenkor inkább a világos és telítetlen árnyalatok javasolhatók.



6.46. ábra. Különböző hullámhosszú sugárzások hőérzet-módosítást kiváltó tulajdonsága (Nemcsics 1979)

A színdinamika aktuális témáival találkozhatunk a következő publikációkban: Bennett és Rey (1972), Billington (1976), Gerritsen (1975), Ramkumar és Bennett (1979).

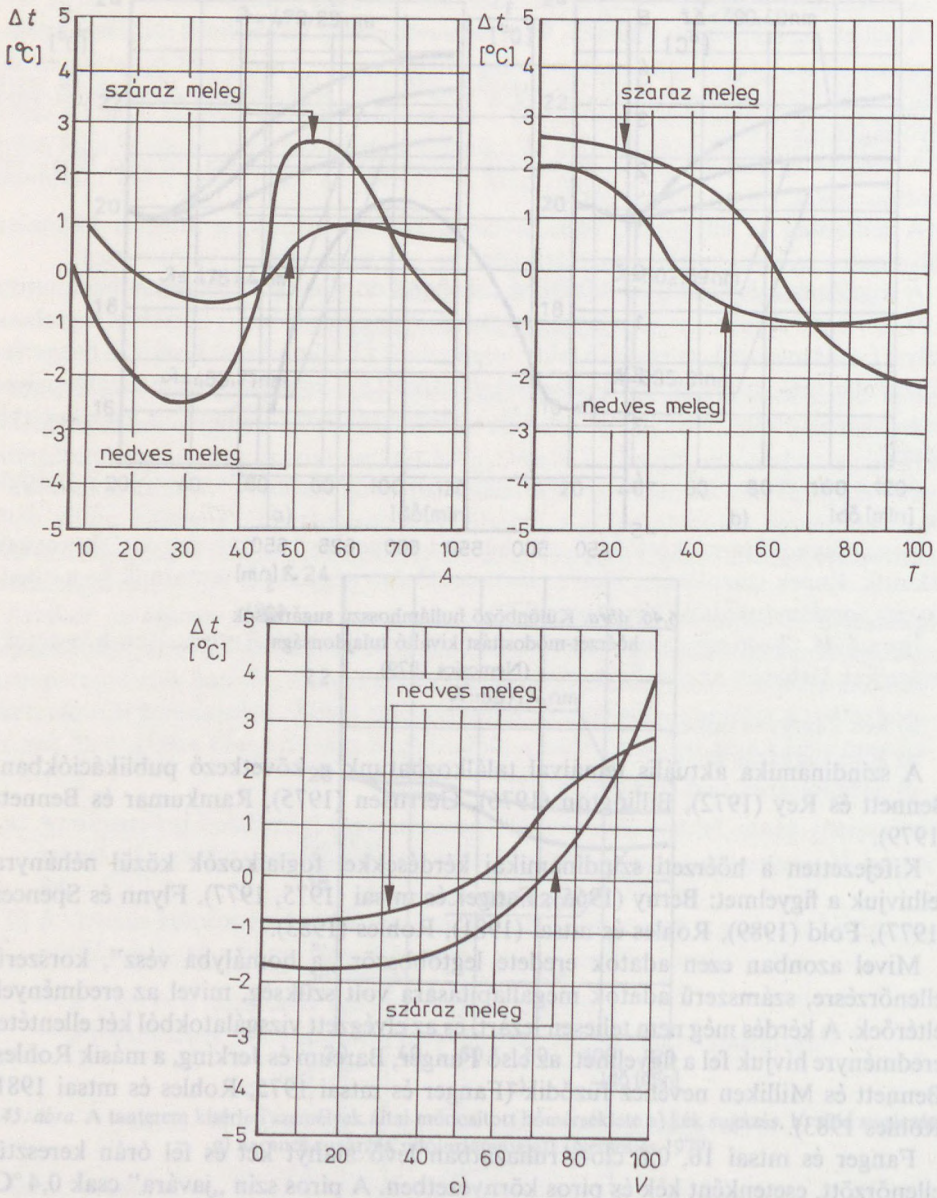
Kifejezetten a hőérzeti színdinamikai kérdésekkel foglalkozók közül néhányra felhívjuk a figyelmet: Berny (1965), Fanger és mtsai (1975, 1977), Flynn és Spencer (1977), Fold (1989), Rohles és mtsai (1981), Rohles (1983).

Mivel azonban ezen adatok eredete legtöbbször „a homályba vész", korszerű ellenőrzésre, számszerű adatok megállapítására volt szükség, mivel az eredmények eltérőek. A kérdés még nem teljesen lezárt, és az elvégzett vizsgálatokból két ellentétes eredményre hívjuk fel a figyelmet: az első Fanger, Bareum és Jerking, a másik Rohles, Bennett és Milliken nevéhez fűződik (Fanger és mtsai 1975, Rohles és mtsai 1981, Rohles 1983).

Fanger és mtsai 16, 0,6 clo-s ruházatban lévő alanyt két és fél órán keresztül ellenőrzött, esetenként kék és piros környezetben. A piros szín „javára" csak 0,4 °C-kal alacsonyabb komforthőmérsékletet találtak, ezért véleményük szerint a gyakorlatban komoly eredményekkel a szín választása nem kecsegtet.

A Rohles és mtsai 108 férfi és 108 nő alannyal végeztek három és fél órás vizsgálatokat, amelyek során többek között vizsgálták

— a csupasz és bútorozott, valamint
— a narancssárga és kék mesterséges megvilágítás hatását.



6.47. ábra. Száraz meleget és nedves meleget rekompenzáló a) színezetek, b) telítettségek, c) világosságok (Nemcsics 1979)

Eredményeik szerint a narancssárga és kényelmesen bútorozott helyiség esetében 1,4 °C-kal alacsonyabb hőmérséklet is azonos hőérzetet eredményezett. További megállapításaik:

— a különbségek csak egyórás benntartózkodás után jelentkeztek,
— sötét falak mellett kedvezőbb volt a hőérzet, mint fehér falak esetében.

Megjegyzésünk: Magyarországon is folytak előkísérletek a direkt és indirekt megvilágítások hőérzetre és emberi teljesítőképességre gyakorolt hatásának ellenőrzésére (Fabó 1989), de szignifikáns eredményeket nem kaptunk.

A kérdés azonban nem lezárt és napjainkban a „kombinált hatások" ellenőrzésének témakörében (lásd 19. fejezet) e kérdés számos kutatóhelyen ismét napirendre került.

6.7.2. A természetes és mesterséges megvilágítás energetikai kérdéseiről

A természetes és mesterséges megvilágítás energetikai kérdéseivel a különböző előírások, zsebkönyvek bőségesen foglalkoznak (pl. ASHRAE 1966, 1985, Fekete és Majoros 1989, Gábor és Zöld 1981, Olesen 1984, Tárkányi és Szabó 1969). Általánosságban egy zárt tér belső hőterhelésére felírható a következő egyenlet (Fekete és Majoros 1989):

$$Q_t(t) = Q_{tr}(t, r) + Q_s(t) + Q_v(t, r) + Q_{tech} + Q_l(t, r), \tag{6.32}$$

ahol

$Q_t(t)$ a helyiség teljes hőterhelése, időfüggő [kW],
$Q_{tr}(t, r)$ a helyiség transzmissziós hőveszteségе (hőnyeresége), idő- és igényfüggő [kW],
$Q_s(t)$ a helyiség szoláris (napsugárzásból származó) hőnyeresége, időfüggő [kW],
$Q_v(t, r)$ a helyiség szellőzéséből (légcseréből) származó hőterhelése, idő- és igényfüggő [kW],
Q_{tech} technológiából (és benntartózkodó emberektől) származó hőnyereség [kW],
$Q_l(t, r)$ a helyiség világításából származó hőnyereség, idő- és igényfüggő [kW].

E tényezők közül kissé bővebben csak a világításból származó hőnyereséget (Q_l) mutatjuk be. Az erre vonatkozó összefüggés a következő módon írható fel:

$$Q_l(t, r) = f(E_r, k), \tag{6.33}$$

ahol

E_r a megvilágítás igényszintje [lx],
k a fényhasznosítás [lm/W].

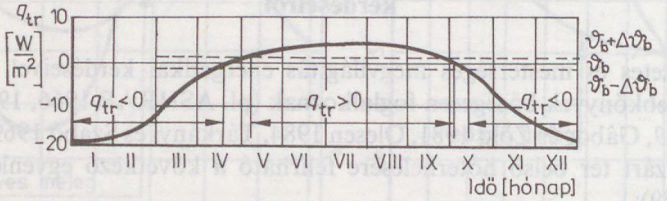
Fekete és Majoros (1989) előzőekben már jelzett publikációja ugyan egy budapesti kommunális épületre vonatkozik, az általános feltételek mellett, megállapításaik azonban bizonyos mértékig általánosíthatók.

Ennek megfelelően a világítás hőterhelése $Q_l > 0$. Az E_r igényszint értékeinek a helyiség rendeltetésétől függő aránya elérheti az 1 : 5-t is. Az ebből adódó hőterhelés mintegy 1 : 5 arányban függ a világítás módjától, és további 1 : 8 arányban változhat a fényforrástól függően. Mindezekből következik, hogy a világítás hőterhelése széles határok között változik, elméletileg 1 : 200, a gyakorlatban közel 1 : 30 arány minden további nélkül előfordulhat. Adott világítási berendezés esetén az képezheti a világítá-

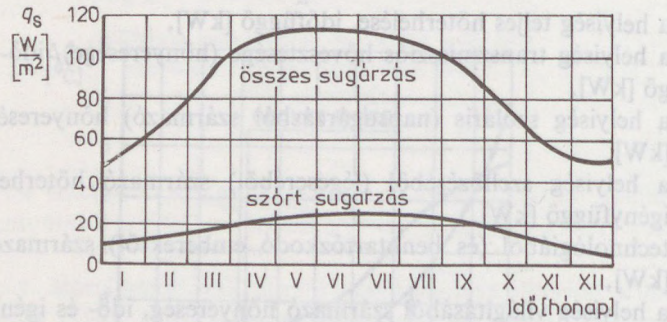
si hőterhelés változatait, hogy a kívánt megvilágítást mesterséges és/vagy természetes világítással biztosítják-e az üzemidőn belül.

A világításon kívüli hőterhelések évi menetének jellege a *6.48. ábrán* láthatók, egy keleti tájolást feltételező kommunális épület helyisége esetében.

Tekintettel arra, hogy a belső téri komplex komfortigény a belső téri benapozást nem engedi meg, a sugárzási hőterhelésnek a szórt sugárzásból adódó hányadát tekinthetjük mértékadónak. Ennek alakulását a *6.49. ábra* mutatja.



6.48. ábra. A fajlagos transzmissziós hőterhelés változása az idő függvényében (Fekete és Majoros 1989)



6.49. ábra. A fajlagos napsugárzásból származó hőnyereség változása az idő függvényében (Fekete és Majoros 1989)

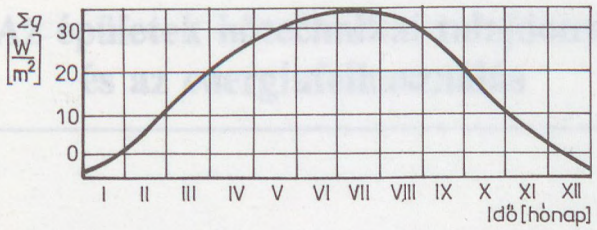
A szokásos megvilágítási igényszintek 100—750 lx között változnak. A világításból származó fajlagos hőterhelés közelítő számítására alkalmas a következő összefüggés:

$$q_l \approx \frac{E_r}{\eta_l k}. \tag{6.34}$$

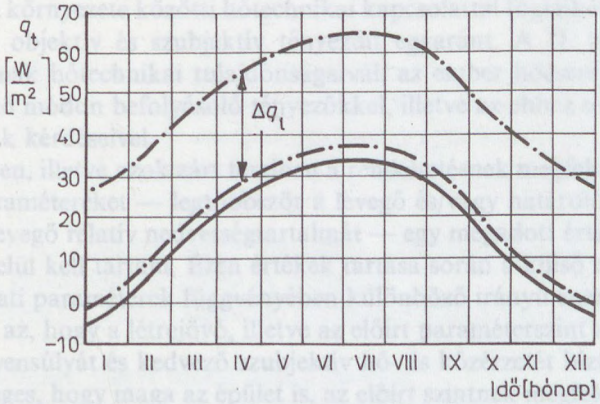
A jelzett igényeket kielégítő mesterséges világítás fajlagos hőterhelése (a reális megoldások tartományában) 4—40 W/m². Természetes világítás esetén ez a tartomány 3—30 W/m². Tehát általános esetben egy adott megvilágítási igényszinthez tartozó világítási hőterhelés mesterséges világítás esetén a nagyobb.

A belső tér teljes hőterhelésének alakulása az előzőeket figyelembe véve a *6.50.* és *6.51. ábrán* látható.

Mindezek alapján megállapítható, hogy a belső terek komplex mikroklímájának energetikailag optimális megvalósítását a világításból származó hőterhelés lényegesen



6.50. ábra. A fajlagos transzmissziós-, napsugárzásból származó-, szellőzési- és technológiai hőterhelés együttesének változása az idő függvényében (Fekete és Majoros 1989)



6.51. ábra. A fajlagos teljes hőterhelés változása az idő függvényében (Fekete és Majoros 1989)

befolyásolhatja. Egyfelől csökkenhet a fűtési és nőhet a hűtési időtartam, másfelől csökkenhet a fűtést igénylő, nőhet az ugyanakkor hűtést igénylő hőterhelés csúcsértéke. A három lehetséges világítási megoldás — a természetes, a mesterséges, a természetes-mesterséges — közül célszerű kiválasztással egyrészt csökkenthető a klimatizálás és a világítás éves energiafogyasztása, másrészt csökkenthető mind a fűtési, mind a hűtési méretezési teljesítmény.

II. Az épületek hőtechnikai tulajdonságai és az energiafelhasználás

A könyv — mint az címéből és a bevezetőben leírtakból már olvasható volt — elsősorban az ember és az épület kapcsolatát, valamint ennek energiafogyasztási, energiagazdálkodási kérdéseit kívánja elemezni. Ennek megfelelően az I. részben az ember és épített környezete közötti hőtechnikai kapcsolattal foglalkoztunk, figyelembe véve annak objektív és szubjektív tényezőit egyaránt. A II. rész az épülettel foglalkozik, annak hőtechnikai tulajdonságaival, az ember hőcseréjét, hőérzetét és közérzetét döntő módon befolyásoló tényezőkkel, illetve az ehhez szükséges energia felhasználásának kérdéseivel.

Az épületekben, illetve azok zárt tereiben a rendeltetésnek megfelelően különböző mikroklíma-paramétereket — legtöbbször a levegő és/vagy határolószerkezetek hőmérsékletét, a levegő relatív nedvességtartalmát — egy megadott értéken vagy értéktartományon belül kell tartani. Ezen értékek tartása során a külső meteorológiai és a belső használati paraméterek függvényében különböző irányú energiaáramok jönnek létre. A cél az, hogy a létrejövő, illetve az előírt paraméterszint a használó, azaz az ember hőegyensúlyát és kedvező szubjektív hő- és közérzetét biztosítsa.

Ehhez szükséges, hogy maga az épület is, az előírt szintnek megfelelően, hőtechnikailag egyensúlyban legyen. Mivel egy adott épület hőtechnikai állapotát döntő módon épületfizikai adottságai, a külső meteorológiai tényezők és a belső terhelések befolyásolják, a továbbiakban a téma kifejtését is ennek függvényében végezzük, mégpedig a következő gondolatmenettel:

— Először a határoló szerkezetekkel, mint az épületek hőegyensúlyát befolyásoló egyik legfontosabb tényezővel foglalkozunk (7. fejezet).
— Ezután a különböző hőhatások — stacioner, ugrásfüggvény szerinti, pulzáló hőhatások — figyelembevételi lehetőségeivel foglalkozik a 8. fejezet.
— Az épületek hőterhelésének (külső és belső) kérdése a 9. fejezet témaköre.
— Az épületek filtrációs és mesterséges szellőzési kérdéseit és ennek az épületre, az épület energiafogyasztására gyakorolt hatását elemzi a 10. fejezet.
— Végül az épületek energiafelhasználásával és az ezt befolyásoló tényezőkkel foglalkozik e könyvrész utolsó, 11. fejezete.

II. Az épületek hőtechnikai tulajdonságai és az energiafelhasználás

7. Az épülethatároló szerkezetek és a hőegyensúly

Az épületekben kialakuló hőegyensúly eléréséhez — mely egyben az abban tartózkodó ember hőegyensúlyát is biztosítja — az épület határoló szerkezetein keresztül energiaforgalom jön létre. Ezt az energiaforgalmat az épület szerkezetei, azok épületfizikai tulajdonságai döntő módon befolyásolják, meghatározzák. E befolyásoló tényezőket a következő módon csoportosíthatjuk:

— az épület és az épületen belüli helyiségek elhelyezkedése (tájolása, uralkodó szélirány), kapcsolódása, alakja és nagysága,
— az egyes helyiségek között kialakuló energiaáramlások jellege, nagysága, időbeli változása,
— az épület tömege, illetve annak alakja, méretei,
— a felületek minősége, aránya (tömör és üvegezett épület szerkezetek),
— a határoló szerkezetek hőtechnikai tulajdonságai,
— a környezeti tényezők változása,
— az épületen belüli hő- és légáramok alakulása, illetve változása.

Végül, de nem utolsósorban döntő módon hatnak a befolyás lehetőségei, amelyet az épület üzemeltetése reprezentál. A befolyás lehetősége, illetve feltétele kettős:

— részben az épület tervezésekor, kialakításakor, azon szempontok figyelembevétele, amelyek eredményeképpen az épületszerkezetekben, tömegben stb. adódó lehetőségeket kihasználva olyan körülményeket biztosítunk, amelyek az épületgépészet részéről egyszerű, nem energiaigényes beavatkozást tesznek lehetővé,
— másrészt az egyes épületgépészeti rendszerek tervezésekor, kialakításakor az optimális energiafelhasználást kell biztosítani, figyelembe véve az épületszerkezetek adta lehetőségeket is.

Az épületeket érő hőhatásokat két fő csoportra:

— időben állandó, azaz stacioner, és
— időben változó, azaz instacioner

jelenségekre osztják.

E fejezetben a határoló szerkezetekkel — ahol a jelenségek végbemennek — kapcsolatos alapdefiníciókat, méretezési adatokat foglaljuk össze röviden. Stacioner

állapotban a rövidséget az magyarázza, hogy

— részben általánosan ismert dolgokról van szó,
— másrészt a különböző forrásmunkákban (Balázs 1989, Billington 1976, Bosnjakovic 1965, Gábor és Zöld 1981, Gröber és mtsai 1955, Mihejev 1963, Tschegg és mtsai 1984) bő részletességgel talál adatokat, aki a témakörben jobban el kíván mélyedni.

Időben változó, instacioner hőhatások kérdésével a 8. fejezetben foglalkozunk.
A határoló szerkezetek két fő részre oszthatók:

— a tömör határoló szerkezetekre és
— a sugárzást átbocsátó szerkezetekre.

7.1. Tömör határoló szerkezetek

A tömör határoló szerkezetek témakörét a következők szerint tekintjük át:

— a felületen lejátszódó jelenségek,
— a hőátbocsátás folyamata,
— a hőátbocsátás szempontjából eltérő megoldások (hőhidak, szellőztetett és vízzel elárasztott határoló szerkezetek).

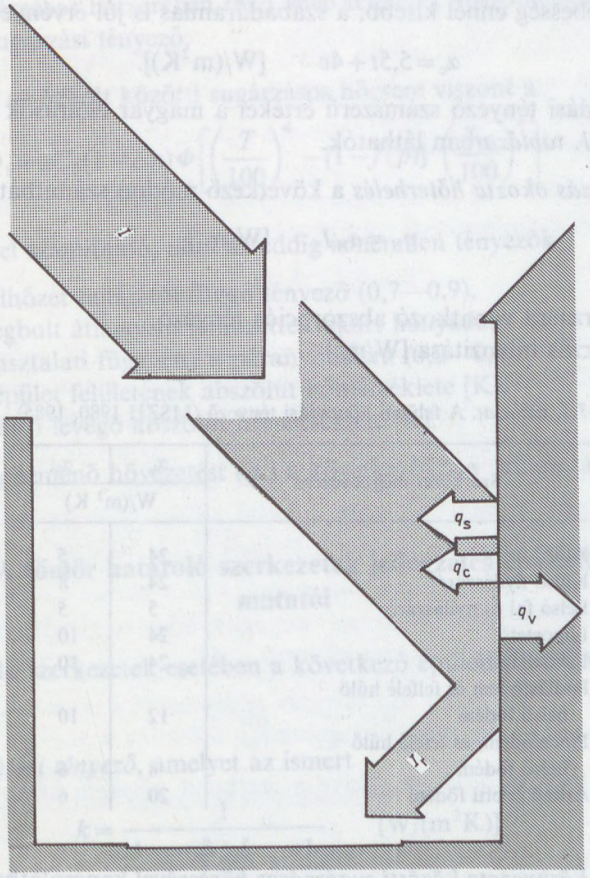
E három az időben állandó, azaz stacioner állapotokra vonatkozik.

7.1.1. A tömör határoló szerkezetek hőtechnikai viszonyai

A tömör határoló szerkezetek felületén lejátszódó jelenségek „kétirányúak", azaz a külső és a belső felületen egyaránt lejátszódhatnak. Elsősorban a külső meteorológiai tényezők karakterisztikusabb paraméterei miatt (pl. napsugárzás), a külső felületi jelenségek lényegesebbek épületfizikai szempontból, de ne feledjük az ember szempontjából a belső felületen lejátszódó változások, illetve e felületek paraméterei a döntőek.

A külső felületen végbemenő hőcserefolyamatot szemlélteti a *7.1. ábra*. Az ábrából látható, hogy a beérkező napsugárzás (I) egy része visszaverődik (I_r), egy része elnyelődik. Ez utóbbi egy része hővezetéssel áthalad a határoló szerkezeten (q_v). Ugyanakkor a felmelegedett határoló szerkezetről sugárzással (q_s) és konvekcióval (q_c) hő jut a külső térbe vissza.
A hőcserefolyamat tehát négy tényezőből áll:

1. konvektiv hőátadás a külső levegő és a felület között (q_c),
2. a napsugárzás okozta hőterhelés, amely a napsugárzás elnyelt részével egyenlő (q_N),
3. a felület és környezete közötti sugárzásos hőcsere (q_s),
4. a felületen, illetve az e mögötti falban végbemenő hővezetés (q_V).



7.1. ábra. A határoló szerkezet külső felülete hőmérlegének sémája (Gábor és Zöld 1981)

Ez egyenletben kifejezve:

$$q_c + q_N + q_s + q_V = 0 \qquad [W/m^2]. \tag{7.1}$$

1. *A konvektiv hőátadás* elméleti kérdéseivel a korábbiakban a 3. és 5. fejezetben már foglalkoztunk, itt csak néhány adatot ismertetünk.

a) Szabad áramláskor

— a függőleges felületek esetében a konvektiv hőátadási tényező számszerű értéke 2—5 $W/(m^2K)$,

— a vízszintes felületek esetében ugyanez az érték 2—7 $W/(m^2K)$.

b) Kényszeráramláskor α_c értéke számítható:

— ha a szélsebesség $v > 5$ m/s, akkor

$$\alpha_c = 7\, v^{0,76} \qquad [W/(m^2K)], \tag{7.2}$$

— ha a szélsebesség ennél kisebb, a szabadáramlás is jól érvényesül, így

$$\alpha_c = 5{,}5t + 4v \quad [\mathrm{W/(m^2K)}]. \tag{7.3}$$

A felületi hőátadási tényező számszerű értékei a magyar előírások szerint (MSZH 1980, 1985) a *7.1. táblázat*ban láthatók.

2. *A napsugárzás okozta hőterhelés* a következő módon számítható:

$$q_N = a_N I \quad [\mathrm{W/m^2}], \tag{7.4}$$

ahol

a_N a napsugárzásra vonatkozó abszorpciós tényező,
I a napsugárzás intenzitása [$\mathrm{W/m^2}$].

7.1. táblázat. A felületi hőátadási tényező (MSZH 1980, 1985)

Szerkezet megnevezése	α_k	α_b
	$\mathrm{W/(m^2\ K)}$	
Külső fal	24	5
Külső nyílászáró	24	8
Belső fal és nyílászáró	5	5
Lapostető	24	10
Felülvilágító	24	10
Padlásfödém és felfelé hűlő belső födém	12	10
Pincefödém, és lefelé hűlő belső födém	8	6
Árkád feletti födém	20	6

3. *A felület és környezete közötti sugárzásos hőcserével* kapcsolatban három tényezőre hívjuk fel a figyelmet:

a) A kisugárzott energia a

$$q_s = \varepsilon \left[\frac{T}{100}\right]^4 \quad [\mathrm{W/m^2}] \tag{7.5}$$

egyszerű összefüggéssel számítható, ahol

ε az alacsony hőmérsékletű sugárzásra vonatkozó emissziós tényező,
T a felület abszolút hőmérséklete [K].

b) A földi felületek közötti sugárzásos hőcsere két — 1 és 2 jelű — felület között meghatározható a következő összefüggéssel:

$$Q_{12} = a_1 a_2 C_s \Phi \left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right] \quad [\mathrm{W}], \tag{7.6}$$

ahol

a az abszorpciós tényező,
C_s az ismert sugárzási állandó, számszerű értéke 5,67 [$\mathrm{W/(m^2K)}$],

T_1, T_2 a sugárzásos hőcserében részt vevő felületek abszolút hőmérséklete [K],
Φ a besugárzási tényező.

c) Az épület és az égbolt közötti sugárzásos hőcsere viszont a

$$Q_1 = aC_0(1-c_f n)\Phi\left[\left(\frac{T}{100}\right)^4 - [1-f(p)]\left(\frac{T_{lk}}{100}\right)^4\right] \quad [W] \qquad (7.7)$$

összefüggéssel számítható, ahol az eddig ismeretlen tényezők

c_f a felhőzet fajtájától függő tényező (0,7—0,9),
n az égbolt átlagosan felhőzettel takart hányada,
$f(p)$ tapasztalati függvény a páranyomásra (0,2—0,4),
T az épület felületének abszolút hőmérséklete [K],
T_{lk} a külső levegő abszolút hőmérséklete [K].

d) A falban végbemenő hővezetést (q_v) a következőkben külön tárgyaljuk.

7.1.2. A tömör határoló szerkezetek jellegzetes épületfizikai mutatói

Tömör határoló szerkezetek esetében a következő épületfizikai mutatók ismerete szükséges:

1. A *hőátbocsátási tényező*, amelyet az ismert

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_b} + \sum_{i=1}^{n}\frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_k}} \quad [W/(m^2K)] \qquad (7.8)$$

összefüggéssel kell számolni, ahol

α_b a belső oldali hőátadási tényező [W/(m²K)],
α_k a külső oldali hőátadási tényező [W/(m²K)],
δ a rétegvastagság [m],
λ a hővezetési tényező [W/(m²K)],
n a rétegek száma.

2. Ismerni kell továbbá magára *a szerkezetre jellemző hővezetési ellenállást*, amely a következő összefüggéssel fejezhető ki:

$$R_v = \sum_{i=1}^{n}\frac{\delta_i}{\lambda_i} \quad [m^2K/W]. \qquad (7.9)$$

3. Nyári állapotban napsugárzás hatására *a hőátbocsátást* a

$$q = k(t_N - t_{lb}) \quad [W/m^2] \qquad (7.10)$$

összefüggéssel célszerű számítani, ahol

t_N az ún. „naplég" hőmérséklet, amely mindig konkrét meteorológiai feltételekre és épületszerkezetekre kidolgozott — tehát nem általánosan alkalmazható — egy-egy számszerű érték,

t_{lb} a belső levegő-hőmérséklet.

4. *A belső falfelület várható téli legalacsonyabb hőmérséklete* a k ismeretében általában a következő összefüggéssel számítható:

$$\vartheta_b = t_{lb} - \frac{k}{\alpha_b} \xi (t_{lb} - t_{lk}) . \tag{7.11}$$

A ξ korrekciós tényezővel a külső és a belső hőmérséklet-különbség $(t_{lb} - t_{lk})$ értékét kell módosítani, hogy a valóságban instacioner jelenséget stacioner összefüggéssel (matematikai modellel) helyettesítve a számítás kielégítő eredményt adjon. Továbbá még a ξ korrekciós tényezővel vesszük figyelembe a határoló szerkezet helyzetének, a szerkezet tömegének és annak a jelenségnek a szerepét, hogy derült, szélcsendes hajnalokon, a nagy kisugárzás miatt, a külső felület hőmérséklete a külső levegő hőmérséklete alá süllyed. A ξ értékeit a mellékelt *7.2. táblázat* tartalmazza (MSZH 1980, 1985).

5. *Hőfokvezetési tényező*, amely az anyagok hőmérséklet-kiegyenlítődési, azaz felmelegedési és lehűlési sebességére jellemző érték:

$$a = \frac{\lambda}{c\varrho} \quad [\mathrm{m^2/s}] . \tag{7.12}$$

6. *A szerkezetben feltárolt hő*, illetve a szerkezet *hőtároló képessége*. E feltárolt hőmennyiség a

$$Q_j = \dot{m}_j c_j \vartheta_j \quad [\mathrm{W}] \tag{7.13}$$

összefüggéssel határozható meg, ahol

$\dot{m}_j$ a szerkezet tömege,

c_j a fajhő,

ϑ_j a t_{lk} értékhez viszonyított túlhőmérséklet.

7.2. táblázat. A ξ korrekciós tényező a hőátbocsátás számításához (MSZH 1980, 1985)

Fajlagos tömeg [kg/m²]	<100	100—300	300—500	500—700	>700
Külső fal, lapostető, árkád	1,35	1,20	1,00	0,90	0,85
Kéthéjú szellőzőteres hidegtető árnyékolt és átszellőztetett légréteges külső fal	1,20	1,10	0,90	0,85	0,80
Padlás alatti födém	1,05	0,95	0,80	0,75	0,70
Fűtetlen helyiségekkel vagy földdel érintkező falak	0,80	0,70	0,60	0,55	0,50
Fűtetlen pincével vagy földdel érintkező padló	0,70	0,60	0,50	0,45	0,40

Ha e kifejezések összegét a szerkezet két oldalán lévő közegek egységnyi hőmérséklet különbségére vonatkoztatjuk, akkor ez a szerkezet hőtároló képességét jelenti, jele a műszaki gyakorlatban W [W/(m²K)].

Ha a túlhőmérséklet egy elemi $d\vartheta$ változást szenved, akkor a tárolt hő rovására a szerkezeten az elemi dz időtartam alatt áthaladó hőáram

$$Q\,d\vartheta = k\vartheta\,dz\,, \tag{7.14}$$

amely összefüggésből a végső megoldás:

$$\vartheta = \vartheta_0 e^{-z/Z}\,, \tag{7.15}$$

ahol

ϑ_0 a kezdeti túlhőmérséklet,
Z a szerkezet (külső) időállandója.

A hőtároló képesség a rétegsorrendtől és a hőátadási tényezőktől is függ, mint az a *7.2. ábrán* látható.

Mindezekből megállapítható, hogy a nagy időállandójú szerkezetek az időben változó hatásokra „lustán" válaszolnak, ezért a nagy időállandó többnyire kedvező, mert a gyakorlatban a lustán változó hőáramok kompenzálása egyszerűbb.

Megjegyezzük, hogy

— a belső határoló szerkezetek esetében, ha a szomszédos helyiségek hőtechnikai jellemzői azonosak, a hőmérséklet-változás egy vízszintes egyenes, ha a jellemzőjük nem azonos, a változást ugyanúgy kell számolni, mint a külső határoló szerkezetek esetében,
— egy helyiség hőtároló képessége szerkezeteinek hőtároló képessége alapján határozható meg.

7. Fontos paraméter egy anyag *hőelnyelési tényezője*, amelyet a

$$b = \sqrt{\frac{2\pi}{\tau_0}\lambda c \varrho} \qquad [\mathrm{W/(m^2K)}] \tag{7.16}$$

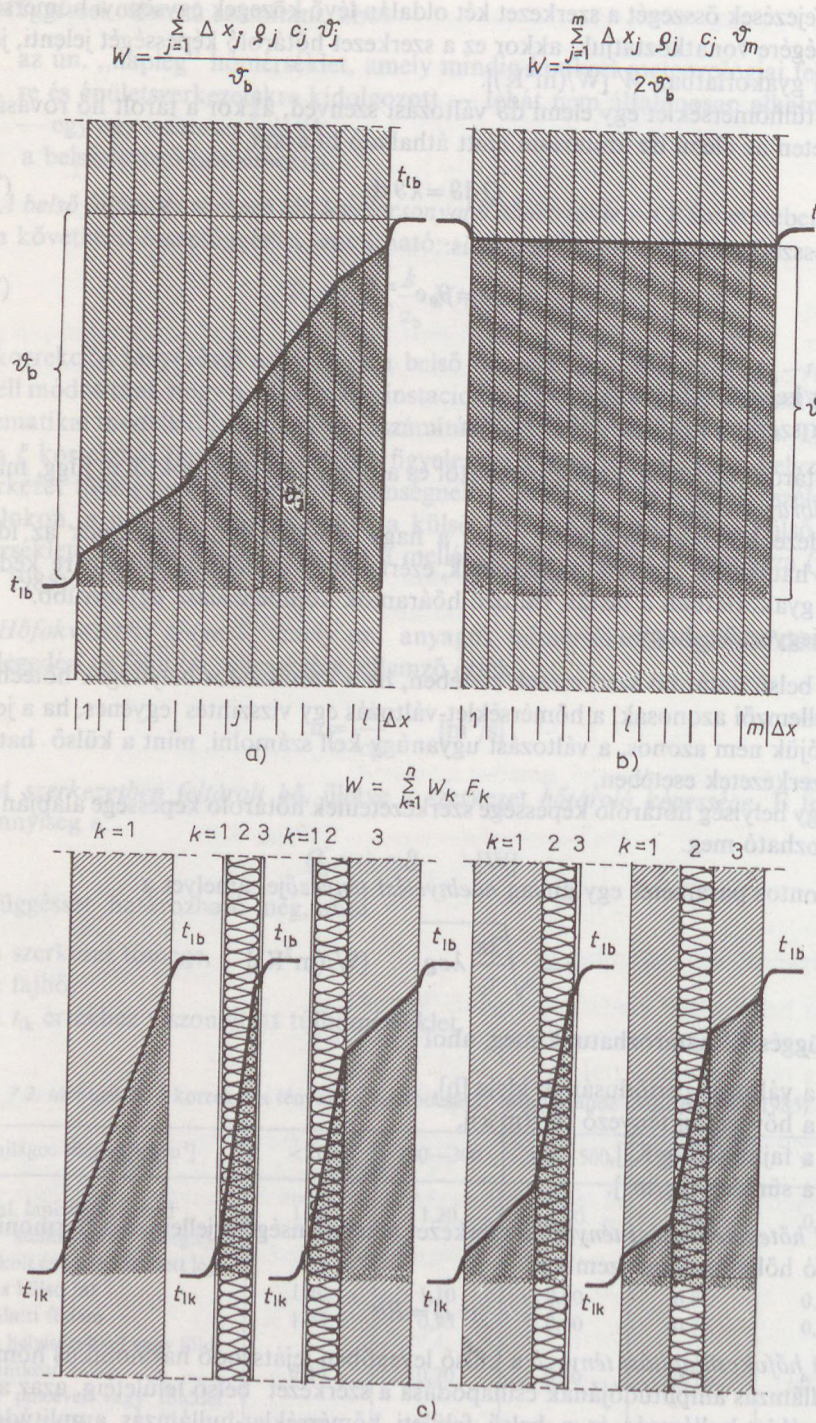
összefüggésből határozhatunk meg, ahol

τ_0 a változás periódusának ideje [h],
λ a hővezetési tényező [W/(m k)],
c a fajhő [J/(kg K)],
ϱ a sűrűség [kg/m³].

8. *A hőtehetetlenségi tényező* a szerkezet tehetetlenségére jellemző a harmonikusan változó hőhatásokkal szemben:

$$D = Rb\,. \tag{7.17}$$

9. *A hőfokcsillapítási tényező* a külső levegőben lejátszódó harmonikus hőmérséklet-hullámzás amplitúdójának csillapodása a szerkezet belső felületéig, azaz a külső hőmérséklet-hullámzás és a belső felületi hőmérséklet-hullámzás amplitúdójának



7.2. ábra. A határoló szerkezet hőtároló képessége (Gábor és Zöld 1981)

viszonya:

$$\vartheta = \frac{A_{tk}}{A_{\vartheta_b}}. \tag{7.18}$$

10. *A felületi hőelnyelési tényező* a szerkezet felületén lejátszódó harmonikusan változó hőhatások esetén a hőfluxus-ingadozás (A_q) és a felületi hőmérséklet-ingadozás (A_ϑ) amplitúdójának viszonya.

$$u = \frac{A_q}{A_\vartheta} \quad [\mathrm{W/(m^2K)}]. \tag{7.19}$$

11. *A fajlagos felületi hőstabilitás* a szerkezet által határolt térben lejátszódó harmonikusan változó hőhatások esetén a hőfluxus-ingadozás (A_q) és a hőmérséklet-hullámzás (A_t) amplitúdójának viszonya:

$$h = \frac{A_q}{A_t} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_b} + \frac{1}{u_b}} \quad [\mathrm{W/(m^2K)}]. \tag{7.20}$$

12. *A hőstabilitás* a helyiség összes határoló szerkezetére kiterjesztett fajlagos hőstabilitás, azaz a helyiséglevegő hőmérsékletének 1 °C-os harmonikus hullámzásához tartozó hőteljesítmény-ingadozás amplitúdója:

$$H = \sum A_i h \quad [\mathrm{W/K}]. \tag{7.21}$$

13. *A hőfokmodulus* a zárt tér hőtechnikai értékét jelző szám; a helyiségben adott körülmények között létrejövő legnagyobb téli vagy nyári hőfokingadozás:

$$M = \frac{Q}{H} \quad [\mathrm{K}]. \tag{7.22}$$

14. *A páradiffúziós tényező* állandósult, egyirányú diffúzió esetén a diffúzió irányában egységnyi anyag- (réteg-) vastagságra jutó, egységnyi parciális nyomásesés (nyomásgradiens) hatására kialakuló vízgőz-áramsűrűség (vízgőzfluxus). Jele v, egysége (kg/(m s Pa)].

15. *A páradiffúziós ellenállás* a szerkezet által elválasztott légterek parciális páranyomás különbségének és a diffundáló vízgőz áramsűrűségének a viszonya; síkfalban — a felületre merőleges diffúzió esetén — a rétegek vastagságának és páradiffúziós tényezőjének hányadosa:

$$R_d = \frac{\Delta p}{\dot{m}_v} = \sum \frac{d}{\delta} \quad [\mathrm{m^2\ s\ Pa/kg}]. \tag{7.23}$$

Mindezen tényezők ismerete a továbbiakban tárgyaltakhoz szükséges. Bővebb adatok találhatók a már hivatkozott forrásmunkákban.

7.1.3. A padlók méretezése

Állandó emberi tartózkodásra szánt helyiségek padlóit hőelnyelés szempontjából méretezni, illetve ellenőrizni kell. Kivételt képez a padlófűtés esete (MSZH 1980, 1985).

A padlókat hőtechnikai szempontból három csoportba sorolhatjuk a b_p hőelnyelési tényező alapján, amely a

$$b_p = \sqrt{\lambda c \varrho} \quad [\mathrm{kW\ s^{1/2}/(m^2K)}] \tag{7.24}$$

összefüggésből számítható.

A három csoport:

— „meleg" padló $< 0{,}7$,
— „félmeleg" padló $0{,}7$—$0{,}84$,
— „hideg" padló $> 0{,}84$.

Hőelnyelés szempontjából megkülönböztetünk egy- és többrétegű padlókat. Bővebb adatokat az (MSZH 1980, 1985) forrásmunkák szolgáltatják.

Itt kell külön megemlítenünk a padlón át a talajba jutó hőmennyiség számíthatóságának kérdését. A pontos számítás bonyolult, instacionárius kiáramlásra vonatkozó feladat megoldását jelenti, de gyakorlati feladatok megoldására alkalmas a következő egyszerűsítő összefüggés:

$$Q = F_p\left[k_e(t_{lb} - t_t) + \frac{\lambda_t}{h}(t_{lb} - t_{tv})\right] \quad [\mathrm{W}], \tag{7.25}$$

ahol az eddig ismeretlen tényezők a következők:

F_p a padló felülete [m^2],
k_e az egyenértékű hőátbocsátási tényező [$W/(m^2K)$],
t_t a talaj hőmérséklete [°C],
t_{tv} a talajvíz hőmérséklete [°C],
λ_t a talaj hővezetési tényezője [$W/(m^2K)$],
h a talajvízszint távolsága a padlószinttől [m].

7.1.4. A hőátbocsátás számítása szempontjából eltérő esetek

A hőátbocsátás számítása szempontjából eltérő kezelést igénylő esetek közé három sorolható:

— a hőhidak,
— a szellőztetett határoló szerkezetek,
— a vízzel elárasztott és permetezett határolószerkezetek.

7.1.4.1. Hőhidak

Hőhidaknak nevezik az épületszerkezetek azon helyeit, ahol két vagy három dimenziós hőáramok alakulhatnak ki. Ezek okai: a geometriai viszonyok és/vagy a különböző fajtájú és tulajdonságú anyagok együttes alkalmazása.

A hőhíd legalacsonyabb belső felületi hőmérsékletének meghatározása abból a közismert tényből indul ki, hogy a hőhídmentes rész hővezetési ellenállása egy tényezővel — esetünkben egy φ tényezővel — a hőhíd hővezetési ellenállására „rontható".

A fentiek szerint a hőhíd belső felületi hőmérséklete az alábbi módon írható fel

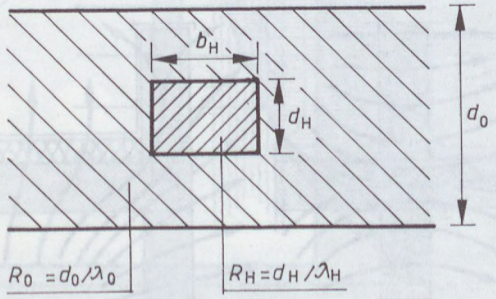
$$t_H = t_{lb} - \frac{t_{lb} - t_{lk}}{1(\alpha_b + 1)\alpha_k + R_0 \varphi} \frac{1}{\alpha_b} \quad [°C], \tag{7.26}$$

ahol

t_{lb} a belső levegő hőmérséklete,
t_{lk} a külső levegő hőmérséklete,
α_b belső oldali hőátbocsátási tényező,
α_k külső oldali hőátbocsátási tényező,
R_0 a hőhídmentes szerkezetrész hővezetési ellenállása,
φ együttható.

A vizsgálatok során kiderült, hogy az anyagtól függő hőhidak hatásának meghatározásához lényegében a következő, a szerkezet tulajdonságaival kapcsolatos paraméterek szükségesek (lásd *7.3. ábrát*):

d_H a hőhíd mélysége,
b_H a hőhíd szélessége,
d_0 az épületrész vastagsága,
λ_0 az épületrész hővezetési tényezője,
λ_H a hőhíd hővezetési tényezője.

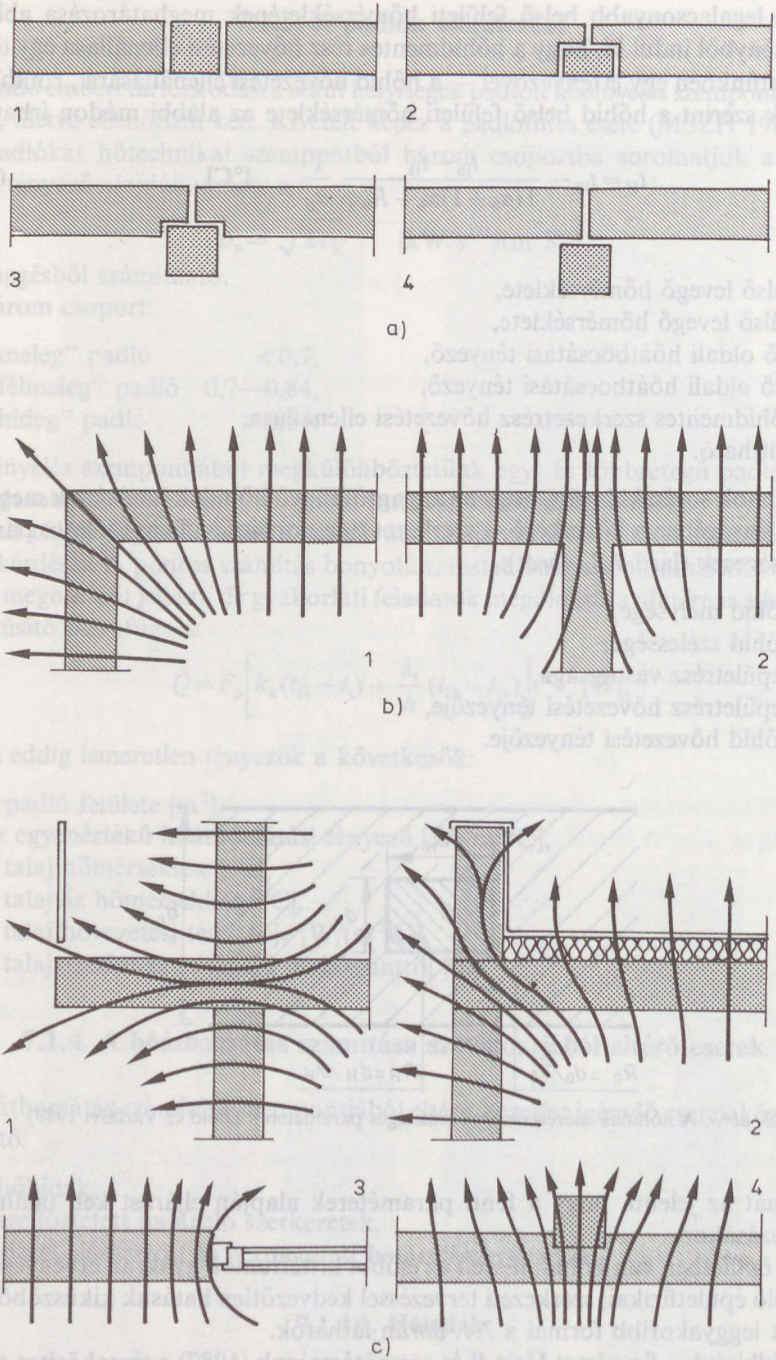


7.3. ábra. A hőhidak méretezéséhez szükséges paraméterek (Zöld és Várfalvi 1989)

A problémát az jelenti, hogy a fenti paraméterek alapján eljárást kell találni a φ meghatározásához.

Minden épületben van hőhíd, hiszen az előbbi kritériumok gyakran érvényesülnek, de megfelelő épületfizikai, szerkezeti tervezéssel kedvezőtlen hatásuk kiküszöbölhető. A hőhidak leggyakoribb formái a *7.4. ábrán* láthatók.

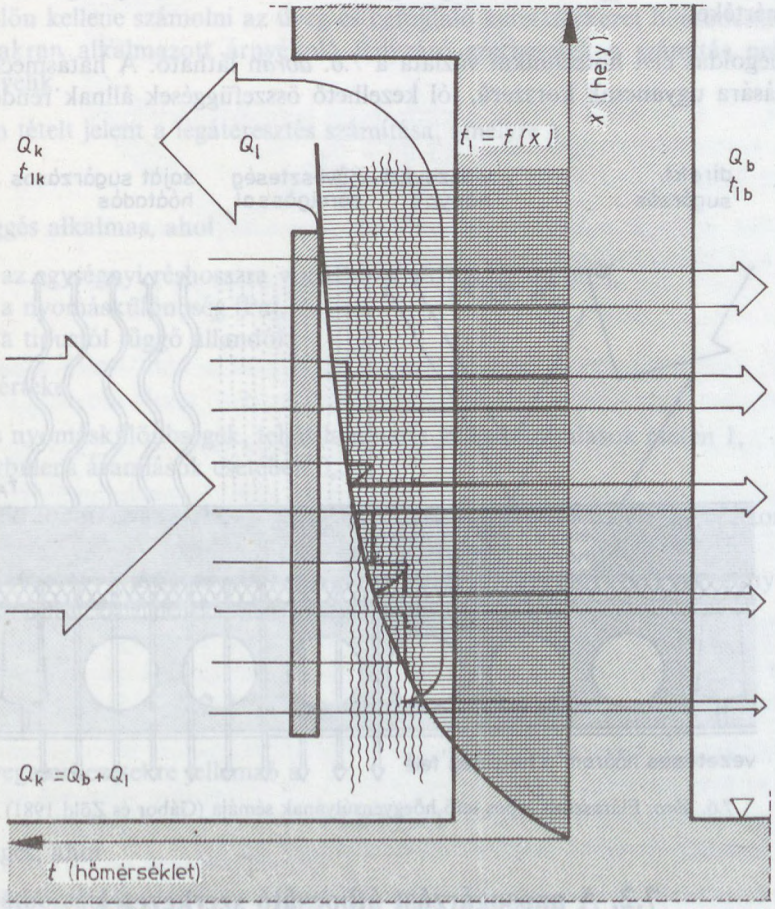
Külön felhívjuk a figyelmet Heindl és szerzőtársainak (1987) e témakörben megjelent könyvére.



7.4. ábra. Hőhídtípusok (Gábor és Zöld 1981): a) az anyagváltás okozta hőhidak, b) a forma okozta hőhidak, c) az anyagváltás és a forma okozta hőhidak példái

7.1.4.2. Szellőztetett határoló szerkezetek

A külső környezetből a belső térbe bejutó hőmennyiség csökkentésének egyik hatékony eszköze a határoló szerkezet „kéthéjú", kiszellőztetett kialakítása, amely azonban csapadékgazdag országokban a falszerkezet nedvességtartalmának „elszállítására" is szolgál. Ezen megoldás elvi hőtechnikai változata a *7.5. ábrán* látható.



7.5. ábra. A kiszellőztetett határoló szerkezet hőmérlegének sémája (Gábor és Zöld 1981)

A megoldás többféle lehet, így

— szellőztetett falakat,
— szellőztetett alapokat,
— szellőztetett lapostetőket

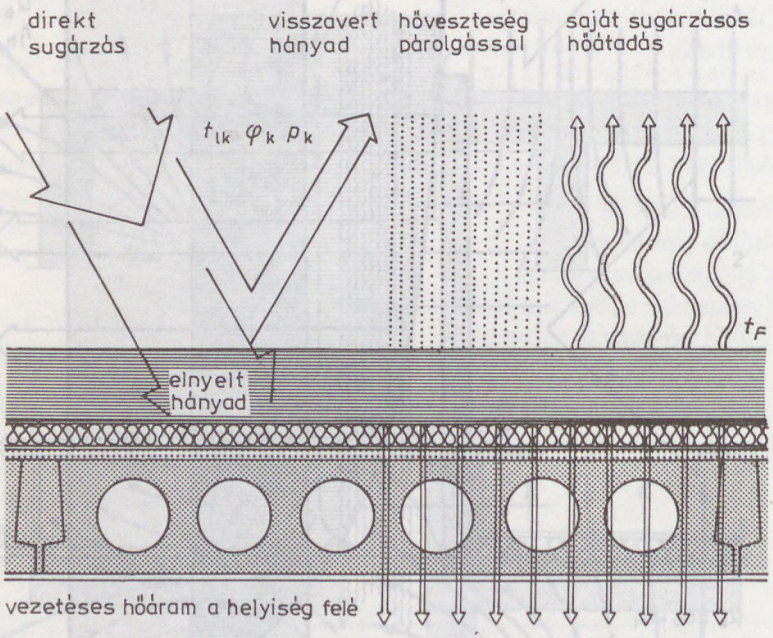
egyaránt alkalmazhatunk. Hatásuk számítására egyszerű, de jó közelítést szolgáltató összefüggések, diagrammok állnak rendelkezésre.

7.1.4.3. Vízzel elárasztott és permetezett határoló szerkezetek

Ezen módszer az adott szerkezet hőtechnikai viszonyait három módon befolyásolja:

— a párolgó víz jelentős mennyiségű hőt ad le,
— a vízréteg megváltoztatja a szerkezet hővezetési ellenállásának értékét,
— a vízelárasztás esetén növekszik a tető hőtehetetlensége, javul a hőcsillapítás mértéke.

A megoldás elvi hőtechnikai vázlata a *7.6. ábrán* látható. A hatásmechanizmus számítására ugyancsak korszerű, jól kezelhető összefüggések állnak rendelkezésre.



7.6. ábra. Elárasztott lapos tető hőegyensúlyának sémája (Gábor és Zöld 1981)

7.2. A napsugárzást átbocsátó szerkezetek

7.2.1. Általános adatok

A napsugárzást átbocsátó szerkezetek — elsősorban az üvegezett nyílászárók — abban különböznek a tömör határoló szerkezetektől, hogy a vezetéses hőáramlás mellett, a látható fény és a 3—4 μm-nél rövidebb hullámhosszúságú infravörös sugárzás átbocsátásával is szállítanak a helyiségbe hőt. Ehhez adódik a hőátbocsátás és esetenként a légáteresztés következtében létrejövő konvektív hőáram is. Jellemzőjük továbbá, hogy

— stacioner állapotra jellemző hőmérséklet-eloszlások 1/2—1 óra alatt kialakulnak, és
— hőtehetetlenségük minimális, így a környezeti feltételek változását gyorsan követik, illetve közvetítik a belső térbe.

A hőátbocsátási tényező számítása azonos a tömör szerkezetekével, de

— többrétegű nyílászárók esetében a légrétegeket külön figyelembe kell venni,
— külön kellene számolni az üveg és befoglaló keretszerkezet hőátbocsátását,
— gyakran alkalmazott árnyékoló fényzáró szerkezetek a számítás nehézségét növelik.

Külön tételt jelent a légáteresztés számítása, amelyre a

$$\dot{V}_r = a\Delta p^n \tag{7.27}$$

összefüggés alkalmas, ahol

$\dot{V}_r$ az egységnyi réshosszra vonatkozó térfogatáram [m^3],
Δp a nyomáskülönbség [Pa],
a, n a típustól függő állandók.

Az n értéke

— kis nyomáskülönbségek, tehát lamináris jellegű áramlások esetén 1,
— turbulens áramlások esetében 0,5.

A leggyakrabban ez az érték az egyes nyílászárók esetében a 0,63—0,75 tartományba esik.

Az a értékére — melynek dimenziója [m^3/(hm kPa)] — a német szabvány szerinti adatok a különböző előírásokban megtalálhatók.

7.2.2. A napsugárzásos hőterhelés

Az üvegszerkezetekre jellemző a

$$t + a + r = 1 \tag{7.28}$$

összefüggés, ahol

t az átbocsátott,
r a visszavert,
a az elnyelt (abszorbeált)

hőhányadot jelenti.

Az ablak- és üvegszerkezeteken keresztül létrejövő hőenergia-áram a

$$Q_{abl} = Q_{ke} + Q_{ü} + Q_{üns} + Q_f \quad [W] \tag{7.29}$$

kifejezéssel írható le (Szabó 1986).

Az ablak- és üvegszerkezeteken keresztül a napsugárzás és a külső-belső hőmérséklet-különbség együttes hatására létrejövő energiaforgalmat — a kialakult nemzetközi

gyakorlatnak megfelelően — a szellőzőlevegő felmelegítésének energiaigényétől elvonatkoztatva számítjuk, a

$$Q_{abl} = Q_{ke} + Q_{ü} + Q_{üns} \quad [W] \tag{7.30}$$

összefüggés alapján.

Az elemzést a továbbiakban célszerűen egységnyi felületű ablak- és üvegszerkezetre végzik. A keretarány

$$f = \frac{A_{ke}}{A}, \tag{7.31}$$

ahol:

$A = A_{ke_2} + A_{ü}$ az ablak-, illetve üvegszerkezet homlokfelülete [m^2],
A_{ke} a keretszerkezet homlokfelülete [m^2],
$A_{ü}$ az üvegszerkezet felülete [m^2].

Az ablak- és üvegszerkezeten keresztül létrejövő energiaáram-sűrűség az f keretarány és a (7.30) összefüggés figyelembevételével:

$$q_{abl} = fq_{ke} + (1-f)q_{ü} + (1-f)q_{üns} \quad [W/m^2]. \tag{7.32}$$

A (7.32) összefüggésben a keretszerkezeten keresztül a külső-belső hőmérséklet-különbség hatására létrejövő energiaáram-sűrűség:

$$q_{ke} = k_{ke}(t_{lk} - t_{lb}) \quad [W/m^2], \tag{7.33}$$

az üvegszerkezeten keresztül a külső-belső hőmérséklet-különbség hatására létrejövő energiaáram-sűrűség:

$$q_{ü} = k_{ü}(t_{lk} - t_{lb}) \quad [W/m^2], \tag{7.34}$$

az üvegszerkezeten keresztül a napsugárzás hatására létrejövő energiaáram-sűrűség:

$$q_{üns} = N_{á} N_{ü} I_{SRG} \quad [W/m^2]. \tag{7.35}$$

Az összefüggésben

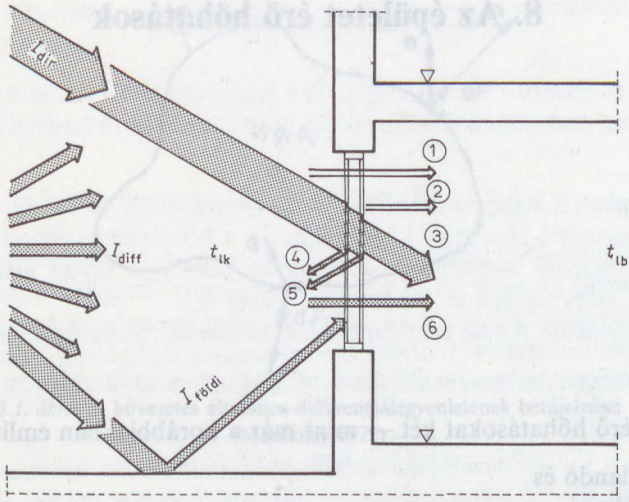
$N_{á}$ az árnyékolás naptényezője,
$N_{ü}$ az üvegszerkezet naptényezője,
I_{SRG} az egyrétegű, 3 mm vastag üvegezésen keresztül a napsugárzás hatására létrejövő energiaáram-sűrűség [m^3/m^2].

E kérdésekkel részletesen itt nem kívánunk foglalkozni, hanem ismét visszahivatkozunk forrásmunkákra: Gábor és Zöld (1981) Szabó (1982, 1986), Tárkányi és Szabó (1969). Mindössze két megjegyzés:

1. Az üvegezésen bejutó hőterhelés részarányai a *7.7. ábrán* láthatók. Ebből a következők állapíthatók meg:

a) Az ablak külső felületére három irányból érkezik sugárzásos hő:

— a direkt napsugárzásból (I_{dir}),
— az ún. szórt sugárzásból (I_{diff}),
— a földről visszaverődött sugárzásból ($I_{földi}$).



7.7. ábra. Az üvegezésen át bejutó hőterhelés sémája (Gábor és Zöld 1981)

b) A külső térből hőátadással is jut be hő a belső térbe (① jel).

c) Az I_{dir} három részre oszlik:

— egy része az üvegben elnyelődik, és a felmelegedett üvegről a belső térbe jut (② jel),
— egy részét az üveg átereszti, és így jut a belső térbe (③ jel),
— egy része a külső, illetve belső üvegfelületről visszaverődik (④ és ⑤ jel).

d) A földi sugárzásból is jut a belső térbe hő, hőátadással (⑥ jel).

Megjegyezzük, hogy mind az I_{diff}, mind az $I_{földi}$ hőmennyiség valójában ugyancsak három részre oszlik: áteresztett, elnyelt és visszavert hányadra. Az ábrán ezt már nem szemléltettük, a jobb áttekinthetőség kedvéért.

2. A napsugárzásból származó hőterhelés nagyon sok tényezőtől függ, mint például

— az üvegezési aránytól,
— a tájolástól,
— a környezet árnyékvetésétől,
— az üveg minőségétől,
— a külső-belső és közbenső árnyékoló szerkezetektől.

E kérdésekkel a későbbiekben azonban még foglalkozunk.

8. Az épületet érő hőhatások

Az épületet érő hőhatásokat két — mint már a korábbiakban említettük —

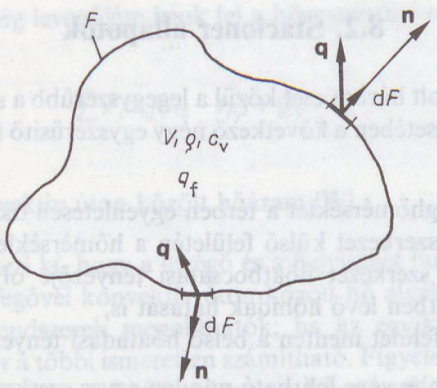
— időben állandó és
— időben változó

jelenségre oszthatjuk. A továbbiakban ezt a felosztást követjük a következő megjegyzésekkel:

1. Először a hővezetés általános differenciálegyenletét nyugvó szilárd közegben mutatjuk be (Macskásy 1952).
2. Ezután a stacioner változások ún. klasszikus módszerét mutatjuk be azzal a megjegyzéssel, hogy az újabb, egyes országokra vonatkozó előírásokban (pl. Bundesgesetzblatt 1977, MSZH 1980, 1985), valamint forrásmunkákban (pl. Billington 1967, Bosnjakovic 1965, Gröber és mtsai 1955, 1963, Macskásy 1952, Tschegg és mtsai 1984) e módszer továbbfejlesztett — de a bemutatott alapelveken nyugvó — változatai megtalálhatók.
3. Ezt követően az instacioner jelenségek elméleti alapjait foglaljuk össze röviden, bővebb adatokat az előzetesen hivatkozott forrásmunkákban lelhetünk.
4. Végül, elsősorban a (Gábor és Zöld 1981) forrásmunka alapján, az instacionernek számító, de épületek esetében gyakori ugrásfüggvény szerinti, valamint a szabályosan változó hőhatások kérdésével, egyszerűsített számítási módjaival foglalkozunk.

8.1. A hővezetés általános differenciálegyenlete nyugvó szilárd közegben

A hővezetés Fourier-féle differenciálegyenletének megfogalmazása a termodinamika első és második főtételére vezethető vissza. Az energiamegmaradási törvény értelmében valamely test V térfogatában feltárolt hő változását két okra vezethetjük vissza. Hőenergiát közölhetünk a rendszerrel a V térrészt tároló F felületen keresztül, valamint hőenergia fejlődhet a rendszerben valamely q_f [W/m^2] intenzitású forrás-



8.1. ábra. A hővezetés általános differenciálegyenletének betűjelzései (Macskásy 1972)

ból *(8.1. ábra)*. Ennek megfelelően

$$\varrho c_v \frac{\delta_t}{\delta_\tau} + \operatorname{div} \mathbf{q} - q_f = 0. \tag{8.1}$$

Az egyenletben

q a test felületén a hőáram vektora [W/m^2].

A második főtétel azáltal jut kifejezésre, hogy a hőáram iránya a hőmérséklet-gradiens irányával ellentétes, azaz a hőáram a csökkenő hőmérsékletek irányába mutat. Így egyenletünk konstans λ hővezetési tényező esetén a

$$\varrho c_v \frac{\delta_t}{\delta_\tau} - \operatorname{div}[\lambda \operatorname{grad} t] - q_f = 0 \tag{8.2}$$

alakot veszi fel. Átrendezés és a div grad $= \nabla^2$ matematikai azonosság felhasználásával

$$\frac{\delta_t}{\delta_\tau} = a \nabla^2 t - \frac{q_f}{\varrho c_v} \tag{8.3}$$

alakban kapjuk a hővezetés általános differenciálegyenletét, ahol

$$a = \frac{\lambda}{c_v \varrho} \qquad [\mathrm{m}^2/\mathrm{s}] \tag{8.4}$$

hőfokvezetési tényező.

Stacionárius állapotban, forrásmentes rendszerben a

$$\nabla^2 t = 0 \tag{8.5}$$

egyenlet írja le a hőmérsékleti teret.

8.2. Stacioner állapotok

Az előzőekben felsorolt három eset közül a legegyszerűbb a stacioner vagy állandósult állapot, amelynek esetében a következő négy egyszerűsítő feltételt kell figyelembe venni:

— a helyiségben a léghőmérséklet a térben egyenletesen oszlik el,
— egy-egy határoló szerkezet külső felületén a hőmérséklet eloszlása egyenletes,
— egy-egy határoló szerkezet hőátbocsátási tényezője olyan átlagérték, amely kifejezi a szerkezetben lévő hőhidak hatását is,
— egy-egy határoló felület mentén a belső hőátadási tényező állandó.

Az előzőeket figyelembe véve felírható minden egyes szerkezetre az ún. egyensúlyi egyenlet:

$$F_j\Big[\sum_h C_{jh} b_{jh}(t_{F_j}-t_{F_h})\Phi_{jh}+ \\ +\alpha_{bj}(t_{F_j}-t_{lb})+\varkappa_j(t_{F_j}-t_{lk})\Big]+Q_{fj}=0, \tag{8.6}$$

ahol

F_j a j-edik, belülről burkoló vagy fűtőfelület területe [m^2],
α_{bj} a hőátadási tényező a j-edik, belülről burkoló felület mentén [$W/(m^2K)$],
Φ_{jh} a kölcsönös besugárzási tényező a j és h sorszámú felületek között,
t_{F_j} a j-edik felület hőmérséklete [°C],
t_{lb} a belső levegő hőmérséklete [°C],
t_{lk} a külső hőmérséklet [°C],
Q_{fj} a j-edik felületen lévő hőforrás, például sugárzó fűtőfelület teljesítménye [W],
C_{jh} a kölcsönös sugárzási együttható [$W/(m^2K^4)$],
b_{jh} a hőmérsékleti tényező, amely a következő összefüggésből számítható:

$$b_{jh}=\frac{\left(\frac{T_j}{100}\right)^4-\left(\frac{T_h}{100}\right)^4}{T_j-T_h}, \tag{8.7}$$

$\varkappa_j$ a j-edik határoló szerkezet hőátbocsátási tényezője a belső felület és a külső közeg között, amely meghatározható a

$$\varkappa_j=\frac{1}{\frac{1}{\alpha_k}+\sum\frac{\delta}{\lambda}} \quad [W/(m^2K)] \tag{8.8}$$

összefüggésből, ahol

α_k a külső hőátadási tényező [$W/(m^2K)$],
δ a rétegvastagság [m],
λ a hővezetési tényező [$W/(m^2K)$].

Amennyiben a helyiség levegőjére írjuk fel a hőegyensúlyi egyenletet, a következő összefüggést kapjuk:

$$\sum F_j \alpha_{bj}(t_{lb} - t_{Fj}) + Q_c = 0, \tag{8.9}$$

ahol

Q_c a levegővel konvektiv úton közölt hőáram [W].

Ez gyakorlatilag azt fejezi ki, hogy a levegő és a helyiséget burkoló felületek közötti hőcsere, valamint a levegővel konvektiv úton közölt hő algebrai összege zérus.

Az előbbi egyenletrendszerek megoldhatók; ha az egyik ismeretlen számszerű értékét megadjuk, ekkor a többi ismeretlen számítható. Figyelembe véve az előzőeket, az egyenletek megoldásának eredményeképpen a következő adatokat kaphatjuk:

— a belső levegő hőmérsékletét,
— az egyes határoló szerkezetek belső felületi hőmérsékletét,
— a levegő és felületi hőmérsékletekből számítható eredő hőmérsékletet,
— a határoló szerkezeteken át a külső környezetbe távozó hőmennyiségeket,
— a helyiség levegőjével, illetve burkoló felületeivel közölt fűtőteljesítményt.

Felhívjuk a figyelmet arra, hogy ilyen részletességű számításra csak nagyméretű, csarnok jellegű helyiségek, terek méretezésekor van szükség. Kisebb helyiségek esetében a következő egyszerűsítő meggondolásokat tehetjük:

— az egyes burkoló felületek közötti hőmérséklet-különbségek általában kicsik, sőt gyakran több burkoló felület hőmérséklete is azonos, mivel a határoló szerkezetek többsége belső helyiségektől választja el a vizsgált helyiségünket,
— ennek eredményeképpen a burkoló felületek és a helyiség levegője közötti hőmérséklet-különbség is csekély.

Mindezeket figyelembe véve a (8.1) összefüggésben felírt, a sugárzásos hőcserére vonatkozó tagok elhanyagolhatók, és a hőátadást és a hőátbocsátást kifejező tagok összevonhatók. A külső határoló szerkezet belső felülete és a többi belső határoló szerkezet közötti sugárzásos hőcsere hatását úgy veszik figyelembe, hogy α_b értékét egy fiktív számmal, a sugárzási hőátadási tényezővel növelik.

Ebben az esetben a hőegyensúlyi egyenlet egyszerű alakot vesz fel:

$$\sum F_j k_j (t_{lb} - t_{lk}) + Q_f = 0, \tag{8.10}$$

ahol

Q_f a fűtőteljesítmény, konvektív és sugárzó egyaránt [W].

Ez a közelítés a helyiségből a környezetbe távozó hőáramok vonatkozásában kielégítő pontosságú eredményt szolgáltat.

További két fontos fogalom:

— a helyiség transzmissziós hőkarakterisztikája (q_t) és
— az ún. K érték.

Az előbbi a

$$q_t = \sum_{\text{külső}} F_j k_j \tag{8.11}$$

összefüggésből számítható, és gyakorlatilag azt a transzmissziós hőáramot jelenti, amely egységnyi hőmérséklet-különbség esetén alakul ki.

A K érték a

$$K = \frac{\sum_{\text{külső}} F_j k_j}{\sum F} \tag{8.12}$$

összefüggésből számítható, ahol

$\sum F$ a helyiséget burkoló összfelület.

Bővebb értelmezése az előzőek alapján szükségtelen.

8.3. Instacioner folyamatok

A határoló szerkezetekben végbemenő instacioner folyamatok követése, számszerűsítése hatalmas matematikai apparátust igényel. Ezek részletes ismertetése nem célja e könyvnek, hanem felhívni a figyelmet arra, hogy mely instacioner folyamatok fordulnak elő épületekben, ezek hogyan csoportosíthatók stb. Bővebb adatok a korábbiakban már hivatkozott forrásmunkákban fellelhetők.

A legfontosabb épületekben, illetve épületszerkezetekben előforduló instacioner jelenségek a következők:

1. *Tranziens problémák elhanyagolható felületi hőátadási ellenállás esetén.* Ez gyakorlatilag azt a problémakört jelenti, amikor egy test, amelynek a jelenség kezdetén ($z=0$ időpontban) a hőmérséklete t, olyan t_k hőmérsékletű környezetbe kerül, ahol a test határoló felülete ezt a hőmérsékletet azonnal felveszi és a jelenség folyamán meg is tartja. E feltétel az ún. elsőfajú peremfeltételnek felel meg és a feladat általában a test hőmérsékletmezejének meghatározása az idő függvényében.

Ilyen probléma például

— a végtelen kiterjedésűnek tekinthető sík fal felmelegedése és lehűlése,
— a tranziens hőmérséklet-megoszlás végtelen félteret kitöltő közegben (talaj),
— a középponti hőmérséklet különböző alakú testek esetében,
— a hőmérséklethullámok behatolása végtelen félteret kitöltő közegbe.

2. *Tranziens problémák véges felületi hőellenállás esetében.* Ebben az esetben a belső hőellenállás, illetve a felületi hőellenállás nem vesz fel extrém értéket, ezért nem engedhetők meg az előző esetben alkalmazott egyszerűsítések. Ezen eseteket harmadfajú határfeltételnek tekinthetjük.

Ide sorolhatók például

— a hőmérséklet-megoszlás végtelen lemezen,
— a hőmérséklet-megoszlás végtelen hosszú hengerben,

— az átlaghőmérsékletek problémaköre,
— a hőmérséklet-megoszlás végtelen félteret kitöltő közegben,
— a környezet harmonikus hőmérséklethullámainak behatolása végtelen félteret kitöltő közegbe,
— a falakban terjedő hőmérséklethullámok (egy- és többrétegű falak).

8.4. Szabályosan változó hőhatások

E csoportba sorolhatók

— az ugrásfüggvény szerinti változó hőhatások,
— a periodikusan változó és a pulzáló hőhatások.

8.4.1. Ugrásfüggvény szerint változó hőhatások

A stacioner, azaz állandó változások a valóságot csak durván közelítik meg, a befolyásoló tényezők ugyanis az idő függvényében változnak. E változások legegyszerűbb módja az ún. ugrásfüggvény szerinti, amelynek értelmezése a *8.2. ábrán* látható.

Jellemzője az ugrásfüggvény szerinti változásnak, hogy

— egy adott időpont előtt a jelenséget befolyásoló paraméterek állandóak, a jelenség stacioner,
— egy adott időpontban a jelenséget befolyásoló paraméterek egyike hirtelen, „ugrásszerűen" megváltozik,
— ezen adott időpont után az a paraméter, amely ugrásszerűen megváltozott, a továbbiakban az új értéken marad.

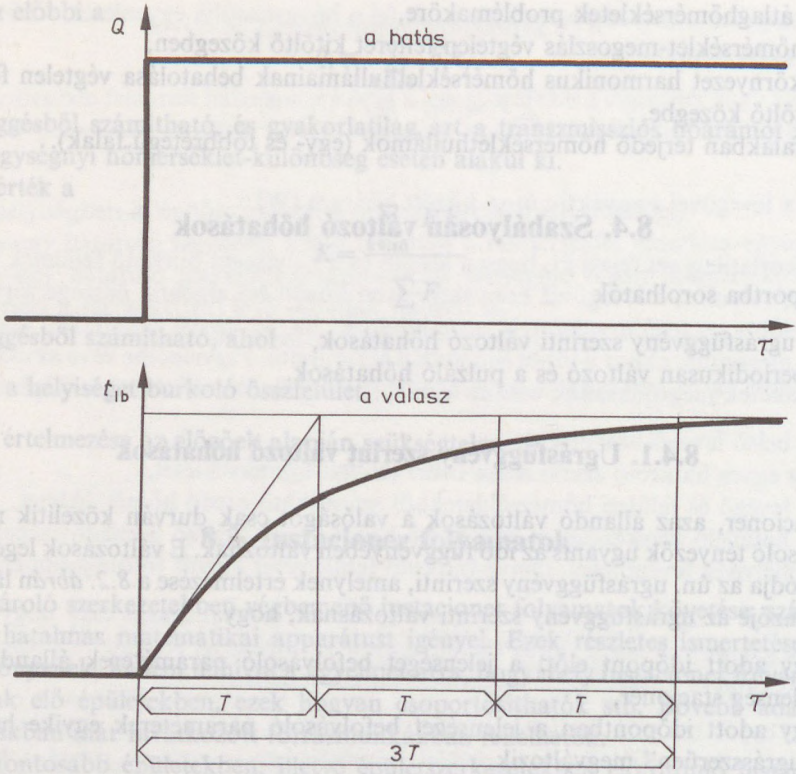
A gyakorlatban ilyen esettel találkozunk fűtő- vagy szellőztetőrendszer hirtelen beindításakor, vagy pl. a külső hőmérséklet hirtelen változásakor.

A helyiségek ilyen jellegű változásokra adott válasza az ugrásfüggvényekre adott összefüggésekkel jól meghatározható, bár a gyakorlatban ilyen esetek viszonylag ritkán fordulnak elő. Az ugrásfüggvényre kidolgozott megoldás azonban felhasználható más, összetettebb, pl. az idővel arányos változás követésére is. A konkrét feladat megoldásán kívül az ugrásfüggvényre vonatkozó megoldás viszonylag egyszerű módon ad olyan tájékoztatást a rendszerről, illetve a helyiségről, amelynek alapján a rendszer lustasága, a helyiségnek az őt érő hatásokra adott válaszainak késése, lustasága stb., az egyes jellemzők változásának iránya jól jellemezhető.

A jelenséget leíró matematikai összefüggések gondolatmenete a következő.

Legyen a helyiség hőtároló képessége W, a hőkarakterisztikája q_t, a helyiségben, és annak határoló szerkezeteiben az állandósult állapotok uralkodnak. A $z = z_0$ pillanatban a helyiség és a környezet közötti hőmérséklet-különbség ϑ_0 értékkel ugrásszerűen megváltozik. Az ugrásszerű változás folyamatát leíró mérlegegyenlet rögzíti azt a tényt, hogy a helyiségből a környezetbe távozó hőáramokat a helyiség által tárolt hő változása fedezi:

$$q\vartheta \, dz = -W d\vartheta \,, \tag{8.13}$$



8.2. ábra. A helyiség válasza ugrásszerű hőhatásra: T az időállandó; $3T$ időtartam alatt a folyamat „lecseng", gyakorlatilag kialakul az új állapotnak megfelelő egyensúly (Gábor és Zöld 1981)

azaz annyi hő távozott a dz időtartam alatt a környezetbe, amennyivel csökkent a helyiség által feltárolt hőmennyiség.

Az összefüggés megoldása:

$$\vartheta z = \vartheta_0' e^{-z/Z}. \tag{8.14}$$

Az összefüggésben szereplő Z érték a helyiség külső időállandója. Minél nagyobb a helyiség hőtároló képessége (W) és minél kisebb a hőkarakterisztikája (q_t), annál nagyobb az időállandó, vagyis annál lustábban válaszol a helyiség.

8.4.2. Periodikusan változó és pulzáló hőhatások

E jelenségsorozatba két jellegzetes esetet sorolhatunk:

— az idő függvényében általában szabályszerű periodicitással változó hatások, amelyek periódusideje rendszerint 24 óra (ilyen pl. a napsugárzás intenzitásának napi változása),

— pulzáló jellegű hatások, azaz megszakított, majd lökésszerűen jelentkező hatások (pl. mesterséges világítás bekapcsolása).

8.4.2.1. Periodikus változások

A helyiséget érő periodikus hőhatások általában szinuszos jellegűek. A helyiséget érő periodikus hőhatások esetében a feladat a következő kérdések megválaszolása:

— Milyen hőmérséklet-változással válaszol a helyiség az őt érő periodikus hatásokra,
— A helyiség válaszát milyen építészeti, épületszerkezeti eszközökkel lehet a kívánt irányban és mértékben befolyásolni,
— Milyen, az üzemeltető által szabályozott forrásból származó hőterheléssel lehet a helyiséget érő hatásokat úgy kompenzálni, hogy a belső hőmérséklet egy megadott értéknek feleljen meg.

A feladat lényege: meghatározni a kapcsolatot a helyiséget érő hőterhelés és a helyiség-hőmérséklet ingadozása között. Ezt a kapcsolatot egy-egy határoló szerkezet és az őt érő hatások vonatkozásában egy-egy helyiség esetében a következő módon számíthatjuk.

Először is ismernünk kell a hőelnyelési tényezőket és a fajlagos hőstabilitást. E jelzőszámok ismeretében a belső burkoló felület hőmérséklet-ingadozása és a burkoló felületbe behatoló hőáram-ingadozás közötti kapcsolatot a helyiség hőelnyelési tényezője fejezi ki:

$$Y = \sum F_j U_j. \tag{8.15}$$

A helyiség-hőmérséklet ingadozása és a helyiségbe jutó hőáram-ingadozás közötti kapcsolatot pedig a helyiség hőstabilitása fejezi ki:

$$H = \sum F_j B_j. \tag{8.16}$$

Mindkét jellemző érték megadja, hogy mekkora, időben szinuszfüggvény szerint változó, hőáram-ingadozás okoz egységnyi amplitúdójú hőmérséklet-ingadozást. Ez a

$$Y = \frac{F_Q}{F_{tF}}, \qquad H = \frac{F_Q}{F_{tb}} \tag{8.17}$$

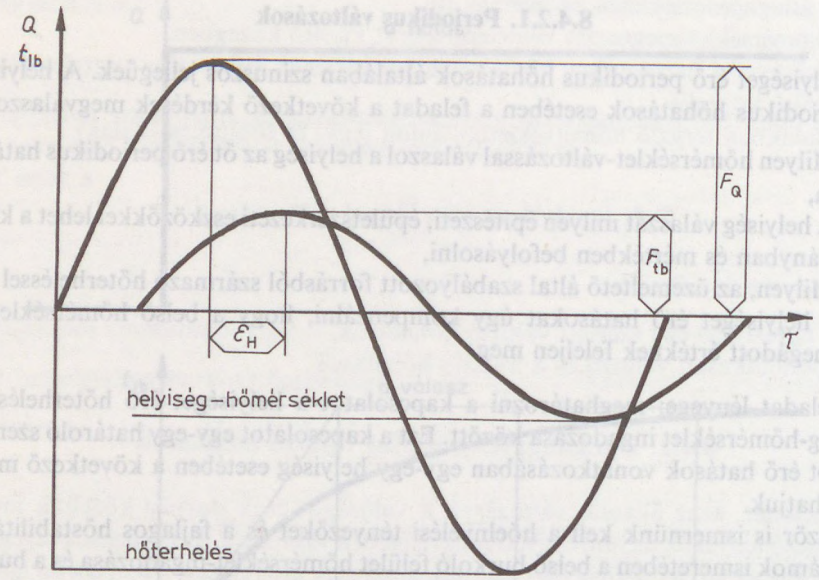
összefüggésekből számítható, ahol

F_j a j-edik határoló szerkezet felülete [m^2],
F_Q a hőáram-ingadozás amplitúdója [°C],
F_{tF} a burkoló felület átlaghőmérséklet-ingadozásának amplitúdója [°C],
F_{tb} a helyiség-hőmérséklet ingadozásának amplitúdója [°C].

Az egyes jelölések a *8.3. ábrán* láthatók.

Kisebb helyiségek esetében a levegő hőtartalmának változása elhanyagolható, nagyobb (pl. csarnokszerű) helyiségek esetében azonban annak szerepe is viszonylag jelentős. Ez esetben a helyiség térfogatában lévő levegő hőstabilitása a következő összefüggésből

$$H_l = V \varrho c \frac{2\pi i}{\tau_0} \tag{8.18}$$



8.3. ábra. Az időben szinuszosan változó hőterhelés és az általa előidézett helyiség-hőmérséklet menete (Gábor és Zöld 1981)

számítható, ahol

V a helyiség térfogata [m^3],
ϱ a levegő sűrűsége [kg/m^3],
c a levegő fajhője [J/(kg K)],
i a képzetes egység,
τ_0 a periódusidő [h].

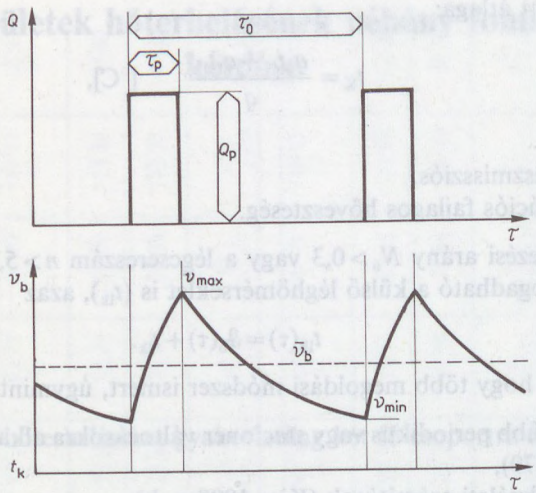
8.4.2.2. Pulzáló hőhatások

A pulzáló hatások elsősorban abban térnek el a periodikus hatásoktól, hogy nem középérték körül ingadoznak, hanem időszakosan lépnek fel. Ez a hőhatás lehet pozitív (fűtés), de negatív is (hűtés). Jellemzőjük a hőáram nagysága (Q_p), a hőterhelés időtartama (τ_p) és a periódusidő (τ_0), mint az a *8.4. ábrán* látható. A jelenség meghatározható végtelen sok szinuszfüggvény szuperpozíciójából (Ádám és mtsai 1968), és bővebb magyarázat található táblázatos és grafikus feldolgozásáról a szakirodalomban (pl. Bogoszlovszkij 1970, Sklover 1961).

A pulzáló hőterheléssel kapcsolatos alapösszefüggések a következők:

a) A pulzáló hőterhelés átlagértéke a teljes periódusra:

$$\bar{Q}_p = \frac{\tau_p}{\tau_0} Q_p \quad [W]. \tag{8.19}$$



8.4. ábra. A pulzáló hőterhelés okozta túlhőmérséklet (Gábor és Zöld 1981)

b) A helyiség túlhőmérsékletének átlaga:

$$\vartheta_b = Q_p \frac{\tau_p}{\tau_0}\left(\frac{1}{q} - \frac{1}{\Lambda}\right) \quad [°C], \tag{8.20}$$

ahol

Λ a helyiség burkoló felületén lejátszódó hőátadásra jellemző szám.

c) A helyiség túlhőmérséklete abban az időtartamban, amikor Q_p hat, a

$$\vartheta_b(\tau) = Q_p\left(\frac{\Omega(\tau_0\tau_p)}{Y} + \frac{\frac{\tau_p}{\tau_0}}{q} - \frac{\frac{\tau_p}{\tau_0}}{\Lambda} + \frac{1-r}{\Lambda}\right) \quad [°C] \tag{8.21}$$

összefüggésből számítható, ahol eddig ismeretlen

Ω segédérték, amely meghatározható a szakirodalomból (Bogoszlovszkij 1970, Sklover 1961),

r a hőterhelés sugárzó hányada.

d) A helyiség túlhőmérséklete abban az időtartamban amikor Q_p nem hat:

$$\vartheta_b(\tau) = Q_p\left(\frac{\Omega(\tau_0\tau_p)}{Y} + \frac{\frac{\tau_p}{\tau_0}}{q} - \frac{\frac{\tau_p}{\tau_0}}{\Lambda}\right) \quad [°C]. \tag{8.22}$$

e) A ϑ_b túlhőmérséklet viszonyítási alapjául szolgáló külső hőmérséklet (t_K), ami az egyenértékű „napléghőmérséklet" (t_N) és a külső levegő hőmérsékletének

(t_{lk}) súlyozott átlaga:

$$t_K = \frac{q_t t_N + q_f t_{lk}}{q} \quad [°C], \tag{8.23}$$

ahol

q_t a transzmissziós,
q_f a filtrációs fajlagos hőveszteség.

f) Ha az üvegezési arány $N_ü > 0{,}3$ vagy a légcsereszám $n > 5$, akkor viszonyítási alapnak elfogadható a külső léghőmérséklet is (t_{lk}), azaz

$$t_{lb}(\tau) = \vartheta_b(\tau) + t_{lk}. \tag{8.24}$$

Megjegyezzük, hogy több megoldási módszer ismert, úgymint

— a legegyszerűbb periodikus vagy stacioner változásokra alkalmazható megoldások (TTI 1979),
— hasonlóságelméleti számítások (Kiss 1980 a, b)
— kézi számításokra is alkalmas szuperpozíciós eljárások,
— differenciálegyenlet-rendszereket az emberi mérlegegyenletek módszerének felhasználásával, számítógépek alkalmazásával (Ring 1977).

Mindezen megoldásokra a hivatkozott irodalmi munkákban találhatunk bővebb adatokat.

9. Az épületek hőterhelésének néhány fontosabb kérdése

Az épületeket érő hőterheléseket gyakorlatilag két fő csoportra oszthatjuk:

— a külső és
— a belső

hőterhelésekre.

9.1. Az épületek külső hőterhelése

Az épületek külső hőterhelése ugyancsak két nagy csoportra osztható:

— a sugárzást át nem bocsátó határoló szerkezeteken át bejutó transzmissziós hőáramra, valamint
— a napsugárzásnak az üvegezésen át bejutó hőterhelésére.

Mindkét tényezővel a korábbiakban, a 7. fejezetben már foglalkoztunk, itt csak a témakör néhány fontos gyakorlati kérdésére hívjuk fel a figyelmet.

A transzmissziós hőveszteségek és a napsugárzásból eredő hőnyereségek alapján összeállíthatók az üvegezések hőmérlegei.

Az ablak- és üvegszerkezeteken keresztül a külső-belső hőmérséklet-különbség és a napsugárzás együttes hatására létrejövő energiaveszteség- és energianyereség-adatai a szakirodalomban táblázatosan és ábra formájában egyaránt megtalálhatók. Hazai vonatkozásban elsősorban a (Gábor és Zöld 1981, Szabó 1986) forrásmunkákra hívjuk fel a figyelmet. Jellegükre nézve az utóbbiból mutatunk be példákat:

— a *9.1. táblázat*ban egy hőhídmentes alumínium ablakszerkezetre vonatkozó, északi tájolásra és január hónapra vonatkozó adatai találhatók,
— a *9.2. táblázat*ban ugyanezen adatok egy déli tájolású ablakra vonatkoznak,
— a *9.3. táblázat* adatai egyesített szárnyú fa ablakszerkezetre, éjjel belső függöny és leeresztett külső redőny szerkezetre, északi tájolású ablakra és január hónapra vonatkoznak,
— a *9.4. táblázat* egy ugyanilyen, de déli tájolású ablak adatai.

9.1. táblázat. Hőhídmentes alumínium ablakszerkezet, egyesített kétrétegű üvegszerkezettel. Eredő hőátbocsátási tényező: $k = 3{,}2$ W/(m² K) (Szabó 1986)

Tájolás: Észak
Hónap: Januári nap

Időpont [óra]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Keret [W]	−23,60	−23,70	−23,60	−23,39	−22,98	−22,46	−21,84	−21,22	−20,60	−19,98	−19,46	−19,04
Üvegezés [W]	−49,48	−49,69	−49,48	−49,04	−48,17	−47,09	−45,79	−44,48	−35,88	−26,53	−21,06	−17,27
Eredő energiaforgalom [W/m² ablak]	−73,07	−73,39	−73,07	−72,43	−71,15	−69,55	−67,63	−65,70	−56,47	−46,51	−40,52	−36,32
Időpont [óra]	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Keret [W]	−18,84	−18,73	−18,84	−19,04	−19,46	−19,98	−20,60	−21,22	−21,84	−22,46	−22,98	−23,39
Üvegezés [W]	−16,84	−19,55	−24,15	−32,62	−40,80	−41,88	−43,18	−44,48	−45,79	−47,09	−48,17	−49,04
Eredő energiaforgalom [W/m² ablak]	−35,68	−38,28	−42,98	−51,66	−60,25	−61,86	−63,78	−65,70	−67,63	−69,55	−71,15	−72,43

A napi energiaforgalom összegzése:

Pozitív komponensek összege: 0,00 Wh/(m² nap)
Negatív komponensek összege: −1466,78 Wh/(m² nap)

9.2. táblázat. Hőhídmentes alumínium ablakszerkezet, egyesített kétrétegű üvegszerkezettel. Eredő hőátbocsátási tényező: $k = 3{,}2$ W/(m^2 K) (Szabó 1986)

Tájolás: Dél
Hónap: Januári nap

Időpont [óra]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Keret [W]	−23,60	−23,70	−23,60	−23,39	−22,98	−22,46	−21,84	−21,22	−20,60	−19,98	−19,46	−19,04
Üvegezés [W]	−49,48	−49,69	−49,48	−49,04	−48,17	−47,09	−45,79	−44,48	43,78	103,55	138,25	177,85
Eredő energiaforgalom [W/m^2 ablak]	−73,07	−73,39	−73,07	−72,43	−71,15	−69,55	−67,63	−65,70	23,19	83,57	118,79	158,81
Időpont [óra]	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Keret [W]	−18,84	−18,73	−18,84	−19,04	−19,46	−19,98	−20,60	−21,22	−21,84	−22,46	−22,98	−23,39
Üvegezés [W]	179,02	152,19	101,55	42,65	−40,80	−41,88	−43,18	−44,48	−45,79	−47,09	−48,17	−49,04
Eredő energiaforgalom [W/m^2 ablak]	160,18	133,46	82,71	23,61	−60,25	−61,86	−63,78	−65,70	−67,63	−69,55	−71,15	−72,43

A napi energiaforgalom összegzése:

Pozitív komponensek összege: 784,32 Wh/(m^2 nap)
Negatív komponensek összege: −1098,35 Wh/(m^2 nap)

9.3. táblázat. Egyesített szárnyú fa ablakszerkezet kétrétegű üvegezéssel. Éjjel belső függöny és leengedett külső redőnyszerkezet. Eredő hőátbocsátási tényező: nappal 2,5; éjjel 1,25 W/(m² K) (Szabó 1986)

Tájolás: Észak
Hónap: Januári nap

Időpont [óra]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Keret [W]	−4,31	−4,33	−4,31	−4,27	−4,20	−4,10	−3,99	−7,75	−7,52	−7,30	−7,11	−6,96
Üvegezés [W]	−24,74	−24,85	−24,74	−24,52	−24,09	−23,54	−22,89	−44,48	−35,88	−26,53	−21,06	−17,27
Eredő energiaforgalom [W/m² ablak]	−29,05	−29,17	−29,05	−28,79	−28,28	−27,65	−26,88	−52,23	−43,40	−33,83	−28,17	−24,23
Időpont [óra]	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Keret [W]	−6,88	−6,84	−6,88	−3,48	−3,55	−3,65	−3,75	−3,87	−3,99	−4,10	−4,20	−4,27
Üvegezés [W]	−16,84	−19,55	−24,15	−12,66	−20,40	−20,94	−21,59	−22,24	−22,89	−23,54	−24,09	−24,52
Eredő energiaforgalom [W/m² ablak]	−23,72	−26,39	−31,03	−16,13	−23,95	−24,59	−25,35	−26,12	−26,88	−27,65	−28,28	−28,79

A napi energiaforgalom összegzése:

Pozitív komponensek összege: 0,00 Wh/m², nap
Negatív komponensek összege: −689,61 Wh/m², nap

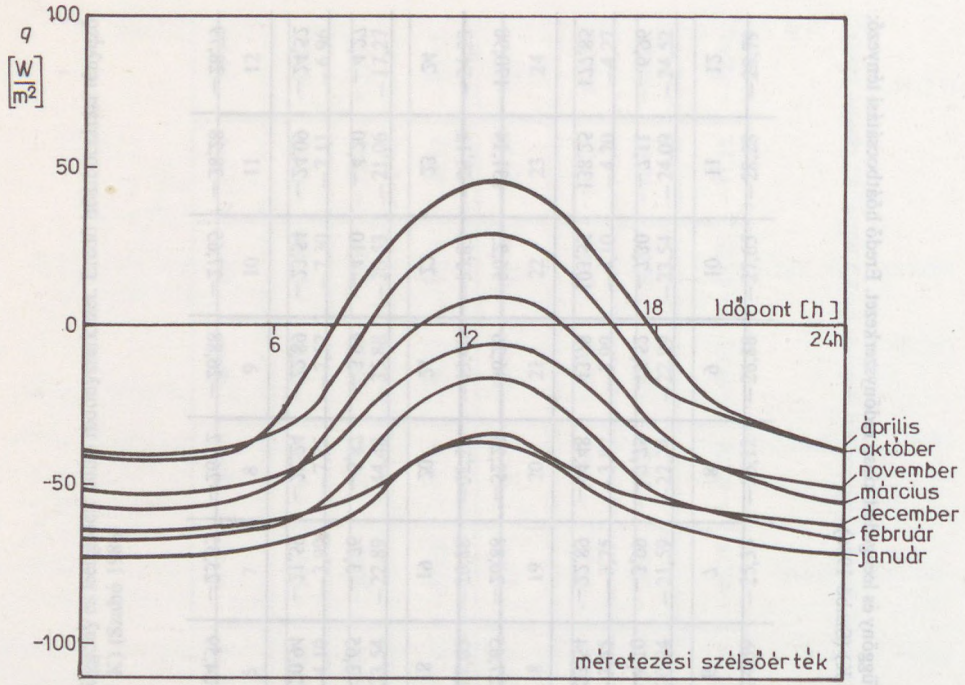
9.4. táblázat. Egyesítlett szárnyú fa ablakszerkezet kétrétegű üvegezéssel. Éjjel belső függöny és leengedett külső redőnyszerkezet. Eredő hőátbocsátási tényező: nappal 2,5; éjjel 1,25 W/(m² K) (Szabó 1986)

Tájolás: Dél
Hónap: Januári nap

Időpont [óra]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Keret [W]	−4,31	−4,33	−4,31	−4,27	−4,20	−4,10	−3,99	−7,75	−7,52	−7,30	−7,11	−6,96
Üvegezés [W]	−24,74	−24,85	−24,74	−24,52	−24,09	−23,54	−22,89	−44,48	43,78	103,55	138,25	177,85
Eredő energiaforgalom [W/m² ablak]	−29,05	−29,17	−29,05	−28,79	−28,28	−27,65	−26,88	−52,23	36,26	96,25	131,14	170,90
Időpont [óra]	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Keret [W]	−6,88	−6,84	−6,88	−3,48	−3,55	−3,65	−3,76	−3,87	−3,99	−4,10	−4,20	−4,27
Üvegezés [W]	179,02	152,19	101,55	62,62	−20,40	−20,94	−21,59	−22,24	−22,89	−23,54	−24,09	−24,52
Eredő energiaforgalom [W/m² ablak]	172,14	145,35	94,67	59,14	−23,95	−24,59	−25,35	−26,12	−26,88	−27,65	−28,28	−28,79

A napi energiaforgalom összegzése:

Pozitív komponensek összege: 905,85 Wh/m², nap
Negatív komponensek összege: −462,72 Wh/m², nap



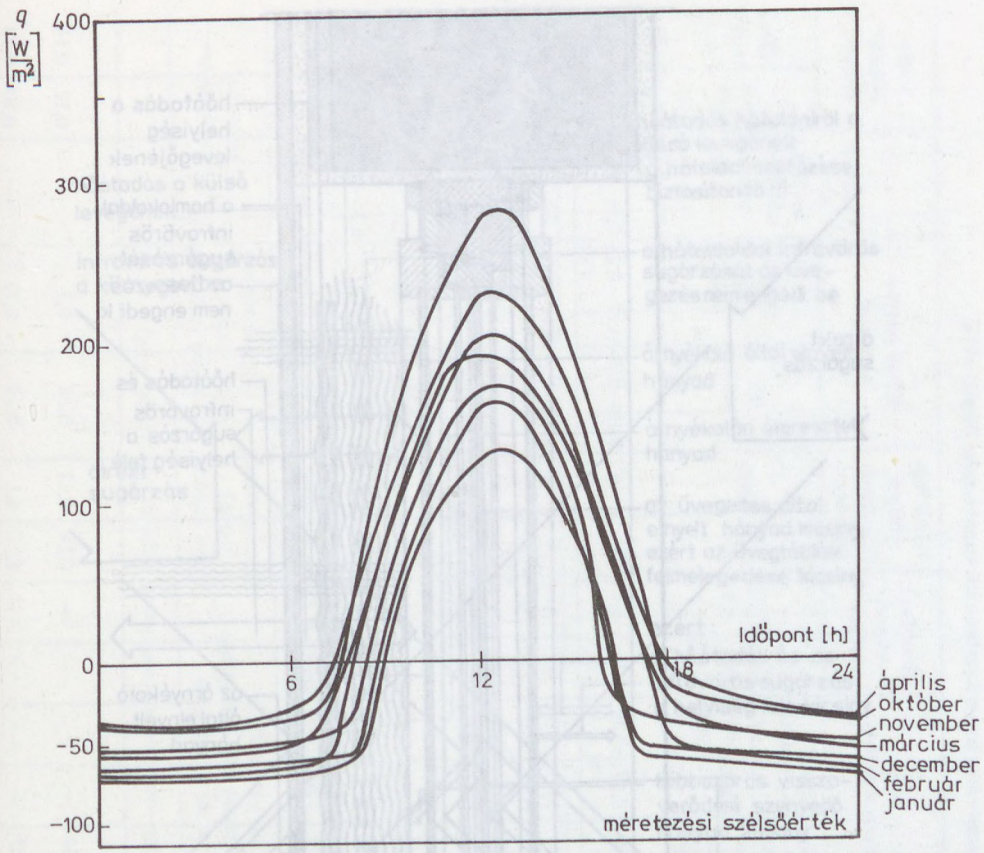
9.1. ábra. Északi tájolású, hőhídmentes alumínium ablakszerkezet napi energiaforgalma. Egyesített kétrétegű üvegszerkezet, eredő hőátbocsátási tényező $k = 3{,}2$ W/(m² K) (Szabó 1986)

Ugyanezen adatok ábrázolására két ábra:

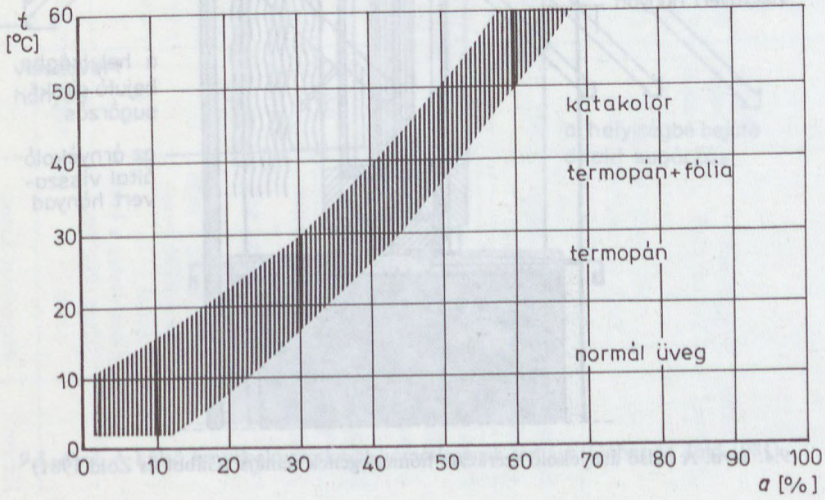
— a *9.1. ábrán* északi tájolású, hőhídmentes alumínium ablakszerkezet napi energiaforgalma látható, míg
— a *9.2. ábrán* ugyanezen ablak adatai déli tájolás esetén.

Ugyanezen témakörhöz csatlakozik a *9.3. ábra,* amely a hőelnyelő üveg felmelegedésére vonatkozóan mutat be adatokat.

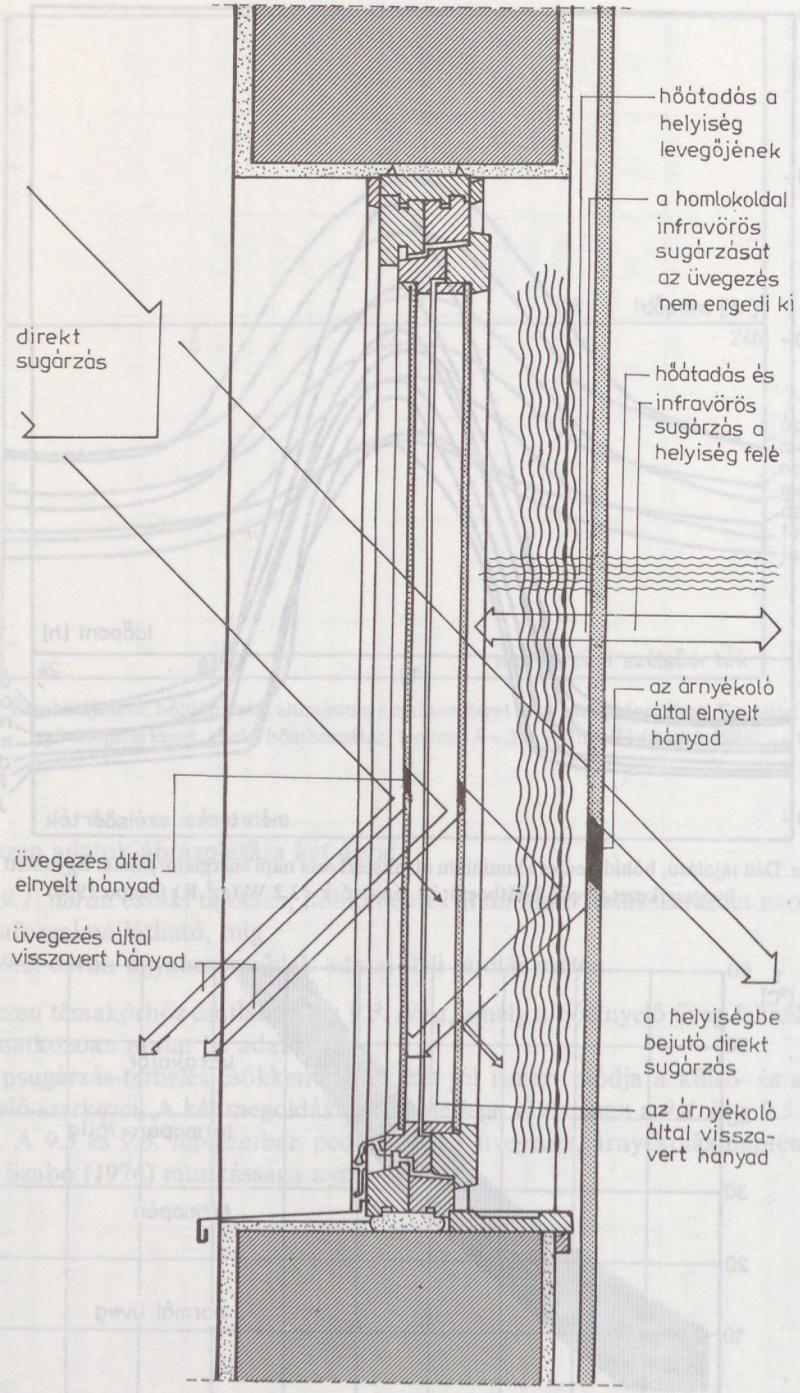
A napsugárzás-terhelés csökkentésének két jól ismert módja a külső- és a belső árnyékoló szerkezet. A két megoldás elvi hőmérlege vázlatosan a *9.4.* és a *9.5. ábrán* látható. A *9.5* és *9.6. táblázat*ban pedig néhány üvegezés, árnyékolás napténye zője látható Szabó (1974) munkássága nyomán.



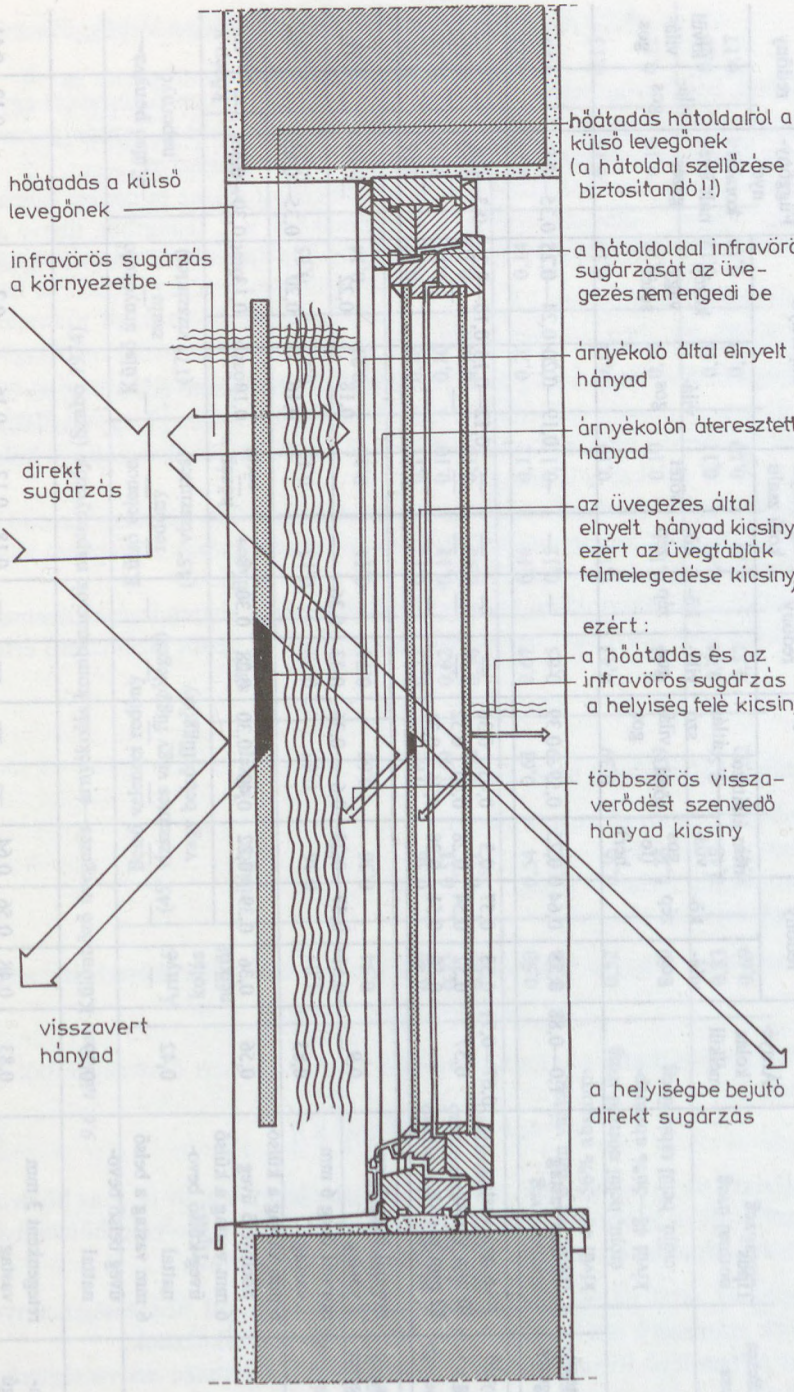
9.2. ábra. Déli tájolású, hőhídmentes alumínium ablakszerkezet napi energiaforgalma. Egyesített kétrétegű üvegszerkezet, eredő hőátbocsátási tényező $k = 3{,}2$ W/(m² K) (Szabó 1986)



9.3. ábra. A hőelnyelő üvegek felmelegedése (Gábor és Zöld 1981)



9.4. ábra. A belső árnyékoló szerkezet hőmérlegének sémája (Gábor és Zöld 1981)



9.5. ábra. A külső árnyékoló szerkezet hőmérlegének sémája (Gábor és Zöld 1981)

9.5. táblázat. Különböző üvegezés—árnyékolás kombinációk napténye zője (Szabó 1974)

Típus		Árnyékolás nélkül	Belső velencei redőny		Belső vászon redőny			Közbenső velencei redőny		Külső függőleges fém árnyékoló zsalu		Külső ponyva napernyő		Függönnyel kombinált üvegezés	Külső velencei redőny	
			világos	közép	nem átlátszó: világos (fehér)	nem átlátszó: sötét	átlátszó világos	világos	közép	közép	sötét	világos	közép vagy sötét		világos	kívül világos
Egyrétegű üvegezés	3—12 mm vastag	1,0—0,88	0,55	0,64	0,25	0,59	0,39	—	—	—	—	0,19—0,20	0,24—0,25	0,35—0,8	—	—
Hőelnyelő üveg	3—6 mm vastag	0,67—0,71	0,53	0,57	0,3	0,45	0,36	—	—	—	—	0,12—0,16	0,16—0,2	0,3—0,6	—	—
	10 mm vastag	0,57	0,52	0,54	0,28	0,40	0,32	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	12 mm vastag	—	0,50	0,51	0,28	0,36	0,31	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Kettős üvegezés	normál üveg 3 mm vastag	0,9	0,51	0,57	0,25	0,6	0,36	0,33	0,36	—	—	0,18	0,22	—	—	—
	normál üveg 6 mm vastag	0,83										0,16	0,20	0,35—0,65	—	—
	6 mm vastag a külső hőelnyelő üveg	0,56	0,36	0,39	0,22	0,40	0,30	0,28	0,30	—	—	0,10	0,13	0,30—0,50	—	—
	6 mm vastag a külső üveg külső bevonattal	0,42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	6 mm vastag a belső üveg belső bevonattal	0,29														
Háromrétegű üvegezés	rétegenként 3 mm vastag	0,83	0,48	0,56	0,64	—	—	—	—	0,18	0,12	0,16	0,2	—	0,12	0,11
	rétegenként 6 mm vastag	0,69	0,47	0,52	0,57	—	—	—	—	0,15	0,1	0,14	0,17	—	0,10	0,10

9.6. táblázat. Különböző üvegezés—árnyékolás kombinációk naptényezője (Szabó 1974)

Típus		Árnyékolás nélkül	Belső velencei redőny (45° vízszintes vagy függőleges) vagy belső függöny			Külső velencei redőny (45° vízszintes)		Külső árnyékoló zsalu (17° vízszintes)		Külső ponyva-napernyő	
			világos	közép	sötét	világos	közép v. sötét	közép	sötét	világos	közép v. sötét
Normál üveg		1,0	0,56	0,65	0,75	0,15	0,13	0,22	0,15	0,20	0,25
Táblaüveg	6 mm vastag	0,94	0,56	0,65	0,74	0,14	0,12	0,21	0,14	0,19	0,24
Abszorbens üveg	40—48% abszorpció	0,80	0,56	0,62	0,72	0,12	0,11	0,18	0,12	0,16	0,20
	48—56% abszorpció	0,73	0,53	0,59	0,62	0,11	0,10	0,10	0,11	0,15	0,18
	56—70% abszorpció	0,62	0,51	0,54	0,56	0,10	0,10	0,14	0,10	0,12	0,16
Kettős üvegezés	normál üveg	0,90	0,54	0,61	0,67	0,14	0,12	0,20	0,14	0,18	0,22
	táblaüveg 6 mm vastag	0,80	0,52	0,59	0,65	0,12	0,11	0,18	0,12	0,16	0,20
	kívül 48—56% abszorpciójú, belül normál üveg	0,52	0,36	0,39	0,43	0,10	0,10	0,11	0,10	0,10	0,13
	kívül 48—56% abszorpciójú, belül tábla üveg	0,50	0,36	0,39	0,43	0,10	0,10	0,11	0,10	0,10	0,12
Hármas üvegezés	normál üveg	0,83	0,48	0,56	0,64	0,12	0,11	0,18	0,12	0,16	0,20
	táblaüveg	0,69	0,47	0,52	0,57	0,10	0,10	0,15	0,10	0,14	0,17

9.2. Az épületek belső hőterhelése

Az épületek belső hőterhelése szempontjából a hő- és nedvességterhelést egyaránt figyelembe veszik, mivel az ember szempontjából az utóbbi is fontos paraméter, másrészt az épület energiamérlegében ugyancsak szerepet játszhat.

A belső hőterhelés szempontjából első helyre az ember száraz és nedves hőleadását helyezhetjük. Ennek számszerű értékeit a korábbiakból, a 2. fejezetből, illetve annak 2.2. táblázatából határozhatjuk meg. Ezen fajlagos, 1 m^2-re vonatkoztatott egységeket

— felnőtt emberek esetében 1,8,
— gyermekek esetében, 10 éves korig 1,2

értékkel megszorozva kapjuk meg az egy főre számításba vehető adatokat. Az emberi test hőleadása kommunális épületekben számottevő lehet, hiszen pl. egy iskolában, 30 fős osztályt figyelembe véve, a normál tanítási idő alatt a gyerekek óránkénti hőleadása 2088—3132 W értéket is jelenthet.

A második belső hőforrásnak tekinthető a mesterséges megvilágításból eredő belső hőfejlődés. Hőterhelés szempontjából figyelembe vehető értéke: a beépített világítótestek számszerű teljesítményének összege.

A technológiai folyamatokban részt vevő villamosgépek, berendezések üzemeltetéséből keletkező hőmennyiséget ugyancsak figyelembe kell venni. Számszerű értéke a

$$Q_{\text{gép}} = e \sum_{i=1}^{n} \frac{P_i}{\eta} \omega_i \qquad [\text{W}] \tag{9.1}$$

összefüggésből határozható meg, ahol

P_i a villamos motorok teljesítménye,
η a motor hatásfoka,
ω_i a munkagép terhelési foka,
e az egyidejűségi tényező.

A motorokon kívül egyéb technológiai felületekből is adódhat hőterhelés, amely a

$$Q_{\text{tech}} = F\alpha(t_1 - t_2) \qquad [\text{W}] \tag{9.2}$$

összefüggésből számítható, ahol a hőátadási tényező az ismert összefüggésből határozható meg:

$$\alpha = \alpha_s + \alpha_c \qquad [\text{W}/(\text{m}^2\,\text{K})]\,. \tag{9.3}$$

A t_1 és t_2 jelzést azért alkalmazzuk, mert a hőterhelés lehet negatív is, azaz hőelvonás, pl. egy beszállított nagyobb volumenű egység felmelegítésére szolgáló hőmennyiség.

Ami a nedvességterhelést jelenti, az két tényezőből adódhat:

a) Az emberek által párolgással és/vagy izzadással leadott nedvességmennyiség, melynek számszerű értékével a 2. fejezetben már foglalkoztunk.
b) A zárt térben lévő folyadékfelületek párolgásából származó nedvességterhelés, amely az

$$\dot{m}_{\text{vf}} = \beta F(p_{\text{vf}} - p_{\text{vg}})\tau \qquad [\text{kg}] \tag{9.4}$$

összefüggésből számítható, ahol

β az anyagátadási tényező [kg/(m^{2}sPa)],
F a párolgó felület [m^2],
p_{vf} a folyadékfelület hőmérsékletének megfelelő vízgőz parciális nyomása [Pa],
p_{vg} a levegőben lévő vízgőz parciális nyomása [Pa],
τ a vizsgált időtartam [s].

Megjegyezzük, hogy e folyadékfelületeknek természetesen „száraz" hőleadása is van, amelyet az ismert módon számíthatunk.

A témakör ilyen rövid összefoglalását azért tartjuk elegendőnek, mivel az egyes jelenségekkel részben más fejezetekben foglalkoztunk, részben pedig közismertek, így nagyon sok szakmunkában megtalálhatók (Fekete 1967, Fekete és Menyhárt 1965, Menyhárt 1967, 1975, Recknagel és Sprenger 1974).

10. Az épületek légforgalmának kérdései

E fejezeten belül az épület két, a légforgalommal összefüggő kérdésével foglalkozunk:

— a filtrációval és
— a tulajdonképpeni szellőztetéssel.

10.1. Filtrációs légforgalom

Filtrációs levegőforgalomról akkor beszélünk, ha az a helyiségek és környezete közötti levegőforgalom a nyílászárón, a nyílászárók résein, épületszerkezetek illesztésein, egyes esetekben a légáteresztő szerkezetek felületein, szellőzőnyílásokon, kürtőkön keresztül játszódik le. A levegő mozgását a gravitációs felhajtóerő, szél okozta torlónyomás, a kiegészítő szellőzés működése, illetve együttes hatása okozhatja.

Filtrációról gyakorlatilag akkor beszélünk, ha

— a jelenség a fűtési idényben zajlik le,
— a levegő áramlását előidéző nyomáskülönbség nem mesterséges, hanem természetes, tehát gravitációs felhajtóerő vagy szél,
— a levegőáramlás egészében, vagy legalábbis nagyobb részt az épület helyiségei nyílászáróinak láncolatán keresztül megy végbe,
— a helyiségbe jutó levegő felmelegítését az épület fűtőberendezése végzi.

Megjegyezzük, hogy szerepet játszhat a filtrációs légforgalomban a gépi szellőztetés is.

A filtrációs levegőforgalmat gyakorlatilag két természetes hatás alakítja ki:

— a belső és külső levegő-hőmérsékletek különbsége és az ezzel „együttjáró" sűrűségkülönbség, amelynek gyűjtőneve gravitációs felhajtóerő,
— a külső légnyomásviszonyok.

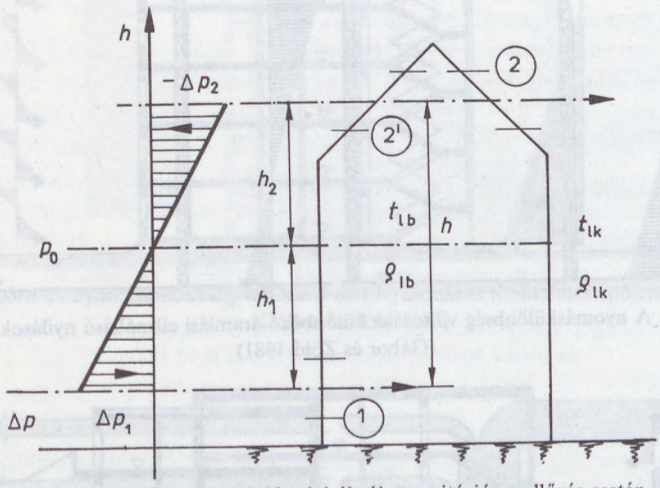
10.1.1. A gravitációs felhajtóerő hatására kialakuló levegőforgalom

Amennyiben egy adott h magasságú, teljesen zárt épület, amelyben a levegő hőmérséklete t_{lb}, sűrűsége ϱ_{lb}, és az azt körülvevő külső levegő hőmérséklete t_{lk}, sűrűsége ϱ_{lk}, akkor az épület külső felületére

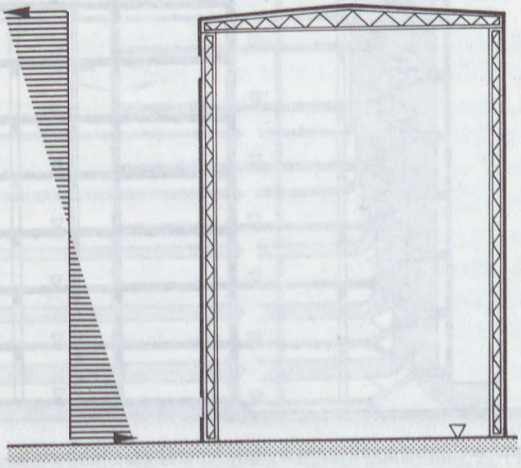
$$p_k = h\varrho_{lk}g \tag{10.1}$$

nyomás jut, ahol g a nehézségi gyorsulás, míg a belső felületre eső nyomás

$$p_b = h\varrho_{lb}g\,. \tag{10.2}$$



10.1. ábra. A nyomáseloszlás elvi ábrája gravitációs szellőzés esetén (Menyhárt 1975)



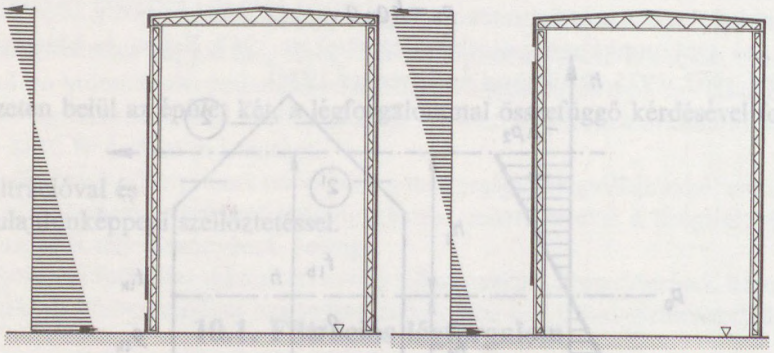
10.2. ábra. A nyomáskülönbség változása azonos áramlási ellenállású nyílások esetében (Gábor és Zöld 1981)

Az épület h magasságában, annak felszínén tehát

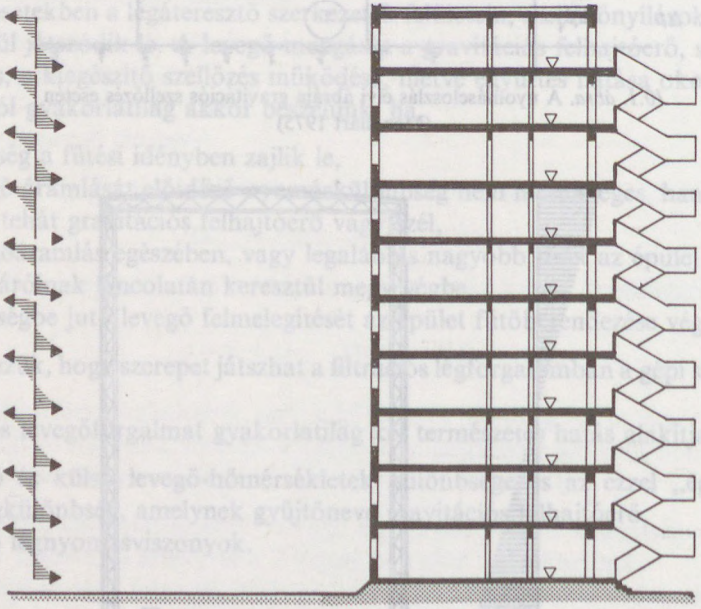
$$\Delta p = hg(\varrho_{1k} - \varrho_{1b}) \tag{10.3}$$

nyomáskülönbség alakul ki.

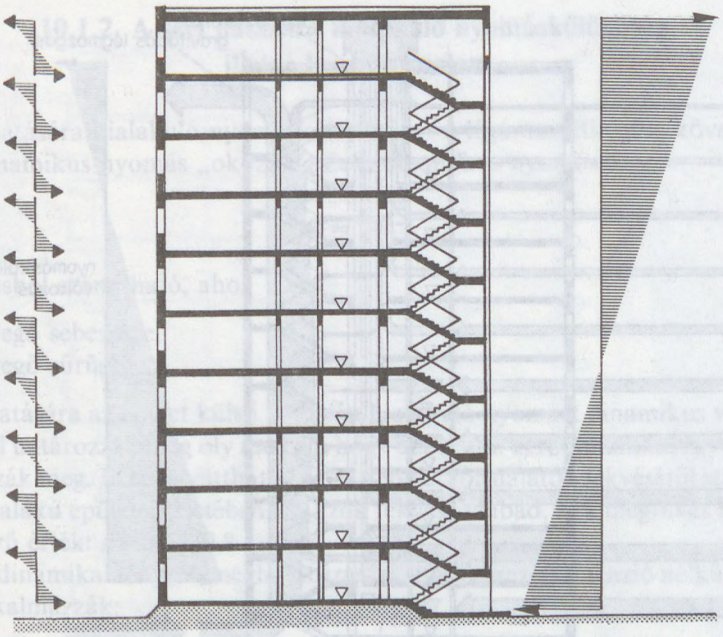
Amennyiben h magasságban egy nyílás helyezkedik el, a kialakuló nyomásviszonyok a *10.1. ábrán* láthatók (Menyhárt 1975). Azt a magasságot, ahol a külső és belső térben azonos nyomás uralkodik, semleges zónának nevezzük. E semleges zóna helye a nyílás magasságának, illetve áramlási ellenállásának függvényében változik, ahogy a *10.2.* és *10.3 ábra* mutatja (Gábor és Zöld, 1981).



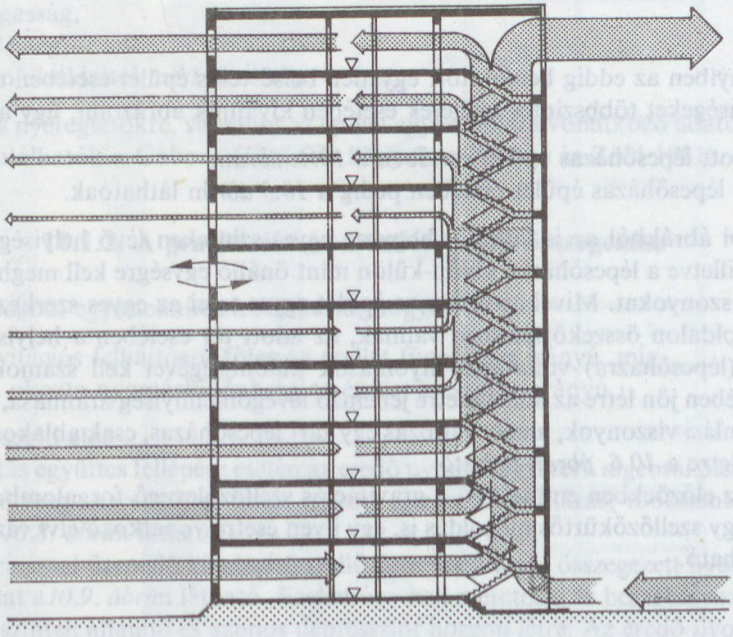
10.3. ábra. A nyomáskülönbség változása különböző áramlási ellenállású nyílások esetében (Gábor és Zöld 1981)



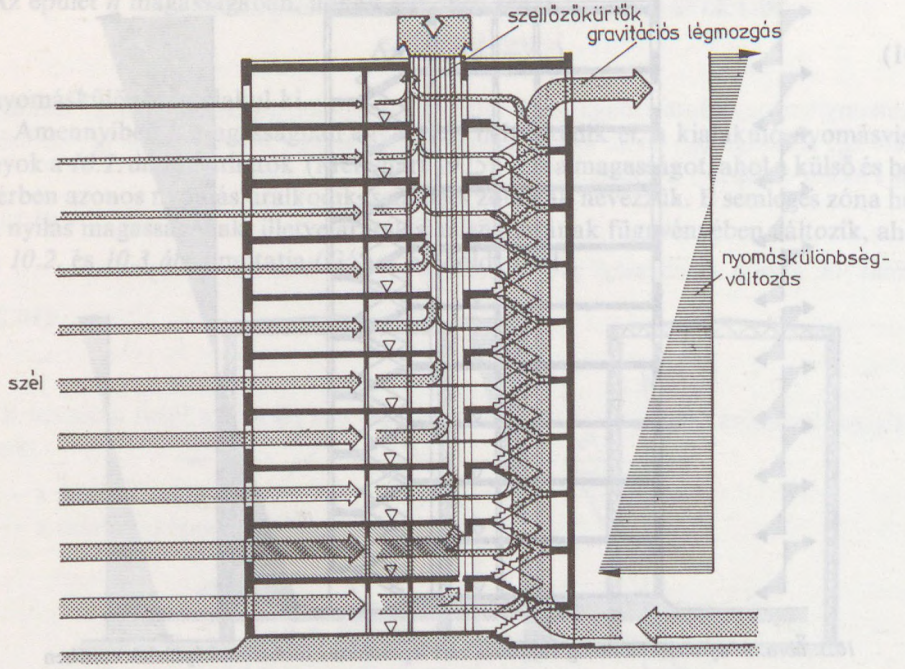
10.4. ábra. A nyomáskülönbség változása nyitott lépcsőházas többszintes épületek esetében (Gábor és Zöld 1981)



10.5. ábra. A nyomáskülönbség változása zárt lépcsőházas többszintes épületek esetében (Gábor és Zöld 1981)



10.6. ábra. A levegő mozgása a hőmérséklet-különbség hatására többszintes, zárt lépcsőházas épületekben, ha az épületben csak ablakszellőzés van (Gábor és Zöld 1981)



10.7. ábra. A levegő mozgása a hőmérséklet-különbség következtében többszintes zárt lépcsőházas, kürtős szellőzésű épületek esetében (Gábor és Zöld 1981)

Amennyiben az eddig bemutatott egyetlen belső teres épület esetében adódó törvényszerűségeket többszintes épületek esetében kívánjuk ábrázolni, úgy azok

— nyitott lépcsőházas épület esetében a *10.4. ábrán*,
— zárt lépcsőházas épület esetében pedig a *10.5 ábrán* láthatóak.

Az utóbbi ábrákból az is látható, hogy az egyes szinteken lévő helyiségekre és az épületre, illetve a lépcsőházra külön-külön mint önálló egységre kell meghatározni a nyomásviszonyokat. Mivel azonban az épület egyes terei az egyes szerkezeti elemek miatt légoldalon összeköttetésben vannak, az adott tér esetében a helyiségre és az épületre (lépcsőházra) vonatkozó nyomások különbségével kell számolni. Ennek függvényében jön létre az adott esetre jellemző levegőmennyiség áramlása, alakulnak ki az áramlási viszonyok, amely változás egy zárt lépcsőházas, csak ablakos szellőztetéses épületre a *10.6. ábrán* látható.

Mint az előzőekben említettük, a gravitációs szellőzőlevegő-forgalomba „besegíthet" pl. egy szellőzőkürtős megoldás is, egy ilyen esetre vonatkozó elvi vázlat a *10.7. ábrán* látható.

10.1.2. A szél hatására kialakuló nyomáskülönbség, illetve levegőforgalom

A szél hatására kialakuló nyomáskülönbséget a légáram ütközése következtében változó dinamikus nyomás „okozza". Ez a dinamikus nyomás a

$$p = \frac{\varrho}{2} v^2 \tag{10.4}$$

összefüggésből számítható, ahol

v a levegő sebessége,
ϱ a levegő sűrűsége.

A szél hatására az épület külső felületén kialakuló nyomást dinamikus vagy torlónyomásból határozzák meg oly módon, hogy azt az ún. aerodinamikai együtthatóval (k) szorozzák meg. Ezen együttható függ az épület formájától, fekvésétől stb. Paralellepipedon alakú épületek esetében, ha azok fekvése szabad, és a megfúvás merőleges, a számszerű érték: $k = 0{,}6—0{,}8$.

Az aerodinamikai tényező meghatározására a következő dimenzió nélküli viszonyszámot alkalmazzák:

$$x = \frac{l}{\sqrt{hs}}, \tag{10.5}$$

ahol

h a magasság,
s a szélesség,
l a homlokoldaltól mért távolság.

Lapos- és nyeregtetőkre, valamint az épület egyéb síkjára vonatkozó adatok részletesen megtalálhatók a Gábor—Zöld-féle könyvben (Gábor és Zöld 1981).

10.1.3. A gravitációs és a torlónyomás összegezése

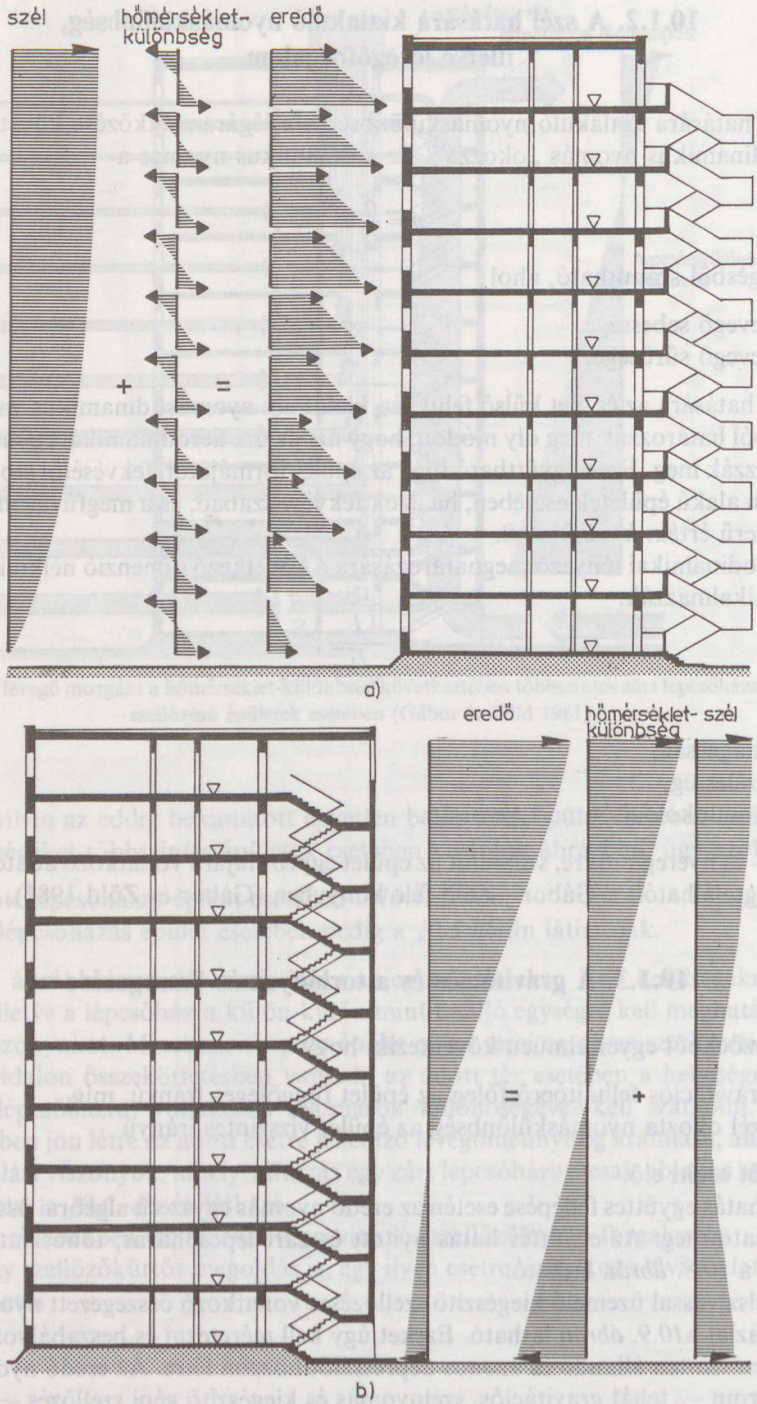
Az előzőekből egyértelműen következik, hogy

— a gravitációs felhajtóerő főleg az épület függőleges irányú, míg
— a szél okozta nyomáskülönbség az épület vízszintes irányú

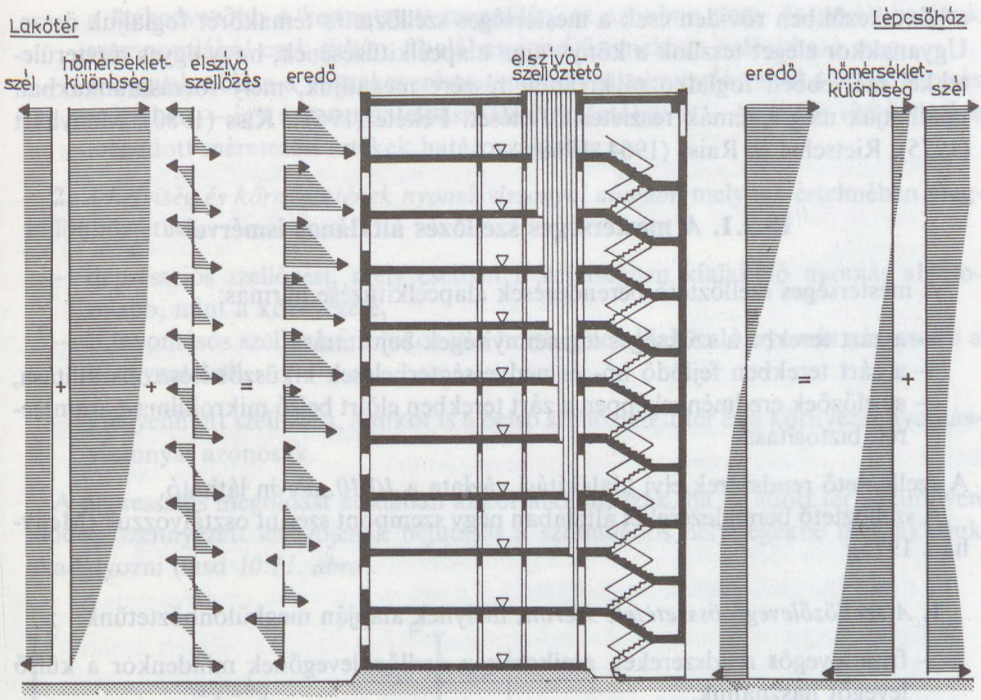
átöblítését segíti elő.

A két hatás együttes fellépése esetén az eredő nyomás egyszerű algebrai összegzéssel határozható meg. Az együttes hatás nyitott és zárt lépcsőházas, többszintes épület esetében a *10.8. ábrán* látható.

Gépi elszívással üzemelő kiegészítő szellőzésre vonatkozó összegezett nyomásmegoszlási vázlat a *10.9. ábrán* látható. Ezeket úgy kell méretezni és beszabályozni, hogy az minden szinten állandó és azonos depressziót hozzon létre. Az eredő nyomásértékek a három — tehát gravitációs, szélnyomás és kiegészítő gépi szellőzés — tényező okozta nyomásváltozások algebrai összegezéséből határozhatók meg.



10.8. ábra. A hőmérséklet-különbség és a szél hatására kialakuló nyomáskülönbség változása többszintes épületek esetében nyitott lépcsőház (a) és zárt lépcsőház (b) esetén (Gábor és Zöld 1981)



10.9. ábra. A hőmérséklet-különbség, a szél és az elszívó szellőzés hatására kialakuló nyomáskülönbség változása (Gábor és Zöld 1981)

A további két kérdéssel:

— a filtrációs levegőforgalom és
— a filtrációs hőszükséglet

számításával a 18. fejezetben foglalkozunk.

10.2. Szellőzéses légforgalom

A szellőzéses légforgalom eltérését a filtrációs légforgalomtól konstrukciós oldalról két alapvető adottság jellemzi:

— a levegőáramlás útjának egy része mindenkor a légcsatornában zajlik le,
— a levegő felmelegítésére a szellőztető rendszerbe épített hőcserélők, hővisszanyerők szolgálnak.

A szellőztetéseket két csoportra osztják:

— természetes és
— mesterséges

megoldásúakra. Mivel a természetes szellőzés felhajtóereje a fajsúlykülönbség és szélhatás, mely kérdésekkel a filtrációs légforgalom keretében már foglalkoztunk, itt

a következőkben röviden csak a mesterséges szellőztetés témakörét foglaljuk össze. Ugyanakkor eleget teszünk a könyv ama alapcélkitűzésének, hogy egyes részterületekkel mélyebben foglalkozni kívánók részére megadjuk, mely forrásmunkákban találhatják meg a témák részletes kifejtését: Fekete (1967), Kiss (1980), Menyhárt (1975), Rietschel és Raiss (1964, 1968).

10.2.1. A mesterséges szellőzés általános ismérvei

A mesterséges szellőztető berendezések alapcélkitűzése hármas:

— a zárt terekbe a szükséges légmennyiségek bejuttatása,
— a zárt terekben fejlődő hő- és nedvességterhelések kiküszöbölése, elszállítása,
— az előzőek eredményeképpen a zárt terekben előírt belső mikroklíma-paraméterek biztosítása.

A szellőztető rendszerek elvi kialakítási vázlata a *10.10. ábrán* látható.

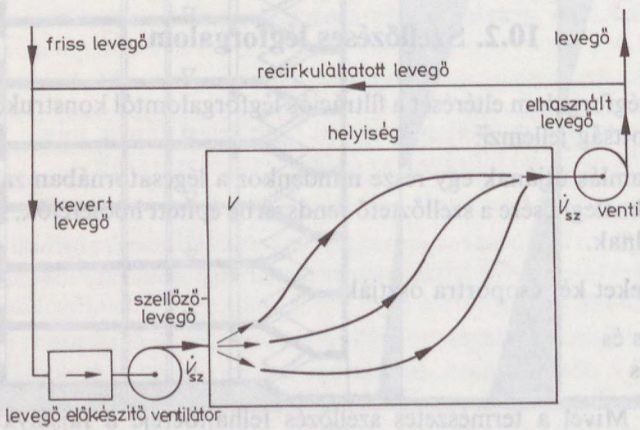
A szellőztető berendezéseket általában négy szempont szerint osztályozzuk (Menyhárt 1975):

1. *A szellőzőlevegő összetétele szerint*, melynek alapján megkülönböztetünk:

— friss levegős rendszereket, amikor is a szellőzőlevegőnek mindenkor a külső levegőt használjuk,
— keringtetett levegős rendszereket, amikor is a szellőzőlevegő-mennyiséget állandó jelleggel „keringtetjük",
— bekeveréses rendszereket, amikor is a szellőzőlevegő egy részét a friss levegőhöz visszakeverjük.

Energetikai szempontból:

— a legkedvezőtlenebb a friss levegős megoldás, mivel itt a teljes légmennyiséget kezelni kell,



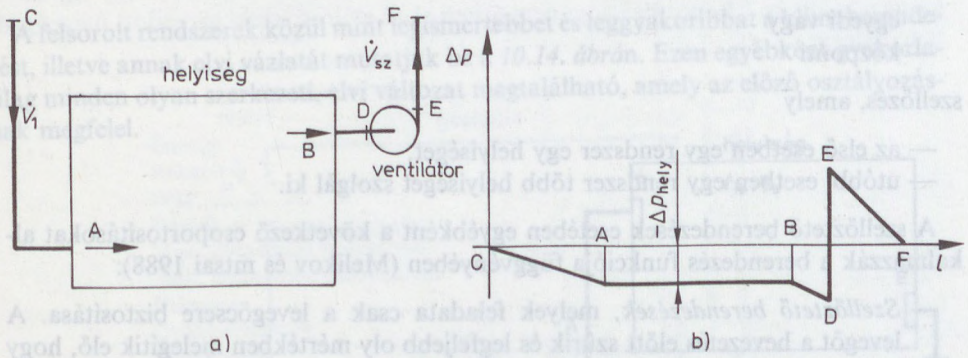
10.10. ábra. Szellőztetőrendszer elvi kialakítása (Menyhárt 1977)

— a legkedvezőbb a keringtetett megoldás, ez azonban szag- és egyéb hatások szempontjából csak ritkán, általában ipari üzemekben valósítható meg,
— a leggyakrabban a visszakeveréses rendszert alkalmazzák, ahol a visszakeverés mértékét — így az energiafelhasználási mutatókat is — a belső téri levegőre megadott méretezési értékek határozzák meg.

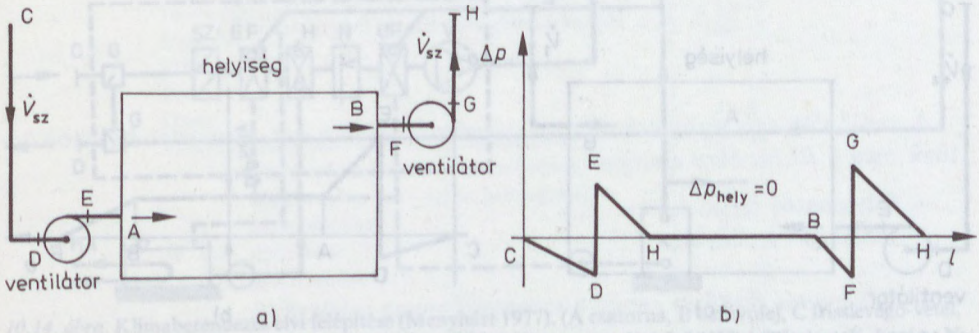
2. *A helyiség és környezetének nyomásviszonyai alapján,* melynek értelmében megkülönböztetünk:

— depressziós szellőzést, mely esetben a helyiségben kialakuló nyomás alacsonyabb, mint a környezeté,
— túlnyomásos szellőzést, amikor is a helyiségben kialakuló nyomás magasabb a környezeténél,
— kiegyenlített szellőzést, amikor is a belső szellőztetett tér és a környezet nyomásviszonyai azonosak.

A depressziós megoldást általában akkor alkalmazzák, ha az adott tér valamilyen módon szennyezett levegőjének bejutását a szomszédos helyiségekbe meg akarjuk akadályozni (lásd *10.11. ábra*).



10.11. ábra. Depressziós szellőzés elve ($\dot{V}_{sz} < \dot{V}_1$): a) a szellőztetőberendezés vázlata, b) nyomásdiagram (Menyhárt 1977)



10.12. ábra. Túlnyomásos szellőzés elve ($\dot{V}_{sz} > \dot{V}_1$): a) a szellőztetőberendezés vázlata, b) nyomásdiagram (Menyhárt 1977)

A túlnyomásos megoldás célja a szellőztetett helyiség magasabb nyomásával a környező helyiségek szennyezett levegőjének bejutását megakadályozni (*10.12. ábra*).

A kiegyenlített szellőzést akkor alkalmazzák, ha a helyiség és környezete közötti légforgalom nem káros *(10.13. ábra)*.

3. *A szellőztető berendezés kialakítása szerint,* amikor is megkülönböztetünk

— elszívó berendezést, mely esetben a helyiségből a levegőt elszívjuk és a szabadba vezetjük,
— befúvó rendszert, amikor is az előkészített (szűrt, fűtött vagy hűtött) levegőt juttatjuk a helyiségbe,
— befúvó- és elszívó rendszert, amikor is mindkét szellőzési megoldást alkalmazzuk egy adott helyiség vagy helyiségcsoport esetében.

A gyakorlatban legtöbbször az utóbbit alkalmazzák, mert így számos előny biztosítható:

—a befúvott levegő mindig kezelt,
— a rendszer nyomásmegoszlási viszonyait szabadon választhatjuk meg stb.

4. *A szellőzési megoldás jellege szerint*

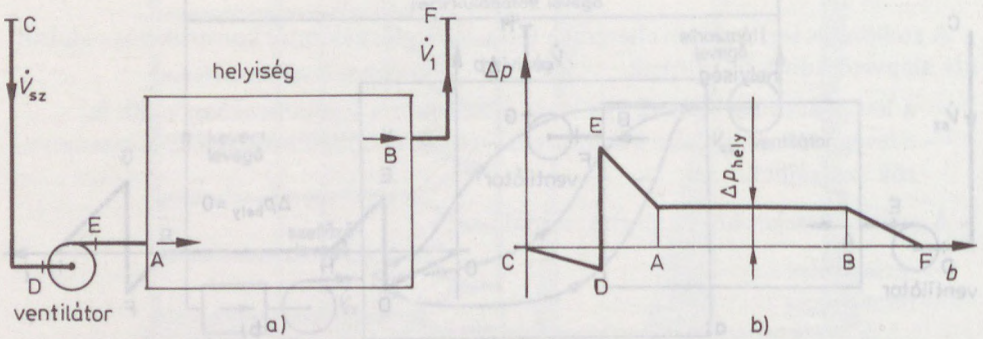
— egyedi vagy
— központi

szellőzés, amely

— az első esetben egy rendszer egy helyiséget,
— utóbbi esetben egy rendszer több helyiséget szolgál ki.

A szellőztető berendezések esetében egyébként a következő csoportosításokat alkalmazzák a berendezés funkciója függvényében (Melikov és mtsai 1988):

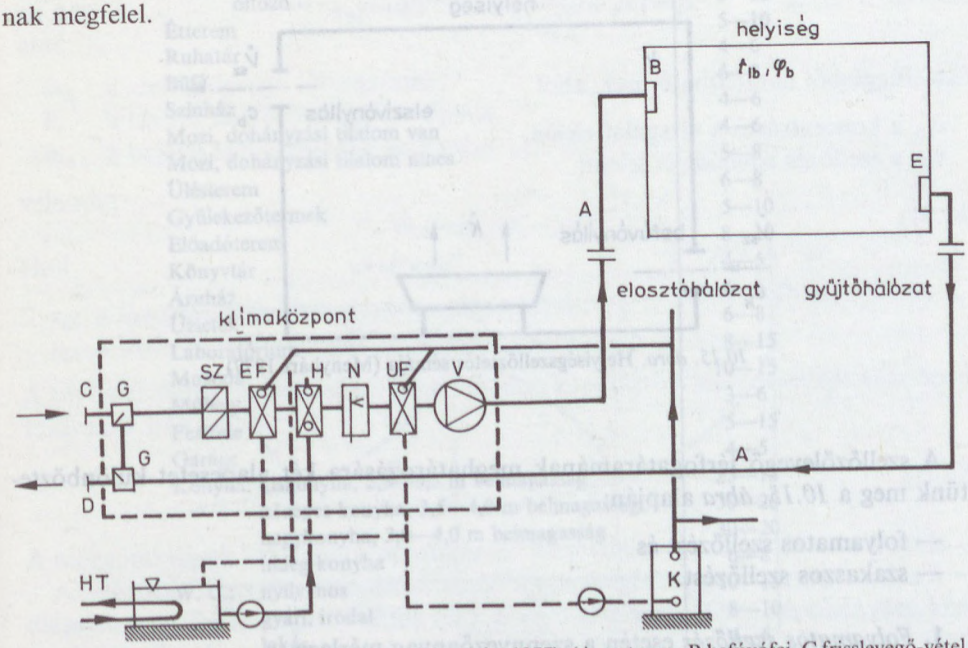
— *Szellőztető berendezések,* melyek feladata csak a levegőcsere biztosítása. A levegőt a bevezetés előtt szűrik és legfeljebb oly mértékben melegítik elő, hogy az a szellőztetés céljára alkalmas legyen.



10.13. ábra. Kiegyenlített szellőzés elve a) a szellőztetőberendezés vázlata, b) nyomásdiagram (Menyhárt 1977)

— *Légfűtő berendezések* azok a rendszerek, amelyekben a levegőcsere mellett fűtési igény is van, és a szellőzőlevegő tölti be a hőhordozó szerepét.
— *Teljes klímaberendezések* azon rendszerek, melyekben a levegő összetételét, állapotát — hőmérsékletét, nedvességét és nyomását — meghatározott értéken kell tartani, illetve adott program szerint lehet változtatni.
— *Klímaberendezés* az a megoldás, amelyben a levegő állapotát — hőmérsékletét és nedvességtartalmát — kell állandó értéken tartani, illetve meghatározott program szerint változtatni.
— *Fél klímaberendezés* az a légtechnikai rendszer, amelyben a levegőnek csak egy állapotjelzőjét tartjuk állandó értéken vagy program szerint változtatjuk, míg a többi jellemző nem szabályozott.
— *Légnedvesítő berendezés* azon megoldás, mely csak a levegő nedvességtartalmának növelésére szolgál.
— *Léghűtő berendezések* esetében a cél csak a levegő entalpiájának csökkentése, míg más paraméterek nagyobb tartományon belül ingadozhatnak.
— *Ködtelenítő berendezésnek* nevezzük azokat a rendszereket, amelyekkel a kezelendő levegő nedvességtartalmát annyira csökkenteni lehet, hogy az sem technológiai, sem egészségügyi szempontból nem káros. E berendezések automatizálva alkalmasak arra, hogy a levegőben a ködképződést megakadályozzák.

A felsorolt rendszerek közül mint legismertebbet és leggyakoribbat a klímaberendezést, illetve annak elvi vázlatát mutatjuk be a *10.14. ábrán*. Ezen egyébként gyakorlatilag minden olyan szerkezeti, elvi változat megtalálható, amely az előző osztályozásnak megfelel.



10.14. ábra. Klímaberendezés elvi felépítése (Menyhárt 1977). (A csatorna, B befúvófej, C frisslevegő-vétel, D levegőkivezetés, E elszívófej, EF előfűtő, G keverőcsappantyú, H hűtő, HT hűtőtelep, K kazán, N nedvesítő, SZ szűrő, VF utófűtő, V ventilátor)

Az előző témakörrel kapcsolatos további adatok találhatók a következő forrásmunkákban: Baturin (1953), Egyedi (1963), Fekete (1967), Kiss (1980), Menyhárt (1977), Sebestyén (1989).

10.2.2. A szellőzési légforgalom méretezési kérdései

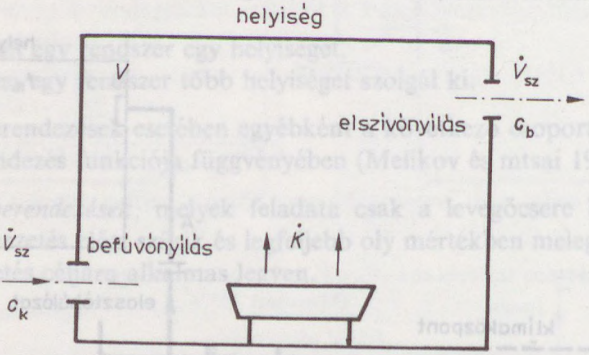
A szellőzési légforgalom méretezési kérdéseivel részleteiben nem kívánunk foglalkozni, hiszen azok az előző alfejezet végén megadott irodalmi forrásmunkákban megtalálhatók. Szükségesnek tartjuk azonban röviden összefoglalni, elsősorban a (Menyhárt 1975) forrásmunka alapján,

— a szellőzőlevegő térfogatáramának és
— a szellőzőlevegő hőtechnikai méretezésének

néhány alapvető kérdését.

10.2.2.1. A szellőzőlevegő térfogatárama

A szellőzőtető berendezés ilyen jellegű méretezésekor a feladat az, hogy egy adott szennyezőanyag k koncentrációja nem érheti el az előírásokban megadott megengedhető értéket.



10.15. ábra. Helyiségszellőztetés sémája (Menyhárt 1977)

A szellőzőlevegő térfogatáramának meghatározására két alapesetet különböztetünk meg a *10.15. ábra* alapján:

— folyamatos szellőzést és
— szakaszos szellőzést.

1. *Folyamatos szellőzés* esetén a szennyezőanyag mérlege a

$$\dot{V}_{sz} c_k \tau + \dot{K}\tau - \dot{V}_{sz} c_b \tau = 0 \qquad (10.6)$$

összefüggésből határozható meg, ahol

$\dot{V}_{sz}$ a szellőzőlevegő mennyisége [m^3/h],
c_k a bejövő külső levegő szennyezőanyag-koncentrációja,
$\dot{K}$ a keletkező szennyezőanyag-áram,
c_b a távozó belső levegő szennyezőanyag-koncentrációja,
τ az időtartam.

Az előző összefüggésből a távozó levegő koncentrációja:

$$c_b = c_k + \frac{\dot{K}}{\dot{V}_{sz}}, \tag{10.7}$$

10.1. táblázat. Légcseretényező értékei (Menyhárt 1977)

Helyiség megnevezése	Légcseretényező, n
Iskola: tanterem	4—5
nagyelőadó	8—10
tornaterem	3—6
uszoda, kis méretű	2—3
uszoda, nagy méretű	3—4
öltöző	8—10
Étterem	5—10
Ruhatár	4—6
Büfé	6—8
Színház	4—6
Mozi, dohányzási tilalom van	4—6
Mozi, dohányzási tilalom nincs	5—8
Ülésterem	6—8
Gyülekezőtermek	5—10
Előadóterem	8—10
Könyvtár	4—5
Áruház	4—6
Üzletek	6—8
Laboratórium	8—15
Mosoda	10—15
Műhely	3—6
Festőde	5—15
Garage	4—5
Konyha: kiskonyha, 2,5—3,5 m belmagasság	25—15
közepes konyha, 3,5—4,0 m belmagasság	30—20
nagykonyha, 3,0—4,0 m belmagasság	30—20
hideg konyha	6—8
W. C.: nyilvános	10—15
gyári, irodai	8—10
lakás	4—6
Fürdő	5—8
Zuhanyozó	20—30

míg a szellőzőlevegő térfogatárama:

$$V_{sz} = \frac{\dot{K}}{c_b - c_k}. \tag{10.8}$$

Itt jegyezzük meg, hogy a különböző előírások felnőtt emberek esetére általában 20 m^3/h friss levegő mennyiséget írnak elő. Dohányzás esetén ez az érték 30 m^3/h.

Még egy fogalmat kell megismernünk, s ez az ún. légcseretényező, amely az

$$n = \frac{\dot{V}_{sz}}{V} \tag{10.9}$$

összefüggésből adódik, ahol V a helyiség térfogata. A légcsereszámra vonatkozó értékeket előírások rögzítik. A jelenlegi adatok a *10.1. táblázat*ban találhatók.

2. *Szakaszos szellőzés* esetén adódó szennyezőanyagkoncentráció-változás az alkalmazott jelölésekkel a *10.16. ábrán* látható. Ebből megállapítható, hogy a szellőzési periódus két szakaszból áll:

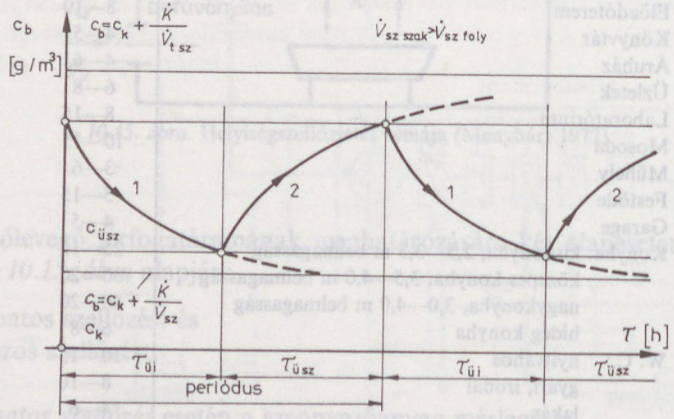
— a szellőzési üzemből, mely alatt a koncentráció csökken (hígul),
— a szellőzési üzemszünetből, amely alatt a koncentráció nő (dúsul).

A koncentráció értéke az üzemelési periódusban a

$$c_b = \left(c_k + \frac{\dot{K}}{\dot{V}_{sz}}\right)(1 - e^{-n\tau_{ui}}) + c_{b0}\, e^{-n\tau_{ui}} \tag{10.10}$$

összefüggésből határozható meg, ahol

c_{b0} a koncentráció a vizsgálat elején,
τ_{ui} a szellőzés üzemidejét jelenti.



10.16. ábra. Szennyezőanyag koncentrációjának változása a szellőzési periódus alatt (Menyhárt 1977) (1. hígulás. 2. dúsulás)

Az üzemszüneti időszakban pedig a koncentráció változása a következő összefüggésből számítható:

$$\Delta c_b = \left(c_k + \frac{\dot{K}}{\dot{V}_{tsz}}\right) + (1 - e^{-n\tau_{üsz}}) + c_{üsz} e^{n\tau_{üi}}, \tag{10.11}$$

ahol

$\dot{V}_{tsz}$ a természetes szellőzés útján a helyiségbe kerülő légmennyiség,
$\tau_{üsz}$ az üzemszünet időtartama,
$c_{üsz}$ az üzemszünet alatt létrejövő koncentráció.

Az óránkénti levegőtérfogatáram-igény pedig a következő módon számítható:

$$\dot{V}_{sz} = \frac{\dot{K}}{c_{b0} - c_k} + 2\frac{V}{\tau_{üi}} \frac{c_{b0} - c_{üsz}}{c_{b0} - c_k}. \tag{10.12}$$

10.2.2.2. A szellőzőlevegő állapotának meghatározása

Egy adott tér szellőzésének méretezésekor a belső hő- és nedvességterhelés megengedett értékeit kell figyelembe venni. Ezzel a kérdéssel és a számítás módjával a 9. fejezetben már foglalkoztunk.

A hő- és nedvességterhelés ($Q_ö$ és $m_{vö}$) ismeretében felírhatók a következő összefüggések:

$$Q_ö = \dot{m}_{sz}(h_t - h_{be}), \tag{10.13}$$

ahol

$\dot{m}_{sz}$ a szellőzőlevegő tömegárama,
h_t a távozó szellőzőlevegő entalpiája,
h_{be} a bejövő szellőzőlevegő entalpiája,

valamint

$$\dot{m}_{vö} = \dot{m}_{sz}(x_t - x_{be}), \tag{10.14}$$

ahol

x_t a távozó szellőzőlevegő nedvességtartalma,
x_{be} a bejövő szellőzőlevegő nedvességtartalma.

A két összefüggés hányadosából ismert módon képezhető a szellőzőlevegő állapotváltozásának irányjelzője:

$$\frac{Q_ö}{\dot{m}_{vö}} = \frac{h_t - h_{be}}{x_t - x_{be}} = \frac{\Delta h}{\Delta x}. \tag{10.15}$$

A meggondolások folyamatos és szakaszos üzemvitelre egyaránt alkalmazhatók.

Az előzőek ismeretében a szellőzőlevegő mennyiségét és egyéb paramétereit a $h-x$ diagram segítségével határozhatjuk meg. E kérdéssel részleteiben azonban nem kívánunk foglalkozni, mivel az a már megadott forrásmunkákból, de nagyon sok egyéb szakkönyvből is pontosan megismerhető.

11. Az épületek energiafelhasználása és az ezt befolyásoló tényezők

Az épületek energiafelhasználásának meghatározása során két, egymással összefüggő jelenséget kell figyelembe vennünk:

— a hőveszteség és
— a hőnyereség vagy hőterhelés

paramétereit. Mindkét esetre vonatkozó alapelvekkel, alapösszefüggésekkel a korábbiakban már foglalkoztunk. Most azt tekintjük át, hogy az épülettel szorosan összefüggő paraméterek hogyan befolyásolják azok energiafogyasztását.

Mivel az épületek energiafogyasztása a belső használati és a külső meteorológiai tényezők függvénye, tárgyalásuk során célszerűnek tűnik az általános gyakorlatnak megfelelő téli és nyári időszakokra való felosztás. Ehhez a későbbiekben azonban nem ragaszkodunk szorosan, elsősorban az átmeneti időszakok miatt.

Az előzőeket figyelembe véve, e fejezetben négy témakörrel foglalkozunk:

1. A határoló szerkezetek elvi befolyása a belső mikroklímára, az energiafelhasználásra.
2. A különböző jellegű hőhatások szerepe a helyiségek belső mikroklímájára, energiafogyasztására.
3. A belső téri hőegyensúly lehetőségét befolyásoló néhány fontosabb tényező az energiafogyasztás tükrében. Ez utóbbi tulajdonképpen átmenetet képez a könyv már jelzett IV. részéhez. Az itteni feldolgozást az indokolja, hogy általában elvi jellegű kérdéseket tárgyalunk, amelyekre a konkrét megoldások esetében (IV. rész) csak visszahivatkozunk.
4. Teljesen önálló alfejezet foglalkozik a passzív napenergia-hasznosítás rövid összefoglalásával, attól függetlenül, hogy korábbiakban a különböző jellegű hőhatások kapcsán a napsugárzás befolyásának kérdését már röviden áttekintettük.

11.1 A határoló szerkezetek elvi befolyása a belső mikroklímára és az energiafelhasználásra

Figyelembe véve az előző fejezetben, az épületekkel kapcsolatban tárgyaltakat, röviden összefoglaljuk, hogy az épületszerkezeteknek elvileg milyen befolyása van a belső mikroklímára, energiafelhasználásra (Gábor és Zöld 1981).

Elöljáróban rögzíthetjük; gyakorlatilag az az eset tekinthető kedvezőnek, amikor a határolószerkezeteknek mind a hőelnyelési, mind a csillapítási tényezője nagy.

A felületi hőelnyelési tényező az ismert u viszonyszám [lásd (7.19) összefüggés].

A csillapítási tényező [lásd (7.18) összefüggés] abszolút értéke azt fejezi ki, hogy egy adott helyen a hőmérséklet-ingadozás amplitúdója hányszorosa a felületen lejátszódó hőmérséklet-ingadozásnak. Az építési gyakorlatban a feladat: a külső hatások okozta hőmérséklet-ingadozás a határoló szerkezet belső síkján mekkora hőmérséklet-ingadozást okoz. Számításának ismert összefüggései:

a) Általános formája

$$\beta = \operatorname{ch} Rs\sqrt{\mathrm{i}} + \frac{\alpha}{s\sqrt{\mathrm{i}}} \operatorname{sh} Rs\sqrt{\mathrm{i}}. \tag{11.1}$$

b) Stacioner viszonyok között:

$$\beta_R = \frac{\alpha_i}{k}, \tag{11.2}$$

amely tulajdonképpen a hőátbocsátási ellenállás okozta csillapítást fejezi ki.

c) Egy szerkezet esetében a

$$\beta = \beta_R + \beta_m \tag{11.3}$$

kifejezést használják, ahol

β_m a tömeg okozta csillapítás.

Visszatérve arra a tényre, hogy az a kedvező, ha mind a csillapítási, mind a hőelnyelési tényező nagy, a következőket állapíthatjuk meg:

1. Amennyiben a csillapítási tényező nagy, akkor a környezeti hőmérséklet ingadozásának hatása csökkentve, kisebb csúcsértékkel jelentkezik a helyiségben. Így a kompenzálásra alkalmazott épületgépészeti berendezés teljesítménye — s így energiafelhasználása is — kisebb lehet.
2. Amennyiben nagy a hőelnyelési tényező, akkor a különféle hőforrások erősségének változására a határoló szerkezet lassan reagál.
3. Az időben változó hőáram egy szerkezetbe annál könnyebben hatol be, és a behatolás oldalán annál kisebb hőmérséklet változást okoz,
   — minél jobb hővezetésű rétegeken kell áthatolnia,
   — minél nagyobb e rétegek tömege és fajhője.
4. Az előbbiekből megállapíthatjuk, hogy egy külső határoló szerkezet hőelnyelése nagy lehet, ha
   — a beépített anyagok tömege és fajhője nagy,
   — a szerkezet hővezetési ellenállása kicsi.

5. Az időben változó hőáram annál nehezebben hatol át a szerkezeten és a másik határoló felületen, annál kisebb hőmérsékletingadozást okoz,

   — minél nagyobb a beépített anyagok tömege és fajhője,
   — minél nagyobb a szerkezet hővezetési ellenállása.

6. Mindezekből következik, hogy a nagy tömeg és fajhő mind a hőelnyelés, mind a csillapítás szempontjából előnyös.

A témához bővebb anyag található a (Gábor és Zöld 1981) forrásmunkában, valamint pl. a (ASHRAE 1967, Bogoszlovszkij 1970, Ring 1977, Sklover 1961) munkákban.

11.2. A különböző jellegű hőhatások szerepe a helyiségek belső mikroklímájára, energiafogyasztására

Az előző, 11.1. alfejezetben, a határoló szerkezetek szerepével foglalkoztunk, áttekintettük, hogy különböző hőhatások esetén hogyan alakul a belső mikroklíma és az energiafogyasztás. Most a helyiségek, terek vonatkozásában tekintjük át a kérdést ugyancsak röviden és elvekben.

Az összehasonlítást a helyiségek esetében jelenleg alkalmazott számítási módszereknek megfelelően, stacioner állapotra végezzük. Az összehasonlítás kiindulási alapjául a 8.2. alfejezet (8.12) összefüggésében ismertetett K kifejezést alkalmazzuk, de felhívjuk a figyelmet arra, hogy ez az érték tulajdonképpen azonos a korábbiakban (s néhány országban még jelenleg is) alkalmazott D értékkel. Ebből az értékből több következtetést lehet levonni, mint a transzmissziós hőkarakterisztikából, mert a külső felületek és az összfelület arányát is figyelembe veszi, nemcsak a külső felületeket és a hőátbocsátási tényezőket.

Megállapíthatjuk, hogy ha K értéke kicsi, akkor

— a külső határoló szerkezetek hőátbocsátási ellenállása nagy, hőszigetelése jó, és/vagy a lehűlő felületek nagysága az összfelülethez viszonyítva kicsiny,
— a belső hőforrások és a fűtés üzemszünete esetén a helyiség lassabban hűl le,
— a belső hőforrások és/vagy a fűtési üzem bekapcsolása esetén a helyiség lassabban melegszik,
— a belső felületek átlagos hőmérséklete viszonylag magasabb, ezért a megfelelő hőérzet elérhető alacsonyabb belső léghőmérséklettel is.

Amennyiben K értéke nagy, az előző állítások ellentéte igaz.

Az előzőekből egyértelműen következik, hogy energiafelhasználás szempontjából a kicsiny K érték a kedvezőbb.

Egy másik, hőérzeti és energiafelhasználási szempontból fontos jelzőszámra is felhívjuk a figyelmet, mégpedig a

$$A = \sum F_j \alpha_{bj} \tag{11.4}$$

kifejezéssel leírható jelzőszámra, ahol

F_j a j-edik határoló szerkezet felülete,
α_{bj} a belső hőátadási tényező a j-edik felületen.

Amennyiben az összegezést valamennyi felületre elvégezzük, a kapott jelzőszám elsősorban a fűtő- és légtechnikai berendezések függvénye. Ha Λ értéke nagy, akkor kicsi a helyiség levegője és a helyiséget burkoló felületek hőmérséklete közötti különbség, ami hőérzetileg kedvező.

A fűtés kikapcsolásakor a helyiség lassabban hül le, de ugyanakkor lassabban melegszik is fel.

Amennyiben Λ értéke kicsi, az előzőekben leírtak fordítottja valósul meg.

Arra vonatkozóan, hogy hőérzeti és energetikai szempontból melyik a kedvezőbb, azt az adott esetben több szempont szerint kell mérlegelni. Mindenesetre a döntést ezen jelzőszám, valamint a K érték együttes figyelembevétele megkönnyíti, elősegíti.

11.3. A belső téri hőegyensúlyt befolyásoló tényezők

Mint a II. rész bevezetésében már említettük, amennyire az épületnek fontos, tulajdonképpen alapvető, meghatározó szerepe van az ember szempontjából, annyira fontos szerepe van a belső téri hőegyensúly kérdésében is. Ezt a hőegyensúlyt számításaink, méretezésünk során az ún. transzmissziós hőveszteség meghatározásakor kell biztosítanunk.

A transzmissziós hőveszteség számításakor egy ún. alaphőveszteséget határozunk meg első lépésben, amely stacioner állapotokat tételez fel. Ez a feltételezés azonban fiktív, mivel a valóságban a környezeti — különösen a meteorológiai — és egyéb befolyásoló tényezők erősen változnak. A következőkben ezt a kérdést

— a külső határoló szerkezeteken áthaladó hőáramok,
— a függönyök és redőnyök szerepéről télen,
— a helyiségek közötti hőáramok és
— néhány egyéb hatás

témakörei szerint tárgyaljuk.

11.3.1. A külső határoló szerkezeteken áthaladó hőáramok

E témakörön belül a két legfontosabb tényezővel foglalkozunk, mégpedig

— a napsugárzás hatásával és
— a szél hatásával.

A külső tényezők közül itt először a határoló szerkezeteken áthaladó hő nagyságát erősen befolyásoló napsugárzásra vonatkozóan adunk néhány további adatot, bár e témakörrel a korábbiakban, a 7. és 9. fejezetben már foglalkoztunk. A továbbiakban itt inkább a téli állapotokat elemezzük, a nyári állapotokkal a 17. fejezet foglalkozik.

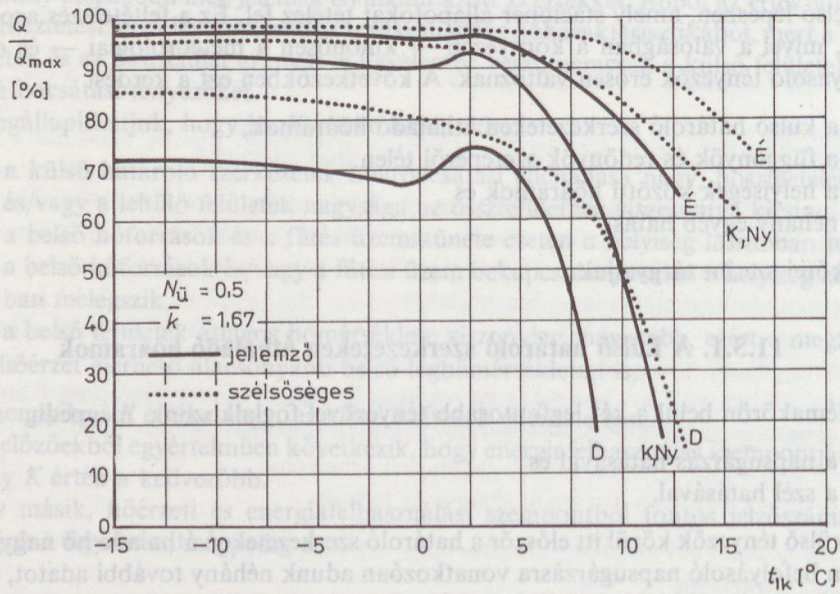
A külső napsugárzás hatására a tömör határoló szerkezetek felmelegszenek, és megváltozik a rajtuk át a helyiségből a környezetbe jutó hőáram.

Az alaphőveszteség-csökkenés mellett jelentős lehet a fűtési hőszükséglet csökkenése is, ha a helyiségbe napsugárzásból származó nagyobb hőterhelés jut. A napsugárzás hatására annál nagyobb mértékben csökken a fűtési hőszükséglet, minél könnyebben jut be a napsugárzás a helyiségbe, és minél kisebb a külső határoló szerkezetek hőátadási tényezője. Ablakok esetében ez utóbbi kettős — úgy tűnhet, hogy ellentmondásos — igénypont is kielégíthető, pl.

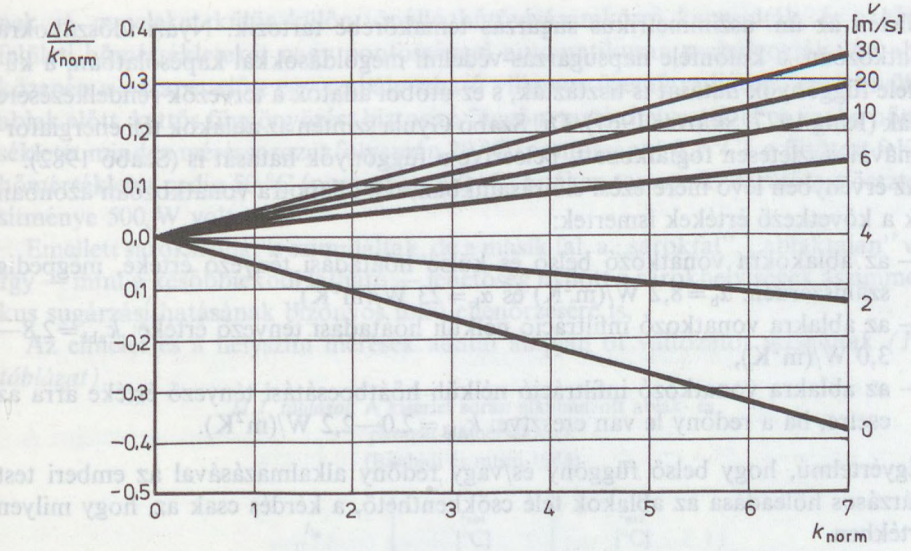
— 3- vagy 4-rétegű üvegezéssel,
— 2- vagy többrétegű hőszigetelő üvegezéssel,
— az üvegfelületek infravörös sugárzását gátló bevonattal,
— a szellőztetett ablakok alkalmazásával.

A napsugárzás következtében annál inkább csökken a fűtési hőszükséglet, minél könnyebben jut be a napsugárzás a helyiségbe, és minél nehezebben jut ki a hőáram a helyiségből (jó hőszigetelés). Mindenesetre arra a tényre, hogy milyen jellegű a relatív hőigény változása, arra egy példa a *11.1. ábrán* látható. Kedvező tájolás esetén a napsugárzásból átlagosan várható hőtermelés olyan nagy, hogy 7—12 °C külső hőmérséklet mellett már egyenlő a külső határoló szerkezeten át távozó hőmennyiséggel. Az energetikai vonzattal egyébként a 11.4. alfejezetben foglalkozunk.

A másik, a külső hőáramot jelentősen befolyásoló tényező a szél, mivel a külső hőátadási tényező ettől nagymértékben függ. Minél kisebb a külső határolószerkezet



11.1. ábra. A relatív hőigény változása a napsugárzási hőterhelés függvényében (Gábor és Zöld 1981)



11.2. ábra. A hőátbocsátási tényező (k) változása a szélsebesség (v) függvényében (Gábor és Zöld 1981)

hővezetési ellenállása, annál inkább érvényesül a külső hőátadási tényező változásának hatása, mint az a *11.2. ábrá*ból látható.

A szél fellépése véletlenszerű. Meg kell említeni, hogy az alaphőveszteség mellett befolyásolja a filtrációs légforgalmat is. Mindezekről részletesebb adatok találhatók a Gábor és Zöld (1981) könyvben.

11.3.2. A függönyök és redőnyök szerepe az épületek téli energiafelhasználásában

Lakások nyílászáró szerkezeteinek hatása a belső tér mikroklimájának alakulására közismerten fontos tényező. Kiemelt helyet foglalnak el ezen belül is a külső ablakok és ajtók, utóbbiak közül az ablakokkal legtöbbször egybeépített erkélyajtók.

E nyílászáró szerkezetek mikroklímát befolyásoló hatása két fő csoportra osztható:

— a szerkezeten keresztül történő transzmissziós hőforgalomra,

— a csatlakozásokon keresztül történő légcserére, illetve filtrációra.

Mindkét csoportba sorolható hatás eltérően érvényesül hideg és meleg időszakokban. Pontos befolyásuk elemzésére — elsősorban energiagazdálkodási célzattal — hosszú idő óta folynak vizsgálatok, s ezek alapján a kérdések egy része már megoldott. Érdekes módon azonban az első csoportba sorolható hatások közül egy kevésbé tisztázott; mégpedig a redőnyök és belső függönyök befolyása téli időszakban a lakások fűtésére és ezen keresztül a belső mikroklímára, s a benn tartózkodók hőérzetére. Ugyanakkor az emberi testnek az alacsony hőmérsékletű külső falak és nyílászáró szerkezetek felé végbemenő sugárzásos hőleadása az egyik leggyakoribb helyi diszkomfortot okozó tényezőnek tekinthető. Ez a kérdés a komfortkutatások

területén az ún. aszimmetrikus sugárzás témakörébe tartozik. Nyári időszakokra vonatkozóan, a különféle napsugárzás-védelmi megoldásokkal kapcsolatban, a különféle függönyök hatását is tisztázták, s ez utóbbi adatok a tervezők rendelkezésére állnak (Ring 1977, Sklover 1961). Dr. Szabó Gyula szintén az ablakok téli energiaforgalmával részletesen foglalkozott, beleértve a függönyök hatását is (Szabó 1982).

Az érvényben lévő méretezési előírásainkban, téli állapotra vonatkozóan azonban csak a következő értékek ismertek:

— az ablakokra vonatkozó belső és külső hőátadási tényező értéke, mégpedig számszerűen: $\alpha_b = 8{,}2$ W/(m^{2}K) és $\alpha_k = 23$ W/(m^{2}K),
— az ablakra vonatkozó infiltráció nélküli hőátadási tényező értéke: $k_{abl} = 2{,}8$—3,0 W/(m^{2}K),
— az ablakra vonatkozó infiltráció nélküli hőátbocsátási tényező értéke arra az esetre, ha a redőny le van eresztve: $k_{abl} = 2{,}0$—2,2 W/(m^{2}K).

Egyértelmű, hogy belső függöny és/vagy redőny alkalmazásával az emberi test sugárzásos hőleadása az ablakok felé csökkenthető, a kérdés csak az, hogy milyen mértékben.

A kérdés tisztázására 1982-ben helyszíni és laboratóriumi méréssorozatot folytatott az ÉTI Mikroklíma Laboratóriuma. A következőkben ezek metodikáját és eredményeit foglaljuk össze a (Bánhidi és mtsai 1984) publikáció alapján.

11.3.2.1. Helyszíni mérések

A helyszíni vizsgálatokra két jellegzetes lakást választottak:

— egy nyugati tájolású, nem szélvédett, 1980-ban épült paneles épület lakását, ahol külső redőny nincs, csak belső sötétítő vászonfüggöny van,
— egy déli tájolású, viszonylag szélvédett, 1940-ben épült, vasbetonvázas téglaépület lakását, ahol külső faredőny és belső sötétítő vászonfüggöny, valamint nylonfüggöny van.

A helyszíni vizsgálatok eredményeit két szempont szerint használták fel:

— redőnyös és redőny nélküli változatra, a tervezési gyakorlatban alkalmazott belső felületi hőmérséklet értékeit ellenőrizték, s ennek megfelelően,
— a laboratóriumi mérésekhez, a belső felületi hőmérsékletmező szimulálásához szükséges adatokat határozták meg.

Mindkét lakásban egyébként — az adottságok függvényében — az összes redőny-függöny variációt végigmérték.

11.3.2.2. Laboratóriumi vizsgálatok

A laboratóriumi vizsgálatokat a Mikroklíma Laboratórium mérőtermében végezték, amelyet a következő módon képeztek ki.

Az $5 \times 3 \times 2{,}8$ m méretű mérőtér egyik, $3 \times 2{,}8$ m-es végfalán egy egyablakos külső falat szimuláltak úgy, hogy 2 db, egymás felett elhelyezett, $2{,}80 \times 0{,}8$ m-es fekvő alumíniumpanel felelt meg az ablaknak, míg alatta egy $2{,}8 \times 0{,}8$ m-es panel parapet-

nek. A paneleket külön-külön, önálló hűtővízáramkörre kapcsolták, és a kívánt felületi hőmérsékleteket nagy pontossággal automatikusan szabályozták. Az ablak közepén a parapet előtt egy szabályozható villamos üzemű radiátort, ezen kívül, az ablak előtt, kettős függönyözést biztosító függönytartót helyeztek el. A szoba hőmérsékletét minden méréssorozat folyamán 20 °C (pontosság ±0,1 °C), a fűtőtest felületi hőmérsékletét pedig 50 °C (pontosság ±2 °C) értéken tartottak. A fűtőtest összteljesítménye 500 W volt.

Emellett sarokszobát is szimuláltak, de a másik fal, a „sarokfal", „ablaktalan" volt. Így — mint a későbbiekből látható — lehetőség nyílott a sarokhelyiségek aszimmetrikus sugárzási hatásának bizonyos fokú ellenőrzésére is.

Az elmélet és a helyszíni mérések adatai alapján öt változatot vizsgáltak *(11.1. táblázat)*.

11.1. táblázat. A kísérlet során alkalmazott ablak- és parapet-hőmérsékletek
(Bánhidi és mtsai 1984)

t_{lk}	t_{abl} [°C]	t_{par} [°C]
−15 °C	7,2	16,6
−10 °C	9,0	17,1
−5 °C	10,8	17,6
0 °C	12,7	18,1
+5 °C	14,5	18,5

A vizsgálatok során öt különböző függönyanyag hatását mérték, amelyek textiltechnikai jellemzői, úgymint:

— légáteresztés [l/(m² s)],
— területi sűrűség [g/m²],
— mennyiségi összetétel [%],

a *11.2. táblázat*ban láthatók.

11.2. táblázat. Különböző függönyanyagok anyagjellemzői
(Bánhidi és mtsai 1984)

Függöny anyaga	Légáteresztés [l m²/s]	Területi sűrűség [g/m²]	Mennyiségi összetétel [%]
1. Bársony (zöld) (98,1 Pa)	150,73	352,00	100% pamut
2. Rollóvászon (dekor, türkisz) (98,1 Pa)	452,99	184,89	
3. Brokát (aranysárga) (98,1 Pa)	173,81	191,63	100% poliészter
4. Sima lenvászon (49,05 Pa)	1889,44	202,14	100% pamut
mintásból (49,05 Pa)	1528,94	268,05	
5. Tüll függöny (nem mérhető)		20,46	100% poliészter

A laboratóriumi méréseket az előző függönyök különböző kombinációval (szimpla vagy dupla függöny), valamint az öt különböző külső léghőmérséklet változattal végezték. Minden méréssorozaton belül a következő további csoportosítást alkalmazták:

a) Fő változatok:

— redőny nélkül,
— leengedett redőnnyel.

b) Alváltozatok:

— függöny egyáltalán nincs behúzva,
— csak a nylonfüggöny van behúzva,
— csak a sötétítőfüggöny van behúzva,
— a sötétítő- és a nylonfüggöny egyaránt be van húzva.

11.3.2.3. A mérési eredmények értékelése

A mért adatokból összefoglalóan a következő megállapítások vonhatók le.

a) A normál elrendezés — egy külső fal — esetében az ablaktól fél méterre elhelyezett Vernon-gömbhőmérő értéke — függetlenül a redőny állapotától és a függöny anyagától — azonos volt, mint a szoba közepén mért gömbhőmérséklet-érték, sőt kb. 0,5 °C-kal magasabb az utóbbinál, a fűtőtest közvetlen hatása miatt.
b) Függöny nélküli esetben viszont már lényeges, hogy a redőny le van eresztve vagy sem, mert utóbbi esetben 0,5 méterre már kb. 1 °C-kal alacsonyabb értéket kapunk, mint a szoba közepén elhelyezett Vernon-gömbhőmérőn.
c) Sarokhelyiség esetében a második, ablaktalan külső fal hatása jól érvényesült. Ekkor a gömbhőmérséklet-eltérés függöny alkalmazása esetén 0,2—1,0 °C, míg függöny nélküli esetben 1,5 és 2,5 °C között változik — az ablak felületi hőmérséklete függvényében — az előző mérési pontokra vonatkoztatva.

Első pillanatban úgy tűnik, hogy ezek az adatok nem túl meggyőzően bizonyítják az ablakok felé történő aszimmetrikus sugárzás kedvezőtlen hatását, hiszen Vernon-értékben az eltérés csak 1-2 °C. Nem szabad azonban elfelejteni, hogy a Vernon-érték önmagában nem ad megfelelő képet az emberi test sugárzásáról, hiszen az egész térre vonatkozó sugárzást, valamint a levegő-hőmérséklet hatását egyaránt figyelembe veszi. Célszerűbb a kérdés megközelítése a valóságos sugárzásos hőcsere számításával.

Amennyiben a test (ruházattal borított részt is beleértve) külső felületi átlaghőmérsékletét 27 °C-nak tekintjük, a sugárzásos hőleadás egy 20 °C közepes sugárzási hőmérsékletű térben 61 W, tehát több, mint az elméletileg számított 44 W. Ez viszont azt látszik bizonyítani, hogy a normál ruházatban (0,8—0,9 clo) ülő emberek részére még 20 °C közepes sugárzási hőmérséklet sem elegendő hőegyensúlyuk tartására. Ugyanakkor a valóságban, valamely paneles épület közbenső szinti külsőfalas helyi-

ségében, a közepes sugárzási hőmérséklet értéke csak kb. 19 °C, a legfelső szinti sarokhelyiségek esetében még ennél is kevesebb, kb. 17,5 °C.

Amennyiben számítások alapján meghatározzuk a közepes sugárzási hőmérsékletnek azt az értékét, amely esetében az ülő ember sugárzásos hőleadása 44 W — tehát a belső hőfejlődés sugárzásos hőleadásával egyenlő — akkor 21 °C-t kapunk.

A vizsgálatok folyamán a szakirodalomban ismert összefüggésekkel is ellenőrizni kívánták az előző értékeket. A számítások alkalmával a külső faltól 1,5 méterre, azzal szemben ülő embert tételeztek fel, akinek besugárzási tényezője (φ):

— az ablakra 0,12,
— a fűtőtestre 0,0135,
— a teljesen lefüggönyözött, illetve ablakos külső falra 0,164,
— az egyik oldalsó falra 0,145.

A sugárzásos hőleadást az ismert

$$Q_s = F_E C_{12} \varphi \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \quad [W] \qquad (11.5)$$

összefüggésből határozták meg, ahol

F_E az emberi test felülete (1,8 m^2),
φ az emberi test besugárzási tényezője az adott határoló szerkezetekre vonatkozóan,
C_{12} a közepes kölcsönös sugárzási együttható [$W/(m^2K^4)$],
T_1 az emberi test hőmérséklete (300 K),
T_2 a határoló felületek átlagos hőmérséklete.

A számításokat öt különböző változatra végezték el:

— a külső ablakon a redőny fel, a függöny el van húzva,
— a külső redőny leeresztve, a függöny el van húzva,
— egyszerű nylonfüggöny, redőny nélküli és leeresztett redőnyös esetben,
— dupla függöny redőny nélküli és leeresztett redőnyös esetben,
— az ablaktalan sarokfal lefüggönyözése az előző — az ablakos falra ismertetett — esetben.

A változatokkal kapcsolatban a következőket kell megjegyeznünk:

— a fűtőtesttől kapott hőnyereséget 353 K felületi hőmérséklet értékkel számolták,
— az ablaktalan sarokfal lefüggönyözésével a külső fal leárnyékolásának hatását kívánták ellenőrizni.

Meg kell azonban jegyezni, hogy ez a megoldás kedvezőtlenebb, mint bútorzat alkalmazása, mert a függöny felületi hőmérséklete 16—17 °C-ra adódik, míg a bútorzat esetében a szobáéval azonos felületi hőmérséklettel számolhatunk.

A vizsgálati eredmények alapján a függönyök hőérzeti hatására vonatkozóan röviden a következők határozhatók meg:

a) A nyugalomban lévő ember sugárzásos hőveszteségе egy külsőfalas — ablakos, 20 °C léghőmérsékletű szobában kb. 50%-kal több, mint a belső hőfejlődés sugárzásra eső hányada (62 W a 44 W-tal szemben). Ebből az ablakos fal felé történő sugárzásos hőleadás, ha az ablakon nincs redőny és függöny, 23 W. Ez a nyugalomban lévő ember sugárzásos hőleadásának (44 W) több, mint 50%-a, és a 20 °C-nak megfelelő 62 W-os valóságos sugárzásos hőleadásnak is kb. 40%-a.

b) Amennyiben külső redőnyt és kétrétegű függönyt alkalmazunk, az emberi test sugárzásos hőleadása az ablakos fal felé 23 W-ról 12,6 W-ra — tehát több mint 40%-kal — csökkenthető. Ez azt jelenti, hogy az emberi test teljes sugárzásos hőveszteségе a 20 °C léghőmérsékletű szobában 62 W-ról 52 W-ra csökken. A 12,6 W az 52 W-nak több mint 20%-a, és ha az elméleti 44 W-os értéket vesszük figyelembe, ennek is csak 29%-a, az előző, több mint 50%-kal szemben.

c) Amennyiben a sarokszoba ablaktalan külső falát is lefüggönyözzük, az emberi test sugárzásos hőleadása további 10%-kal csökkenthető.

A b) és c) pontban rögzített megállapításokhoz külön hozzáfűzni valónk nincs, hiszen a számítások bizonyítják, hogy az emberi test sugárzásos hőleadása a külső falak, ablakok felé függönyök, redőnyök alkalmazásával milyen mértékben csökkenthető.

Az a) pontban rögzített megállapítással azonban célszerű bővebben foglalkozni. A nyugalomban lévő ember hőegyensúlya 20 °C lég- és 27 °C átlagos testfelületi hőmérséklet, valamint a korábbiakban részletezett határoló szerkezet felületi hőmérséklet értékei esetén nem biztosítható. Szükséges tehát hőleadását mérsékelni, amelyre két mód áll rendelkezésre:

— a sugárzásos hőleadás és/vagy
— a konvenciós hőleadás

csökkentése.

A sugárzásos hőleadás mértéke — mint látható — függönyökkel, redőnyökkel mérsékelhető, de a kívánt mértékre csak a fal igen jó hőszigetelésével vagy pl. külső falpanel fűtéssel csökkenthető.

Ennél egyszerűbb, ha az emberi test konvekciós hőleadását csökkentjük, amelynek érdekében viszont a belső léghőmérsékletet kell növelni, mégpedig — itt nem részletezett számítások eredményei szerint — kb. 23,5—24 °C-ra. Megjegyezzük, hogy a léghőmérséklet növelésének kettős hatása van: csökken a konvekciós hőleadás, de ugyanakkor a sugárzásos is, mivel a belső határoló falak felületi hőmérséklete ugyancsak növekszik (ezek hőmérsékletét mindenkor a belső léghőmérséklettel azonosnak tételeztük fel).

Az új léghőmérséklet-érték azonban „kísértetiesen" egyezik a Fanger-diagram esetében kapott közepes sugárzási hőmérséklet értékével, ami természetes, hiszen ugyanazon fizikai jelenséget veszi a diagram is figyelembe. Ami viszont az aszimmetrikus sugárzás helyi diszkomforthatását mutatja, az az a tény, hogy laboratóriumi kísérletek esetén 23,5 °C léghőmérséklet, 18,5 °C közepes sugárzási hőmérséklet és 1,5 clo értékű ruházat esetén — tehát a Fanger-diagram szerint 5%-os elégedetlenségi

faktorú környezetben — a benntartózkodó alanyok kb. 70%-a huzamosabb ottlét (2-3 óra) esetén panaszkodott a kellemetlen aszimmetrikus sugárzási hatásra. Különösen akkor, amikor nem közvetlenül a fűtőtest előtt ültek, tehát annak számszerűen kis sugárzásos hőnyeresége sem érvényesülhetett.

Adott környezetben, ha a levegő és a falak hőmérséklete, a levegő sebessége és relatív nedvességtartalma előírt, illetve nem változtatható a szükséges mértékben, és a helyiség funkciójánál fogva az emberi test belső hőfejlődése sem növelhető, egy lehetőség marad: a jobb szigetelőképességű ruha használata. A ruházat szerepével a hőérzet alakulásában a 3.3. és 6.7. alfejezetekben már foglalkoztunk. Itt azokra visszahivatkozva azonban néhány új szempontot mutatunk be e kérdéssel kapcsolatban.

A ruházat felületi hőmérsékletének — amely a sugárzásos-konvekciós hőcserét döntő módon befolyásolja — számítására Fanger dolgozott ki egy meglehetősen bonyolult összefüggést [lásd (5.44) képlet].

Amennyiben a kísérletek bemutatásakor részletezett mikroklíma-paraméterek, valamint I_{cl} helyére 0,5, 0,8, 1, 1,2 és 1,5 clo értéket helyettesítünk, akkor a ruházat felület átlaghőmérsékletére, t_{cl}-re, az előző sorrendben a következő hőmérséklet-értékeket kapjuk: 31,6; 30,7; 29,4; 28,5; 27,7 °C.

Ez viszont gyakorlatilag azt jelenti, hogy az előzőleg végzett elméleti számításainkat kb. 1,5 clo értékű ruházatra vonatkoztathatjuk, amely viszont igen jó hőszigetelést jelent, hiszen megfelel

— nők esetében: szövetruha kardigánnal, harisnya, cipő, meleg alsóruházat,
— férfiak esetében: normál zakós ruha kardigánnal, meleg alsóruházattal, magas zokni cipővel.

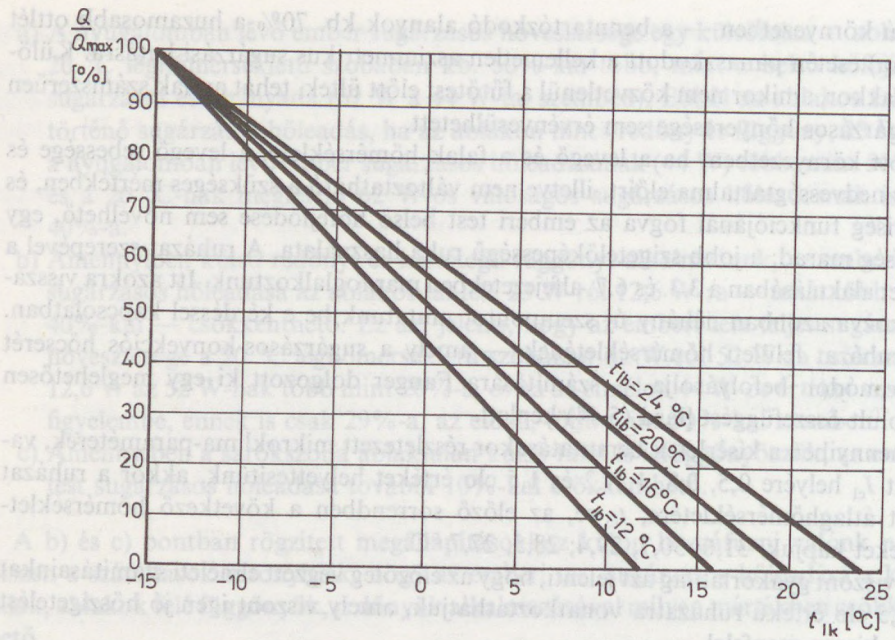
Lakásban vagy irodában ez a ruházat nálunk szokatlan, és bizonyos mértékig a mozgáskészség, kényelemérzet rovására megy. Könnyebb, illetve kisebb szigetelőképességű ruházat esetén viszont az előző hőleadási (mind sugárzó, mind konvekciós) értékek növekednek. Tovább bonyolítja a helyzetet, hogy ezen clo értékek esetén a komfortdiagram szerint kellemes hőérzet várható, 5%-os elégedetlenségi faktorral. Végül meg kell jegyeznünk, hogy a 27 °C ruházati felületi átlaghőmérséklet értékeket egyéb irodalmi adatok inkább 0,8—1,0 clo ruházati érték esetén adják meg, nem pedig 1,5 clo értékre.

Mindezektől függetlenül a függönyök és redőnyök „energiagazdálkodás kontra komfort" megítélésének kérdésében pusztán a számított adatokból látható, hogy az emberi test sugárzásos hőleadása a külső fal, illetve ablak felé ezek alkalmazásával tekintélyes mértékben (40—50%) csökkenthető.

A kérdés teljes tisztázása — figyelembe véve a szubjektív emberi reakciókat is — azonban még további „élőalanyos" vizsgálatokat kíván.

11.3.3. A helyiségek közötti hőáramok

A transzmissziós alaphőveszteséget előidéző hőáram egy, általában kisebb része nem a külső, hanem a belső határoló szerkezeteken keresztül távozik, utóbbi esetben a szomszédos helyiségekbe. Ezek nagyságát időben nehéz befolyásolni, elvileg a teljes



11.3. ábra. A relatív hőigény változása különböző helyiség-hőmérsékletek mellett (Gábor és Zöld (1981)

fűtési idényben értékük állandó. Nagyságukra vonatkozóan egy ábrát mutatunk: a *11.3. ábrán* a relatív hőigény változása látható a külső hőmérséklet és a különböző helyiség-hőmérséklet esetén.

11.3.4. Néhány egyéb hatás

E témakörön belül a következő témákkal foglalkozunk:

— a burkoló felületek hőmérséklete,
— a helyiség magasságának hatása,
— a fűtési üzemmód befolyása.

Hasonlóan az előzőekhez, e kérdésekkel is csak elvi síkon foglalkozunk.

11.3.4.1. A burkoló felületek hőmérsékletének hatása

A transzmissziós hőveszteség számítására a korábbiakban már ismertetett, egyszerű léghőmérsékletre méretezésre kidolgozott összefüggések alkalmazhatóságának feltétele, hogy a levegő és a burkoló felületek hőmérséklete közötti eltérés csekély. Ez azonban csak akkor igaz, ha

— a külső határoló felületek aránya a teljeshez viszonyítva kicsi, és/vagy
— a külső határoló szerkezetek jól szigeteltek.

Amennyiben a két feltétel valamelyike nem teljesül, a számítás módosításra szorul. Hazai viszonyok között általában mindkét feltételt nem tudjuk biztosítani, így adódnak azok a hőérzeti panaszok, amelyek az aszimmetrikus sugárzás témakörébe sorolhatók. E témával viszont a 6.1.1. pontban részletesen foglalkoztunk.

Ami az energiafogyasztást illeti:

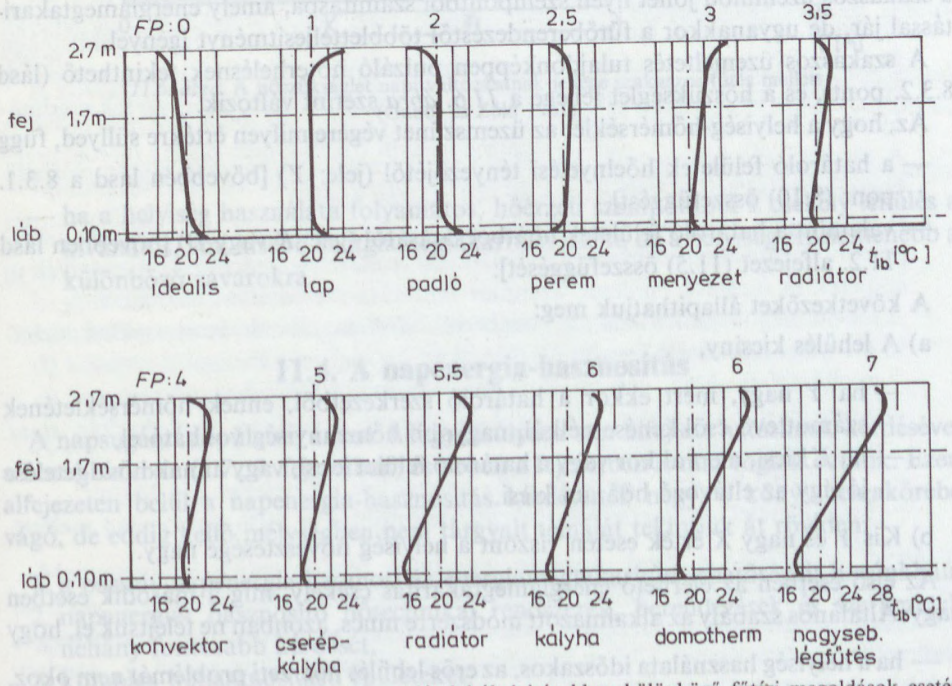
— az aszimmetrikus sugárzás ellensúlyozásának egyik „lehetősége" a belső léghőmérséklet emelése, ami viszont eleve ellentmond az energiagazdálkodási célkitűzéseknek, törekvéseknek,

— a másik lehetőség az aszimmetrikus sugárzás kompenzálása megfelelő — elsősorban sugárzó — fűtések alkalmazásával, e kérdéssel viszont a 16. fejezetben foglalkozunk.

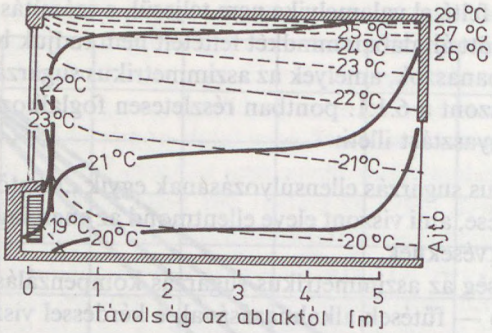
11.3.4.2. A helyiség magasságának hatása

Közismert tény, hogy a fűtött helyiségekben a léghőmérséklet megoszlása az alkalmazott fűtési megoldás függvényében változik, mint az a Kollmar és Liese (1957) által kidolgozott *11.4. ábrán* látható. Ez önmagában is bizonyítja, hogy az alkalmazott fűtési megoldás és a helyiség belmagasságának függvényében erős eltérések adódhatnak a helyiség hőveszteségében.

A legjellegzetesebb eltérés a konvekciós és sugárzó fűtések között adódik, mégpedig a magasság függvényében a hőmérséklet-különbség nő, mint az a *11.5. ábrán* látható.



11.4. ábra. A vertikális hőmérséklet-megoszlás lakóhelyiségekben különböző fűtési megoldások esetén (Kollmar és Liese 1957)



11.5. ábra. Radiátoros és sugárzó mennyezetfűtés esetén a levegő-hőmérséklet megoszlása (Wenzel és Müller 1967)

Ezen elvi megoldás, valamint (Wenzel és Müller 1967) a sugárzás megfelelő irányítása eleve 20—50%-os energiamegtakarítást eredményezhet. Erre a kérdésre a 16. fejezetben ugyancsak kitérünk.

11.3.4.3. A fűtési üzemmód hatása

A harmadik fontosabb elvi lehetőség, ami a mikroklímára és az energiafogyasztásra kihatással van, ez a fűtési üzemmód megfelelő megválasztása lehet. Ismert tény, hogy a szakaszos üzemmód jöhet ilyen szempontból számításba, amely energiamegtakarítással jár, de ugyanakkor a fűtőberendezéstől többletteljesítményt igényel.

A szakaszos üzemeltetés tulajdonképpen pulzáló hőterhelésnek tekinthető (lásd 8.3.2. pont), és a hőszükséglet jellege a *11.6. ábra* szerint változik.

Az, hogy a helyiség-hőmérséklet az üzemszünet végére milyen értékre süllyed, függ

— a határoló felületek hőelnyelési tényezőjétől (jele: Y) [bővebben lásd a 8.3.1. pont (8.10) összefüggést],
— valamint a határoló felületek hőátbocsátásától (jele: K vagy D) [bővebben lásd 11.2. alfejezet (11.5) összefüggését].

A következőket állapíthatjuk meg:

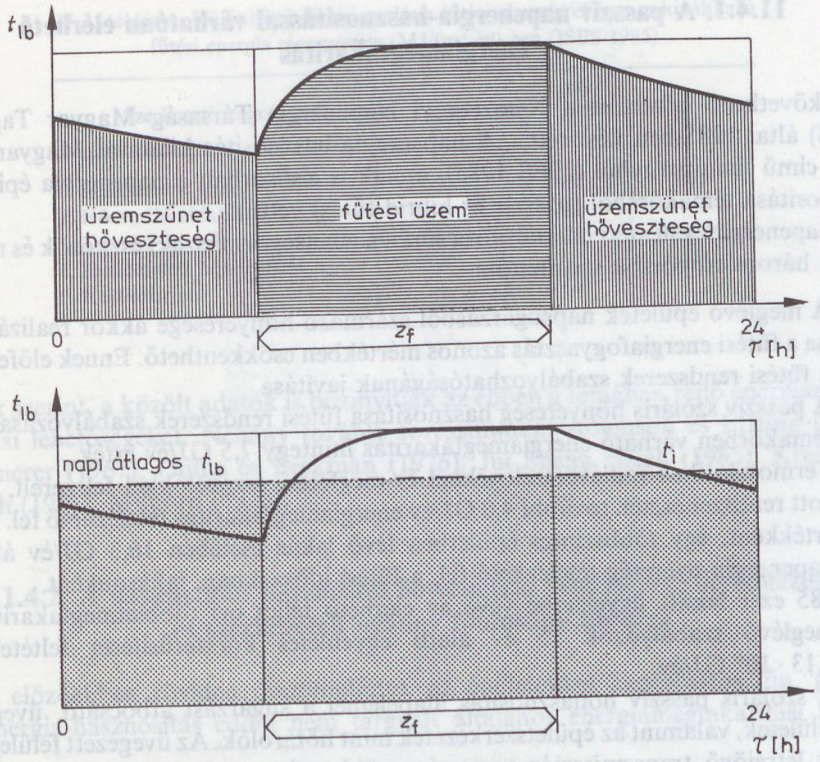
a) A lehűlés kicsiny,

— ha Y nagy, mert ekkor a határoló szerkezetből, ennek hőmérsékletének számottevő csökkenése nélkül, nagyobb hőmennyiség vonható el,
— ha K kicsi, mert akkor vagy a határoló felület kicsi, vagy annak hőszigetelése jó, így az eltávozó hőáram kicsi.

b) Kis Y és nagy K érték esetén viszont a helyiség hővesztesége nagy.

Az első esetben az elérhető energiamegtakarítás csekély, míg a második esetben nagy. Általános szabály az alkalmazott módszerre nincs, azonban ne felejtsük el, hogy

— ha a helyiség használata időszakos, az erős lehűlés hőérzeti problémát nem okoz, az elérhető jelentős energiamegtakarítást csak jól szabályozható, rugalmas fűtőberendezéssel érhetjük el;



11.6. ábra. A hőszükséglet napi változásának jellege szakaszos fűtés mellett (Gábor és Zöld 1981)

— ha a helyiség használata folyamatos, hőérzeti szempontból a csekély lehűlés a kívánatos, ami kisebb energiamegtakarítást jelent, de a helyiség érzéketlenebb a különböző zavarokra.

11.4. A napenergia-hasznosítás

A napsugárzás épületre, annak hőegyensúlyára stb. kifejtett hatásának kérdésével a korábbiakban (a 7., 9. fejezetben) és ebben a fejezetben is már foglalkoztunk. Ezen alfejezeten belül a napenergia-hasznosítás kérdésének négy, e könyv témakörébe vágó, de eddig kellő mélységben nem tárgyalt témáját tekintjük át röviden:

1. a passzív napenergia-hasznosítás energiamegtakarítási lehetőségeit hazánkban,
2. napenergiát hasznosító hőtechnikai rendszerek, berendezések és szerkezetek néhány fontosabb kérdését,
3. komplex hőhasznosítású épületeket,
4. napsugárzást hasznosító berendezéseket, szerkezeteket.

11.4.1. A passzív napenergia-hasznosítással várhatóan elérhető energiamegtakarítás

A következő adatokat a Nemzetközi Napenergia Társaság Magyar Tagozata (ISES) által 1985-ben készített, „A napenergia-hasznosítás kilátásai Magyarországon" című tanulmányból (ISES 1985), annak is elsősorban a napenergia építészeti hasznosítása témaköréből (passzív és hibrid fűtés) vettük.

A napenergia építészeti hasznosítása során a lehetséges műszaki eszközök és megoldások három csoportba sorolhatók:

1. A meglévő épületek napsugárzásból származó hőnyeresége akkor realizálható, ha a fűtési energiafogyasztás azonos mértékben csökkenthető. Ennek előfeltétele a fűtési rendszerek szabályozhatóságának javítása.
   A passzív szoláris hőnyereség hasznosítása fűtési rendszerek szabályozása útján témakörben várható energiamegtakarítás mintegy 7,5 GJ/év érték.
   Termosztatikus radiátorszelepekkel és megfelelő érzékelőkkel felszerelt, zónázott rendszer esetén további 4,0 GJ/év energiamegtakarítás tételezhető fel. Alapértékként, egy többszintes épületben lévő lakás esetében 16,3 GJ/év átlagos napenergia-nyereség tételezhető fel, a fűtési időszakban, lakásonként.
   485 ezer lakást figyelembe véve az elérhető teljes évi többletmegtakarítás (a meglévő szabályozók 15 év alatti egyenletes korszerűsítését feltételezve) $0{,}13 \cdot 10^6$ GJ/év.
2. A szoláris passzív hőhasznosítás alapelemei a sugárzást átbocsátó, üvegezett felületek, valamint az épületszerkezetek mint hőtárolók. Az üvegezett felületeken át létrejövő transzmissziós veszteség csökkentése a tárolt hő megtartásának előfeltétele. Erre a célra mozgatható hőszigetelő-árnyékoló szerkezetek eredményesen alkalmazhatók, meglévő és új épületeken egyaránt.
   A mozgatható hőszigetelő, árnyékoló szerkezetek alkalmazása esetén elérhető energiamegtakarítás elérheti a $4{,}39 \cdot 10^6$ GJ/év értéket.
3. A napenergia építészeti hasznosításának további eszközeit szolgálják az aktív-passzív (hibrid) megoldások (TROMBE-fal, szellőztetett tároló stb.), amelyek új épületek és meglévő épületek komplex felújítása esetén alkalmazhatók.
   A hibrid megoldások közül figyelembe vehető fontosabbak, és az ezekkel várható évi megtakarítások becsült értéke:
   — szellőztetett ablak, déli tájolású homlokzaton 1 GJ/m^2,
   — hőcserélő ablak esetén téli átlagban hasonló a várható megtakarítás, mint szellőztetett ablakoknál,
   — TROMBE fal, déli tájolás és 20% hatásfokot feltételezve 256 MJ/m^2,
   — kiszellőztetett utólagos hőszigetelés, déli tájolás és 50% hatásosság mellett, 980 MJ/m^2,
   — kollektor tető, déli tájolás esetén 600 MJ/m^2.

Az öt megoldásra vonatkozóan évente kiváltható fűtési energia mennyisége a *11.3. táblázat*ban látható.

A hivatkozott tanulmányban minden egyes tényező esetére várható gazdaságosság részletes elemzése (beruházás, megtakarítás stb.) megtalálható. Mindenesetre, vélemé-

11.3. táblázat. Különböző hibrid szoláris fűtési elemekkel évente kiváltható fűtési energia mennyisége (MJ/(m^2 év)-ben (ISES 1985)

Szerkezeti megoldás	Égtáj		
	K	D	Ny
1. Szellőztetett ablak	335	962	339
2. Hőcserélő ablak		982	
3. Trombe-fal	125	256	152
4. Szellőztetett hőszigetelés	190	385	228
5. Kollektortető		600	

nyünk szerint, a közölt adatok is bizonyítják az ebben a témában rejlő energiamegtakarítási lehetőségeket. Néhány további forrásmunka: Adamson és Efrting (1979), Cammerer (1967), Duffie és Beckman (1976), Jui Sheng Hsieh (1985), Kreider és Kreith (1981), Milborn (1978).

11.4.2. A napenergiát hasznosító hőtechnikai rendszerek, berendezések és szerkezetek néhány fontosabb kérdése

Az előzőekben röviden összefoglaltuk az épületekkel kapcsolatos, ún. passzív napenergia-hasznosítás eddig nem tárgyalt általános energiamegtakarítási lehetőségeit.

A következőkben a napsugárzást hasznosító hőtechnikai rendszerek és szerkezetek — tehát az épületgépészet — szempontjából tekintjük át röviden a kérdést, elsősorban Gyurcsovics (1982) összefoglaló munkája alapján.

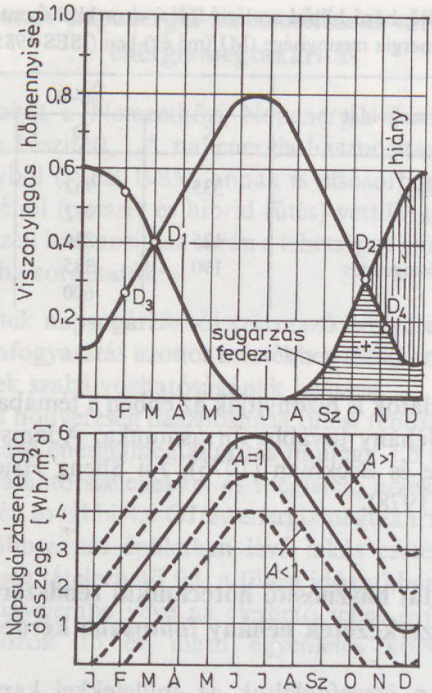
Épületgépészeti szempontból a szolártechnikai berendezéseket a következők szerint csoportosítják:

a) használati meleg víz készítése, beleértve az uszodai hasznosítást is,
b) épületfűtő berendezések,
c) hűtőberendezéseket üzemeltető napsugárzás-hasznosítók,
d) közepes hőmérsékletet igénylő technológiák kiszolgálása,
e) komplex hasznosítású épületek.

A továbbiakban csak a b), c) és e) pontokkal foglalkozunk.

11.4.2.1. Épületek fűtése

Magyarország meteorológiai adottságai olyanok, hogy a napenergia mérsékelt összegű hasznosítási kategóriájához sorolható. A nagy fűtésienergia-igény, a kis sugárzási időszakokban lép fel, hasznosítható energia az év átmeneti időszakaiban várható. A hasznosítás mértékére vonatkozóan a *11.7. ábrán* látható diagramot mutatjuk be. Az alsó rész a napenergia összegét ábrázolja, és ez kerül tulajdonképpen



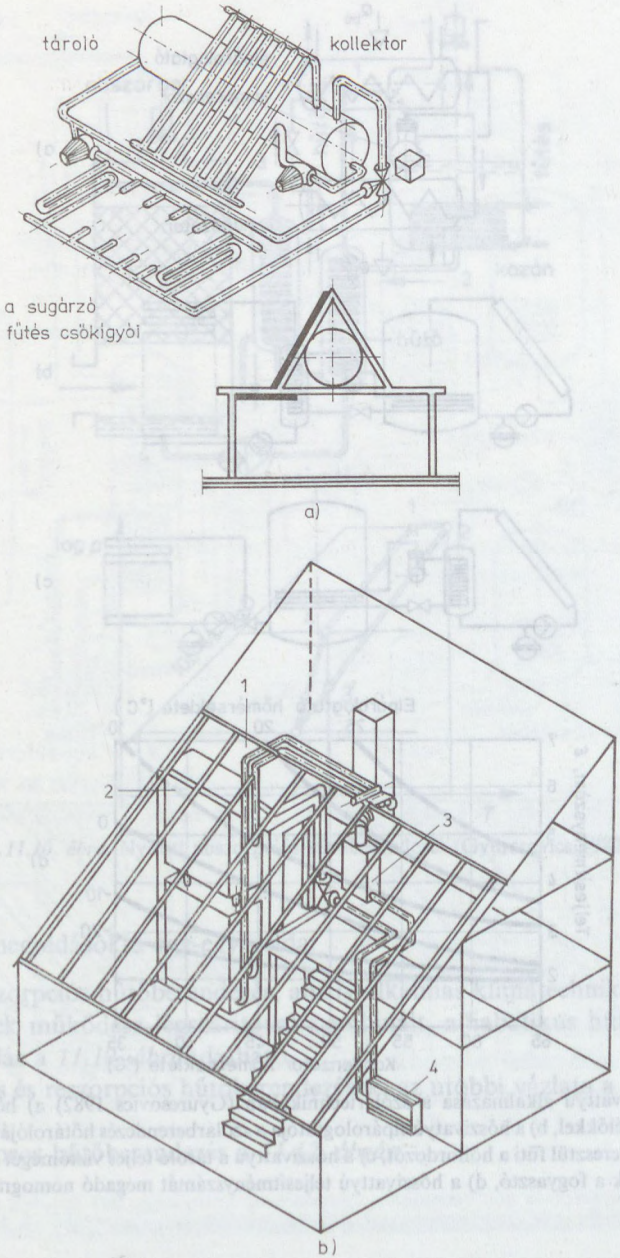
11.7. ábra. A Budapestre vonatkozó átlagokkal számolt valódi hőszükséglet viszonya a méretezési hőszükséglethez; a fajlagos hőnyereség napi változása a relatív felület függvényében; a két görbe összerajzolásából kiadódó területek (Gyurcsovics 1982)

a felső hőveszteség görbére rárajzolva. A lépték nélküli nyereséggörbét a hasznosító szerkezetek mérete (A) határozza meg. Látható, hogy az elnyelő felület növekedésével nő a hőnyereség.

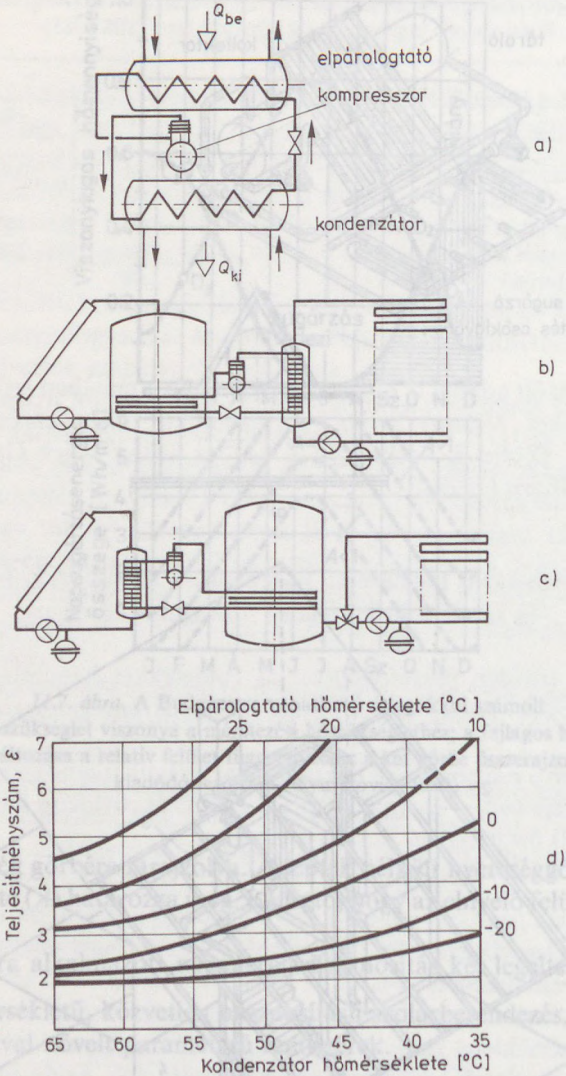
A fűtési célokra alkalmazott napenergia-hasznosítás két legelterjedtebb formája:

— a kis hőmérsékletű, közvetlen hasznosítású szolárberendezés,
— hőszivattyúval növelt paraméterű rendszerek.

Az első csoportra vonatkozóan a hivatkozott könyvben (Gyurcsovics 1982) ismertetett sok példa közül mutatunk be egyet *(11.8. ábra)*, a hőszivattyús megoldásokra vonatkozóan pedig a *11.9. ábrát* közöljük.



11.8. ábra. Napenergiát hasznosító épületek: a) MIT (Massachusetts Institute of Technology) III. szolárépület, padlástartállyal és sugárzó fűtéssel, b) Milton—Keynes-épület: 1 tetőszerkezetbe épített kollektor, 2 lakótérben elhelyezett tárolótartály, 3 ventilátoros konvektorfűtés, 4 radiátor
(Gyurcsovics 1982)

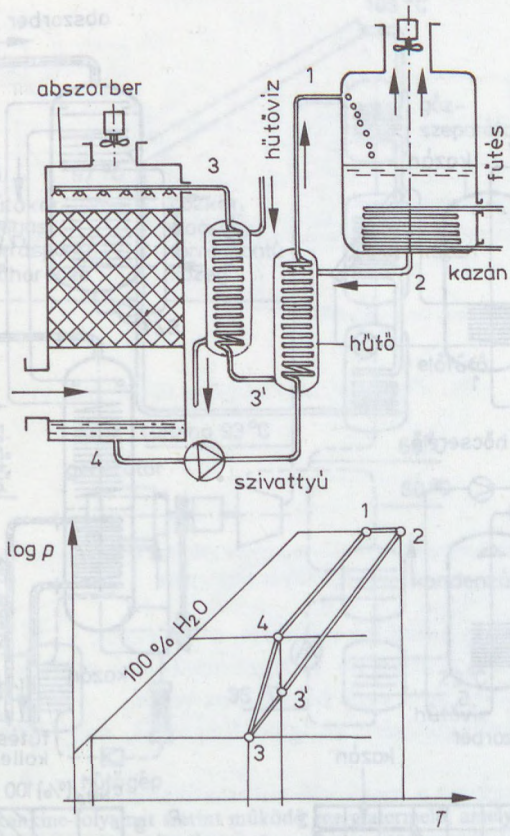


11.9. ábra. Hőszivattyú alkalmazása a szolártechnikában (Gyurcsovics 1982) a) hőszivattyú-aggregát folyadékos hőcserélőkkel, b) a hőszivatyú elpárologtatója a szolárberendezés hőtárolójába épült, a kondenzátor hőcserélőn keresztül fűti a hőhordozót, c) a hőszivattyú a tároló teljes víztömegét fűti, ebbe csatlakozik a fogyasztó, d) a hőszivattyú teljesítményszámát megadó nomogram

11.4.2.2. Épületek hűtése

Épületek hűtése (klimatizálása) esetén a szolártechnika felhasználása kettős lehet:

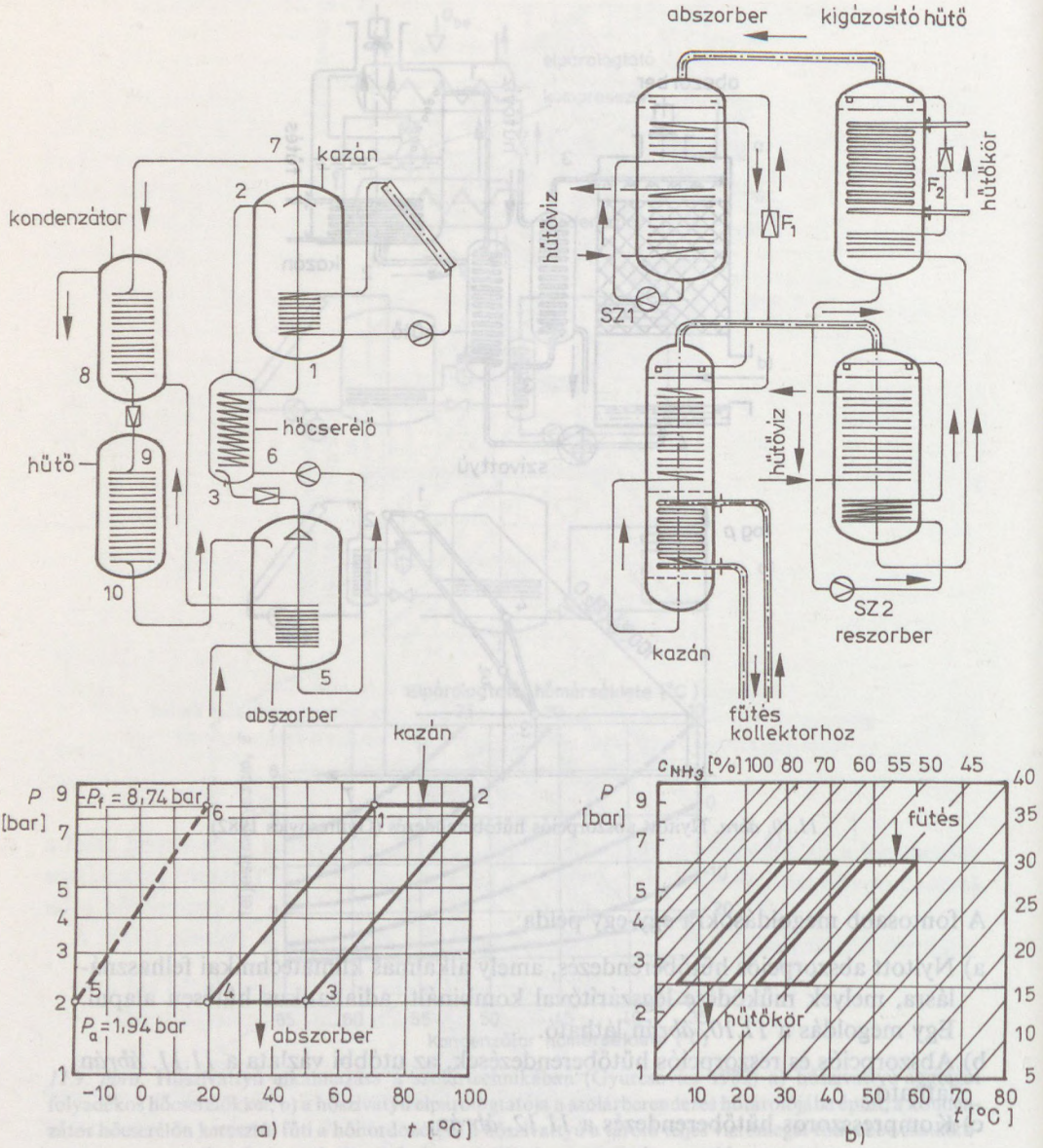
— a szolártechnika szolgáltatja a hagyományos hűtőberendezés hajtóenergiáját,
— a napsugárzásból származó hőenergia végzi a hűtési folyamatot.



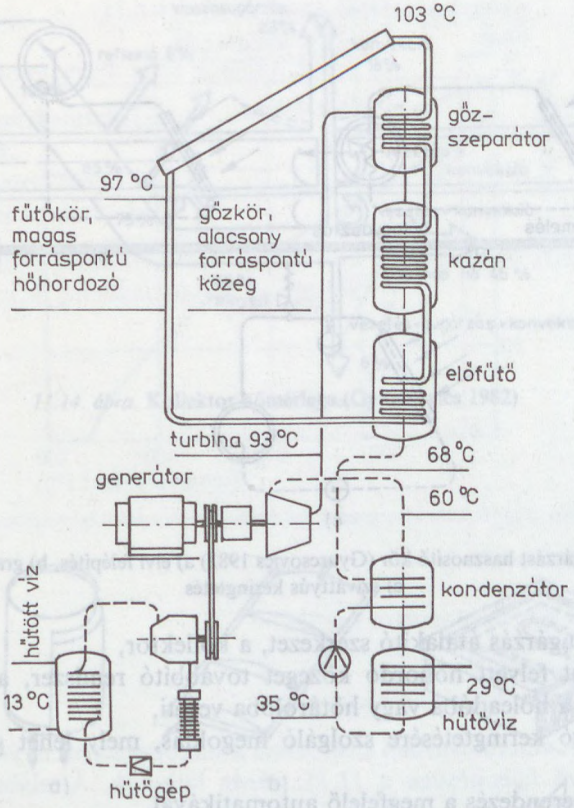
11.10. ábra. Nyitott abszorpciós hűtőberendezés (Gyurcsovics 1982)

A fontosabb megoldásokra egy-egy példa:

a) Nyitott abszorpciós hűtőberendezés, amely alkalmas klímatechnikai felhasználásra, melyek működése légszárítóval kombinált, adiabatikus hűtésen alapul. Egy megoldás a *11.10. ábrán* látható.
b) Abszorpciós és reszorpciós hűtőberendezések, az utóbbi vázlata a *11.11. ábrán* látható.
c) Kompresszoros hűtőberendezés a *11.12. ábrán*.



11.11. ábra. Zárt abszorpciós hűtőberendezés, ammónia-víz hűtőközeg, zárt hűtőkör (a) és reszorpciós hűtőberendezés kapcsolási vázlata (b) (Gyurcsovics 1982)



11.12. ábra. Rankine-folyamat szerint működő energiatermelő, amely kompresszoros hűtőgépet hajt (Gyurcsovics 1982)

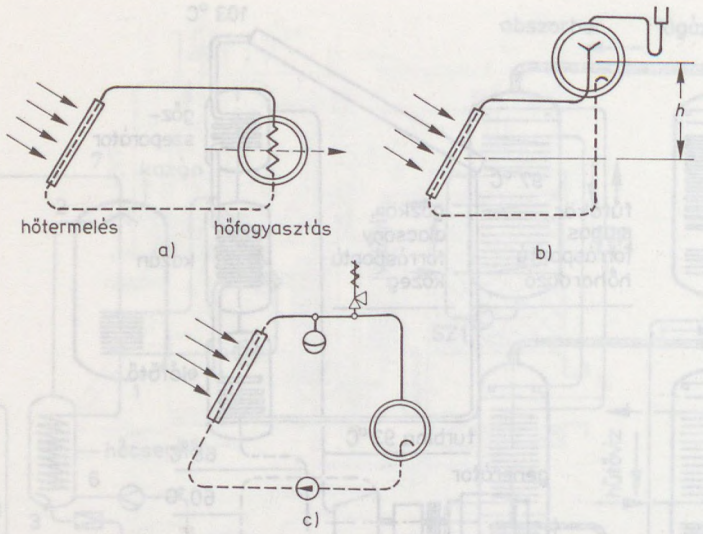
11.4.3. Komplex hőhasznosítású épületek

A komplex hőhasznosítású, ún. napházak esetében a napsugárzáson kívül a belső hőterhelés és az épületekben lévő hőtároló szerkezetek hőleadását stb. egyaránt figyelembe veszik. Jelenleg már nagyon sok megoldás ismeretes, és ezekkel kapcsolatban felhívjuk a figyelmet Gyurcsovics (1982) könyvének 8.5. fejezetében foglaltakra.

11.4.4. Napsugárzást hasznosító berendezések, szerkezetek

Az előzőekben ismertetett feladatok megoldásához nagyon sokfajta berendezés, szerkezet ismert. Ezeket foglaljuk össze nagyon röviden, szintén Gyurcsovics (1982) alapján.

A napsugárzást hasznosító berendezések általában a következő alkotóelemekből állhatnak:



11.13. ábra. A napsugárzást hasznosító kör (Gyurcsovics 1982) a) elvi felépítés, b) gravitációs keringtetés, c) szivattyús keringtetés

— az elnyelő sugárzás átalakító szerkezet, a kollektor,
— a hőenergiát felvett hőhordó közeget továbbító rendszer, amely a közeget közvetlenül a hőleadóba vagy hőtárolóba vezeti,
— a hőhordozó keringtetésére szolgáló megoldás, mely lehet gravitációs vagy szivattyús,
— a hőleadó berendezés a megfelelő automatikával.

Az előzőekben vázolt berendezés általános felépítése a *11.13. ábrán* látható.

A napsugárzást hasznosító szerkezeteket három fő részre oszthatjuk:

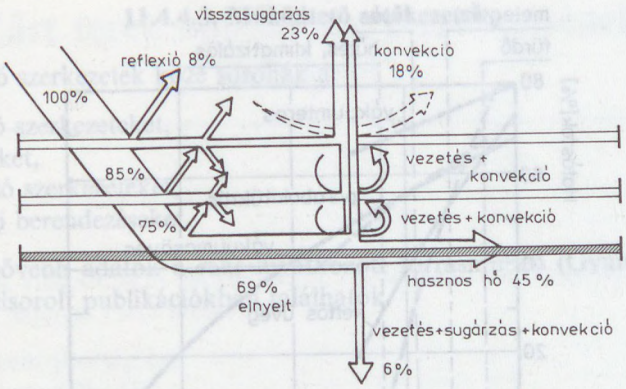
— a kollektor,
— a hőtárolási megoldás,
— a működtetés szerkezeti eleme.

11.4.4.1. A napkollektor

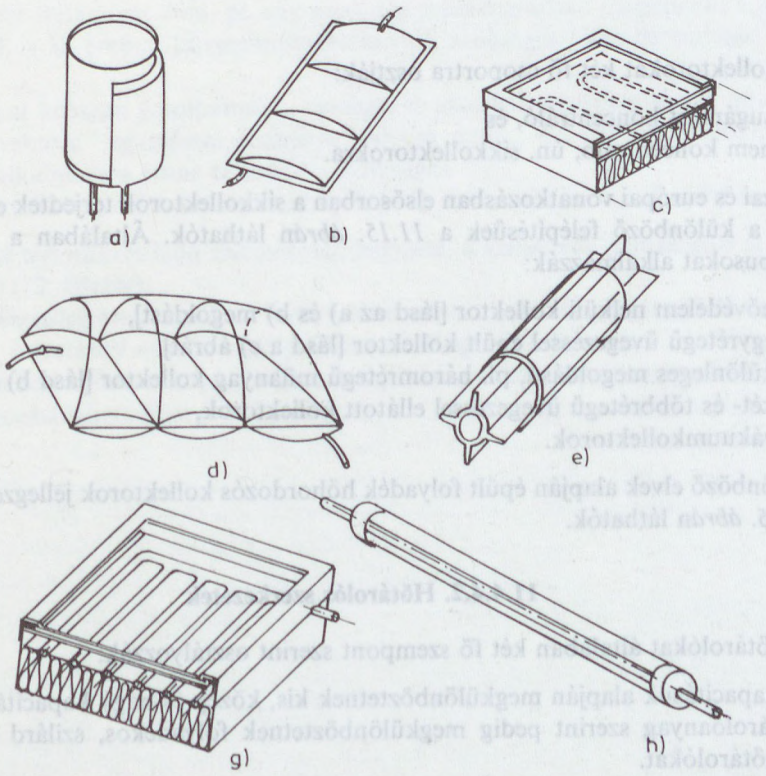
A napkollektor funkciója hármas:
— elnyeli a felületére érkező elektromágneses sugárzást,
— ezt hővé alakítja,
— a keletkezett hőenergiát közli valamilyen hőhordozó közeggel.

A kollektor hőegyensúlyát és hatásfokát három fő tényező befolyásolja:
— az elnyelt sugárzás,
— a hőhordozóval közölt hő,
— a szerkezet hővesztesége.

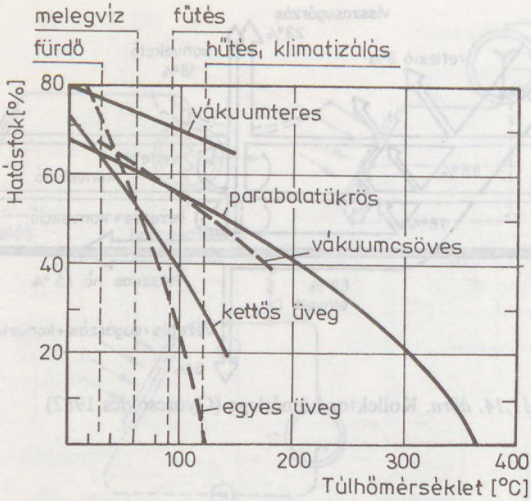
A kollektor hőmérlege a *11.14. ábrán* látható.



11.14. ábra. Kollektor hőmérlege (Gyurcsovics 1982)



11.15. ábra. Síkkollektorok (Gyurcsovics 1982) a) közvetlenül sugárzott tartály, b) védelem nélküli műanyag zsánk mint kollektor, c) csőkígyóval szerelt egyrétegű üvegezésű kollektor, d) műanyag zsák, sugárzás felőli oldalon átlátszó fóliával védve, e) hosszbordás, fekete műanyag elnyelőcső, átlátszó védőcsőben, f) csőjáratos lemezkollektor, kétrétegű üvegezéssel, g) elnyelődő, vákuumcsőben



11.16. ábra. Egyedi kollektortípusok jellemző paraméterei (Gyurcsovics 1982)

A kollektorokat két fő csoportra osztják:

— sugárzást koncentráló, és
— nem koncentráló, ún. síkkollektorokra.

Hazai és európai vonatkozásban elsősorban a síkkollektorok terjedtek el, amelyek közül a különböző felépítésűek a *11.15. ábrán* láthatók. Általában a következő alaptípusokat alkalmazzák:

— hővédelem nélküli kollektor [lásd az a) és b) megoldást],
— egyrétegű üvegezéssel épült kollektor [lásd a c) ábrát],
— különleges megoldású, pl. háromrétegű műanyag kollektor [lásd b) ábrát],
— két- és többrétegű üvegezéssel ellátott kollektorok,
— vákuumkollektorok.

A különböző elvek alapján épült folyadék hőhordozós kollektorok jellegzetes adatai a *11.16. ábrán* láthatók.

11.4.4.2. Hőtárolós szerkezetek

A hőtárolókat általában két fő szempont szerint osztályozzák:

— kapacitásuk alapján megkülönböztetnek kis, közép és nagy kapacitásúakat,
— tárolóanyag szerint pedig megkülönböztetnek folyadékos, szilárd és kémiai hőtárolókat.

11.4.4.3. Működtető szerkezetek

A működtető szerkezetek közé sorolják a

— keringtető szerkezeteket,
— hőcserélőket,
— szabályozó szerkezeteket,
— biztonsági berendezéseket.

Mindezekről bővebb adatok a már hivatkozott forrásműben (Gyurcsovics 1982), illetve az ott felsorolt publikációkban találhatók.

11.16. ábra. Egyedi kollektortípusok jellemző paraméterei (Gyurcsovics 1982)

III. Zárt terek optimumra méretezésének elvi kérdései

Napjainkban, világszerte és hazánkban is, két alapvető szempont került előtérbe az épületek belső tereinek méretezésekor:

— a humáncentrikusság és
— az energiagazdálkodás.

Az, hogy melyik tendencia érvényesül, általában az adott ország gazdasági lehetőségeitől, a zárt tér funkciójától függ. Az előbbit jól reprezentálja az a tény, hogy milyen méretezési eljárás van érvényben, vagy az, hogy a komfort méretezési előírások esetében hány százalékos *PPD* értéket engednek meg, kell figyelembe venni. Ami az utóbbit, a tér funkcióját illeti, pl. egy precíziós műszergyárban függetlenül a gazdaságosságtól és az emberi követelményértékektől, szükséges klímaberendezés alkalmazása.

A példákat hosszan sorolhatnánk, összegezve azonban megállapítható; mivel két törekvés „vektora" egymással ellentétes irányba mutat, a kettő optimumára való méretezés alkalmazása lenne célszerű és szükséges.

A következőkben ezt a kérdést tekintjük át és elemezzük három fejezetben:

— A zárt téri mikroklíma méretezések helyzete, a kutatások nemzetközi és hazai témái (12. fejezet).
— A hőérzetileg megengedhető határértékek elve, s ezen elvnek megfelelő eredmények, méretezési adatok kidolgozása lehetőségei (13. fejezet).
— Az emberi követelményértékek és energiafelhasználás optimumának elvi meghatározási lehetőségei (14. fejezet).

III. Zárt terek optimumra méretezésének elvi kérdései

12. A zárt téri mikroklíma méretezésének helyzete

Az előzőekben áttekintettük az emberi hőcserefolyamatokat, az azokat befolyásoló tényezőket, az épületek energiafelhasználását meghatározó paramétereket, valamint a zárt terek belső mikroklímájának méretezésére kidolgozott különböző módszereket. Megállapíthatjuk, hogy tulajdonképpen az emberi és az épületekkel kapcsolatos gazdaságossági és energiagazdálkodási követelmények egyaránt alapvetően fontosak. Mivel azonban ezen követelményértékek „vektora" ellentétes irányú, célszerű lenne a kettő optimumára méretezni. Ez az elképzelés azonban ez ideig nemigen valósult meg, de az ezzel kapcsolatos kutatások megkezdődtek (Bánhidi 1987). Mielőtt a lehetőségeket elvileg tisztáznánk, tekintsük át

— az e téren folyó és a közeljövőben folytatásra kerülő kutatások nemzetközi és hazai helyzetét, trendjét és
— e kutatások hazai hasznosulásának tipikus és várható formáit.

12.1. A kutatások trendjei

Az épületek belső mikroklímájával kapcsolatos kutatások alapvető célja, hogy tisztázza az épületek zárt tereiben tartózkodó emberre ható különböző fizikai tényezők hatásmechanizmusát, megállapítsa azok törvényszerűségeit, a gazdasági adottságok figyelembevételével tervezési, méretezési normaértékeket, szabványokat dolgozzon ki. Mindezekből többek között látható, hogy

— egyrészt elméleti jellegű alapkutatások szükségesek,
— másrészt gyakorlati jellegű alkalmazott kutatási feladatok megoldásáról van szó,
— ugyanakkor a téma erősen interdiszciplináris jellegű, hiszen megkívánja műszakiak, fiziológusok, pszichológusok, szociológusok stb. szoros együttműködését, csapatmunkáját.

A tématerület a 60-as évek végén került előtérbe, és az utóbbi években az építőipari kutatásokon belül a fejlett ipari országokban az egyik legfontosabb témává fejlődött, melynek számos kérdését már megoldották, de nagyon sok új, még tisztázatlan probléma is felmerült.

A megoldatlan kérdések, az azokkal kapcsolatos vélemények, hozzáállások, a folyó kutatások sajátos, egymástól gyakran erősen eltérő képet mutatnak, elsősorban az egyes országok gazdasági, ipari fejlettsége függvényében. Ezért a kutatások trendjében — bár a megoldásra váró kulcsfontosságú problémák országonként erősen eltérőek — tulajdonképpen két fő irányzat figyelhető meg.

Az első irányzat a kérdések nagy részét megoldottnak tekinti és csak bizonyos finomításokat tart szükségesnek, a másik irányzat egyre inkább előtérbe helyezi az emberi és gazdasági tényezők komplex vizsgálatát és a további, néha alapozó jellegű kutatásokat.

12.1.1. A „hagyományos" irányzat

A „hagyományos" kifejezés tulajdonképpen nem helytálló, mert önmagában sok országban, így hazánkban is, érvényben lévő méretezési előírásokhoz viszonyítva teljesen újat jelent. Rövid ismertetéséhez a következők szükségesek.

Az ember és környezete közötti kölcsönhatásokkal fiziológusok, pszichológusok már a századforduló óta foglalkoznak, és számos törvényszerűséget állapítottak meg. Ezek közül e tématerülettel szorosabb kapcsolatban lévők közül meg kell említenünk DuBois (1937), Hardy (1953), Gagge és Winslow (1938), Bedford (1948), Winslow és Harrington (1949) munkásságát.

A szorosan vett épületeken belüli „műszaki" mikroklíma-méretezés alapjait Fanger (1982) dolgozta ki, és azt az 5.3. alfejezetben már bemutattuk. E módszer ugyan a zárt téren belül ható tényezőknek csak egy csoportjával, az ún. hőérzeti tényezőkkel foglalkozik, de mint bebizonyosodott, ezek a benntartózkodás szubjektív közérzete szempontjából a legfontosabbak. Ezen méretezési módszert napjainkban a fejlett ipari országokban általánosan, szabvány előírási szinten (ASHRAE 1981, ISO 1984) alkalmazzák. Lényege, hogy a zárt térben tartózkodó, tevékenykedő ember szempontjából 6 paraméter hatását veszi figyelembe, úgymint

— a levegő hőmérsékletét és annak térbeli eloszlását,
— a határoló szerkezetek közepes sugárzási hőmérsékletét,
— a levegő sebességét,
— a levegő relatív nedvességtartalmát,
— a ruházat szigetelőképességét,
— a végzett tevékenység függvényében az emberi testben fejlődő ún. metabolikus hőt.

Ezen paramétereknek az ember várható szubjektív hőérzetére vonatkozó hatását diagramokba, matematikai összefüggésekbe foglalják. A méretezési módszer alapvető célja a zárt térben tartózkodó részére az optimális hőérzetet eredményező mikroklíma-paraméterek biztosítása.

Ezen elv továbbfejlesztése során, az alapokat változatlanul tartva, az elmúlt években inkább „finomításokat" végeztek, amelyek azonban a tématerület szempontjából ugyancsak fontosak. E továbbfejlesztésből csak két tényt, véleményünk szerint a legfontosabbat, emeljük ki.

Mint az előzőekben említettük, a méretezési módszer legfontosabb hasonlítási alapja a szubjektív emberi érzet. Ennek megfelelően a továbbfejlesztés során a zárt téri mikroklíma-tényezők közül azok kerültek előtérbe, amelyek a hőérzeti paraméterekhez hasonlóan ugyanebbe a kategóriába tartoznak, pl. a szaghatások (lásd 6.4. alfejezetet).

A másik fontos fejlődés e területen az, hogy bebizonyosodott: egy egyébként megfelelően méretezett téren belül is akadnak olyan helyek, ahol az egyes mikroklíma-tényezők az emberre, esetleg csak annak egyes testrészeire kedvezőtlenül hatnak, és így a szubjektív hőérzetet is kedvezőtlenül befolyásolják. Ezeket általában helyi diszkomforttényezőknek nevezik és, elsősorban kettővel foglalkoznak (lásd a 6.1. alfejezetet), az aszimmetrikus sugárzással és a huzathatással. E két utóbbi azért is fontos, mert mint látni fogjuk, a mikroklíma-kutatások egy egyre inkább előtérbe kerülő területét képezik, az új irányzat esetében is, különösen hazai vonatkozásban, ha a téma megközelítése eltérő jellegű is.

Még egy fontos új kutatási területet kell megemlítenünk az e csoportba sorolható kutatások során, és ez a termikus műemberrel folytatott, de elsősorban a ruházat szigetelőképességének (mint korábbiakban is láttuk, ez a hat hőérzeti befolyásoló tényezők egyike) meghatározására vonatkozó vizsgálatok. A termikus műemberek az emberi test száraz hőleadásának 1 : 1 léptékű modellezésére alkalmasak (Bánhidi 1987a, Wyon és mtsai 1987, Wyon 1988a, b) és mint ilyenek, egyre inkább terjednek (lásd a 6.2. alfejezetet).

12.1.2. Az „új" irányzat

Mint az előzőekből láthattuk, a zárt terek mikroklíma-méretezési módszerének alapjait elsősorban az iparilag fejlett országokban tisztázták, az eredményeket alkalmazzák is. Ezek alapvető célja az ember szubjektív hőérzetének optimális értéken tartása az így méretezett terekben.

Az utóbbi években azonban két, tulajdonképpen szorosan összefüggő, olyan irányzat került előtérbe, amelyek az iparilag fejlett országokban is egyre inkább érdeklődésre tarthatnak számot. E két irányzat

— a gazdasági, főleg energiagazdasági tényezők előtérbe kerülése,
— a másik az ún. ergonómiai szemlélet térhódítása.

A kettő közül az előbbi az, amellyel egyre intenzívebben foglalkoznak, a másik viszont véleményünk szerint a jövő egy nagyon fontos és eredményekkel kecsegtető irányzatának tekinthető.

Az első irányzatot a humáncentrikus energiatakarékossági törekvéseknek is szokták nevezni, és lényege a következőkben foglalható össze.

Zárt terek megfelelő mikroklímájának kialakítása komplex műszaki feladat, amelyet elsősorban az építészeknek és az épületgépészeknek közösen kell megoldaniuk. Ennek folyamán azonban mindenkor figyelembe kell venniük a gazdasági adottságokat, napjainkban emellett elsősorban az energiagazdálkodási törekvéseket is, amelyek viszont visszahatnak az emberi hő- és közérzetet kialakító mikroklíma-paraméterek megengedhető értékeire. E visszahatás legtöbbször kedvezőtlen, miután a két célkitű-

zés optimuma — az emberi komforté és a gazdasági törekvéseké — egymástól távol esik, helyesebben a két tényezőcsoport egyes paraméterei kifejezetten ellentétes irányba mutatnak, illetve hatnak. Napjainkban tehát a zárt terek mikroklímájának méretezése gyakorlatilag több szempontot figyelembe vevő optimumkeresési feladatot jelent.

Ezen alapelv megvalósításának lehetőségeit vizsgálva, mint várható volt, kiderült, hogy ilyen feltételekkel a hőérzetileg optimális mikroklíma nem biztosítható. A kompromisszumos megoldásra vonatkozóan több kezdeményezés van, ezek közül megemlítjük

— a Fanger által kidolgozott *PMV-PPD* mérőszámokat (Fanger 1980), de azoknak Fangernél nagyobb megengedett százalékos elégedetlenségi lehetőségeikkel (a már hivatkozott szabvány előírások csak 10—20%-os *PPD*, azaz elégedetlenségi faktort engedélyeznek),
— a hőérzetileg még elfogadható határértékek elvét, amely hazánkban éppen a hazai körülményeket, adottságokat figyelembe véve került kidolgozásra (Bánhidi 1982c).

Ez utóbbi alapelvet a következő, 13. fejezetben ismertetjük, de megjegyezzük, hogy a zárt terek mikroklímájának méretezése ezen elv alapján még számos megoldatlan kérdést rejt magában, melyek kutatása folyik, de így is fontos kutatási trendnek tekinthető.

Szorosan ehhez a témakörhöz kapcsolódik a helyi diszkomforthatások — különösen az aszimmetrikus sugárzás — kérdése, amely a fejlett ipari országokhoz képest a közép-kelet-európai országokban az utóbbi időben túlzottnak tűnő módon került előtérbe. Ennek oka azonban abban keresendő, hogy alapvetően minőségi eltérés van az egyes országok épülethatároló szerkezeteinek hőszigetelő képessége tekintetében. Addig, míg pl. a skandináv országokban (beleértve természetesen Finnországot is) a falak „*k*" értéke 0,25—0,3 W/(m^{2}K) között változik, a hazai előírások még jelenleg is csak 0,6-es értéket tartalmaznak, de 15—20 évvel ezelőtt épült épületeink esetében ez az érték 1,2—1,4 W/(m^{2}K). Ez gyakorlatilag azt jelenti, hogy a gyengébb minőségű hőszigeteléssel rendelkező falak belső felületi hőmérséklete lényegesen alacsonyabb. Ezért az e falak közelében tartózkodók sugárzásos hőleadása, illetve hővesztesége ezen felületek felé megnő, amely nagyon kedvezőtlen helyi diszkomfortérzetet okoz egyes testfelületeken (Bánhidi és mtsai 1985b, c).

Ezen kedvezőtlen hatások kiküszöbölésének elvileg legegyszerűbb megoldása a jobb hőszigetelő képességű falak alkalmazása, illetve meglévő falak esetében azok utólagos hőszigetelése. Ennek megvalósítása azonban — különösen meglévő épületek esetében — nagyon költség- és munkaigényes. Ezért egy új kutatási trend kezd kialakulni — amelyben hazánk vezető szerepet játszik —, melynek értelmében a falak kedvezőtlen aszimmetrikus sugárzó hatását olyan fűtési megoldásokkal küszöböljük ki, amelyek megakadályozzák az emberi test fokozottabb sugárzásos hőleadását vagy e hatást megfelelő sugárzásos hőnyeréssel kompenzálják.

A másik megoldás ezen témakörben a falak belső felületi reflektálóképességének növelése, amely ugyancsak csökkenti az emberi test sugárzásos hőveszteségét (Müller 1985). E kérdésekkel a IV. részben foglalkozunk.

Mindkét megoldás esetében az emberi test sugárzásos hőleadásának csökkenésével a belső levegő hőmérsékletét is csökkenteni lehet, ami viszont tekintélyes energiamegtakarítást jelenthet.

Új, most kibontakozóban lévő kutatási trend az ergonómia előtérbe kerülése is. Az ergonómia fontosságára, gazdasági lehetőségeire szükségtelen részleteibe kitérni. Közismert tény, hogy napjainkban az iparilag fejlett országokban a munkatermelékenység növelésének ez az egyik legfontosabb és leghatásosabb eszköze.

A zárt téri mikroklíma-paraméterek ugyanis nemcsak az ember szubjektív érzeteire vannak döntő befolyással, hanem szellemi, fizikai teljesítőképességére is. Lényeges tehát általános gazdasági szempontból, hogy a zárt terek méretezésekor már ezt a tényezőt is figyelembe vegyük, mint azt a hőérzetileg elfogadható határértékek elve is teszi. Az ilyen jellegű, a zárt téri mikroklímát figyelembe vevő ergonómiai vizsgálatok az USA-ban, Svédországban folynak, de van már hazai vonatkozású példa is (Bánhidi és mtsai 1986a).

Itt kell megemlítenünk, hogy van egy olyan jellegű kutatási trend is, amellyel különböző országokban különböző mértékben foglalkoznak, és ez a laboratóriumi vizsgálati metodikák ellenőrzése, továbbfejlesztése. A zárt terek „hagyományos" mikroklíma-méretezésének szabványokban rögzített módszerei (MSZH 1980, 1986) esetében ugyanis kiindulási alapfeltétel az volt, hogy

— egyrészt az ember szubjektív hő- és közérzete kortól, nemtől, etnikai stb. adottságoktól független,
— másrészt a vizsgálati időtartam rövid, nem veszi figyelembe a bioritmust, a mérési stresszhatásokat, a megfelelő adaptációs időt stb.

Mindezekkel a kérdésekkel, mint említettük, számos országban foglalkoznak, így hazánkban is, pl. a laboratóriumi mérési módszerek pontosítása témakörében.

Végül egy napjainkban általánosan kibontakozó nemzetközi törekvést kell megemlíteni, s ez a zárt terek komplex méretezése. Ezen a következők értendők.

Napjainkban az embert befolyásoló egyes tényezőkre vonatkozóan általában többé-kevésbé pontos és az adott paraméter hatásával kapcsolatban optimálisnak tekinthető méretezési előírások ismeretesek. Az egyes szakterületek tervezői méretezéskor ezen paraméterekre, illetve ezek optimumára méreteznek, külön-külön. Az eredmény azonban sokszor egyáltalán nem „optimális" az ember szempontjából. Az eredő összhatás ugyanis gyakran kedvezőtlen az emberre, mivel egyes paraméterek befolyásolják más paraméterek hatását, hol kedvezően, hol kedvezőtlenül. Ezért egyre inkább felmerül azon igény, hogy a különböző paraméterek együttes komplex hatását vizsgálják, illetve ezekre dolgozzanak ki méretezési módszereket, adatokat.

Az ilyen jellegű vizsgálatok most kezdődnek, de ezek nagyon munkaigényesek, hiszen „lépésről lépésre" kell a különböző paraméterkombinációkat vizsgálni, megfelelő számú emberen stb. Meg kell azonban feltétlenül említeni, hogy már voltak olyan jellegű kezdeményezések, kutatások, amelyek különböző — általában két — paraméteres „eredő hatását" vizsgálták, ezek mélysége azonban nem volt elegendő ahhoz, hogy eredményeik általánosan elterjedjenek. Gondoljunk itt elsősorban például

— a hőérzet és zajhatás együttes vizsgálatára (Fanger és mtsai 1975, 1977a),
— a színdinamikai vizsgálatokra (Nemcsics 1979, Rohles és mtsai 1981a),
— a levegőionizációs kérdésekre (Albrechtsen és mtsai 1978)

E kérdésekkel, az eddig elért eredményekkel a 6.6. alfejezetben már foglalkoztunk.

12.2. A kutatások hazai hasznosulása és annak várható formái

A kutatások hasznosulásának véleményünk szerint legtipikusabb és legkorszerűbb formája, ha azok eredményeit előírásokban, szabványokban rögzítik. Ez a forma az iparilag fejlett országokban általánosan elterjedt, mint azt a korábbi hivatkozásokból már láthattuk. Társadalmi hasznuk a társadalmi közérzet megfelelő alakulásában, az épületekkel, építményekkel kapcsolatos kedvező véleményalkotásban stb. nyilvánul meg.

Gazdaságossági hasznosításuk már nem ennyire egyértelmű. E módszerek esetében az ember szubjektív követelményei a mérvadóak, és egyáltalán nem biztos, hogy egy új normaérték bevezetése abszolút, elsődleges gazdasági haszonnal jár (pl. kisebb energiafogyasztás). Inkább áttételes eredmények várhatók a már említett kedvezőbb hőérzetnek a munkatevékenység hatásfokára való kihatásával. Ez viszont végső soron gyakran ellensúlyozhat, sőt kedvezőbb gazdasági mutatókat is eredményezhet, esetleg nagyobb energiafogyasztás esetén is, bár ezek a hatások közvetlenül gyakran nehezen mérhetők le. Egyébként alapelvként rögzíthető, hogy az épületekben előírt mikroklíma-paraméterszintet gyakorlatilag az adott ország, esetleg azon belül egy adott szervezeti egység anyagi lehetőségei határozzák meg.

Feltétlenül célszerűnek, sőt szükségesnek tartjuk a hazai helyzetet éppen a hasznosulás gazdasági-társadalmi szempontjából elemezni, mert véleményünk szerint e tekintetben gyakran erősen torzultak, nem eléggé átgondoltak a hazai vélemények, értékítéletek.

Hazai vonatkozásban három olyan kulcsfontosságú tényező, illetve tendencia van, amely az épületek mikroklímájának méretezési kérdésében számos problémát okoz:

— az épületek szerepének megítélése,
— az elavult mikroklíma-méretezési módszerek és
— az utóbbi években előtérbe került energiagazdálkodási célkitűzések rossz értelmezése.

Az elsőn az értendő; az épületek tervezésekor gyakran előfordul, hogy a külső forma, megjelenés érdekében a belső térkiképzést másodrendű fontosságúnak tekintjük. Az így kialakuló mikroklíma alapfeltételeket csak költségesen lehet a megfelelő szintre emelni, elsősorban különböző épületgépészeti berendezésekkel. Mivel ezekre azonban legtöbbször nincs költségfedezet, marad a kívülről szép, de belülről kedvezőtlen mikroklímájú épület.

A másik hazai probléma, az érvényben lévő nem elég korszerűnek tekinthető méretezési módszerek kérdése. Igaz, a régi, elavult előírás helyett MSZH (1980, 1986)

már megjelent az új előírás (MSZH 1987), de még ez sem a világszerte alkalmazott 6 paraméteres módszeren alapul.

A harmadik alapvető gond — mint az előszóban már említettük — az utóbbi években elharapódzó szemlélet, amely csak az energiamegtakarítást, annak számszerű értékét tekinti eredménynek, esetleges kedvezőtlen humán kihatásait figyelmen kívül hagyja. A számszerű energiamegtakarítás „bűvöletében" nem számol azzal, hogy amit ezzel nyer, azt esetleg a munka termelékenységének csökkenésében, a nem megfelelő pihenési, kikapcsolódási lehetőségek miatti, ugyancsak emberi teljesítménycsökkenések következtében kamatostul elveszítheti.

Mindhárom szemléletnek, álláspontnak, módszernek meg kell változnia ahhoz, hogy az előzőekben részletezett kutatási trendek eredményeit hazánkban be lehessen vezetni és hasznosulásuk társadalmi-gazdasági hatása az általános gazdasági elképzeléseknek megfelelően valósuljon meg. Feltétlenül fokozottabban támogatni kell az ilyen jellegű mikroklíma-kutatásokat, mert

— a külföldi eredményeket, ezeket anyagi-gazdasági konzekvenciái miatt (lásd: csak az emberi komforttényezők vehetők figyelembe), nem lehet és nem szabad átvenni,
— az energiamegtakarítási célkitűzéseket optimálisan csak ezen az úton tudjuk megvalósítani, mert ezen, az emberrel szorosan összefüggő területen vannak még olyan feltáratlan tartalékok és lehetőségek, amelyek a cél elérését nagymértékben megkönnyítik, illetve lehetővé teszik.

Végül nem szabad figyelmen kívül hagyni a következőket:

a) A korábbiakban bemutatott új kutatási trendek kialakításában, gyakorlati megvalósításában hazánk a nemzetközi élvonalhoz tartozik, és az alapvető szellemi, valamint eszközlehetőségek biztosítottak. Véleményünk szerint, ezt a lehetőséget kihasználva, bármely más megoldásnál kisebb anyagi ráfordítással lehetne a gazdaság számos területén jelentkező energiamegtakarítási törekvéseket nagymértékben elősegíteni.
b) Európához történő felzárkózásunk egy fontos láncszeme, hogy előírásaink azonosak vagy közel azonosak legyenek a többi ország által alkalmazott, elfogadott, az emberi test hőegyensúlyán alapuló, a komplex hatásokat figyelembe vevő stb. módszerekkel.

13. A hőérzetileg megengedhető határértékek elve

Az ember hőegyensúlyán alapuló méretezési módszereket a korábbiakban, az 5.3. és 5.4. alfejezetekben már részletesen bemutattuk. Ezek alapelve a következőkben foglalható össze:

a) Zárt terek belső mikroklímájának méretezésekor hat paraméter hatását kell figyelembe venni. A várhatóan kialakuló szubjektív hőérzet, illetve a hőkörnyezettel elégedetlenek százalékos arányának meghatározására a *PMV—PPD* értékeket kell figyelembe venni.

b) Az így adódó méretezési értékek általánosan alkalmazhatók, mert a hőérzet kortól, nemtől, etnikai adottságoktól stb. független.

A kidolgozott számítási módszer kétségtelenül teljesen korrekt, és alkalmazása a méretezést, tervezést nagymértékben megkönnyíti (lásd pl. komfortdiagramok). A b) pontban rögzített általánosítások — amelyek oka elsősorban az, hogy egy könnyen kezelhető és alkalmazható módszert lehessen kidolgozni — azonban nagy vitát kavartak, elsősorban az orvosok és pszichológusok részéről. Ezt, valamint további komfortkutatási eredményeket figyelembe véve megkezdődött e módszer finomítása. Ennek egyik markáns jele, hogy az optimálisnak ítélt 5%-os *PPD* faktor (lásd 5.32. ábra) helyett ma már világszerte 20%-os elégedetlenségi faktorral számolnak.

A továbbfejlesztési törekvések egyik jellegzetes megoldása a hőérzetileg megengedhető határértékek elve, melynek kidolgozásakor elsősorban az energiagazdálkodási és emberközpontúsági törekvéseket vették figyelembe.

A méretezési elv a következőkben foglalható össze. Zárt terek hőérzeti méretezésekor ugyancsak az emberi test hőegyensúlyát kell alapulvenni, azonban:

— a kellemesen hűvös, kellemes és kellemesen meleg hőérzet a benntartózkodók 80%-ánál kell megvalósuljon, tehát az elégedetlenségi faktor elérheti a 20%-ot;

— különleges funkciójú helyiségek esetében, illetve a gazdasági adottságokat figyelembe véve a 80%-os elégedettségi faktor kiterjeszthető a meleg hőérzeti tartományra is;

— további feltétel, hogy a szellemi és fizikai munkavégző képesség — különösen az előző pont esetében — az adott mikroklíma-paraméterek mellett számottevően ne csökkenjen;

— az adott tér funkciójának függvényében a kor, nem, szokás és egyéb tényezők esetleges módosító hatását figyelembe kell venni.

A négy feltétel egyébként szorosan összefügg, de mint látható, az első három az előzőekben már részletezett gazdasági okokkal függ össze, míg a negyedik a komfortdiagramok, illetve egyenletek egyik alapfeltételezésétől tér el és ezért külön magyarázatot kíván.

A méretezési elvvel kapcsolatban két témakör igényel bővebb elemzést:

— az elv egyes pontjainak indoklása,
— az eddig kidolgozott adatokkal kapcsolatos kritikai megjegyzések.

13.1. A méretezési mód egyes tételeinek indokolása

13.1.1. Az elégedetlenségi faktorok százalékos értékének, valamint a szellemi és fizikai teljesítőképesség kérdése

Az alapelvet elemezve azonnal megállapítható, hogy az elégedetlenségi faktor és a szellemi, fizikai teljesítőképesség kérdése nem választható külön, és együttes magyarázatuk szükséges.

Amennyiben a hőérzetileg még elfogadható határértékek elvének első kritériumát, a 20%-os elégedetlenségi faktort, csak önmagában nézzük, gyakorlatilag azt mondhatnánk, hogy tulajdonképpen a már nemzetközileg alkalmazott határértéket fogadunk el, amely alkalmazkodik hazai lehetőségeinkhez. Az ugyanis nyilvánvaló, hogy az elégedetlenségi faktor százalékos értéke az egyes országok gazdasági adottságainak, lehetőségeinek függvénye. Egy 20%-os elégedetlenségi faktor kielégítése lényegesen könnyebb mind építészeti, mind épületgépészeti szempontból. Ugyanis abban az esetben, ha elfogadjuk az eredeti *PMV—PPD* diagram értékeit (lásd 5.32. ábra), a 20%-os *PPD* arány a +0,8 és a −0,8 *PMV* érték közötti intervallumot jelenti. Ez viszont kb. ±2—3 °C hőmérséklet-eltérést jelent a komfortdiagramok értékeitől, tehát azok fix értékei helyett egy kb. 5—6 °C széles sávot. Ez az igény könnyebben kielégíthető, egyszerűbb, alacsonyabb technikai színvonalat enged meg, tehát anyagi kihatásai is kedvezőbbek, azaz olcsóbbak.

Amikor — már a 70-es évek közepén — a hazai megengedhető 20%-os elégedetlenségi faktor szükségessége felmerült, biztos volt, hogy a magyarországi kontinentális éghajlatot figyelembe véve a komfortdiagramokban megadott értékek csak magas műszaki színvonalú, nagyrészt automatizált klímaberendezésekkel lennének biztosíthatók. Ezek költségkihatásai olyanok, hogy általános megvalósításuk a hazai viszonyok között elképzelhetetlen.

További kételyeket ébresztett a következő feltételezés, illetve tapasztalat. A komfortdiagramok fix értékeinek betartása egy jól automatizált rendszer (klímaberendezés) segítségével egyáltalán nem biztos, hogy hőérzetileg a legkedvezőbb. Ennek egyik magyarázata a következő. Az ember a változó ingerek rabja, és éppen a 70-es évek közepén lehetett olyan óvatos megjegyzéseket hallani, hogy a fix értékek helyett esetleg egy meghatározott intervallumon belül változó (esetleg szabályos periodicitású) mikroklíma-paraméterek hőérzetileg kedvezőbbek. E tétel végleges igazolására azóta még nem került sor, de számos részeredmény, úgy tűnik, hogy ezt a tényt alátámasztja (Bánhidi 1968a, b, Bánhidi és Kintses 1973, Bánhidi és mtsai 1972). Erre

mutatnak például a korábbi hazai vizsgálati eredmények is: az egész mennyezetet beborító sugárzó fűtés monoton sugárzásával szemben a sávfűtés változó besugárzási értékeinek kedvezőbb a hőérzeti hatása (Bánhidi 1969, 1974, Bánhidi és mtsai 1972). A 20%-os elégedetlenségi faktor nagyobb értékintervallumokra ad lehetőséget, és az előzőekben vázoltak megvalósulását segíti elő.

Ami a 20%-os érték kiterjesztését a „meleg" hőérzeti tartományok kérdését illeti, a következőket kell rögzíteni.

Hazai éghajlati adottságaink miatt nyáron hosszabb-rövidebb időszakra a külső léghőmérséklet meghaladja a 30—32 °C-t. Ennek megfelelően, a különböző funkciójú épületekben a belső léghőmérséklet — a szerkezettől függően különböző fáziskéséssel — gyakran eléri, sőt meghaladhatja a 30 °C-t, amely hőérzetileg mindenképpen nagyon kedvezőtlen tartományba esik. Különösen nehéz a helyzet a könnyűszerkezetes középületek esetében, ahol a fáziskésés minimális, így a legkedvezőtlenebb állapotok a munkaidő alatt következnek be.

A megoldás lehetősége ismert, klímaberendezés vagy gépi hűtés alkalmazása. Ezt azonban gazdasági lehetőségeink legtöbbször nem teszik lehetővé. Marad tehát az a megoldás, hogy építészeti eszközökkel és esetleg egyéb meggondolásokkal tegyük elfogadhatóvá a belső mikroklímát a nagyon meleg, kánikulai időszakban. Ahhoz azonban, hogy az épületben dolgozók szempontjából még elfogadhatóvá tegyük a körülményeket, ismernünk kell ezen mikroklíma-határértékeket. Ilyen határértékek azonban nem találhatók a szakirodalomban.

Az ezzel kapcsolatos korábbi hazai kutatások eredményeképpen egyöntetűen eldönthető, hogy a klimatikus, építészeti és egyéb, valamint a hazai gazdasági adottságokat figyelembe véve, a kellemesen hűvös, kellemes, kellemesen meleg hőérzetre vonatkozó 80%-os arány elérhető-e. Az eredmények egy része azt bizonyította, hogy nem, azonban, ha a meleg hőérzetet is bevonjuk a 80%-os megengedett lehetőségi tartományba, egy még elfogadható hőérzetre jó határértéket kapunk.

Hasonlóan felmerül a meleg szubjektív hőérzet vonatkozásában a még elfogadható határértékek kérdése egyes olyan belső hőfejlődésű, illetve hőterhelésű munkahelyen, ahol az előzőhöz hasonló — tehát 30—32 °C vagy kissé magasabb — belső levegőhőmérséklet-értékek adódnak. Nem számíthatók ide a kimondottan melegüzemek, de a szubjektív hőérzet esetleges további emelése a nagyon meleg fokozatra, és a fizikai-szellemi teljesítőképesség változásának egyidejű ellenőrzése ilyen vonatkozásban is alkalmazhatóvá teheti az új alapelvet, de ez még további kutatásokat igényel.

Az elégedetlenségi faktor megemelésekor azonban — különös tekintettel a nyári állapotokra — felvetődik a kérdés, hogy önmagában az emberi test hőegyensúlyán alapuló szubjektív hőérzet figyelembevétele elegendő-e a méretezési mikroklíma-paraméterek meghatározásához. Különösen ott vetődik ez fel élesen, ahol a helyiség funkciójának megfelelően különböző szellemi vagy fizikai munkavégzés folyik.

A felelet egyértelműen csak „nem" lehet, mert ha ragaszkodunk a mindössze szubjektív hőérzeten alapuló normaértékekhez, egyes funkciójú helyiségeket esetleg egyáltalán nem használhatnánk az adott feltételekkel, hanem meglehetősen költségigényes beruházásokkal kellene a megfelelő mikroklíma-paramétereket betartani. Emellett nem szabad elfelejtenünk, hogy a kedvezőtlen mikroklíma-paraméterek gyakorisága az időjárás függvényében változó, és viszonylag rövidebb ideig tart.

A hőérzetileg még megengedhető határértékeket tehát, az elégedetlenségi faktor új határa mellett, még egyébhez is kötni kell, és erre a legalkalmasabb a szellemi vagy fizikai munkavégző képesség mértékének, hatásfokának ellenőrzése. Ez az ellenőrzés azért is szükséges, mert elképzelhető például, hogy nyári állapotban a megengedett 20%-os elégedetlenségi faktor mellett — amelybe adott esetben beleérthetjük a meleg szubjektív hőérzetet is — a szellemi vagy fizikai teljesítőképesség nem megengedhető mértékben csökken.

Az első kérdés természetesen az, hogy hol van a határ a szellemi vagy fizikai teljesítőképesség csökkenésében. Nos erre a legegyszerűbb lenne — hasonlóan az elégedetlenségi faktorhoz — egy számszerű százalékos értéket rendelni. Véleményünk szerint azonban ez nem ilyen egyszerű, és a döntés minden esetben egy gazdasági mérlegelést igényel. Egyik oldalról ismerjük az adott termékre vonatkozó emberi teljesítőképességet az optimális körülmények mellett, s ez az érték számszerűsíthető, illetve „forintosítható". Másrészt ismerjük, hogy az optimális mikroklíma-állapotok biztosítása milyen beruházási és üzemeltetési költségráfordítást igényel. A hőérzetileg még elfogadható határérték ilyen szempontból egy optimumot jelent. Alkalmazásával a belső mikroklíma-paraméterek növelésének (vagy csökkenésének) beruházási költségigénye kisebb, és másrészt az emberi teljesítmény ugyancsak kisebb mértékben csökken. Arra vonatkozóan, hogy milyen mérvű teljesítménycsökkenést engedünk meg, ez mindenkor a terméket előállító üzem mérlegelése, gazdasági számításainak eredménye alapján adódik.

Bár külön nem említettük, természetes, hogy az optimális mikroklíma-paraméterektől való eltérés esetén, az új határértékek megállapításakor, az egészségügyi, munkavédelmi követelményértékeket feltétlenül be kell tartani.

Az előzőek — véleményünk szerint — megfelelő mélységű magyarázatot szolgáltattak a hőérzetileg elfogadható határértékek elvével kapcsolatos harmadik alapfeltételre: a szellemi és fizikai teljesítmény változásának figyelembevételére.

Ezt az alapfeltételt természetesen nem kell és nem szabad „statikusan", illetve „dogmatikusan" kezelni. Hiszen például lakások esetében elegendő az első feltételnek megfelelően a 80%-os kellemesen hűvös, kellemes, kellemesen meleg hőérzet biztosítása. Ez esetben a szellemi, fizikai teljesítőképesség változó ellenőrzésének nincsen értelme. Szükséges azonban a határértékek figyelembevétele például nyári állapotban egy könnyűszerkezetes irodaépületben, vagy például egy melegüzemben egy hűtési-szellőzési megoldás bevezethetőségének és gazdaságosságának megítélésében.

Az alapfeltételek rugalmas, dinamikus kezelése jelenti az új számítási elv nagy előnyét, de egyben az új normaértékek meghatározásának hosszabb időigényét, és a még megoldandó feladatok nagy számát.

13.1.2. A kor, a nem és az egyéb tényezők hatásának figyelembevétele

A komfortegyenletek legtöbbet vitatott alaptétele a hőérzetnek kortól, nemtől, etnikai stb. adottságoktól való függetlenségének feltételezése. Hazai vonatkozásban is számos, ezt kétségbevonó ellenvéleménnyel találkozhatunk.

Tulajdonképpen két kérdéscsoportra oszthatók az eddigi eredmények:

— a korfüggés, és bizonyos fokig a nemek hatásának bizonyítására,
— a szokás és a gazdasági tényezők szubjektív hőérzetformáló hatására.

13.1.2.1. A kor és a nem hatása a szubjektív hőérzetre

A komfortegyenletek kidolgozásakor Fanger (1982), Boothby és Sandiford (1929), Fleisch (1951), Roberston és Reed (1952) munkásságát figyelembe véve, valamint a saját és munkatársai (Fanger 1982, Fanger és mtsai 1975a, Lauridsen és mtsai 1987) eredményeire hivatkozva — a korra vonatkozóan megállapítja, hogy a „collage ages"-ek és az idősek a komfortviszonyok szubjektív megítélésében, és bizonyos fokig a fiziológiai reakciók szempontjából, azonosan kezelhetők. Tehát a diagramok és egyenletek az egyének korától függetlenül általánosan alkalmazhatók, kivéve a gyerekeket, akikre vonatkozóan további vizsgálatokat tart szükségesnek.

Megemlíti ugyanakkor, hogy más szerzők — például Rohles (1969), és Rudejko (1965) — találtak különbségeket, de azok nem eléggé meggyőzőek. Nos, éppen Rudejko doktori értekezésében (Rudejko 1968) számottevő eltérést állapít meg, mégpedig szerinte

61—70 év között	19—21 °C,
71—80 év között	21—23 °C,
81—90 év között	22—24 °C

a hőérzetileg optimális léghőmérséklet. Ezek az eredmények több tízezer mérés adatait összegzik. Érdekesek Robertshaw (1981) eredményei is.

Meg kell jegyezni, hogy a korábbi ASHRAE előírásokban (ASHRAE 1954) idősek részére 1 °C-kal magasabb az előírt méretezési léghőmérséklet, de a komfortdiagramok előtérbe kerülésével az új előírásokban már nincs említés a kor szerinti megkülönböztetés szükségességéről.

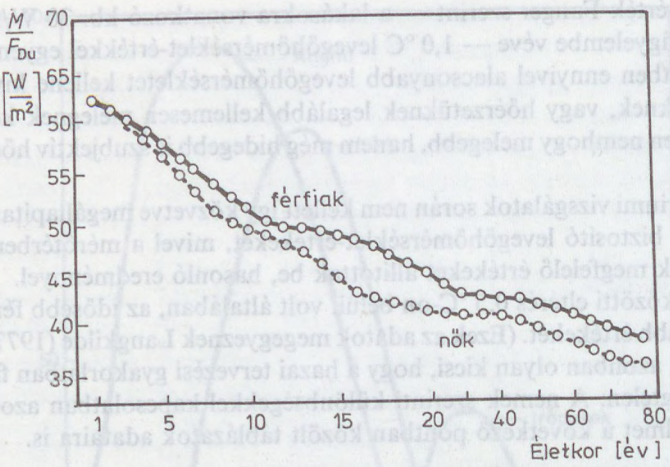
A legújabb eredmények, amelyek a hőérzet kortól való függetlenségét támasztják alá, Spotila és Cena nevéhez fűződnek (Cena és Clark 1981, Cena és Spotila 1984). Eredményeik egy, több száz idős emberre vonatkozó USA-beli felmérésre támaszkodik.

Általában az idősebb korban való azonos hőérzetet azzal magyarázzák, hogy az alapanyagcsere mértéke az idősebb korban csökken *(13.1. ábra)*.

A hőérzet kortól való függését azonban néhány magyarországi vizsgálati eredmény szintén alátámasztja.

Lakásokkal kapcsolatos helyszíni és laboratóriumi vizsgálatok során több száz emberen végeztek méréseket. Ezek eredményeiből egyöntetűen megállapítható, hogy a 60—70 év felettiek 1—1,5 °C-kal magasabb léghőmérséklet-értékeket tartanak optimálisnak, mint a 20—30 évesek. 132 távfűtéses lakásban lakó alanyra vonatkozó ilyen jellegű eredményeket, mint jellegzetes adatokat mutatjuk be a *13.1. táblázat*ban. A résztvevők kor szerinti megoszlásának adatait a *13.2. táblázat*ban dolgozták fel.

A táblázatokból a következők állapíthatók meg. A belső léghőmérséklet-érték a vizsgálatok során mind férfiak, mind nők esetében közel azonos volt, 23—23,5 °C



13.1. ábra. Alapanyagcsere-érték az életkor függvényében Spitzer és Hettinger szerint (Bánhidi 1976)

13.1. táblázat. Ruházati és hőérzeti értékek távfűtéses lakásokban (Bánhidi 1982b, 1982c)

Kor	<30	30—40	40—60	60—70	>70
Férfiak					
Ruházat átlag [clo]	0,66	0,65	0,67	0,63	0,73
Ruházat szórás [clo]	0,08	0,27	0,24	0,19	0,28
Hőérzet átlag	0,25	0,50	0,25	0,33	0,00
Hőérzet szórás	0,46	0,72	1,06	0,58	0,00
Levegő-hőmérséklet [°C]	23,70	23,30	23,10	24,80	24,40
Nők					
Ruházat átlag [clo]	0,64	0,59	0,68	0,78	0,78
Ruházat szórás [clo]	0,17	0,20	0,15	0,33	0,36
Hőérzet átlag	0,09	0,39	0,14	0,00	0,00
Hőérzet szórás	0,79	0,75	1,17	0,71	0,00
Levegő-hőmérséklet [°C]	23,11	23,76	23,41	23,77	23,07

13.2. táblázat. Mért alanyok kor szerinti megoszlása távfűtéses lakásokban (Bánhidi 1982b, 1982c)

Kor	<30	30—40	40—60	60—70	>70	Összes
Férfi	8	24	12	3	3	50
Nő	23	33	14	9	3	82

között változott. A szubjektív hőérzeti átlag — a +3-tól −3-ig terjedő hőérzeti skála alapján — a kellemes és kellemesen meleg érték közé esett, kivéve a 60 éven felülieket, ahol ez az érték 0, tehát kellemes volt, holott ruházatuk szigetelőképességének átlaga 0,05—0,1 clo értékkel volt magasabb a fiatalabbakénál.

A 0,1 clo érték Fanger szerint — a lakásokra vonatkozó kb. 70 W/m^2 metabolikus értéket figyelembe véve — 1,0 °C levegőhőmérséklet-értékkel egyenértékű, tehát az adott esetben ennyivel alacsonyabb levegőhőmérsékletet kellene kívánniuk a 60 éven felettieknek, vagy hőérzetüknek legalább kellemesen melegnek kellene lennie. Ezzel szemben nemhogy melegebb, hanem még hidegebb is szubjektív hőérzetük, mint a fiataloké.

Laboratóriumi vizsgálatok során nem kellett így közvetve megállapítani az optimális hőérzetet biztosító levegőhőmérséklet-értékeket, mivel a mérőtérben az alanyok kívánságának megfelelő értékeket állítottak be, hasonló eredménnyel.

A nemek közötti eltérés 0,5 °C-on belüli volt általában, az idősebb férfiak igényelték a magasabb értékeket. (Ezek az adatok megegyeznek Langkilde (1977) értékeivel.) A különbség azonban olyan kicsi, hogy a hazai tervezési gyakorlatban figyelembevételük szükségtelen. A nemek szerinti különbségekkel kapcsolatban azonban fel kell hívni a figyelmet a következő pontban közölt táblázatok adataira is.

13.1.2.2. Az etnikai adatok és a szokás hatása a szubjektív hőérzetre

A komfortegyenleteknek, -diagramoknak az etnikai, földrajzi adottságoktól — és ennek megfelelően bizonyos fokig az emberi szokásoktól — függetlenül való alkalmazhatóságának bizonyítására igen hatásosnak tűnik a Fanger által sokszor hivatkozott következő kísérlet. Ezek során Afrikából érkező embereket — igaz viszonylag keveset, 4—5 főt —, közvetlenül a repülőgépről való leszállás után, a Mikroklíma Laboratóriumban ellenőriztek az optimális hőérzet szempontjából, és azonos légés eredő hőmérséklet értékeket kaptak, mint a dán lakosok esetében (Fanger 1982).

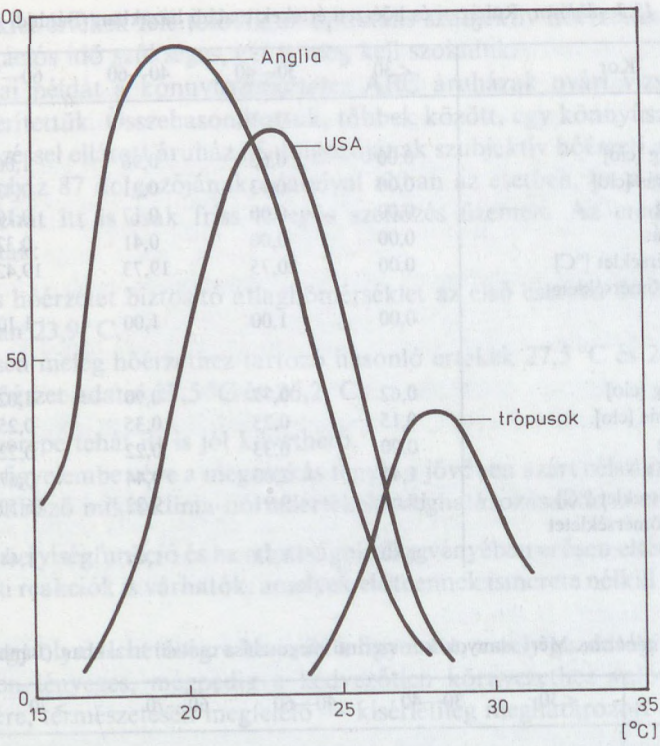
Ugyanakkor az etnikai, földrajzi adottságok hatására vonatkozóan más szerzők, mint pl. Wyon és mtsai (1982) is olyan eredményeket mutattak be, amelyek eltérőek Fanger eredményeitől (lásd az optimális levegő-hőmérsékletre vonatkozó *13.2. ábrát*).

Az előzőekben hivatkozott Fanger-féle példa nemcsak az akklimatizációra, de a megszokásra is vonatkoztatható. Ez utóbbi esetre hazai példáink is vannak.

Első példánk a lakások témakörébe tartozik. Laboratóriumi kísérletek során 22 alanyt ellenőriztünk, ebből a csoportból az egyik 12 fő, 60 év feletti, másik 10 fős, 20 —24 év közötti volt, fele nő, fele férfi arányban. A csoport kiválasztásának érdekessége:

— az idősek szakaszos fűtésű családi házban laktak, ahol maguk fűtöttek — általában egy helyiséget —,
— a fiatalok folyamatos fűtésű (távfűtéses) diákszállóban laktak, ahol minden helyiség — még a folyosók is — fűtöttek.

Az egész napos és 6 különböző esetre (napra) vonatkozó vizsgálatsorozat első lépéseként az alanyok optimális, kellemes hőérzetéhez tartozó levegő-hőmérséklet-értékeket határoztuk meg. A vizsgálatok eredményeképpen adódó kellemes, szubjek-



13.2. ábra. Az optimális hőmérséklet %-os értékének alakulása a helyszín függvényében (Wyon és mtsai 1982)

tív hőérzetet biztosító levegő-hőmérsékletre a következő adatok adódtak:

	Öregek	Egyetemisták
Nők	23,0	24,0
Férfiak	22,7	24,7
Nők + férfiak	22,85	24,35

A vizsgálatok során a közepes sugárzási hőmérsékletérték 22,8 °C, a ruházat clo értékének átlaga 0,6—0,7 közötti volt, mindegyik csoport esetében, s az egyéb paraméterek (metabolikus hő, légsebesség, relatív nedvességtartalom stb.) ugyancsak azonosak voltak. Az eredményekből látható, hogy az öregek 1—2 °C-kal alacsonyabb levegő-hőmérsékletet tartottak hőérzetileg optimálisnak, mint a kollégisták.

Az eltérés magyarázatára csak a megszokást tudtuk felhozni, mindenesetre az adatok ellenőrzésére, többek között, egy helyszíni vizsgálatsorozatot is végeztünk, amely két fő részre oszlott:

— családi házakban, és
— távfűtéses lakásokban

élőket vizsgáltunk külön kor szerinti megkötések nélkül.

13.3. táblázat. Ruházati és hőérzeti értékek családi házakban (Bánhidi 1982b)

Kor	<30	30—40	40—60	60—70	>70
Férfiak					
Ruházat átlag [clo]	0,00	0,68	0,96	1,06	1,34
Ruházat szórás [clo]	0,00	0,13	0,31	0,43	0,14
Hőérzet átlag	0,00	0,00	0,17	0,10	0,00
Hőérzet szórás	0,00	0,00	0,41	0,32	0,00
Levegő-hőmérséklet [°C]	0,00	20,75	19,73	19,42	14,43
Miért ezt a hőmérsékletet tartják	0,00	1,00	1,00	1,10	1,00
Nők					
Ruházat átlag [clo]	0,62	0,77	0,90	1,02	1,22
Ruházat szórás [clo]	0,15	0,23	0,35	0,25	0,27
Hőérzet átlag	0,00	−0,33	0,22	0,22	−0,33
Hőérzet szórás	1,41	1,00	0,44	0,67	1,63
Levegő-hőmérséklet [°C]	19,60	19,91	19,22	16,50	13,77
Miért ezt a hőmérsékletet tartják	1,80	1,33	1,44	1,44	1,33

13.4. táblázat. Mért alanyok kor szerinti megoszlása családi házakban (Bánhidi 1982b)

Kor	<30	30—40	40—60	60—70	>70	Összes
Férfi	0	2	6	10	3	19
Nő	5	9	9	9	6	38

Az első csoportban 57 fő mérésére került sor, a kor szerinti megoszlás a *13.3. táblázat*ban, míg az összesített adatok a *13.4. táblázat*ban találhatók.

A 13.4. táblázatból — amelyben az egyedülélő idősek aránya magas volt — a következők állapíthatók meg:

— a 60 év felettiek a lakásokban általában nagyon alacsony levegő-hőmérséklet-értéket tartottak, a többi korosztályhoz viszonyítva 4—5 °C-kal, a Fanger-féle komfortértékekhez képest pedig 12—15 °C-kal alacsonyabbat,
— ennek ellenére a szubjektív hőérzetük a kellemesen hűvős vagy kellemes (?) volt,
— az adott válaszokból kitűnik, hogy vagy ezt a levegőhőmérsékletet szeretik, vagy magasabb hőmérsékletet szeretnének, de az sokba kerül,
— ebben az esetben is van eltérés a ruházat clo értéke között, de az idősebbek „javára", s a melegebb ruházat sem kompenzálja az elméletileg (komfortdiagramok) várható értékektől való lényeges eltérést a levegő-hőmérsékletben,
— áttételesen ebben az esetben is megállapítható a hőérzet kortól való függése.

Összegezhető tehát, hogy az alacsonyabb hőmérsékletet is megszokják az emberek bizonyos határokig, különösen, ha gazdasági okok kényszerítik őket. Hosszabb — több hónapos — akklimatizáció esetén valószínű, sőt biztos, hogy a magasabb

levegő-hőmérséklet-értékek felé tolódik az optimális szubjektív hőérzetük, de ehhez megfelelő adaptációs idő szükséges, ezt is meg kell szokniuk.

A másik hazai példát a könnyűszerkezetes ABC áruházak nyári vizsgálatának témaköréből merítettük. Összehasonlítottuk, többek között, egy könnyűszerkezetes, csak helyi szellőzéssel ellátott áruház 55 dolgozójának szubjektív hőérzeti adatait egy gépi hűtéses áruház 87 dolgozójának adataival abban az esetben, ha a gépi hűtést kikapcsoltuk, tehát itt is csak friss levegős szellőzés üzemelt. Az eredmények a következők voltak:

— a kellemes hőérzetet biztosító átlaghőmérséklet az első esetben 26,2 °C, míg a másodikban 23,9 °C,
— a kellemesen meleg hőérzethez tartozó hasonló értékek 27,5 °C és 24,8 °C,
— a meleg hőérzet adatai 27,5 °C és 26,2 °C.

A megszokás szerepe tehát itt is jól követhető.

Az előzőeket figyelembe véve a megszokás tényét a jövőben azért célszerű figyelembe venni a különböző mikroklíma-normaértékek meghatározásakor, mert

— egyrészt a helyiségfunkció és az adottságok függvényében erősen eltérő szubjektív hőérzeti reakciók is várhatók, amelyek előtt ennek ismerete nélkül „értetlenül állunk",
— másrészt egy olyan lehetőségre hívja fel a figyelmet, amely gazdasági szempontból nagyon lényeges, mégpedig a kedvezőtlen környezethez való adaptáció lehetőségére, természetesen megfelelő — kísérletileg meghatározott — határok között.

13.2. A komfortvizsgálatok metodikájáról

A mikroklíma-kutatásokat folytató laboratóriumok vizsgálati metodikája röviden a következőkkel jellemezhető:

a) Egy időben csak egyetlen paraméter változásának, illetve hatásának vizsgálata.
b) A vizsgálatokat általában 18—24 éves, ún. „collage-age", tehát egyetemista alanyokkal végzik, alapelvként elfogadva a hőérzet kortól független voltát, bár néhány esetben találkozunk 60 év feletti korcsoporttal — mint kontrollal is — de csak az alapelv igazolására.
c) A vizsgált alanyok száma általában alacsony, 12—32 fő,
d) A mérések „sterilen" laboratóriumi környezetben — tehát a vizsgálatok stress hatását figyelmen kívül hagyva — folynak, a valóságos környezet szimulálásától általában eltekintve. Emellett a mérések során a vizsgált helyiségben folyó tevékenységet is ritkán szimulálják a valóságnak megfelelően, hanem valamilyen, azzal egyenértékű feladattal helyettesítik (pl. a szellemi terhelést olvasással).

Végül idetartozik az a tény is, hogy a laboratóriumi vizsgálati eredményeket, azok bevezethetőségét, közvetlen felhasználhatóságát ritkán ellenőrzik helyszíni mérésekkel.

e) A laboratóriumi „hatást" fokozza, hogy az alanyokon 10—14 ponton rögzített, fix bőrhőmérséklet-érzékelőket helyeznek el, amellett ugyancsak állandó érzékelőkkel mérik az alanyok maghőmérsékletét. E mérési metodika a valóságnak megfelelő mozgási lehetőséget erősen korlátozza, sőt majdnem lehetetlenné teszi.

Ez részben magyarázata annak, hogy a mérési időszak alatt kevés adatot, legtöbbször csak bőrhőmérséklet-értékeket, valamint az alanyok szubjektív hőérzetét rögzítik, utóbbit kikérdezéses alapon vagy kérdőívek kitöltésével.

f) Az adaptációs idő bizonyos mértékű elhanyagolása.
g) Viszonylag rövid, 2—4 órás vizsgálati expozíciós idő.
h) Az adatfeldolgozás legtöbbször csak szórás értékekre terjed ki.

Megjegyezzük, hogy az előzőekben felsoroltaktól, bár általános jellegűek, számos laboratórium, kutatóhely eltér, tehát a megállapítások nem alkalmazhatók minden esetre, eredményre.

Az előzőekben felsorolt egyes pontokkal kapcsolatban egy kritikai elemzést adunk a jelenleg alkalmazott módszerekre, valamint a véleményünk szerint szükséges módosításokra vonatkozóan. A módosítások azért is szükségesek, mert e könyv keretében nemcsak a hőérzet hatását vizsgáljuk, hanem a közérzeti, komfortvizsgálatokról és azok metodikájáról is szó van.

13.2.1. Az egy időben vizsgált paraméterek száma

Könnyen belátható, hogy ha zárt térben tartózkodókra ható, különböző paraméterek hatását kívánjuk ellenőrizni, akkor egyszerre csak egy paraméter változását, illetve a változtatás hatását szabad vizsgálni, míg a többieket azonos szinten kell tartani. Ellenkező esetben ugyanis, mégha csak két paramétert is, de egyszerre változtatunk, nem tudjuk kiszűrni, hogy az emberekre gyakorolt hatásuk milyen arányban oszlik meg. Ez is magyarázza viszont egy komplex hőérzeti vizsgálatsorozat esetén a mérési időszaknak a műszakiakhoz viszonyított lényegesen hosszabb időigényét.

Mindez azonban nem zárja ki, hogy több paraméter együttes hatásának vizsgálata nem lehetséges, azonban az egyes paraméterek változtatásakor az előzőekben rögzített alapelveket kell szem előtt tartani.

13.2.2. A vizsgálati alanyok megválasztása

A vizsgálati alanyok megválasztásakor két alapvető szempont jöhet számításba:

— elfogadjuk-e vagy sem a hő- és közérzet kortól, nemtől, etnikai adottságoktól való függetlenségét,
— amennyiben valamilyen speciális tevékenységre vonatkozó vizsgálatokat végzünk, célszerű, ha az alanyokat olyanok közül választjuk, akik ilyen körülmények között élnek, dolgoznak vagy ezeket megszokták.

E két szempont határozza meg a kiválasztandó alanyok összetételét kor, nem és foglalkozás szerint.

13.2.3. A vizsgált alanyok száma

A vizsgálati alanyok számának kérdésében külföldi vonatkozásban érdekes kettősség tapasztalható.

A komfortegyenletek kidolgozásakor (Fanger 1982) gyakran több ezres vizsgálati alanyszámmal végzett kísérletek eredményeit dolgozták fel, és ezen eredmények alapján kerültek kidolgozásra az alapelvek, illetve a konkrét összefüggések, diagramok. Ugyanakkor egyes kisebb jelentőségűnek ítélt — holott az építészeti, épületgépészeti szempontból döntő — kérdés vizsgálatakor azonban, mint például

— az aszimmetrikus sugárzás hatása az emberre (Olesen és mtsai 1972),
— megengedhető padlóhőmérsékletek kérdése (Olesen 1977),
— de hivatkozni lehet számtalan egyéb jellegű hőérzeti vizsgálatra vonatkozó publikációra (Billington 1976, Olesen és Fanger 1971, Rohles és Millikin 1981),

lényegesen kisebb alanyszámú, általában 12—32 emberen végrehajtott méréseket végeznek. Emellett általában egy-egy alanyt egyszer vizsgálnak, igaz a 2—4 órás időtartam alatt sűrűn, kb. 5 percenként mérve adataikat.

Ilyen szempontból véleményünk szerint a folyó vizsgálatok két fő csoportra oszthatók:

— egyes hőérzetet befolyásoló mikroklíma-paraméterek hatásának meghatározása, az alanyok szubjektív hőérzetének, valamint egyéb fiziológiai és pszichológiai paramétereinek figyelembevételével,
— a különböző mikroklíma-paraméterek hőérzetileg megengedhető határértékének meghatározása, és ezeknek a szellemi és fizikai teljesítőképességre vonatkozó hatásainak ellenőrzése.

Az első esetben — amelyek az ún. Fanger-féle elven folytatott vizsgálatok — minimum 12, de általában 16—24 mérési alannyal dolgozzunk, de egy-egy alanyt több alkalommal vizsgáljunk.

A második esetben is az alanyok több alkalommal vegyenek részt a vizsgálatokon, minden paraméterkombinációt legalább 16 kísérleti alannyal ellenőrizzük, így ez utóbbi esetben az alanyok száma eléri a százas nagyságrendet.

13.2.4. A vizsgálati körülmények

A laboratóriumi hőérzeti vizsgálatok során a befolyásoló 6 paraméter pontosságát és azonosságát szigorúan betartják (pl. uniformizált egyenruha az alanyok esetében), de a szubjektív tényezőkre, a valóságos környezet hatásának befolyására gyakran kisebb súlyt fektetnek.

Az alanyok általában a mérőtérben elhelyezett, speciális kiképzésű székekben ülnek, amennyiben írásbeli feladataik is vannak, vagy csak normál széken, ha csak kérdezik őket. A vizsgálatok időtartama alatt általában olvasgatnak vagy csak üldögélnek. Fizikai terhelésű vizsgálatkor pedig kerékpár ergométert üzemeltetnek. A mérőszoba belső kiképzésén keveset változtatnak olyan szempontból, hogy annak vizsgálati jellegét elvegyék.

Véleményünk szerint a laboratóriumban végzett vizsgálatok során nagy súlyt fektessünk a környezeti körülmények lehetőleg minél élethűbb szimulálására. Ennek megfelelően például célszerű

— amikor lakásokkal kapcsolatos vizsgálatokat végzünk, a mérőtér lakószobának legyen kiképezve, asztallal, székekkel, fotelekkel, heverővel, tv-vel és rádióval;
— irodai munkahelyi vizsgálatok esetén normál irodahelyiséget alakítsunk ki, íróasztalokkal, szekrényekkel stb.;
— fizikai terheléskor a valóságnak megfelelő munkát szimuláljunk.

A másik lényeges eltérés — bár ugyancsak ügyeljünk a hőérzetet befolyásoló 6 alapparaméter pontosságára — a ruházatot pl. csak előírjuk, de az alanyok ne viseljenek egyenruhát, hanem a sajátjukat. Így a ruházatban lehet kisebb szórás ($\pm 0{,}1$ clo), de ez véleményünk szerint kedvezően elősegíti az embert egyébként is érő stresszhatás kiküszöbölését.

Végül fontos eltérés, hogy a fiziológiai paraméterek — gondolunk elsősorban a bőr- és maghőmérséklet-értékekre — mérését nem folyamatosan felragasztott vagy más módon felerősített szenzorokkal, hanem időszakosan, hordozható műszerekkel mérjük. Véleményünk szerint ugyanis a 14 ponton felerősített bőrhőmérséklet-érzékelők, de különösen a maghőmérséklet mérése kényelmetlen stresszhatást okoz, és befolyásolhatja az eredményeket.

Közismert, hogy egy új szituációban — különösen „orvosi" jellegű vizsgálatok során — az egyének fokozott stresszhatásnak vannak kitéve. Az adott esetben — gondolunk itt a laboratóriumi hőérzeti vizsgálatokra — arra nézve, hogy ez a tény mennyire befolyásolja a számszerű értékeket, a szakirodalomban pontos adatok nem találhatók, és a külföldi laboratóriumi vizsgálatoknál — mint az előzőekből látható — e kérdésre nem helyeznek hangsúlyt. Fontosságát viszont a következők bizonyítják, bár még további részletes vizsgálatok szükségesek.

Amennyiben közvetlenül tervezési, méretezési értékek kidolgozása a cél, a laboratóriumi eredményeket feltétlenül célszerű helyszíni mérésekkel ellenőrizni, amennyiben szükséges, ezek alapján az értékeket korrigálni kell, és csak ezen ellenőrzés után lehet javasolni általános bevezetésre.

13.2.5. A laboratóriumi mérési metodikáról, illetve a stressz hatásáról

Ami a laboratóriumi stresszhatást illeti, arra az előző pontban foglaltak ugyancsak mérvadók. A mért adatok számával kapcsolatban a helyzet a következő: a vizsgálatok során az emberekkel kapcsolatban mért paraméterek száma a legtöbbször kevés. Általában,

— a vizsgálat előtt és után egy-egy kérdőlapot töltetnek ki az alanyokkal,
— folyamatosan mérik a bőrhőmérsékletet — igaz gyakran 14 pontban — és a maghőmérsékletet,
— és időszakosan kérdezik a szubjektív hőérzeti szavazatokat,
— esetleg egy-két könnyű pszichológiai tesztet végeztetnek az alanyokkal.

Ennek bizonyítására számos hőérzeti vizsgálattal foglalkozó külföldi kiadványt sorolhatnánk fel, amelyekben rögzített eredményeket széles körben alkalmazzák, illetve ezekre hivatkoznak.

E módszer egyik magyarázata az, hogy amennyiben elfogadjuk a hőérzet kortól, nemtől stb. való függetlenségét, akkor valóban elegendőnek tekinthető, ha csak a szubjektív hőérzetet és bőrhőmérsékleteket ellenőrizzük. Abban az esetben azonban, ha feltételezzük, hogy a hőérzet kortól, nemtől stb. függő, és az elfogadható mikroklímaparaméter-határértékek egyik feltétele a szellemi, fizikai teljesítőképesség azonos szinten tartása, kétségtelenül lényegesen több fiziológiai, higiénés és pszichológiai paraméter ellenőrzése szükséges, nem beszélve arról, ha nemcsak a hőérzetet kívánjuk figyelembe venni.

Nehézséget jelent, hogy pillanatnyilag a kölönféle fiziológiai, de főleg pszichológiai tesztek alkalmazásának feltételei és határai tisztázatlanok, főleg olyan kevéssé karakterisztikus, illetve erős mikroklíma-behatások vonatkozásában, mint amelyek épületek zárt tereiben — kivéve néhány ipari üzemet — érik a benntartózkodókat. Tehát például tisztázatlan az, hogy egy-egy, viszonylag kisebb sugárzásos hőterhelésnek — mint amilyen sugárzó fűtés alkalmazásakor keletkezik — vagy 1—2 °C levegőhőmérséklet-különbségnek a hőérzetre, a szellemi és fizikai teljesítőképességre vonatkozó hatását egyáltalán milyen vizsgálattal lehet egyöntetűen kimutatni, ellenőrizni.

Külön kell azonban itt foglalkoznunk a bőr- és a maghőmérséklet-mérés kérdésével, mivel e tekintetben lényeges eltérés van a különböző gyakorlatok között.

Hőérzeti vizsgálatok során a bőrhőmérséklet-mérésnek fontos szerepe van, mivel változásából számos következtetés vonható le egyrészt a test teljes hőleadására, másrészt a részleges hőleadások jellegére, nagyságára vonatkozóan. Értéküket viszonylag egyszerű mérni, objektív értékelésük azonban nehezebb, mivel a bőrhőmérséklet csak másodlagos jelenség. Önmagában az integrált felületi bőrhőmérséklet nem mond sokat, mivel nincs abszolút értékeire vonatkozó skála. Éppen ezért vagy összehasonlító értékeket vesznek figyelembe (pl. sugárzás hatása), de még inkább átlagos bőrhőmérséklet-értékekkel számolnak. Az átlagos érték meghatározásához szükséges helyi mért értékek száma nagyon változó 5—29-ig (Allaix 1979, Houdas 1972, Teichner 1958).

Houdas (1972) például 10 pontos mérést alkalmaz, és a mért értékeket a következő arányban javasolja figyelembe venni:

— lábfej	0,07,
— lábszár	0,13,
— csípő	0,19,
— has	0,12,
— hát	0,12,
— mell (bimbó alatt)	0,12,
— felkar	0,08,
— alkar	0,06,
— kézhát	0,05,
— homlok	0,06.

Az átlagos bőrhőmérséklet-értékeke meghatározása mellett két további mutatószámot is használnak a kutatási gyakorlatban:

1. ún. indexeket és
2. bőrhőmérséklet-különbségeket.

1. *Az indexek* közül a legismertebb Bourton által kidolgozott ún. vérkeringési hőindex, amelyet azonban ma már nem eredeti, hanem átdolgozott formában alkalmaznak (Gromova 1961, Szomik 1971).

Az index a következő összefüggésből számítható:

$$I = \frac{T_b - T_R}{T_E - T_b}, \tag{13.1}$$

ahol

T_b a bőrhőmérséklet (átlag),
T_R az eredő hőmérséklet,
T_E a test hőmérséklete.

Az index életkoronként és testrészenként változik, például 3—7 éves gyermekek esetében:

— homlok 2,3—3,0 °C,
— mell 4,0—5,5 °C,
— has 6,0—9,6 °C,
— kéz 1,0—1,9 °C,
— lábfej 0,6—1,1 °C.

2. *Az egyes bőrterületek hőmérsékletének különbsége* egyes kutatók szerint fontos hőállapot mutató (Muratov 1969).

Komfortfeltételek mellett például

— mell—kézfej különbség 2—4 °C,
— mell—láb különbség 2—6 °C.

Hidegebb környezetben a különbségek nagyobbak, míg a környezeti hőmérséklet emelésével a különbségek csökkennek, közelednek a testhőmérséklethez.

A hőérzeti vizsgáló laboratóriumokban általában 14 pontban mérnek bőrhőmérsékletet (2.5. ábra) — mint említettük fixen felerősített érzékelőkkel —, de az alkalmazott módszerek eltérőek. Összehasonlításukra Olesen (1984) publikációjában találunk táblázatos értékeket (2.11. táblázat) is.

A magyar gyakorlat: általában 10 pontban mért, 20—30 percenként rögzített pillanatérték, esetenként fix érzékelők alkalmazása (Bánhidi és mtsai 1980b).

13.2.6. Az adaptációs idő kérdése

Az adaptációs idő (Helsen 1964) elhanyagolása alatt elsősorban nem arra gondolunk, hogy közvetlenül a vizsgálatra kerülés előtt nem adnak lehetőséget az alanyoknak a vizsgálati mikroklíma-paraméterekhez való alkalmazkodásra. Az erre szüksé-

ges időtartamot, amely 20—30 perc, általában betartják. Általában 30—40 perces időtartamot jelentenek a különböző elővizsgálatok, s ezen idő alatt célszerű, ha az alanyok az ún. adaptációs vagy elővizsgáló helyiségben tartózkodnak.

Megjegyzendő azonban, hogy fokozottan vegyük figyelembe az emberek szezonális bioritmusát, tehát a fűtés hatását télen, a hűtés hatását nyáron vizsgáljuk. Ezt a tényt — elsősorban a régebbi hőérzeti kutatások folyamán, amelynek eredményeit azonban ma is széles körben alkalmazzák, illetve hivatkoznak rá — nem mindig vették figyelembe.

Számottevő szerepe van azonban az adaptációs időnek

— magának a vizsgálati körülményeknek megszokásában éppúgy, mint
— egy teszt betanulásában, begyakorlásában.

Tapasztalataink szerint a kettő együtt hat, és a szubjektív hőérzetet, valamint a szellemi, fizikai teljesítőképességet egyaránt befolyásolja. Ennek — elsősorban a tesztbetanulás fontosságának — igazolására csak két adat:

a) A disztributív figyelemvizsgáló készüléket gyakran használják a koncentrálóképesség, kifáradás ellenőrzésére. Többek között ilyen célból használta a Munkaügyi Minisztérium Kutató Intézete is. Egyik vizsgálatuk eredményeit rögzíti a *13.3.* és *13.4. ábra.* Ebből jól látható, hogy mind a napi teljesítmény, mind a hibaarány — amelyet nevezhetünk ún. „betanulási időszaknak" is — időfüggő, legalábbis az első napra vonatkozóan (Kaucsek és Simon 1981).
b) Esetenként ennél árnyaltabb, szélesebb körű vizsgálatokat célszerű végezni. Ezek közül az összehasonlíthatóság kedvéért egy jellegzeteset, ugyancsak a disztributív figyelemvizsgálatra vonatkozót mutatunk be a következőkben.

A vizsgálatok során két „fő csoportot" és mindegyiken belül két alcsoportot alakítottunk ki. A két főcsoport:

— alanyok, akik előzőleg már több alkalommal vettek részt disztributív vizsgálatokon,
— alanyok, akikkel először végeztettünk ilyen teszteket.

Az első csoporton belül két alcsoport volt:

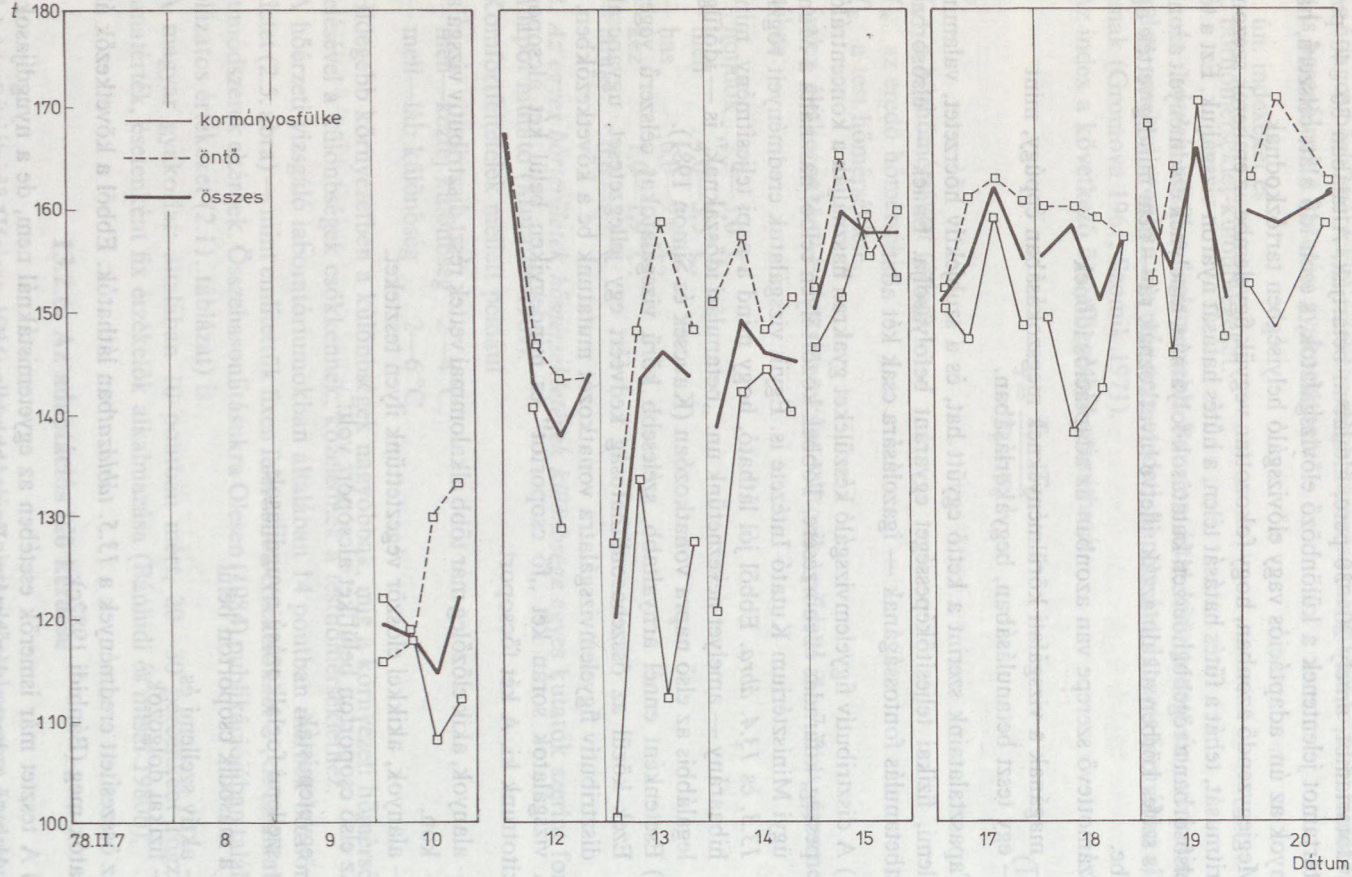
— egyetemisták,
— szellemi foglalkozású nyugdíjasok,

míg a második csoporton belül

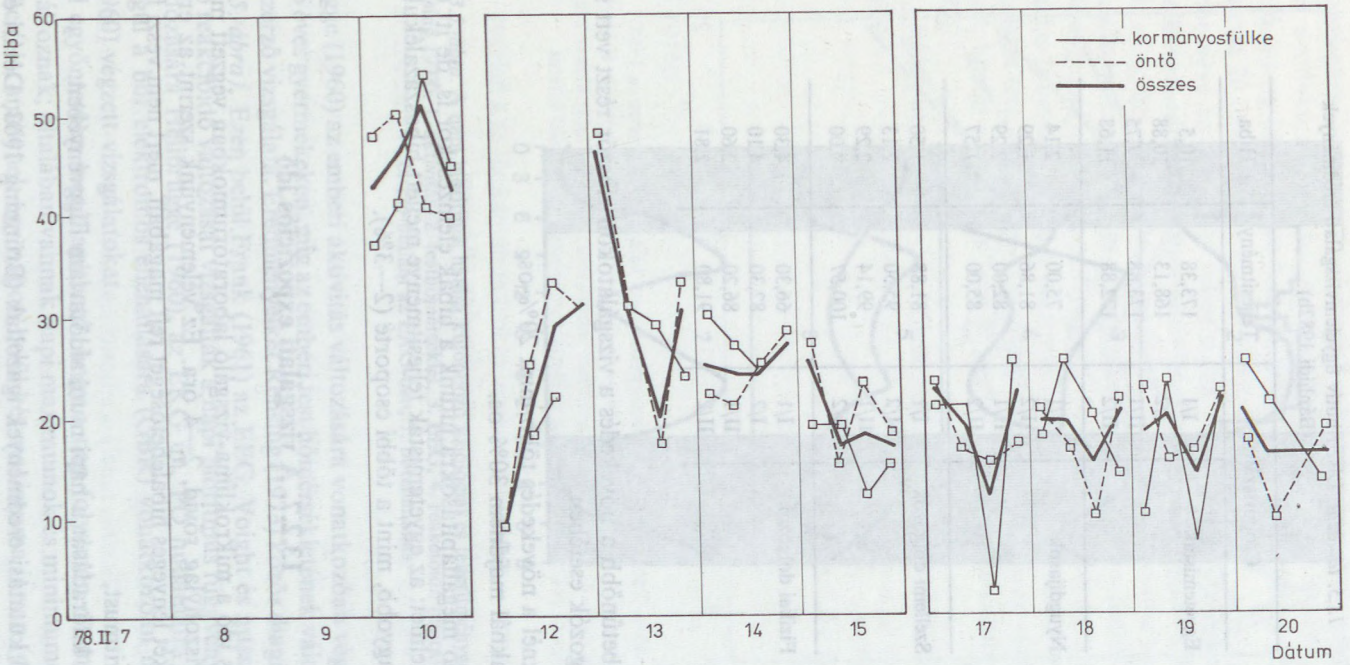
— aktív szellemi és
— fizikai dolgozók.

Az összesített eredmények a *13.5. táblázat*ban láthatók. Ebből a következők állapíthatók meg (Bánhidi 1982c):

a) A tesztet már ismerők esetében az egyetemistáknál nem, de a nyugdíjasoknál látható a betanulás hatása. Ez utóbbiak esetében az első napi, első méréshez viszonyítva a második napi, második mérés 15%-os teljesítménynövekedést eredményezett.



13.3. ábra. A disztributív figyelemvizsgálati teljesítmény (t) változása az idő függvényében (Kaucsek és Simon 1981)



13.4. ábra. A disztributív figyelem vizsgálati hiba változása az idő függvényében (Kaucsek és Simon 1981)

13.5. táblázat. Disztributív figyelemvizsgálati eredmények (Bánhidi 1982b)

Csoportszám		Teljesítmény	Hiba
Egyetemisták	I/1	173,38	10,5
	I/2	168,13	10,88
	II/1	173,88	7,75
	II/2	172,88	11,68
Nyugdíjasok	I/1	75,00	2,14
	I/2	81,86	1,29
	II/1	82,00	2,29
	II/2	85,00	1,57
Szellemi dolgozók	I/1	81,88	1,50
	I/2	95,50	2,13
	II/1	99,14	2,29
	II/2	100,57	3,00
Fizikai dolgozók	I/1	66,30	4,30
	I/2	82,30	4,10
	II/1	86,20	2,60
	II/2	91,80	2,81

b) Még szembetűnőbb a növekedés a vizsgálatokon először részt vett szellemi és fizikai dolgozók esetében:

— előzőeknél a növekedés több mint 20%-os,
— utóbbiaknál majdnem 30%-os.

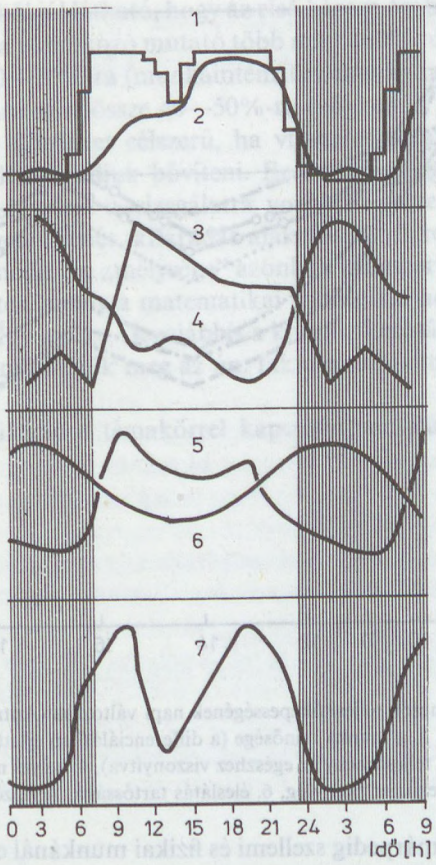
Közel hasonló megállapításokra jutunk a hibák elemzésekor is, de itt egy tényre hívjuk fel a figyelmet: az egyetemisták teljesítménye mellett hibaszázalékuk (6—7%) is lényegesen nagyobb, mint a többi csoporté (2—3%).

13.2.7. A vizsgálati expozíciós idő

Az expozíciós idő a mikroklíma-vizsgáló laboratóriumokban végzett mérések során általában viszonylag rövid, 2—4 óra. Ez véleményünk szerint az eredmények szempontjából két lényeges hibalehetőséget rejt magában, mert nem veszi figyelembe

1. a napi bioritmust,
2. az egyének kifáradását a napi munkaidőtartam függvényében.

1. Különböző kutatási eredmények igazolták (Brünning 1963, Détári és Karcagi 1981, Palmer 1976, Rensing 1973), hogy az ember szellemi és fizikai munkavégző képessége az azt befolyásoló, illetve jelző fiziológiai paraméterek, a napi bioritmusnak megfelelően változnak. Erre vonatkozóan néhány jellegzetes adat.

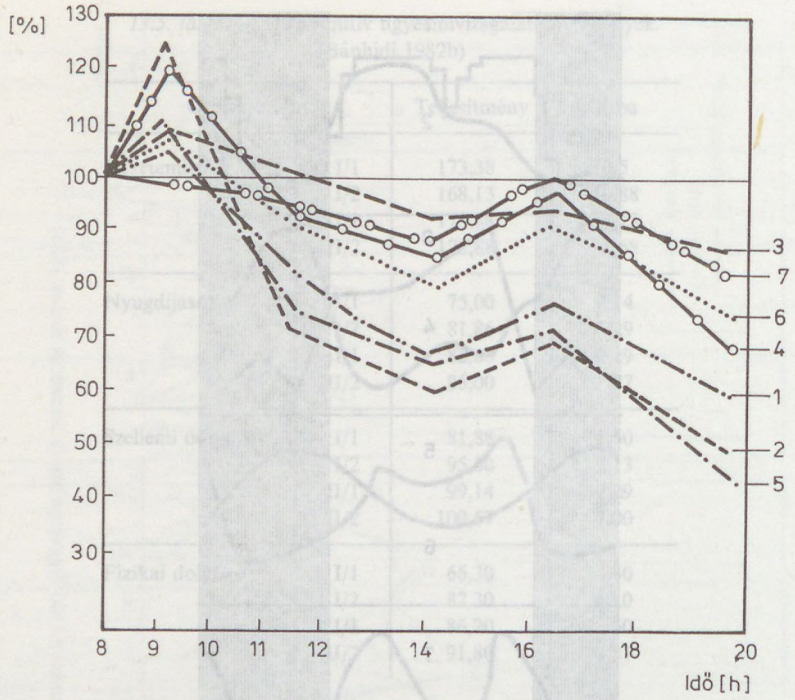


13.5. ábra. A napi bioritmus hatása különböző fiziológiai és teljesítményadatokra (Rensing 1973). 1. aktivitás, 2. testhőmérséklet, 3. EEG, 4. reakcióidő (zajra), 5. pulzus, 6. PQ-hullám az EKG-ban, 7. bőrellenállás

Hellbrügge (1960) az emberi aktivitás változására vonatkozóan végzett vizsgálatokat 11—15 éves gyermekeken, míg az emberi test hőmérsékletének változását felnőtteken több szerző vizsgálata. Eredményeiket Rensing (1973) közös diagramban dolgozta fel *(13.5. ábra)*. Ezen belül Frank (1961) az EEG, Voight és mtsai (1967) a zajra vonatkozó reakcióidő változását vizsgálták a napi bioritmus függvényében. A pulzus napi ingadozására Hellbrügge (1960), az EKG ún. PQ hullámaira Engel és mtsai (1967), végül a bőr elektromos ellenállására (GBR) vonatkozóan ugyancsak Hellbrügge (1960) végzett vizsgálatokat.

Ezekből egyöntetűen megállapítható, hogy a nap folyamán az ember különböző funkciói változnak; általában vannak napi maximumok és minimumok, de található olyan funkció is, amelynek egy napon belül két maximuma is van (pl. bőrellenállás) vagy értéke közel egyenletesen csökken (EEG).

Egyáltalán nem mindegy tehát, hogy a hőérzeti vizsgálatokat mikor, milyen időszakban végezzük. Mindenesetre, ha egy meghatározott tevékenységre kívánunk



13.6. ábra. Tanulók teljesítőképességének napi változása (Antropova 1968)
1. a munka intenzitása, 2. a munka minősége (a differenciálásban ejtett hibák, K koefficiens, a feladat első felében nyújtott teljesítmény az egészhez viszonyítva), 4. helyes megoldások aránya (pontosság), 5. reflexingerlékenység, 6. éleslátás tartóssága, 7. légzési kitérés

eredményeket kapni — márpedig szellemi és fizikai munkánál ez a helyzet — célszerű a vizsgálatokat a teljes időtartamra vonatkozóan elvégezni.

2. Kétségtelen, hogy a kifáradásgörbe összefügg a napi bioritmussal, és ezt számos kutató igazolta, viszont közismert ténynek nevezhetjük a munkaintenzitás csökkenését a munkaidő függvényében.

Ezek igazolására Antropova (1968) tanulók teljesítőképességének napi dinamikájára vonatkozó diagramját mutatjuk be *(13.6. ábra)*. Az ebben feltüntetett 1, 2, 3, 4 és 5 görbe saját, míg a 6-os Nuszbaum és Alexandrova (1959), a 7-es Nuszbaum (1953) által végzett kísérletek eredményeiből adódott. Az egyes görbék a következő funkciókra vonatkoznak:

1. görbe a munka intenzitása,
2. görbe a munka minősége (differenciálásban elkövetett hibák),
3. görbe ún. *K* koefficiens, amely a teljesítménynek a feladat első feléhez viszonyított arányát mutatja a teljesítmény függvényében, így jól jellemzi a feladat végrehajtásának folyamatosságát,
4. görbe a helyes megoldások aránya (pontosság),
5. görbe reflex ingerlékenység,
6. görbe az éleslátás tartóssága,
7. görbe a légzések száma.

A különböző görbékből jól látható, hogy az első három órában, a légzéstől eltekintve, az összes, a munkára vonatkozó mutató több mint 100%, de délután 14 órára van olyan mutató, amely 60—70%-ra (munkaintenzitás, munka minősége, reflex ingerlékenység) és este 20 órára mindössze 40—50%-ra csökken.

Figyelembe véve az előzőeket célszerű, ha vizsgálatainkat a teljes munkaidőre, illetve foglalkozási ciklusra tudjuk bővíteni. Ez a valóságnak megfelelő környezet szimulálásával együtt, egyrészt a vizsgálatra vonatkozó stresszhatást is csökkenti, másrészt a teljesítménycsökkenés, kifáradás alakulásáról is reálisabb képet ad.

Az adatfeldolgozás módszere „mélysége" azonban világszerte egyre fejlődik. Számtalan megoldás ismeretes, amely a matematikai statisztikai adatfeldolgozás követelményeinek eleget tesz. Így az új — legalábbis a komfortkutatások vonatkozásában új — módszerek között említhetjük meg az ún. faktoranalízis módszerét is (Bánhidi és Rostás 1982).

Néhány újabb publikáció e témakörrel kapcsolatban: Bánhidi (1981a, b, 1986, 1987a, 1988).

14. Az emberi követelményértékek és az energiafelhasználás optimumának elvi kérdései

Az előző fejezetben kifejtett hőérzetileg megengedhető határértékek elvének gyakorlati megvalósításához még számos adat birtokába kell jutnunk. Melyek azonban ezek az adatok, hogyan határozhatók meg, milyen számítási, méretezési módszerrel alkalmasak a gyakorlati felhasználásra?

A következőkben az emberi követelményértékek és energiafelhasználás optimumának néhány elvi kérdésével, lehetőségével foglalkozunk, úgymint

1. A *PMV—PPD*-módszer lehetőségeivel,
2. A hőérzetileg elfogadható határértékek alkalmazásának olyan elvi kérdéseivel, mint

   — a fizikai és szellemi teljesítőképesség változása a hőmérséklet függvényében,
   — az ezen témakör ellenőrzési, meghatározási lehetőségeivel.

14.1. A *PMV—PPD*-módszer lehetőségei

Amennyiben csak a szubjektív hőérzet követelményértékeit állítjuk szembe az energiagazdálkodási elvárásokkal, elsősorban felmerül az ötlet: alkalmazzuk a *PMV—PPD* méretezési módszert. Tudjuk, Fanger (1982) (bővebbet lásd az 5.3. alfejezetben) szerint az emberi szempontból — általában csak laboratóriumi körülmények között elérhető — optimális eset, ha a 7 pontos hőérzeti skálát figyelembe véve a zárt térben tartózkodóknak csak 5%-a elégedetlen hőkörnyezetével, a többi 95% hőérzete neutrális, illetve kellemesen hűvös vagy kellemesen meleg. Ezekhez az értékekhez tartozik a $PMV = 0$ és $PPD = 5\%$ érték (lásd 5.32. ábra). Ennek alapján készültek el egyébként az alap konfort- és kisegítő diagramok (lásd 5.25.—5.29. ábrák).

Az elméletileg optimális 5%-os *PPD* értéktől minden ország vagy alkalmazó olyan mértékben tér el, amennyire gazdasági lehetőségei megengedik. Pillanatnyilag a legfejlettebb ipari országokban is 10—20%-os *PPD* értéket engednek meg. Vizsgáljuk meg, az utóbbi eset milyen megtakarítási lehetőséget nyújt.

14.1.1. Téli állapotok optimumértékei

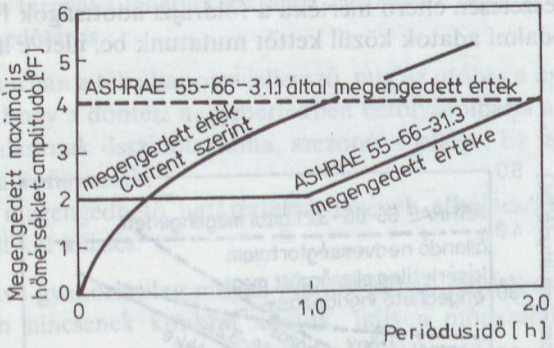
A számításokat elvégezve megállapítható, hogy az eredeti (5%-os *PPD* értékű) komfortdiagramok szerint $M/F_{Du}=58$ W/m^2, azaz 1 met és 1 clo értékű ruházat esetén a 20 °C levegő-hőmérsékletre megadott, illetve szükséges $t_{ks}=26{,}3$ °C közepes sugárzási hőmérséklet érték helyett 20,32 °C is elegendő, illetve fordítva, $t_{ks}=20$ °C-hoz elegendő 20,29 °C léghőmérséklet is.

Másképpen fogalmazva, ha $t_{ks}=t_{lb}$, akkor 20,3 °C ambient hőmérséklet tartozik — 50%-os relatív nedvességtartalom- és $v<0{,}1$ m/s légsebességérték esetén — a 20%-os elégedetlenségi faktorhoz, szemben az 5%-hoz tartozó 23,5 °C értékhez.

Ez önmagában 3,2 °C levegőhőmérséklet-csökkentési lehetőséget jelent, ami a magyarországi téli $\Delta t=35$ °C-kal számolva annak durván 9%-a. Ennyivel kevesebb lehet az energiafelhasználás abban az esetben, ha 5% helyett 20% elégedetlenségi faktort engedünk meg. Persze az erősen durva közelítés, hiszen t_{ks} viszonylag magasabb értékének eléréséhez többletszigetelést kellene alkalmazni, amelynek költsége „leíródik" az energiamegtakarítás költségéből.

Természetesen nemcsak a hőszigetelés növelése az egyedüli lehetőség, hanem pl. az emberi test hőegyensúlyát kedvezőbben befolyásoló fűtési megoldások alkalmazása is. E kérdésekkel a 15. és 16. fejezetben részletesebben foglalkozunk.

További energiamegtakarítási lehetőséget biztosít, ha a 20%-os *PPD* értéknél magasabbat engedünk meg, bár jelenleg a „hivatalos" előírásokban a 20%-nál magasabb értékkel nem találkozunk. Ebben az esetben ugyanis a panaszosok százalékos aránya, a panaszok mértéke, illetve azok kihatásai oly kedvezőtlenek a komfortérzetre, és nem utolsósorban a mindennapi életvitelre, hogy erre vonatkozó kockázatot „hivatalosan" nem vállalnak.



14.1. ábra. A hőmérséklet javasolt maximálisan megengedhető ingadozása a ciklusidő függvényében (Sprague és McNall 1970)

Itt kell megemlítenünk egy kérdést, amely a hőmérsékletértékek megengedhető ingadozására vonatkozik. Sprague és McNall (1970) szerint a *14.1. ábrán* látható értékek engedhetők meg a ciklusidő függvényében. Azonban ez a diagram periodikus változásra vonatkozik, így gyakorlatilag a szabályozás pontosságára vonatkozóan ad alapértéket.

14.1.2. Nyári állapotok optimumértékei

Nyári állapotra vonatkozó komfortparaméterek a klasszikus Fanger-diagramokból: $M/F_{Du}=1$ met, $I_{cl}=0{,}6$ clo és $v \leq 0{,}1$ m/s esetén az ambient hőmérsékletérték 24,6 °C. Ez az állapot természetesen a különböző levegő- és közepes sugárzási hőmérséklet kombinációkkal is elérhető.

$PPD=20\%$ érték esetén a következő adatokat kapjuk:

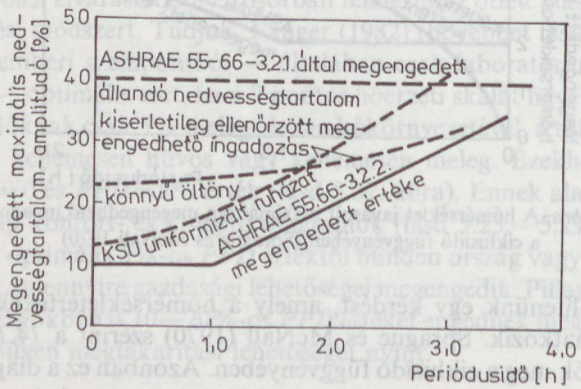
a) Amennyiben a nemzetközileg elfogadott felső komforthatárértéket, a 26 °C levegő-hőmérsékletet vesszük figyelembe, az ehhez tartozó t_{ks} érték 29,99 °C, illetve $t_{ks}=26$ °C-hoz 29,65 °C léghőmérséklet tartozik.

b) Gyakorlatilag tehát a 24,6 °C helyett 29,8 °C megengedhető ambiens hőmérséklettel dolgozhatunk. Ez 32 °C külső levegő-hőmérséklet esetén a $\Delta t=32-24{,}6=$ $=7{,}4$ °C helyett csak $\Delta t=2{,}2$ °C értéket jelent, amelynek hűtési energiamegtakarítási vonzata kb. 70%.

Amennyiben összehasonlítjuk a magyarországi nyári állapotokkal, akkor megállapítható, hogy a gyakran adódó 30—32 °C levegőhőmérséklet-értékhez 5% *PPD* esetén 20—21 °C, 20% esetén pedig 23—24 °C közepes sugárzási hőmérséklet tartozik, amely viszont fokozottan felhívja a figyelmet a napsugárzás elleni árnyékoló szerkezetek fontosságára.

Meg kell említeni, hogy az etnikai adottságok függvényében a szubjektíve kedvező levegőhőmérséklet-értékek eltérőek. Erre vonatkozóan Wyon és mtsai (1982) egy a korábbiakban bemutatott diagramjára hivatkozunk (lásd 13.2. ábra). Bár ez eltérést mutat a Fanger-féle alapelvtől (lásd 5.3. fejezet), azonban az ezzel kapcsolatos helyzet megítélése még egyáltalán nem lezárt kérdés (lásd 13. fejezet).

A relatív nedvességtartalom hatása fokozottabban jelentkezik meleg környezetben. Ez a hatás is természetesen eltérő mértékű a földrajzi adottságok függvényében. Az erre vonatkozó irodalmi adatok közül kettőt mutatunk be, illetve hívjuk fel a figyelmet.



14.2. ábra. A levegő nedvességtartalmának javasolt maximálisan megengedhető ingadozása a ciklusidő függvényében (Sprague és McNall 1970)

a) Sprague és McNall (1970) diagramját *(14.2. ábra)*, amely a levegő nedvességtartalmának javasolt maximális megengedhető ingadozását mutatja be a ciklusidő függvényében. Ez az adat a klímaberendezések szabályozásához ad alapértéket.

b) Magyarországon a nyáron előforduló levegő-hőmérséklet—relatív nedvességtartalom értékekre vonatkozó szubjektív hőérzettel kapcsolatban végzett kísérletsorozatot Részegh (1980).

14.2. A hőérzetileg elfogadható határértékek alkalmazásának elvi lehetőségei

Mint a 13. fejezetből láthattuk, a hőérzetileg elfogadható határértékek elve gyakorlatilag a Fanger-elv alapján nyugszik, de annak továbbfejlesztett változata, amennyiben a hőérzeti szavazatok százalékos aránya mellett figyelembe veszi az adott hőtechnikai paramétereknek a munkavégző képességére kifejtett hatását is. Határértékként azokat a hőérzetileg is elfogadható paramétereket $PPD = 20\%$-nál veszi figyelembe, amelyek esetében a fizikai és szellemi munkavégző képesség számottevően még nem csökken, illetve a csökkenés mértékét az energiamegtakarítás mértékével összevetve lehet az adott esetre vonatkozó optimumot meghatározni.

Ez azt jelenti, hogy

— vagy a munkavégző képesség csökkenése miatt a szubjektív hőérzetileg megengedhető paraméterértékeknél magasabbat kell tartanunk, vagy

— a munkavégző képesség nem csökken az adott határértékig, és így további megfontolás tárgyává tehetjük esetleg a *PPD* érték növekedésének (túl a 20%-on) megengedését is.

Az előbbi elsősorban a téli állapotra jellemző, míg az utóbbi a nyáriakra. Felhívjuk a figyelmet arra, hogy a döntést nagymértékben befolyásolhatja a kedvezőtlen paraméterek előfordulásának összidőtartama, szezonális jellege. Ez ugyancsak inkább a nyári állapotokra vonatkozik.

A hőérzetileg megengedhető határértékek elvének alkalmazásával kapcsolatban azonban felmerül két kérdés:

— elvileg, illetve gyakorlatilag milyen adatok állnak rendelkezésre,

— amennyiben nincsenek konkrét adatok, milyen módszerekel lehet ilyeneket meghatározni.

14.2.1. A fizikai és szellemi teljesítőképesség változása a hőmérséklet függvényében

Az emberi teljesítőképesség változására vonatkozóan a szakirodalomban elsősorban a fizikai munkára találhatók adatok. Ezekkel azonban, a korábbiakban kifejtettek értelmében, e könyv nem foglalkozik részleteiben, csak érintőlegesen. A szellemi

teljesítőképesség változására vonatkozóan pedig csak kevés adattal rendelkezünk, és ezek is általában specifikusak, főleg iskolásgyerekekre alkalmazhatók. Mindezeket előrebocsátva, a következőket tartjuk szükségesnek ismertetni.

Télen általában a munkavégző képesség csökkenése elsősorban a fizikai munkára vonatkozhat (Kok és mtsai 1982, Meese és mtsai 1982, Wyon és mtsai 1982). A különböző paraméterek közül az alacsony levegő- vagy közepes sugárzási hőmérséklet hatására a kézzel végzett, pontosabbnak tekinthető munka termelékenysége csökken, hibaszázaléka növekszik. Ezek meghatározására ma már igen korszerű tesztek állnak rendelkezésre. Ezek közül néhányat a következő 14.2.2. pontban mutatunk majd be.

A hőérzetet és a fizikai munkavégző képességet télen közvetlenül befolyásoló paraméterek közül kettőt kell megemlítenünk:

— a ruházat hőszigetelő képességét, ugyanis túlzottan vastag ruházat akadályozhatja a mozgást,
— a levegő sebességét, amely kedvezőtlen huzathatásával okozhat teljesítménycsökkenést.

Visszatérve a számszerű értékekhez, elsősorban az ujj hőmérséklete az, ami a fizikai munkavégzést kedvezőtlenül befolyásolhatja. Például, amennyiben a helyiség hőmérséklete 34 °C-ról 24 °C-ra esik vissza, ez az ujjhőmérsékletnek 20 °C-ról 16 °C-ra való csökkenését jelenti, ami — bár ez nem hideg környezetet jelent — zavart okozhat a kézzel végzett munka pontosságában (Lewis és mtsai 1973). Abban az esetben, ha a helyiség hőmérséklete 6 °C-ra csökken, az ujj hőmérséklete 15 °C alá esik, és erősen megnövekszik a munkával kapcsolatos balesetveszély (Meese és mtsai 1982, Wyon és mtsai 1982).

Ami a szellemi munkát illeti, hidegebb környezetben általában nem tapasztaltak teljesítménycsökkenést. Erre példa, hogy Langkilde és mtsai (1973a, b) nem észleltek csökkenést abban az esetben, ha az egyénileg optimálisnak tartott hőmérsékletnél 4 °C-kal alacsonyabb volt a helyiségben.

A szellemi munkát gyakorlatilag inkább a helyi diszkomforthatások befolyásolhatják télen zavaróan. Például a huzathatás vagy az aszimmetrikus sugárzás kedvezőtlenül befolyásolhatja a koncentrálóképességet. A szellemi teljesítőképességre, koncentrálóképességre vonatkozó tesztek közül néhányat ugyancsak bemutatunk a 14.2.2. pontban.

Nyáron a munkavégző képesség csökkenése mind a fizikai, mind a szellemi munkára vonatkozhat.

A fizikai teljesítőképesség csökkenését a levegő- és a közepes sugárzási hőmérséklet bizonyos határon túli növekedésének hatására előálló fokozott izzadás és egyéb fiziológiai okok magyarázzák. A többi paraméter: a levegősűrűség, a relatív nedvességtartalom, a ruházat hőszigetelő képessége kedvező vagy kedvezőtlen hatásának részletes elemzésébe nem kívánunk bocsátkozni.

Meleg környezetben a munkavégző képesség határértékének meghatározására vonatkozóan végeztek kísérleteket, s ezek eredménye:

— iskolás gyermekek esetében 27 °C a megengedhető határérték, Holmberg és Wyon (1967), Pepler és Warner (1936), valamint Wyon (1969) és Wyon és Holmberg (1974) szerint,
— irodai dolgozók esetében pedig 24 °C a megengedhető hőmérséklethatár, Wyon (1974, 1983) és Wyon és mtsai (1975).

Mindegyik vizsgálat megállapította, hogy közvetlenül az izzadási határ (kb. 28 °C) körüli hőmérséklet esetében a szellemi teljesítőképesség 30—50%-kal csökken.

14.2.2. A hőérzetet befolyásoló mikroklíma-paraméterek fizikai és szellemi munkavégző képességre gyakorolt befolyásának ellenőrző vizsgálati lehetőségei

A szellemi és fizikai munkavégző képesség hatékonyságának ellenőrzésére alkalmas vizsgálati módszereket általában három csoportra szokták osztani:

— hideg környezetre,
— meleg környezetre,
— hideg és meleg környezetre egyaránt

alkalmazható tesztekre.

14.2.2.1. A hideg környezet hatásának néhány ellenőrzési módszere

Mint az előzőekből ismert, a hideg környezet elsősorban a fizikai munkavégzés hatékonyságára hat kedvezőtlenül, ezért elsősorban ezek ellenőrzésére alkalmas néhány módszerre hívjuk fel a figyelmet, mint például (Wyon és mtsai 1982):

— két él érintési tesztje,
— ceruzaforgató ujjerősségi vizsgálat,
— kézügyesség-ellenőrzés kocka felfűzéssel,
— csomókötő teszt,
— labirintteszt,
— tremométer.

14.2.2.2. A meleg környezet hatásának néhány ellenőrzési módszere

A meleg környezet hatásának ellenőrzési módszerei viszont elsősorban a koncentráló szellemi teljesítőképességre vonatkoznak, s ezek ellenőrzésére alkalmasak például az alábbiak:

— kartonrendező teszt,
— hétpontos kartonrendező teszt,
— memóriateszt,
— összeadási teszt,
— hibakeresési teszt.

14.2.2.3. A hideg és meleg környezet hatásának ellenőrzésére egyaránt alkalmas néhány ellenőrző vizsgálati módszer

Az ide sorolható tesztek részben kézügyesség, részben koncentrálóképesség ellenőrzésére alkalmasak, mint például (Meese és mtsai 1982):

— pálcikaleszúró teszt,
— csavartábla,
— forgótárcsa,
— forgó kettős tárcsa,
— ötválasztásos reakcióidőmérő készülék.

IV. Az emberi követelményértékek és az energiafelhasználás optimumára méretezés a gyakorlatban

Az előző három fő részben áttekintettük

— az emberi követelményértékeket,
— az épület energiafelhasználását befolyásoló tényezőket, illetve a tényleges energiafelhasználás egyes eseteit,
— a két tényező optimumának meghatározását, elérését biztosító elvi lehetőségeket.

Ezen, egyben befejező részben az optimum elérésének gyakorlati lehetőségeit, eredményeit foglaljuk össze, mindenkor az emberi és energiafelhasználási tényezőket figyelembe véve, a következő sorrendben:

— a téli méretezési adatok kiválasztására az energiaforgalmat befolyásoló külső hatások függvényében és az optimális üzemeltetés biztosítása (15. fejezet),
— az épületek jobb hőszigetelése vagy az emberi test hőegyensúlyának biztosítása megfelelő fűtési megoldások kiválasztásával (16. fejezet),
— az emberi és energiafelhasználási optimumok elérésének gyakorlati lehetőségei, feltételei, korlátai meleg (nyári) állapotban (17. fejezet),
— a légforgalom szerepe az emberi követelményértékek és az energiafogyasztás optimumának elérésében, figyelembe véve az infiltráció, légszennyeződés, penészesedés kérdését (18. fejezet),
— az emberi komfortérzet szempontjából kedvezőtlen légszennyeződés kiküszöbölésének energetikai kihatásai (19. fejezet),
— az emberi követelményértékek és energiafelhasználás optimumára méretezés bevezetési lehetőségeinek koncepcionális összefoglalása (20. fejezet).

15. A téli optimumra méretezési adatok kiválasztása, lehetőségei, feltételei

A téli méretezési kérdések tárgyalása bevezetéseképpen először a téli fűtési időtartam szakaszolását tekintjük át.

A téli állapotra vonatkozóan a méretezési optimum meghatározásához két tényezőcsoport ismerete szükséges:

— az emberi követelményértékeké és
— az épületek energiafelhasználásáé.

15.1. A különböző külső mikroklíma-paraméterek figyelembe vehető, illetve veendő időtartama

A téli fűtési időtartamon belül a következő szakaszokat különböztethetjük meg (Gábor és Zöld 1981):

1. *Szélsőségesen hideg napok.* Ezekre jellemző, hogy a transzmissziós hőáram hatása jelentős. A nagy külső-belső hőmérséklet-különbség nagy gravitációs felhajtóerőt eredményez, ezért a filtrációs levegőforgalom növekedése várható, elsősorban a középmagas és magas lakóépületekben.

A szél hatása rendszerint nem számottevő, az égbolt általában derült, de az adott körülmények között a napsugárzásból származó hőterhelés a fűtési hőszükségletnek csak néhány százalékát fedezi.

Ez az időszak évi 80—100 órát, azaz 3—4 napot tesz ki.

2. *A fűtési idény hidegebb szakaszai.* Ebben az esetben is a transzmissziós hőveszteség és a határolószerkezetek hőátbocsátási tényezője döntő szerepet játszik. A gravitációs felhajtóerő szintén jelentős.

Lehet nagyobb szélsebességre is számítani, és ezért előfordulhatnak olyan hőmérséklet—szélsebesség értékpárok (pl. −4 °C és 10 m/s), amelyek esetén az egész épület fűtési hőszükséglete nagyobb, mint a szélsőségesen hideg napokon.

Ebbe az időszakba soroljuk a −10 °C és 0 °C közötti hőmérsékleteket, amelyek 800—1000 h (azaz 34—42 nap) időtartamban várhatók.

3. *A fűtési idény átlagos körülményei.* Ebben az időszakban a legösszetettebb és a legbonyolultabb az energiaforgalom, mert szinte minden befolyásoló tényezője összemérhető, közel azonos nagyságrendű.

Csökken a gravitációs felhajtóerő szerepe, viszont a napsugárzásból származó hőnyereség a tájolás, homlokzati üvegezési arány és az átlagos hőátbocsátási tényező függvényében a transzmissziós hőveszteség többször 10%-át fedezheti.

A jellegzetes külső hőmérséklet a 0 °C és +6 °C közötti intervallum, időtartama évi 2000—2200 óra, (azaz 85—100 nap).

4. *Az átmeneti időszak.* Ebben az esetben a napsugárzásos hőterhelés tekintélyes, és a csekély transzmissziós, valamint filtrációs hőszükséglet túlnyomó többségét vagy teljes egészét fedezi.

A fűtési határhőmérséklet általában 10—12 °C-nak tekinthető, ez viszont függ az épület, illetve a helyiség tájolásától, a homlokzati üvegezési aránytól, a napteny ezőtől és a hőkarakterisztikától, a belső hőterhelésektől.

Erre az időszakra a 6—12 °C külső hőmérséklet jellemző, és időtartama évente mintegy 2000 óra (kb. 80 nap).

15.2. Az optimális és megengedhető emberi követelményértékek télen

Az emberi követelményértékek kapcsán három — a korábbiakban már részletesen elemzett — méretezési módot vizsgálunk meg:

— a komfortdiagram alapján adódó értékeket,
— a 20%-os *PPD* értékhez adódó paramétereket,
— a hazai vizsgálatok alapján adódó hőérzetileg még elfogadható határértékeket.

Kiindulási értékként azonban először meg kell határozni azt a két alapvető paramétert, amelyeket az emberi követelményértékek szempontjából épületekkel kapcsolatban figyelembe kell venni, mivel azokkal szorosan összefüggnek. Az emberi követelmények számításakor figyelembe veendő két alapvető építészeti méretezési paraméter:

— a levegő-hőmérséklet és
— a közepes sugárzási hőmérséklet.

Az egyszerűbb méretezési módszerek esetében a belső tér léghőmérséklete, illetve „fejlettebb formában" eredő hőmérséklete az előírt emberi követelményérték. Ezen előírásokkal és azok kritikájával az 5.1. fejezetben foglalkoztunk. Mivel azonban sok országban, így Magyarországon is e módszer alkalmazását írja elő a szabvány, e kérdéssel célszerű és szükséges bővebben foglalkozni, majd ebből kifejteni a korszerű méretezési módszerrel kapható eredményeket.

A levegő-hőmérséklet előírt értéke a helyiség funkciójának függvényében általában táblázatosan megadott adat. Magyarországon érvényben lévő értékei az 5.1. táblázatban találhatók.

E táblázatból megállapítható, hogy a helyiségek zömében 20 °C az előírt léghőmérséklet-érték. A következőkben tehát elemzésünkhöz ezt az értéket tekintjük alapnak. Az első kérdés; ehhez a léghőmérséklet-értékhez a különböző hőátbocsátási tényezők esetében milyen belső felületi, illetve közepes sugárzási hőmérséklet értékek adódnak, mivel az emberi hőkomfort szempontjából ez a két alapvető, épülettel szorosan összefüggő érték (Bánhidi 1976).

Az elemzést három esetre végezzük:

— normál, közbenső szinti, egy külső falú és 45%-os üvegezési arányú lakószobára,
— egy közbenső szinti, 45%-os üvegezési arányú sarokszobára,
— egy legfelső szinti, 45%-os üvegezési arányú normál szobára.

A szoba méretadatai:

— 3,6 × 5,2 m alapterület,
— 2,62 m belmagasság,

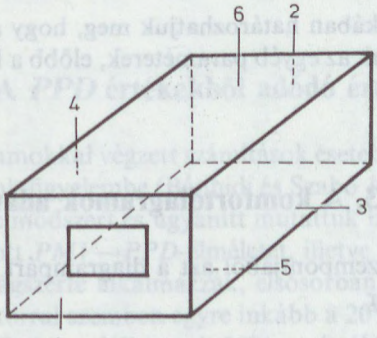
s az így adódó felületek a *15.1. ábrán* láthatók, amelyből a külső, az F_1 felület 45%-a (tehát 4,1 m^2) üveg és 55%-a (tehát 5,1 m^2) külső fal.

További méretezési adatok:

— a külső méretezési léghőmérséklet −15 °C,
— az ablakok hőmérsékletét 12 °C-kal vesszük figyelembe,
— a belső léghőmérséklet és belső falak hőmérséklete 20 °C,
— a belső felületi hőátadási tényező $\alpha_b = 7{,}9$ W/(m^2 K).

A k hőátbocsátási tényező figyelembe vett értékei:

— külső fal 1,05 W/(m^2K), ablak 5,3 W/(m^2K),
— külső fal 0,6 W/(m^2K), ablak 3,0 W/(m^2K),
— külső fal 0,3 W/(m^2K), ablak 2,5 W/(m^2K).



15.1. ábra. Vizsgált lakóhelyiség határoló szerkezetének számjelzése (Bánhidi 1976)

A külső falak belső felületi hőmérsékletét a

$$t_{Fkb} = t_{lb} - \frac{k}{\alpha_b}(t_{lb} - t_{lk}), \tag{15.1}$$

összefüggésből számoljuk, ahol

t_{lk} a külső levegő-hőmérséklet [°C],
t_{lb} a belső levegő-hőmérséklet [°C],
k a határoló szerkezetek hőátbocsátási tényezője [W/(m²K)],
α_b a határoló szerkezetek belső hőátadási tényezője [W/(m²K)].

A közepes sugárzási hőmérsékletet az ismert

$$t_{ks} = \frac{t_1F_1 + t_2F_2 + \ldots t_nF_n}{F_1 + F_2 + \ldots F_n} \tag{15.2}$$

összefüggéssel számoljuk. A közepes sugárzási hőmérséklet számított értékei a következők (Bánhidi 1989):

a) Közbenső szinti, egy külső falas szoba:

— ha $k_{fal} = 1{,}05$ és $k_{abl} = 5{,}3$, akkor 19,2 °C,
— ha $k_{fal} = 0{,}6$ és $k_{abl} = 3{,}0$, akkor 19,42 °C,
— ha $k_{fal} = 0{,}3$ és $k_{abl} = 2{,}5$, akkor 19,51 °C.

b) Közbenső szinti sarokszoba:

— ha $k_{fal} = 1{,}05$ és $k_{abl} = 5{,}3$, akkor 18,6 °C,
— ha $k_{fal} = 0{,}6$ és $k_{abl} = 3{,}0$, akkor 18,92 °C,
— ha $k_{fal} = 0{,}3$ és $k_{abl} = 2{,}5$, akkor 19,26 °C.

c) Legfelső szinti sarokszoba:

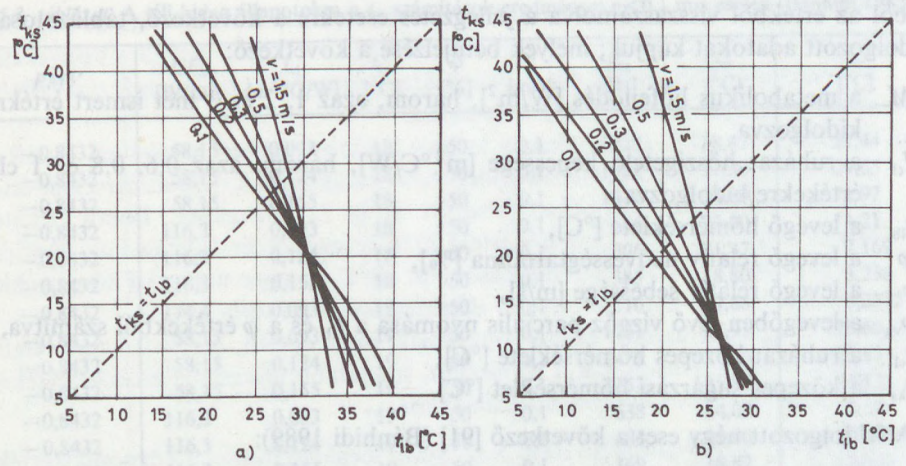
— ha $k_{fal} = 1{,}05$ és $k_{abl} = 5{,}3$, akkor 17,6 °C,
— ha $k_{fal} = 0{,}6$ és $k_{abl} = 3{,}0$, akkor 18,25 °C,
— ha $k_{fal} = 0{,}3$ és $k_{abl} = 2{,}5$, akkor 18,92 °C.

Mindezen adatok birtokában határozhatjuk meg, hogy az emberi komfort szempontjából miként alakulnak az egyéb paraméterek, előbb a komfortdiagramok, majd a *PPD* értékek alapján.

15.3. A komfortdiagramok adatai

A komfortdiagramok szempontjából azt a diagrampárt emeljük ki *(15.2. ábra)*, amelyeknél a fő paraméter

— a levegő hőmérséklete,
— a határoló-szerkezetek közepes sugárzási hőmérséklete,
— a relatív légsebesség,



15.2. ábra. $t_{ks}=t_{lb}$ paraméterű Fanger-komfortdiagram: a) nyugalmi állapotra, b) közepes aktivitásra (Fanger 1982)

emellett nyugalmi állapotot és közepes aktivitást vizsgálunk, először a lakásokban adódó 0,5 clo értékű ruházathoz. A diagramokból megállapítható, ha a 20 °C levegő-hőmérséklet „alapadottság", akkor a szükséges közepes sugárzási hőmérséklet

— nyugalmi állapot esetén 33 °C,
— közepes aktivitás esetén kb. 18 °C.

Mivel lakások esetében az egyik alapkövetelmény, hogy nyugalmi állapotban (ülve olvasás, tv-nézés stb.) megfelelő legyen a hőérzet, megállapítható, hogy a kellemes hőérzethez nagyobb hőszigetelő képességű ruházat szükséges. Amennyiben megkeressük és megnézzük az 5. fejezetben a Fanger-módszer erre vonatkozó diagramjait (5.28.) ábra, ezekből megállapíthatjuk, hogy csak 1,5 clo értékű ruházat ad megfelelő komfortérzetet (5%-os elégedetlenségi PPD faktorral) a 20 °C levegő- és 18—19 °C közepes sugárzási hőmérséklet esetén. Ezt az értéket azonban hazai vizsgálatokkal ellenőriztük, amelyeket a 15.5. alfejezetben ismertetünk részletesen.

15.4. A *PPD* értékekből adódó értékek

Az előző, komfortdiagramokkal végzett számítások esetében 5%-os elégedetlenségi faktort (*PPD* érték) vettünk figyelembe (Bánhidi és Szabó 1981). Az 5.3. alfejezetben részletesen is ismertettük e módszert és ugyanitt mutattuk be a hőkörnyezettel elégedetlenek esetére kidolgozott *PMV—PPD*-elméletet, illetve összefüggéseket.

Ez utóbbi módszert világszerte alkalmazzák, elsősorban azért, mert az optimális 5%-os elégedetlenségi faktorral szemben egyre inkább a 20%-os értéket veszik figyelembe (Imre és mtsai 1987), bár találkozunk 10%-os értékkel is (Fanger 1980).

Amennyiben az általánosabban használt és hazai vonatkozásban is reálisabb 20%-ot vesszük figyelembe, akkor a téli állapotra az (5.32) ábrából −0,8432 érték adódik.

Ebből az értékből visszaszámolva a jellegzetes esetekre a következő, táblázatosan feldolgozott adatokat kapjuk; melyek betűjelzése a következő:

M a metabolikus hőfejlődés [W/m^2], három, azaz 1, 2 és 3 met ismert értékre kidolgozva,
I_{cl} a ruházat hőszigetelő képessége [m^2 °C/W], három, azaz 0,6, 0,8 és 1 clo értékekre kidolgozva,
t_{lb} a levegő hőmérséklete [°C],
φ a levegő relatív nedvességtartalma [%],
v a levegő relatív sebessége [m/s],
p_{vg} a levegőben lévő vízgőz parciális nyomása a t_{lb} és a φ értékekből számítva,
t_{cl} a ruházat közepes hőmérséklete [°C],
t_{ks} a közepes sugárzási hőmérséklet [°C].

A feldolgozott négy eset a következő [91] (Bánhidi 1989):

a) Ebben az esetben a közepes sugárzási hőmérséklet változásának hatása a kérdés *(15.1. táblázat)*. Látható, hogy a korábbiakban vázolt hazai épületek esetében adódó közepes sugárzási hőmérséklet értékei csak 1 met hőtermelés, tehát huzamosabban pihenő ember esetén biztosítanak 20% körüli elégedetlenségi faktort.

15.1. táblázat. A téli hideg állapotokra t_{ks} számítások eredményei $v \leq 0{,}1$ m/s esetén (Bánhidi 1982c)

PMV	M/F_{Du} [W/m^2]	I_{cl} [m^2 °C/W]	t_{lb} [°C]	φ [%]	v [m/s]	p_{vg} [Pa]	t_{cl} [°C]	t_{ks} [°C]
−0,8432	58,15	0,093	20	50	0,1	1164	29,18	27,02
−0,8432	58,15	0,124	20	50	0,1	1164	27,55	23,58
−0,8432	58,15	0,155	20	50	0,1	1164	25,92	20,32
−0,8432	116,3	0,093	20	50	0,1	1164	23,63	4,611
−0,8432	116,3	0,124	20	50	0,1	1164	20,70	−2,020
−0,8432	116,3	0,155	20	50	0,1	1164	17,76	−9,075
−0,8432	174,4	0,093	20	50	0,1	1164	18,95	−17,47
−0,8432	174,4	0,124	20	50	0,1	1164	15,00	−28,96
−0,8432	174,4	0,055	20	50	0,1	1164	11,04	−43,41

15.2. táblázat. A téli hideg állapotokra t_{ks} számítások eredményei $v = 0{,}3$ m/s esetén (Bánhidi 1982c)

PMV	M/F_{Du} [W/m^2]	I_{cl} [m^2 °C/W]	t_{lb} [°C]	φ [%]	v [m/s]	p_{vg} [Pa]	t_{cl} [°C]	t_{ks} [°C]
−0,8432	58,15	0,093	20	50	0,3	1164	29,18	32,22
−0,8432	58,15	0,124	20	50	0,3	1164	27,55	28,37
−0,8432	58,15	0,155	20	50	0,3	1164	25,92	24,38
−0,8432	116,3	0,093	20	50	0,3	1164	23,63	7,569
−0,8432	116,3	0,124	20	50	0,3	1164	20,70	−1,400
−0,8432	116,3	0,155	20	50	0,3	1164	17,76	−11,25
−0,8432	174,4	0,093	20	50	0,3	1164	18,95	−18,59
−0,8432	174,4	0,124	20	50	0,3	1164	15,00	−35,28
−0,8432	174,4	0,155	20	50	0,3	1164	11,04	−56,16

15.3. táblázat. A téli hideg állapotokra a t_{lb} számítások eredményei $v \leq 0{,}1$ m/s esetén (Bánhidi 1982c)

PMV	M/F_{Du} [W/m²]	I_{cl} [m² °C/W]	t_{ks} [°C]	φ [%]	v [m/s]	p_{vg} [Pa]	t_{cl} [°C]	t_{lb} [°C]
−0,8432	58,15	0,093	18	50	0,1	1829	28,87	27,44
−0,8432	58,15	0,124	18	50	0,1	1551	27,30	24,65
−0,8432	58,15	0,155	18	50	0,1	1319	25,80	21,97
−0,8432	116,3	0,093	18	50	0,1	665	23,00	11,21
−0,8432	116,3	0,124	18	50	0,1	506	21,37	7,169
−0,8432	116,3	0,155	18	50	0,1	385	18,80	3,256
−0,8432	174,4	0,093	18	50	0,1	310	19,88	0,2272
−0,8432	58,15	0,093	19	50	0,1	1741	28,91	26,60
−0,8432	58,15	0,124	19	50	0,1	1475	27,35	23,82
−0,8432	58,15	0,155	19	50	0,1	1253	25,85	21,13
−0,8432	116,3	0,093	19	50	0,1	638	24,02	10,59
−0,8432	116,3	0,124	19	50	0,1	486	21,40	6,566
−0,8432	116,3	0,155	19	50	0,1	369	18,82	2,666
−0,8432	58,15	0,093	20	50	0,1	1655	28,94	25,74
−0,8432	58,15	0,124	20	50	0,1	1401	27,40	22,98
−0,8432	58,15	0,155	20	50	0,1	1186	25,91	20,29
−0,8432	116,3	0,093	20	50	0,1	612	24,05	9,976
−0,8432	116,3	0,124	20	50	0,1	466	21,42	5,963
−0,8432	116,3	0,155	20	50	0,1	354	18,85	2,075

15.4. táblázat. A téli hideg állapotokra a t_{lb} számítások eredményei $v = 0{,}3$ m/s esetén (Bánhidi 1982c)

PMV	M/F_{Du} [W/m²]	I_{cl} [m² °C/W]	t_{ks} [°C]	φ [%]	v [m/s]	p_{vg} [Pa]	t_{cl} [°C]	t_{lb} [°C]
−0,8432	58,15	0,093	18	50	0,3	1886	28,84	27,97
−0,8432	58,15	0,124	18	50	0,3	1643	27,25	25,62
−0,8432	58,15	0,155	18	50	0,3	1433	25,79	23,34
−0,8432	116,3	0,093	18	50	0,3	845	23,86	14,88
−0,8432	116,3	0,124	18	50	0,3	656	21,20	11,09
−0,8432	116,3	0,155	18	50	0,3	508	18,60	7,237
−0,8432	174,4	0,093	18	50	0,3	422	19,72	4,532
−0,8432	58,15	0,093	19	50	0,3	1830	28,87	27,45
−0,8432	58,15	0,124	19	50	0,3	1594	27,28	25,11
−0,8432	58,15	0,155	19	50	0,3	1390	25,74	22,84
−0,8432	116,3	0,093	19	50	0,3	817	23,88	14,35
−0,8432	116,3	0,124	19	50	0,3	634	21,22	10,48
−0,8432	116,3	0,155	19	50	0,3	491	18,63	6,712
−0,8432	174,4	0,093	19	50	0,3	406	19,74	4,004
−0,8432	58,15	0,093	20	50	0,3	1774	28,89	26,93
−0,8432	58,15	0,124	20	50	0,3	1545	27,30	24,59
−0,8432	58,15	0,155	20	50	0,3	1349	25,78	22,34
−0,8432	116,3	0,093	20	50	0,3	789	23,90	13,82
−0,8432	116,3	0,124	20	50	0,3	611	21,25	9,952
−0,8432	116,3	0,155	20	50	0,3	473	18,65	6,181
−0,8432	174,4	0,093	20	50	0,3	391	19,76	3,470

b) A *15.2. táblázat*ban található adatok azonosak, mint az a) esetben, de nagyobb relatív légsebességnél ($v = 0{,}3$ m/s). Mivel ez utóbbi érték növeli a konvekciós hőleadás mértékét, ennek ellensúlyozására magasabb közepes sugárzási hőmérséklet szükséges a 20%-os *PPD* értékhez.

c) A következő, *15.3. táblázat*ban a helyzet fordított. Ebben az esetben 18, 19 és 20 °C közepes sugárzási hőmérséklet esetén szükséges levegőhőmérséklet-értékek találhatók az előzőekben felsorolt M és I_{cl} értékekhez. Ebből látható, hogy a magyar előírásoknak megfelelő 20 °C levegőhőmérséklet és 1 clo hőszigetelő képességű ruházat esetén lakásokban 20 °C közepes sugárzási hőmérséklet szükséges a 20%-nál alacsonyabb elégedetlenségi faktorhoz.

d) A *15.4. táblázat* azonos esetre vonatkozik, mint c) eset, de $v = 0{,}3$ m/s relatív légsebességhez. Hasonlóan a b) esethez, magasabb levegőhőmérséklet-értékek szükségesek azonos hőérzet biztosításához.

Mint a *PMV—PPD*-görbéből (lásd 5.32. ábra) megállapítható, a központi 0 értékhez szimmetrikus és attól jobbra eső adatok a hidegre, az attól balra esők pedig a melegre panaszkodók százalékos értékét adják. Ezért a következőkben azokat az értékeket adjuk meg, amikor a melegre panaszkodók százalékos értéke eléri a 20%-ot.

15.5. táblázat. A téli meleg állapotokra t_{ks} számítások eredményei $v \leq 0{,}1$ m/s esetén (Bánhidi 1982c)

PMV	M/F_{Du} [W/m²]	I_{cl} [m² °C/W]	t_{lb} [°C]	φ [%]	v [m/s]	p_{vg} [Pa]	t_{cl} [°C]	t_{ks} [°C]
0,8432	58,15	0,093	20	50	0,1	1164	31,58	37,39
0,8432	58,15	0,124	20	50	0,1	1164	30,75	35,78
0,8432	58,15	0,155	20	50	0,1	1164	29,92	34,07
0,8432	116,3	0,093	20	50	0,1	1164	28,44	27,41
0,8432	116,3	0,124	20	50	0,1	1164	27,11	24,65
0,8432	116,3	0,155	20	50	0,1	1164	25,78	22,10
0,8432	174,4	0,093	20	50	0,1	1164	24,44	13,08
0,8432	174,4	0,124	20	50	0,1	1164	22,32	8,727
0,8432	174,4	0,055	20	50	0,1	1164	20,19	4,208

15.6. táblázat. A téli meleg állapotokra t_{ks} számítások eredményei $v = 0{,}3$ m/s esetén (Bánhidi 1982c)

PMV	M/F_{Du} [W/m²]	I_{cl} [m² °C/W]	t_{lb} [°C]	φ [%]	v [m/s]	p_{vg} [Pa]	t_{cl} [°C]	t_{ks} [°C]
0,8432	58,15	0,093	20	50	0,3	1164	31,58	42,72
0,8432	58,15	0,124	20	50	0,3	1164	30,75	40,94
0,8432	58,15	0,155	20	50	0,3	1164	29,92	39,14
0,8432	116,3	0,093	20	50	0,3	1164	28,44	32,34
0,8432	116,3	0,124	20	50	0,3	1164	27,11	29,21
0,8432	116,3	0,155	20	50	0,3	1164	25,78	26,00
0,8432	174,4	0,093	20	50	0,3	1164	24,44	16,38
0,8432	174,4	0,124	20	50	0,3	1164	22,32	10,54
0,8432	174,4	0,055	20	50	0,3	1164	20,19	4,366

15.7. táblázat. A téli meleg állapotokra t_{lb} számítások eredményei $v \leq 0{,}1$ m/s esetén (Bánhidi 1982c)

PMV	M/F_{Du} [W/m^2]	I_{cl} [m^2 °C/W]	t_{ks} [°C]	φ [%]	v [m/s]	p_{vg} [Pa]	t_{cl} [°C]	t_{ks} [°C]
0,8432	58,15	0,093	18	50	0,1	3015	39,75	36,28
0,8432	58,15	0,124	18	50	0,1	2758	29,80	34,64
0,8432	58,15	0,155	18	50	0,1	2525	28,89	33,08
0,8432	116,3	0,093	18	50	0,1	1841	28,01	27,55
0,8432	116,3	0,124	18	50	0,1	1617	26,71	25,35
0,8432	116,3	0,155	18	50	0,1	1424	25,49	23,24
0,8432	174,4	0,093	18	50	0,1	937	24,65	16,48
0,8432	174,4	0,124	18	50	0,1	779	22,80	13,63
0,8432	174,4	0,155	18	50	0,1	651	21,02	10,89
0,8432	58,15	0,093	19	50	0,1	2891	30,81	35,50
0,8432	58,15	0,124	19	50	0,1	2640	29,86	33,87
0,8432	58,15	0,155	19	50	0,1	2421	28,97	32,32
0,8432	116,3	0,093	19	50	0,1	1757	28,06	26,76
0,8432	116,3	0,124	19	50	0,1	1543	26,78	24,57
0,8432	116,3	0,155	19	50	0,1	1359	25,55	22,46
0,8432	174,4	0,093	19	50	0,1	900	24,69	15,85
0,8432	174,4	0,124	19	50	0,1	748	22,84	13,01
0,8432	174,4	0,155	19	50	0,1	626	21,06	10,29
0,8432	58,15	0,093	20	50	0,1	2769	30,86	34,71
0,8432	58,15	0,124	20	50	0,1	2528	29,92	33,09
0,8432	58,15	0,155	20	50	0,1	2318	29,04	31,56
0,8432	116,3	0,093	20	50	0,1	1675	28,11	25,96
0,8432	116,3	0,124	20	50	0,1	1471	26,84	23,77
0,8432	116,3	0,155	20	50	0,1	1297	25,64	21,70
0,8432	174,4	0,093	20	50	0,1	863	24,72	15,21
0,8432	174,4	0,124	20	50	0,1	719	22,88	12,39
0,8432	174,4	0,155	20	50	0,1	601	21,11	9,694

Hasonlóan, a korábbiakban felsorolt és hideg esetre vonatkozó értékek meleg esetre vonatkozó variációi:

— az a) esetnek megfelelőek a *15.5 táblázat*ban,
— a b) esetnek megfelelőek a *15.6. táblázat*ban,
— a c) esetnek megfelelőek a *15.7. táblázat*ban,
— a d) esetnek megfelelőek a *15.8. táblázat*ban

találhatók.

15.8. táblázat. A téli meleg állapotokra t_{lb} számítások eredményei $v = 0{,}3$ m/s esetén (Bánhidi 1982c)

PMV	M/F_{Du} [W/m²]	I_{cl} [m²°C/W]	t_{ks} [°C]	φ [%]	v [m/s]	p_{vg} [Pa]	t_{cl} [°C]	t_{lb} [°C]
0,8432	58,15	0,093	18	50	0,3	2713	30,88	34,34
0,8432	58,15	0,124	18	50	0,3	2511	29,94	32,98
0,8432	58,15	0,155	18	50	0,3	2332	29,04	31,66
0,8432	116,3	0,093	18	50	0,3	1858	28,00	27,71
0,8432	116,3	0,124	18	50	0,3	1662	26,67	25,82
0,8432	116,3	0,155	18	50	0,3	1492	25,41	24,01
0,8432	174,4	0,093	18	50	0,3	1110	24,48	19,19
0,8432	174,4	0,124	18	50	0,3	939	22,59	16,51
0,8432	174,4	0,155	18	50	0,3	795	20,77	13,93
0,8432	58,15	0,093	19	50	0,3	2638	30,91	33,85
0,8432	58,15	0,124	19	50	0,3	2444	29,98	32,49
0,8432	58,15	0,155	19	50	0,3	2268	29,07	31,17
0,8432	116,3	0,093	19	50	0,3	1805	28,03	27,22
0,8432	116,3	0,124	19	50	0,3	1615	26,71	25,33
0,8432	116,3	0,155	19	50	0,3	1450	25,46	23,53
0,8432	174,4	0,093	19	50	0,3	1077	24,51	18,69
0,8432	174,4	0,124	19	50	0,3	910	22,63	16,02
0,8432	174,4	0,155	20	50	0,3	770	20,81	13,44
0,8432	58,15	0,093	20	50	0,3	2565	30,95	33,35
0,8432	58,15	0,124	20	50	0,3	2376	30,02	32,00
0,8432	58,15	0,155	20	50	0,3	2207	29,12	30,69
0,8432	116,3	0,093	20	50	0,3	1753	28,06	26,72
0,8432	116,3	0,124	20	50	0,3	1568	26,75	24,84
0,8432	116,3	0,155	20	50	0,3	1407	25,50	23,04
0,8432	174,4	0,093	20	50	0,3	1043	24,54	18,19
0,8432	174,4	0,124	20	50	0,3	881	22,67	15,52
0,8432	174,4	0,155	20	50	0,3	745	20,86	12,95

15.5. Hazai vizsgálati eredmények a hőérzetileg elfogadható határértékek meghatározására

A paneles építési mód alkalmazásának kezdeti időszakában a falak szigetelőképessége viszonylag kedvezőtlenebb, $k = 1$—$1{,}2$ W/(m²K) érték volt Magyarországon. Az ebből adódó alacsonyabb felületi hőmérsékletek következtében megnövekedő hőérzeti panaszok ellenőrzésére a 70-es évek közepétől helyszíni, majd ezt követően, a 80-as évek elején, egy laboratóriumi kísérletsorozatot hajtottak végre az Építéstudományi Intézetben, melynek célja annak ellenőrzése volt, hogy az így adódó belső felületi hőmérsékletérték és különböző belső levegőhőmérséklet-értékek esetében hogyan alakul a térben tartózkodók szubjektív hőérzete, milyen szerepe lehet a ruházat hőszigetelő képessége növelésének a panaszok elhárításában stb. (Bánhidi és mtsai 1985a, 1987, 1988).

A következőkben ezt a kísérletsorozatot és ennek eredményeit foglaljuk össze röviden. A kísérletek ismertetését azért is szükségesnek tartjuk, hogy — a következő

fejezetben bemutatásra kerülő legújabb vizsgálatsorozatok eredményét is figyelembe véve — képet kapjon az olvasó a komfortkutatás metodikai fejlődéséről is. Ugyanakkor az akkori megállapítások ma is helytállóak.

15.5.1. Helyszíni, rutinszerű hőtechnikai méréssorozat 1976-ban

E méréssorozat keretében elsősorban a Távfűtő Művek rutinszerű méréseinek adatait gyűjtötték össze, kb. 160 ezer lakóhelyiségben végzett vizsgálat alapján. Az adatgyűjtésnek kettős célja volt:

— a lakóhelyiségekben mért levegőhőmérsékletek átlagértékeinek meghatározása,
— a panaszolt helyeken — tehát kedvezőtlen hőérzet esetén — a mért értékek kigyűjtése.

A Távfűtő Művek mért adatai a magyarországi előírások szerint szobaközépen, 1,5 m magasságban mért levegőhőmérséklet-értékek.

15.5.2. Helyszíni, részletes hőtechnikai mérések és a lakóházak hőérzetének ellenőrzése az 1976/77. évi fűtési idényben

Az ellenőrzés során összesen 268 alanyt (171 nőt és 97 férfit) vizsgáltak.
A mérések folyamán

— 14 db hőtechnikai (levegő-, határoló szerkezet hőmérséklete, Vernon-hőmérséklet stb.),
— 6 db, a lakás jellegére vonatkozó (helyiség rendeltetése, üvegezési arány stb.) és
— 2 db, az egyén szubjektív hőérzetével kapcsolatos adatot rögzítették, mégpedig

— a Chrenko-skála szerinti hőérzeti szavazatot és
— az alany szerint optimálisnak vélt levegőhőmérséklet-értéket.

A külső levegő hőmérséklete a vizsgálati időszak alatt +2 és −5 °C között változott.

15.5.3. Helyszíni vizsgálatok diákszállókban és öregek otthonában (1977/78.)

Az ellenőrzéseket az 1977/78. évi fűtési idényben végezték, és ennek során összesen 397 alanyt (224 nő és 173 férfi) vizsgáltak, amelyből

— idős nő	192, korátlaguk	77,27 év,
— fiatal nő	32, korátlaguk	21,75 év,
— idős férfi	66, korátlaguk	77,5 év,
— fiatal férfi	107, korátlaguk	23,34 év.

A mérések folyamán 27 adatot rögzítettek, amelyből

— 6 a lakás jellegére,
— 10 a belső mikroklíma-paraméterekre,
— 4 a külső meteorológiai tényezőkre,
— 5 az egyénekre és szubjektív hőérzetükre

vonatkozott, míg 2 általános jellegű volt.

15.5.4. Vizsgálatok az ÉTI Mikroklíma Laboratóriumában az 1978/79. évi fűtési idényben

A vizsgálatok során 22 alanyt ellenőriztek, ebből az egyik csoport 12 fős, 60 év feletti, a másik 10 fős, és 20—24 év közötti életkorú volt (fele nő, fele férfi arányban).

A csoport kiválasztásának érdekessége:

— az idősek szakaszos fűtésű családi házban laktak, ahol maguk fűtöttek, általában egy helyiséget,
— a fiatalok folyamatos fűtésű (távfűtéses) diákszállókban laktak, ahol minden helyiség — még a folyosók is — fűtöttek.

A vizsgálatsorozat célja: egy panelos lakóépület közbenső szinti (5 × 3 m alapterületű, 2,8 m belmagasságú), egy külső fallal (ebből 3 × 1 m parapet és 1,8 × 3 m ablak) rendelkező lakószobában, −5 °C külső levegő-hőmérséklet mellett kialakuló mikroklíma szimulálása, és a benntartózkodók fizikai adatainak, hőérzetének, reagálásának meghatározása a következő négy esetben:

a) az alanyok optimális (kellemes) hőérzetéhez tartozó levegőhőmérséklet-értékek meghatározása,
b) az alanyok hőérzetének alakulása +20 °C belső levegő-hőmérséklet esetén,
c) az alanyok hőérzetének alakulása +18 °C belső levegő-hőmérséklet, de jobb minőségű határoló szerkezet esetén.
d) az alanyok hőérzetének alakulása +20 °C belső levegő-hőmérséklet, de jobb minőségű határoló szerkezet esetén.

15.5.5. A mérési metodika

A mérések — mint az előzőekből látható — két fő részre, helyszíni és laboratóriumi vizsgálatokra oszthatók. Mindkét módszer részletes ismertetésétől eltekintünk.

A helyszíni mérések metodikáját több korábbi publikációban már részletesen ismertették, pl. Bánhidi (1976), Macskásy és Bánhidi (1985).

Itt csak megjegyezzük, hogy általában

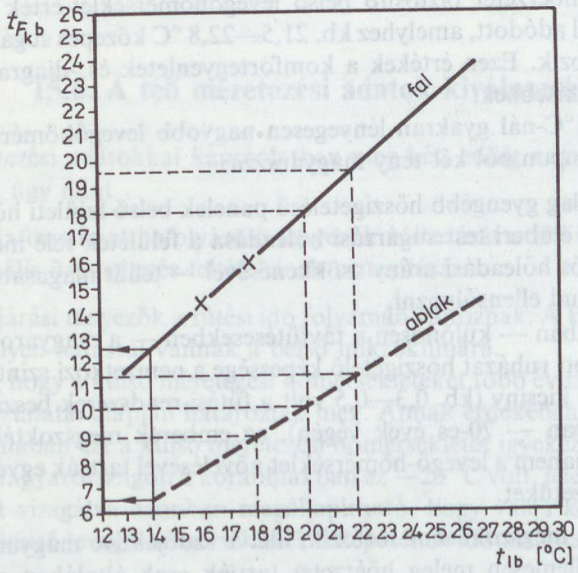
— 3 db, a külső időjárásra vonatkozó tényezőt,
— 10—12 db, a lakóhelyiségben mért hőtechnikai adatot,

— 8—10 db, a vizsgálati személyek és azok szubjektív hőérzetére vonatkozó adatot
és
— 6—8 db, a lakás, lakóhelyiség jellegére vonatkozó adatot

rögzítettek.

A laboratóriumi mérések folyamán egyébként olyan külső falszerkezetet szimuláltak, amelynek épület-fizikai jellemzői a következők voltak:

— falszerkezetre $k_{fal} = 0{,}9$ W/(m²K),
— ablakra $k_{abl} = 4{,}6$ W/(m²K).



15.3. ábra. A külső fal és ablak belső felületi hőmérsékletének ($t_{F_{kb}}$) változása (Bánhidi 1985e)

A külső hőmérséklet értékét a hőfok gyakoriságának megfelelően −5 °C-nak tekintették, és így a külső fal, valamint ablak belső felületi hőmérséklete a *15.3. ábrán* látható módon változott. A relatív nedvességtartalom a mérőhelyiségben 50% volt.

A vizsgálatsorozat d) változata esetén a jobb szigetelés mértékét a fal és az ablakok esetében 0,7, illetve 3,5 W/(m²K) értékkel vették figyelembe.

E mérés metodikájának részletes ismertetésétől itt ugyancsak eltekintünk, azonban megjegyezzük, hogy

— 14 hőtechnikai,
— 22 fiziológiai és
— 12 közvetlenül az alanyokra vonatkozó

adatot rögzítettek, részben naponta három alkalommal, részben félóránként.

15.5.6. A mérési eredmények értékelése

A mérési eredményeket sok szempontból értékelték, de itt csak az azokból levonható általános következtetéseket foglaljuk össze.

a) A panelos lakóépület lakóhelyiségeiben a 70-es évek végén a mért levegő-hőmérséklet általában az előírt 20 °C-tól eltérő, mégpedig gyakran — különösen a középmagas épületek felső szintjein — lényegesen magasabb volt. Az átlaghőmérséklet többezer lakásra vonatkozóan 23 °C körüli értékre adódott. Meg kell jegyezni, hogy az adatok legnagyobb részt a Távfűtő Műveknek az elmúlt években végzett beszabályozásai előtti időszakra estek.

b) A kellemes hőérzetet biztosító belső levegőhőmérséklet-érték általában 23—23,5 °C körül adódott, amelyhez kb. 21,5—22,8 °C közepes sugárzási hőmérsékletérték tartozik. Ezen értékek a komfortegyenletek és -diagramok adataihoz képest kissé kisebbek.

c) Az előírt 20 °C-nál gyakran lényegesen nagyobb levegőhőmérséklet-értékeket hőérzeti szempontból két tény magyarázza:

— a viszonylag gyengébb hőszigetelésű panelek belső felületi hőmérséklete alacsony, az emberi test sugárzási hőleadása a felületek felé megnő, amelyet a konvekciós hőleadási arány csökkenésével — tehát magasabb léghőmérséklettel — tud ellensúlyozni,

— a lakásokban — különösen a távfűtésesekben — a magyarországi általánosan hordott ruházat hőszigetelő képessége a nemzetközi szinthez viszonyítva is nagyon kicsiny (kb. 0,3—0,5 volt a fűtési rendszerek beszabályozás előtti időszakában — 70-es évek végén), az emberek megszokták, hogy nem a ruházat, hanem a levegő-hőmérséklet növelésével tartsák egyensúlyban kellemes hőérzetüket.

d) Ugyancsak a megszokáshoz tartozik, illetve szubjektíve magyarázható, hogy a meleg és kellemesen meleg hőérzetet tartják csak általában megfelelőnek, a kellemesen hűvössel szemben.

e) Az energiagazdasági célkitűzéseknek megfelelő, még elfogadható, megengedhető hőérzeti határértékek (kellemesen hűvös hőérzet 20%-os elégedetlenségi faktorral, *PPD* értékkel) 20 °C levegő-hőmérséklet esetén elérhetők paneles, egy külső határoló szerkezetes lakószobák esetében, kb. 19,5 °C-os közepes sugárzási hőmérséklettel, kb. 0,9 clo értékű ruházat viselése mellett.

f) Öregek és fiatalok esetében a kellemesen hűvös hőérzet eléréséhez eltérő paraméterek szükségesek, mégpedig öregek esetében kb. 1—2 °C-kal nagyobb levegő- vagy közepes sugárzási hőmérséklet.

g) A hideg felületek kedvezőtlen hőérzeti hatását jól érzékeltetik a laboratóriumi kísérletek során az ablaktól 0,5 m-re és a szoba közepén mért Vernon-gömbhőmérséklet adatok. A kettő között gyakran 6—8 °C különbséget is mértek.

h) A 18 °C levegő-hőmérséklet és az adott határoló szerkezetek mellett még a nagyon jó hőszigetelésűnek tekinthető 1 clo értékű ruházat sem biztosítja a 20% alati *PPD* faktort, s emellett az ilyen ruházat a lakáson belüli tevékenységhez szükséges mozgáslehetőséget is korlátozza.

Érdekesek az akkori javaslatok a tervezők részére. A tervezők a komfortegyenlet vagy -diagram alapján tervezhetnek, de a következő korrekciós tényezőket vegyék figyelembe:

— panelos épületek közbenső szinti lakószobái esetében a figyelembe veendő közepes sugárzási hőmérsékletérték 4 °C-kal lehet kisebb,
— a legfelső szinti és sarokszobák esetében 2,5 °C-kal lehet kisebb a közepes sugárzási hőmérséklet,
— kifejezetten idősek lakóhelyiségei esetében — tehát például öregek otthona — az előző csökkentési tényező értéke normál helyiségek esetében csak 2,5 °C, sarokhelyiségek esetében pedig 1 °C, a közepes sugárzási hőmérsékletre vonatkoztatva.

15.6. A téli méretezési adatok kiválasztása

A téli méretezési adatokkal kapcsolatban még két, eddig nem vizsgált esetet kell ellenőriznünk, úgy mint

— az energiaforgalmat befolyásoló tényezők változását a téli időszakban és
— az optimális üzemeltetés feltételeinek biztosítását.

A külső időjárási tényezők a fűtési idő folyamán változnak. A kérdés az, hogy ezen változások milyen hatással vannak a belső mikroklímára.

Ismert tény, hogy a külső méretezési hőmérsékleteket több évtizedes meteorológiai mérések tapasztalatai alapján határozták meg. Annak érdekében, hogy az alulfűtést elkerüljék, általában ezt a külső méretezési hőmérsékletet igyekeztek alacsony értékkel felvenni, Magyarországon a korábbiakban ez −20 °C volt, jelenleg pedig −15 °C.

A jelenséget vizsgálva azonban megállapítható, hogy valós körülmények között ezen alacsony külső levegő-hőmérsékletek fellépésének időtartama csekély, így stacio-

15.9. táblázat. A hazai lehűlési szakaszok jellemzői (Gábor és Zöld 1981)

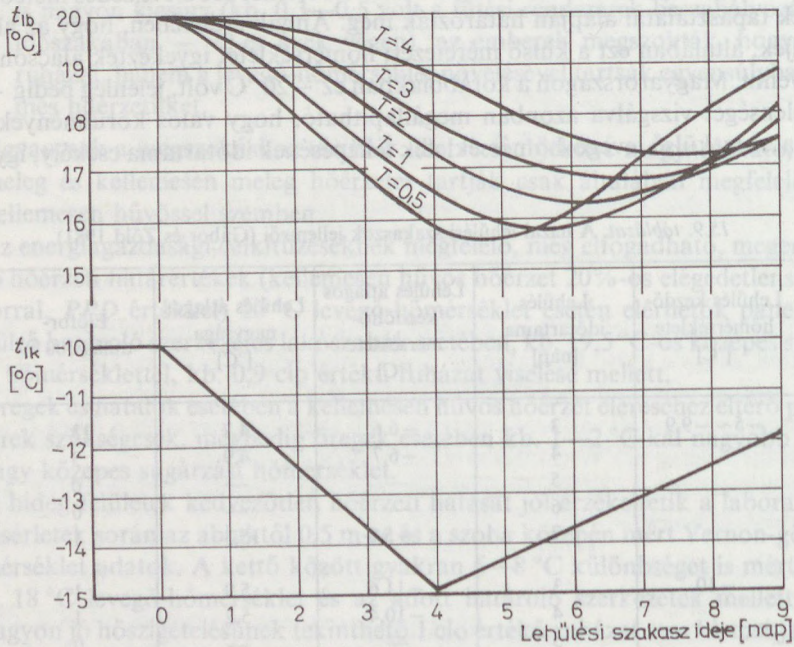
Lehűlés kezdőhőmérséklete [°C]	Lehűlés időtartama [nap]	Lehűlés átlagos kezdőhőmérséklete [°C]	Lehűlés átlagos nagysága [°C]	Előfordulás/100 év
−5 ~ −9,9	3	−6,6	4,7	13
	4	−6,7	4,9	3
	5	—	—	0
	6	—	—	0
	7	−5,0	15,3	1
−10	3	−11,6	5,9	1
	4	−10,4	5,2	1
	5	—	—	0
	6	—	—	0
	7	—	—	0

ner viszonyok kialakulására nincs mód. Általában 3—5 (nagyon ritkán 7) napos a lehűlési szakaszok hossza, amelyet a minimumérték elérése után egy hosszabb felmelegedési szakasz követ (példaképpen lásd *15.9. táblázat*ot). A folyamat szemléltetésére egy konkrét példát mutatunk be (Gábor és Zöld 1981).

Tekintsünk a −5 °C és a −9,9 °C hőmérséklet-intervallumban kezdődő lehűlést, amelynek időtartama 4 nap. A választást indokolja, hogy ha a méretezést ennek alapján készítjük, akkor a statisztikai feldolgozások szerint 33 évenként várható egy olyan hidegperiódus, amely mind időtartamánál, mind kezdő hőmérsékleténél fogva a választott feltételeknél kedvezőtlenebb. A megbízhatósági szint 97%-os, tehát a

15.10. táblázat. Belső hőmérséklet változása (Számpélda) (Gábor és Zöld 1981)

Helyiség idő állandója Z [nap]	t_{lb} [°C] a lehűlés napjai				$t_{lb\,min}$ késése $t_{lb\,min}$-hoz viszonyítva [nap]	$t_{lb\,min}$ [°C]
	1	2	3	4		
0,5	19,30	18,09	16,90	15,64	0,54	15,41
1	19,44	18,60	17,49	16,29	1,08	15,76
2	19,73	19,09	18,30	17,23	2,04	16,32
3	19,80	19,35	18,64	17,83	2,79	16,78
4	19,86	19,45	18,82	18,19	3,32	17,10



15.4. ábra. Különböző időállandójú helyiségek hőmérsékletének változása a külső hőmérséklet mértékadó lehűlési szakaszában, állandó fűtőteljesítmény mellett (Gábor és Zöld 1981)

kockázat gyakorlatilag kisebb 3%-nál, mivel a -10 °C alatt kezdődő lehűlési szakaszok kezdő hőmérséklete alig különbözik az általunk választott intervallumhatártól.

A példaként vizsgált helyiségek lakószoba nagyságrendűek, Z értékük 0,5; 1; 2; 3 és 4. Ezen értékeknél 0,5 megfelel a könnyűszerkezetnek, az 1 és 2 érték panelszerkezetnek, könnyű belső válaszfalakkal, a 2 és 3 érték pedig házgyári panelszerkezet. Végül a 4 érték a belső terű helyiség a panelszerkezetben.

A *15.10. táblázat*ban és a *15.4. ábrán* mutatjuk be az eredményeket arra vonatkozóan, hogy

— hogyan változik a belső hőmérséklet,
— mikor lép fel a belső hőmérséklet minimuma,
— mennyi a belső hőmérséklet minimuma.

Feltételeztük, hogy a lehűlési szakasz kezdetén a belső hőmérséklet 20 °C volt.

Az eredményekből megállapítható, hogy ha a fűtőberendezést a lehűlési szakasz kezdő hőmérsékletének alsó határára méretezték, akkor az ezzel járó kockázat évente 2—3 nap időtartamú, 2—3 °C nagyságú alulfűtés. Kb. 33 évenként várható 3—4 °C nagyságú alulfűtés, és ennél kedvezőtlenebb feltétel 100 évenként egyszer várható.

Összegezve megállapíthatjuk, hogy az épület viselkedése az év folyamán változó, és az energiaforgalmat nem egyedül a hőmérséklet-különbség határozza meg, hanem lényeges szerepet játszik a napsugárzás-terhelés, a filtrációs levegőforgalom, a világítási terhelés és az egyéb belső hőforrások hatása is.

16. A téli hőkomfort biztosításának feltételei

Az energiagazdálkodási célkitűzések értelmében évek óta széles körű kutatások folynak a téli fűtési energiafogyasztás csökkentési lehetőségének tárgyában. Logikailag legegyszerűbb és legcélszerűbb megoldás, amelyet napjainkban alkalmaznak: javítják az épületek hőszigetelő képességét, a falak hőátbocsátási tényezőjét, valamint a nyílászáró szerkezetek infiltrációs tényezőjét csökkentik.

E területen hazánkban is számos kedvező eredményt értek el, de a megoldásnak több nehézsége adódik: a hőszigetelés növelésének költségkihatásai, a vártnál kisebb energiamegtakarítás, műszaki technikai problémák, újabban a penészesedési kérdések stb.

Ezek a problémák azonban más kedvezőbb gazdasági helyzetben lévő országokban is jelentkeztek, de ezek közül sokban, a szigetelésjavítás mellett egyéb megoldásokkal is próbálkoztak, illetve próbálkoznak. Ez a „más út" egybeesett az építészetben, épületgépészetben előtérbe került új tendenciával, az emberi hőkomfort követelményének fokozottabb figyelembevételével, az ún. humáncentrikussággal.

Az elv lényege, hogy az épületek belső tereinek kialakításakor nemcsak a szubjektív, esztétikai benyomásokat, hatásokat, a tér funkcionális követelményeinek maximális kielégítését tűzte ki célul, hanem az emberi hő- és közérzetet befolyásoló fizikai paraméterek és az emberi test kölcsönhatásának törvényszerűségeinek fokozott figyelembevételét is. Ez az elmélet a belső terek méretezése során a hőérzetet, mint az emberi közérzetet döntő módon befolyásoló tényezőt kezeli, illetve veszi figyelembe. Ennek értelmében a zárt terek méretezésekor az emberi test hőegyensúlyából indul ki, mint azt korábban — pl. 5. fejezetben — már bemutattuk.

Megindultak azonban olyan jellegű vizsgálatok is, amelyek az emberi test hőleadási viszonyait elemezték különböző fűtési megoldások esetén, pl. Berglund és mtsai (1984), Budiaková és mtsai (1989), Gagge és mtsai (1964), Gubenszkij (1965), Kröling (1987), McNall és Biddison (1970), Olesen és mtsai (179), Otesend (1986).

16.1. Hazai vizsgálatok és azok eredményei

A magyarországi kísérletek ezen az úton indultak meg (Bánhidi 1980c, Bánhidi és Simon 1989, Somogyi és mtsai 1985) azzal az eltérő kiindulási értékkel, hogy a falak hőátbocsátási tényezői — különösen a 10—30 évvel ezelőtt épített paneles épületek esetén — kedvezőtlenek, a $k = 0{,}9—1{,}2$ W/(m^{2}K) érték is gyakori. Így az aszimmetrikus sugárzás okozta helyi diszkomforthatások előfordulási aránya magas. A vizsgálatok a következő alapmeggondolásokból indultak ki.

Ismert tény, hogy normál körülmények között az emberi test hőleadása a környezete felé a következő arányokban valósul meg:

— sugárzással 42—44%,
— konvekcióval 32—34%,
— párolgással 22—26%.

Amennyiben azt akarjuk elérni, hogy az emberi test viszonylag kevesebb hőt adjon le, azaz hőveszteségе csökkenjen, akkor legcélszerűbb a legnagyobb arányút, a sugárzásos hőleadás mértékét csökkenteni. Ez gyakorlatilag azt jelenti, hgy a határoló szerkezetek felületi hőmérsékletét kell növelni. A konvekciós hőleadás csökkentése ugyanis a levegő hőmérsékletének növelését kívánja meg, amely eleve ellentmond az energiagazdálkodási követelményeknek. A párolgásos hőleadást pedig — mivel a komfortzónában 29 °C-ig az nem izzadság formájában jelentkezik — nem tudjuk befolyásolni.

Itt kell megjegyeznünk, hogy a különböző fűtési módok megítélését évtizedeken át a helyiségen belüli levegő-hőmérséklet alakulása szerint „osztályozták", mivel a méretezési előírások levegő-hőmérsékletre vonatkoztak. A korszerű, az emberi test hőegyensúlyán alapuló módszerek ezt az osztályozást tulajdonképpen feleslegessé tették, de ettől függetlenül célszerű és szükséges ismerni, hogy az egyes fűtési megoldások esetén milyen a várható „levegőhőmérséklet-profil" a helyiség belmagasságának a függvényében. Erre a korábbiakban két ábrát mutattunk be:

— a 11.8. ábrán Kollmar (1971) összefoglaló diagramját
— a 11.9. ábra pedig Wenzell és Müller (1967) összehasonlító adatait tartalmazta, radiátoros és sugárzó mennyezetfűtés esetén.

A sugárzásos hőleadás csökkentésének nem egyedüli útja a külső határoló felületek hőmérsékletének növelése a jobb hőszigeteléssel, hanem más elvi meggondolások is figyelembe vehetők, elsősorban a következő kettő:

a) A határoló felületek reflexióképességének növelése. Ebben az esetben az emberi test sugárzásos hőleadása a határoló szerkezetek felé, az ismert fizikai törvényszerűségek miatt, csökken.
b) Az adott tér hőveszteségének pótlására fűtést alkalmazunk, és ez az esetek döntő többségében a hideg külső felületek előtt, az ablak alatt elhelyezkedő fűtőtest. Ez feladatát többféleképpen teljesíti:

— felmelegíti a belső tér levegőjét,
— felmelegíti az ablakok résein beáramló hideg levegőt,

— magasabbra emeli a külső határoló felület — elsősorban az ablak — belső felületi hőmérsékletét,
— sugárzásos hőleadása az emberi test hőveszteségének egy részét sugárzásos hőnyereséggel kompenzálja.

Logikusnak tűnik tehát, hogy a fűtőtest két utóbbi szerepét használjuk ki, vagy a sugárzásos hőnyereség, vagy a felületi hőmérséklet csökkentése útján, a sugárzásos hőveszteség ellensúlyozására. Ez gyakorlatilag lehetővé tenné, hogy azonos teljesítményű, de ilyen szempontból megfelelőbb fűtési mód, fűtőtest megválasztásával lehessen teljesítménynövelés nélkül a kedvezőbb hőérzetet biztosítani (Macskásy és Molnár 1972, Macskásy 1978).

Az ezzel kapcsolatos kutatásokba bekapcsolódott az ÉTI Mikroklíma Laboratóriuma is.

A falak reflektálóképességének az emberi hőérzetre gyakorolt hatását egy közvetlen osztrák megbízás keretében vizsgáltuk, melynek során osztrák kutatók és kísérleti alanyok tartózkodtak, illetve dolgoztak a laboratóriumban. A vizsgálat ezen fázisában kapott eredményeket külön publikálták (Müller 1985).

A második lehetőség vizsgálatával gyakorlatilag azt kívántuk ellenőrizni, hogy különböző fűtési módok, fűtőtestek alkalmazásakor hogyan alakulnak az emberi test hőcsereviszonyai. Erre a célra az ÉTI-MAN-t a laboratóriumi termikus műemberét használtuk fel. A méréseket négy ütemben végeztük, 1985—1988-ban (Somogyi és Simon 1987).

A négy méréssorozatot két okból tartjuk szükségesnek részletesebben bemutatni:

— az eredmények újszerűek és jól alkalmazhatók,
— az alkalmazáshoz viszont célszerű ismerni az egész vizsgálati-értékelési módszert, mivel a mért esetek a mindennapi tervezési gyakorlatban sűrűn előfordulnak.

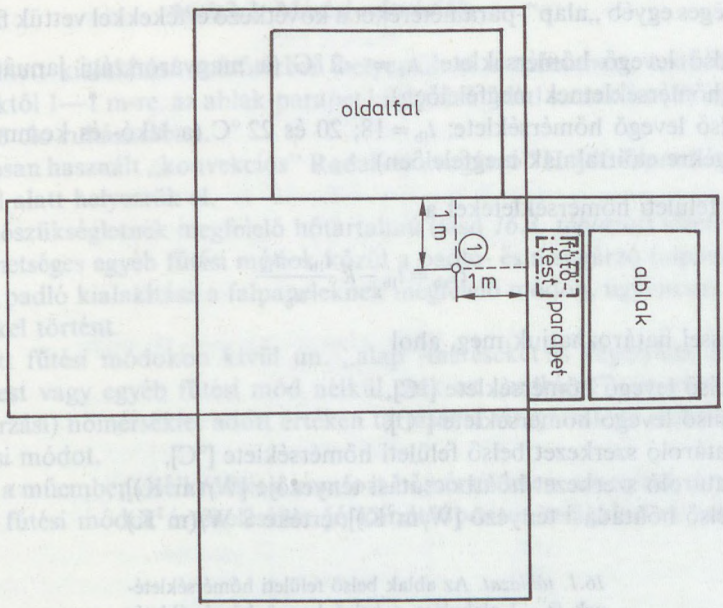
A negyedik vizsgált fűtési megoldás a légfűtés alapcélkitűzése kissé eltérő volt az első háromtól. Itt is a hideg külső falak ellensúlyozásáról és egy adott fűtési megoldás, emberi követelményértékek szerinti minősítéséről volt szó, a hőkezelés alapformációja a konvekció és a sugárzás. Ettől függetlenül az alkalmazott módszer azonos volt, és a sugárzásos, valamint konvekciós fűtések közötti összehasonlításra jó lehetőséget biztosítanak, ezért e fejezetben ismertetjük.

16.2. Az első vizsgálatsorozat

16.2.1. A vizsgálatok technikai elrendezése

Az első ütemben egy külső falas, ablakos helyiség szimulálása során négy fűtési módot vizsgáltunk:

— Radal-fűtőtestek,
— Hajdú-lapradiátorok,
— külsőfalpanel-fűtés,
— padlófűtés.



16.1. ábra. A műember elhelyezkedése és távolsága a külső falaktól (Bánhidi és mtsai 1987e)

Továbbá sarokhelyiségre ellenőrző méréseket is végeztünk, Radal- és falfűtőtestek felhasználásával.

A mérések során a műember 0,8 clo értékű ruházatot viselt, a figyelembe vett külső levegő-hőmérséklet az átlagos magyarországi téli állapotnak tekinthető −2 °C volt.

Vizsgáltuk a különböző belső levegő-hőmérséklet és falhőátbocsátási tényező variációk hatását az előző két paraméter függvényében.

Méréseinket az ÉTI Mikroklíma Laboratóriumának 5 × 3 m alapterületű mérőterében végeztük. A mérőtér egyik 3 × 3 m-es végfalát és az egyik ehhez csatlakozó oldalfalának egy részét alumíniumpanelekkel borítottuk (Bánhidi és mtsai 1987c).

Az ezekben keringetett víz segítségével szimuláltuk a külső határoló szerkezetek belső felületi hőmérsékleteit. A végfal kialakítása lehetővé tette a külön ablak-parapet szimulációt is. Az így kialakuló sarokban helyeztük el mérőműszerünket, az ÉTI műemberét (lásd *16.1. ábra*).

16.2.2. Laboratóriumi műemberes vizsgálatok különböző fűtőtest—lehűlőfelület kombinációkra

16.2.2.1. A paraméterek megválasztása

A külső határoló szerkezetek hőátbocsátási tényezői az általánosan használt ablakok esetében $k_{abl} = 3$ W/(m^{2}K), külső falak, illetve parapet esetében $k_{fal} = 0{,}6$; 0,8; 1,0 és 1,2 W/(m^{2}K) voltak.

A szükséges egyéb „alap"-paramétereket a következő értékekkel vettük figyelembe:

— a külső levegő hőmérséklete: $t_{lk} = -2\,°C$ (a magyarországi januári közepes átlaghőmérsékletnek megfelelően),
— a belső levegő hőmérséklete: $t_{lb} = 18$; 20 és 22 °C (a lakó- és kommunális helyiségekre előírtaknak megfelelően).

A belső felületi hőmérsékleteket a

$$t_{Fkb} = t_{lb} - k \frac{t_{lb} - t_{lk}}{\alpha_b} \tag{16.1}$$

összefüggéssel határozhatjuk meg, ahol

t_{lb} a belső levegő hőmérséklete [°C],
t_{lk} a külső levegő hőmérséklete [°C],
t_{Fkb} a határoló szerkezet belső felületi hőmérséklete [°C],
k a határoló szerkezet hőátbocsátási tényezője [W/(m²K)],
α_b a belső hőátadási tényező [W/m²K)], értéke 8 W/(m²K).

16.1. táblázat. Az ablak belső felületi hőmérsékletének ($t_{abl\,b}$) alakulása a belső levegő hőmérsékletének (t_{lb}) függvényében (Bánhidi 1987e)

t_{lb} [°C]	k_{abl} [W/(m²K)]	$t_{abl\,b}$ [°C]
18	3	10,5
20	3	11,75
22	3	13,0

16.2. táblázat. A fal belső felületi hőmérsékletének ($t_{fal\,b}$) alakulása a belső levegő hőmérsékletének (t_{lb}) és a fal hőátbocsátási tényezőjének (k_{fal}) függvényében (Bánhidi 1987e)

t_{lb} [°C]	k_{fal} [W(m² K)]	$t_{fal\,b}$ [°C]
18	1,2	15,0
18	0,8	16,0
20	1,2	16,7
20	1,0	17,25
20	0,8	17,8
20	0,6	18,35
22	1,2	18,4
22	0,8	19,6

E képlet alapján, a megadott hőátbocsátási tényezők segítségével számítva az ablak belső felületi hőmérsékletét ($t_{abl\,b}$) a *16.1. táblázat*, a falak belső felületi hőmérsékleteit ($t_{fal\,b}$) a *16.2. táblázat* tartalmazza.

16.2.2.2. Mérési szituációk

A már említett kialakítású mérőtérben helyeztük el a műembert, testközepét a hűtött panelektől 1—1 m-re, az ablak-parapet kiképzésű fallal szemközt (E) és annak háttal (H), 0,8 clo ruházatában.

Az általánosan használt „konvekciós" Radal- és „sugárzó" Hajdú-lapradiátorokat az ablakpanel alatt helyeztük el.

Ezeken a hőszükségletnek megfelelő hőtartalmú (lásd *16.3. táblázat*) vizet keringtettünk. A lehetséges egyéb fűtési módok közül a padló- és a sugárzó falpanelfűtést vizsgáltuk. A padló kialakítása a falpaneleknek megfelelő módon, ugyancsak alumíniumpanelekkel történt.

A megadott fűtési módokon kívül ún. „alap"-méréseket is végeztünk (jele A), amikor fűtőtest vagy egyéb fűtési mód nélkül csak az „ambient"- (azonos lég- és közepes sugárzási) hőmérséklet adott értéken tartásával vizsgáltuk az előbb említett két elhelyezési módot.

Vizsgáltuk a műember viselkedését a komfort-hőmérsékleten, amelynek eredménye a különböző fűtési módok értékeléséhez jó kiindulópontot szolgáltat (a mérés jele AA).

16.3. táblázat. A figyelembe vett hőszükléglet (Q) a levegő-hőmérséklettől (t_{lb}) függően (Bánhidi 1987e)

Külső falak száma	t_{lb} [°C]	Q [W]
1	18	990
	20	940
	22	890
2	18	1400
	20	1260

16.4. táblázat. Mérési szituációk egy külső fal mellett (Bánhidi 1987e)

Jelölés	Fűtési mód	Elhelyezkedés az ablakos panelhez képest
AH	—	háttal
AE	—	szemben
PH	padlófűtés	háttal
PE	padlófűtés	szemben
RH	RADAL	háttal
RE	RADAL	szemben
HH	Hajdú lap	háttal
HE	Hajdú lap	szemben
FH	falfűtés	háttal
FE	falfűtés	szemben

16.5. táblázat. Mérési változatok két külső fal mellett (Bánhidi 1987e)

t_{lb} [°C]	k_{fal} [W/(m²K)]	$t_{fal\ b}$ [°C]
18	0,8	16,0
20	1,2	16,7
20	0,8	17,8

16.6. táblázat. Mérési szituációk két külső fal mellett (Bánhidi 1987e)

Jelölés	Fűtési mód	Elhelyezkedés az ablakos panelhez képest
SAH	—	háttal
SAE	—	szemben
SRH	RADAL	háttal
SRE	RADAL	szemben
SFH	falfűtés	háttal
SFE	falfűtés	szemben

Egy lehűlő felülettel rendelkező (sor)helyiség esetén a 16.2. táblázat minden értékének megfelelő méréseket elvégeztük a fent említett valamennyi fűtési mód mellett (lásd *16.4. táblázat*).

Két külső fallal rendelkező (sarok)helyiség esetén csökkentett mérési programot végeztünk el. Csak két levegő-hőmérsékleten (18 és 20 °C) és két hőátbocsátási tényezővel [0,8 és 1,2 W/(m²K)], valamint fűtés nélkül mértünk. Radal-radiátor és falfűtés esetén folytattuk a vizsgálatokat (lásd *16.5.* és *16.6. táblázat*okat).

Így a vizsgálat ezen részének végzéséhez 87 mérésre volt szükség.

16.2.3. A mérési eredmények értékelési módszere

A különböző mérési szituációk összehasonlítását számításokkal és a műember mérési eredményeinek értékelésével végeztük el.

16.2.3.1. Értékelés számítással

A számításos értékeléshez a következő összefüggéseket használtuk fel:

$$PMV=(0{,}303\,e^{-2{,}1\,M}+0{,}028)\left\{58{,}15(M-W)-\right.$$
$$-3{,}05\cdot 10^{-3}[5733-406{,}7(M-W)-p_1]-$$
$$-24{,}42[(M-W)-1]-10^{-3}\cdot M(5867-p_1)-$$
$$-0{,}0814M(34-t_{lb})-3{,}96\cdot 10^{-8}f_{cl}[(t_{cl}+273)^4-$$
$$\left.-(t_{ks}+273)^4]-f_{cl}\alpha_c(t_{cl}-t_{lb})\right\}, \qquad (16.2)$$

ahol

$$\alpha_c=\begin{cases}2{,}38(t_{cl}-t_{lb})^{0{,}25}, & \text{ha } 2{,}38(t_{cl}-t_{lb})^{0{,}25}\geq 12{,}1\sqrt{v},\\ 12{,}1\sqrt{v}, & \text{ha } 2{,}38(t_{cl}-t_{lb})^{0{,}25}<12{,}1\sqrt{v},\end{cases} \qquad (16.3)$$

valamint

$$f_{cl}=\begin{cases}1+0{,}2I_{cl}, & \text{ha } I_{cl}\leq 0{,}5\text{ clo},\\ 1{,}05+0{,}1I_{cl} & \text{ha } I_{cl}>0{,}5\text{ clo}.\end{cases} \qquad (16.4)$$

A kalkuláció elvégzéséhez szükség van a határoló felületek közepes sugárzási hőmérsékletének kiszámítására, amely a

$$t_{ks}=\sqrt{\sum_{i=1}^{k}[\varphi_i(t_i+273)^4]}-273 \qquad [°C] \qquad (16.5)$$

összefüggéssel adható meg, ahol

k a különböző hőmérsékletű határoló felületek száma,
t_i az i-edik határoló felület hőmérséklete [°C],
φ_i az i-edik határoló felület besugárzási tényezője.

A φ_i besugárzási tényező a térben elhelyezkedő ember és a határoló szerkezet viszonyától és a geometriai méretektől függően számítható, illetve diagramokból is megadható (lásd 4.28. ábra).

Jelen esetben kellemesnek tekintettük a $PMV\leq 1$ értékeket, amelyeket a kellemes hűvös, semleges, kellemesen meleg értékeket jelentik. Ezenkívül a $PPD\leq 20\%$-ot tekintettük elfogadhatónak.

A különböző mérési állapotok összehasonlításához az eredő hőmérséklet (t_R) is felhasználható, amely a

$$t_R=0{,}46t_{lb}+0{,}54t_{ks} \qquad (16.6)$$

összefüggéssel számítható.

16.2.3.2. Értékelés a műemberes mérések segítségével

Az értékeléshez a 6. fejezetben bemutatott termikus műember eredményeit rögzítő táblázatokat használtuk (lásd 6.3. és 6.4. táblázat). Az ott található értékek közül az egész test hőérzetére vonatkozó értékeket vettük vizsgálatainknál figyelembe: a fűtőteljesítmény testfelülettel súlyozott átlagát (P_{tot}) és a szintén felülettel súlyozott egyenértékű hőmérsékletet (EHT_{tot}).

Az aszimmetria jellemzésére az *EHT* oszlopot, illetve egy belőle származtatott mennyiséget használtunk, mégpedig a

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^{18} (EHT_i - EHT_{tot})^2}{17} \tag{16.7}$$

értéket, azaz a testrészenkénti egyenértékű hőmérsékletnek (EHT_i) az EHT_{tot} értékéhez viszonyított szórását.

E jellemzőkön kívül, a Fanger-féle komfortdiagramokból, adott ruházatú és aktivitású emberre meghatároztuk a komforthőmérsékletet (t_{komf}). E hőmérsékleten (levegő hőmérséklete = határoló felületek hőmérséklete) is végeztünk méréseket. Az ekkor kapott $P_{tot,\,komf}$, $EHT_{tot,\,komf}$ és μ_{komf} értékek is felhasználhatók egy adott klíma jellemzésére.

16.2.4. Az eredmények összefoglaló értékelése

Az eredmények röviden a következő pontokba foglalhatók össze:

1. A mérési eredmények azt bizonyították, hogy −2 °C külső levegő-hőmérséklet, 0,8 clo értékű ruházat, 50% relatív nedvességtartalom, valamint

   — $k_{fal} = 0{,}6$; 0,8; 1,0 és 1,2 W/(m^{2}K) és 20 °C belső levegő-hőmérséklet,
   — $k_{fal} = 0{,}8$ és 1,2 W/(m^{2}K) és 18, valamint 22 °C belső levegő-hőmérséklet

   esetén a számított *PMV* és *PPD*, a mért P_{tot}, EHT_{tot}, a mért és számított μ_{komf} értékekben igen kis, 1—7%-os eltérések adódnak. Ez gyakorlatilag azt jelenti, hogy a falak hőszigetelő képességének változása viszonylag kismértékben befolyásolja (javítja) az emberi test hőleadását, hőérzetét.
2. Sokkal nagyobb hatása van — 6—26%-ig — fűtőtesteknek, illetve azok elhelyezésének az emberi test hőleadására. A mért eredmények szerint P_{tot} — tehát az emberi test teljes hőleadása — és EHT_{tot} — az effektív érzett hőmérséklet — esetében a fűtőtest hatása többszöröse a k érték változásának.
3. A vizsgált négy fűtési megoldást összehasonlítva az emberi test hőleadása — tehát P_{tot} — szempontjából, mind szemben, mind háttal ülve az ablakos falnak:

a) egy külső falas esetben a sorrend

— Hajdú-lapfűtőtest,
— külsőfalpanel-fűtés,
— Radal-fűtőtest,
— padlófűtés,

tehát a legkedvezőbb eredményt a Hajdú-lapfűtőtest szolgáltatta;

b) két külső fal esetében a sorrend:

— külsőfalpanel-fűtés,
— Radal-fűtőtest.

Fel kell hívnunk a figyelmet arra, hogy ezek az értékek a vizsgált esetre vonatkoznak, amikor is a műember a fűtőtesttel szemben és ahhoz viszonylag közel ült. A fűtőtest magasabb hőmérsékletének hatása dominált, elsősorban ez magyarázza például, hogy a Radal „megelőzte" a padlófűtést. Amennyiben a fűtőtest távolabb helyezkedik el az emberi testtől, ez a sorrend értelemszerűen változik, hogy milyen mértékben, ezt további vizsgálatoknak kell kideríteniök. Logikus viszont, hogy a külsőfal-, padlófűtés és lapfűtőtestek kerültek előtérbe, még alacsonyabb felületi hőmérsékletük ellenére is.
Megjegyezzük, hogy a padlófűtés egyéb fűtéstechnikai, alkalmazási és komfortadatairól sok hasznos adat található Hamvay és szerzőtársai publikációiban (Hamvay és Bánhidi 1985a, b, Hamvay és mtsai 1985, 1987).

4. Az érzett effektív hőmérséklet — tehát ETH_{tot} — szempontjából a sorrend mind szemben, mind háttal ülve az ablakos falnak

a) egy külső falas esetben

— Hajdú-lapfűtőtest,
— külsőfalpanel-fűtés,
— padlófűtés,
— Radal-fűtőtest,

tehát itt már felcserélődött a padló- és Radal-megoldás;

b) két külső fal esetében

— külsőfalpanel-fűtés,
— Radal-fűtőtest.

16.7. táblázat. Összehasonlító eredmények (Bánhidi 1987e)

	1 külső fal		2 külső fal	
	háttal	előlről	háttal	előlről
P_{tot}	1,5 °C	2,5—3 °C	1,1—1,5 °C	2,5 °C
EHT_{tot}	2,0 °C	2,0—2,5 °C	1,1—1,5 °C	2,3 °C
Δt_{pr}	0,5—1,5 °C	2,0—4,0 °C	1,0—2,0 °C	2,0 °C

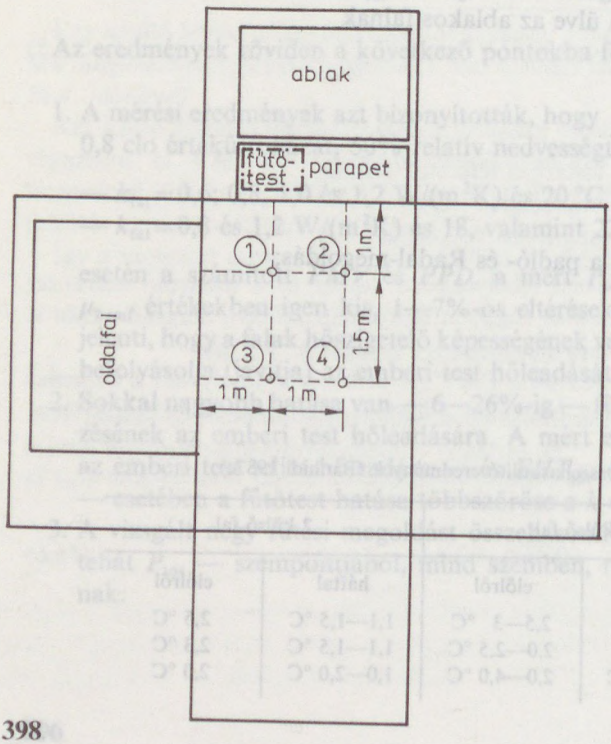
5. A sugárzási aszimmetria szempontjából azonos a sorrend, mint P_{tot} esetében (lásd 3. pont).
6. Az eltérések a különböző módok esetében kisebbre adódnak a műember háttal elhelyezkedésekor a szemben elhelyezkedési szituációval ellentétben. Ezt a test „szemben" szituációjú esetében a ruházattal kevésbé fedett testrészek nagyobb aránya magyarázza.
7. Az alapesethez viszonyítva — amikor nincs fűtőtest, de tartjuk a belső levegő-hőmérséklet értékét, tehát a falak aszimmetrikus sugárzása szabadon érvényesül — az előzőekben figyelembe vett fűtésimegoldás-rangsorok legkedvezőbbjét tekintve a *16.7. táblázat* szerinti belső levegő-hőmérséklet csökkentések engedhetők meg:

— az emberi test hőleadása (P_{tot}),
— az érzett effektív hőmérséklet (EHT_{tot}),
— a sugárzási aszimmetria (Δt_{pr})

szempontjából.

16.3. A második vizsgálatsorozat

A mérési elrendezés ebben az esetben (Somogyi és mtsai 1985) hasonló volt az első vizsgálatsorozathoz, tehát méréseket végeztünk egy és két külső fal feltételezésével, de az így kialakított laboratóriumi mérőtérben a műemberrel négy különböző helyen mértünk (lásd *16.2. ábra*).



16.2. ábra. A műember elhelyezkedései és ezek távolságai a külső falaktól (Somogyi és Simon 1987)

A vizsgált fűtési módok

— külsőfalpanel-fűtés,
— Radal-radiátoros fűtés,
— Hajdú-lapradiátoros fűtés

voltak.

Külsőfalpanel-fűtésnél, egy külső falas helyiség esetén a parapet, két külső falas helyiség esetén a parapet és az oldalfal volt a fűtőfelület.

A vizsgálatok során a Radal- és Hajdú-fűtőtesteket az ablak alá a sarokba tettük (lásd 16.2. ábra), így az 1. sz. mérőhely közvetlenül a fűtőtest előtti volt.

A műember minden mérési szituációban az ablakkal szemközt ülve helyezkedett el.

Ezeken kívül ekkor is végeztünk ún. alapméréseket, amikor is csak a levegő-hőmérsékletet tartottuk az előírt értéken, és a környező felületek ugyanilyen hőmérsékletűek voltak. Ekkor a mérőtér közepén helyeztük el a műembert.

A mért értékek, mérési metodika stb. azonos volt, mint az 1985. évi mérések folyamán (lásd 16.1. alfejezet).

16.3.1. A mérési paraméterek megválasztása

Mint az előzőekben már többször rögzítettük, ezen méréseket $-15\,^{\circ}C$ külső levegő-hőmérséklet, valamint más műember elhelyezkedési szituációk mellett végeztük. Ezért szükséges a paraméterek megválasztásának részletes ismertetése még akkor is, ha e paraméterekből néhány azonos az 1985. évi mérés paramétereivel.

1. A külső levegő hőmérsékletét a Magyarországon szokásos méretezési alapadatként használt $t_{lk} = -15\,^{\circ}C$-nak választottuk.
2. A belső levegő hőmérséklete

   — külsőfalpanel-fűtésnél $t_{lk} = 18\,^{\circ}C$,
   — Radal-radiátoros és Hajdú-lapradiátoros fűtésnél $t_{lb} = 20\,^{\circ}C$ volt.

   Erre a megkülönböztetésre az adott alapot, hogy a korábbi mérések szerint a fűtési mód alkalmas megválasztásával a hőérzet stabilan tartása a belső levegő hőmérsékletének ilyen mértékű csökkentése mellett lehetséges. Ez a tavalyi vizsgálatoknál egyértelművé vált mind a falfűtés, mind a Hajdú-lapradiátoros fűtés esetére. Ennek ellenére, mi a lakóhelyiségekre előírt $t_{lb} = 20\,^{\circ}C$-os belső levegő-hőmérsékletet csak a külsőfalpanel-fűtésnél csökkentettük $18\,^{\circ}C$-ra, mert feltételezésünk szerint az említett csökkentési lehetőség Hajdú-lapradiátor alkalmazásakor csak a közvetlenül a fűtőtest előtti 1. elhelyezkedésnél ad a korábbinak megfelelő eredményeket.
3. A külső határoló szerkezetek belső felületi hőmérsékletének meghatározását ugyancsak a

$$t_{bf} = t_{lb} - k \frac{t_{lb} - t_{lk}}{\alpha_b} \tag{16.8}$$

összefüggés segítségével végeztük el, ahol

t_{Fkb} a határoló szerkezet belső felületi hőmérséklete [°C],
t_{lb} a belső levegő hőmérséklete [°C],
t_{lk} a külső levegő hőmérséklete [°C],
k a határoló szerkezet hőátbocsátási tényezője [W/(m²K)],
α_b a belső hőátadási tényező, értéke 8 W/(m²K).

Tehát szükséges a hőátbocsátási tényezők megadása.

a) A ma általában használt ablakszerkezetek esetében ez $k_{abl} = 3$ W/(m²K).
b) A külső falaknál, illetve a parapetnél két értéket vettünk figyelembe:

— a hagyományos panelos épületekre jellemző $k_{fal} = 1{,}5$ W/(m²K), és
— a mai előírásoknak megfelelő $k_{fal} = 0{,}6$ W/(m²K) értékeket.

4. A belső levegő-hőmérséklet tartásához szükséges fűtőlevegő befúvási sebessége a nemzetközi gyakorlatnak megfelelően $v < 0{,}1$ m/s volt végig a mérés folyamán.
5. A hőszükségletnek megfelelően közöltük a különböző fűtési módokkal a hőmennyiséget az egy- és két külső falas helyiségek esetén a belső levegő-hőmérséklet és a külső falszerkezet hőátbocsátási tényezőjének függvényében.
(Meg kell jegyezni, hogy falfűtésnél csak a befelé történő hőátadásnak megfelelő hőt közöltük a helyiséggel.)
6. A külsőfalpanel-fűtésnél az előírások szerint meghatároztuk a külső fal, illetve a parapet belső felületi hőmérsékletét, amely

— egy külső falas helyiségnél $t_{fal} = 44$ °C-ra,
— két külső falas helyiségnél $t_{fal} = 26{,}3$ °C-ra

adódott.
7. A fűtőtestek alkalmazásakor a fűtőtest méretét a külső falak számától tettük függővé, így

— egy külső falas helyiségeknél Radal 608, illetve DK 6-64-es,
— két külső falas helyiségeknél Radal 612, illetve DK 6-96-os fűtőtesteket

használtunk. A külső fal hőátbocsátási tényezője ezek után a fűtővíz hőmérsékletét kellett, hogy befolyásolja.
8. A műember ruházata. A mérőeszközként használt műembert megpróbáltuk egy téli háziöltözettel ellátni a mérés időszakára. Viselt ruházata a következőkből állt:
— pamutalsó,
— pamuttrikó,
— pamut hosszúujjú pulóver,
— pamutzokni,
— tréningruha (50,8% pamut, 41,5% poliamid és 7,7% poliészter összetétellel),
— edzőcipő.

Ennek méréssel meghatározott clo értéke 0,76-ra adódott. (A viselt ruházat clo-jába az a szék is beleszámít, amin a műember a mérések folyamán ült.)

16.3.2. Az eredmények feldolgozási módszere

A mérési elrendezések összehasonlítását, értékelését két módszerrel végeztük:

— számítással és
— a műember mérési adatainak segítségével.

A számításokat a Fanger-módszer szerint, $PPD = 20\%$ értékkel végeztük, így ezek bővebb magyarázatát szükségtelennek tartjuk. A műemberes mérések során a következő adatokat használtuk fel:

P az adott testrész fajlagos (felületegységre eső) hőcseréje, azaz hőveszteség [W/m^2],
EHT a testrészre jellemző, származtatott mennyiség, ún. egyenértékű hőmérséklet azt adja meg, hogy az adott testrészt körülvevő klímát az a testrész milyen hőmérsékletűnek „érzi" [°C],
P_{tot} a hőcsere egész testre vonatkozó, felülettel súlyozott átlaga [W/m^2],
EHT_{tot} az ún. észlelt hőmérsékletek felülettel súlyozott átlaga [°C].

A P_{tot} érték felhasználásával lehetőségünk nyílik arra, hogy a megfelelő alapmérést (P^0_{tot}) referenciának használva összehasonlítsuk egy-egy fűtési mód esetén a különböző elhelyezkedéseket. Az összehasonlítás alapja a

$$\Delta P = (P_{tot} - P^0_{tot})F \quad [W] \tag{16.9}$$

hőveszteség növekedési érték, ahol

P_{tot} az adott mérési szituációban a műemberrel mért fajlagos hőcsere [W/m^2],
P^0_{tot} az adott szituációhoz tartozó alapmérésnél kapott fajlagos hőcsere [W/m^2],
F a műember testfelülete ($F = 1{,}884$ m^2).

Az így kapott ΔP érték az egész test hőveszteségének változását adja meg a „sugárzásmentes" esethez képest. Természetesen ez az érték a körülményektől függően lehet „+", azaz hőveszteség és lehet „−", azaz hőnyereség is.

Az EHT_{tot} értékek alapján megpróbáltuk felvázolni a helyiségben a várható észlelt hőmérsékletmezőket a különböző szituációkban. Ez segítséget adhat a tervezőknek, hiszen egyszerűen leolvasható róla az, hogy mennyire tekinthető homogénnek az adott tér a hőérzet szempontjából, melyek azok a részei egy helyiségnek, amelyek túl hidegek, esetleg túl melegek.

A P értékeket testrészenként vizsgálva következtethetünk arra, hogy hogyan tevődik össze a különböző fűtési módok és elhelyezkedések esetén az egész test hőveszteség. Vizsgálatainknál a megfelelő alapmérést felhasználva kiszámítjuk az

$$\eta = \frac{P}{P^0} \cdot 100 \quad [\%] \tag{16.10}$$

értékeket testrészenként, ahol

P az adott testrész fajlagos hőveszteségе a vizsgált szituációban [W/m^2],
P^0 az adott testrész fajlagos hőveszteségе a megfelelő alapesetnél [W/m^2].

Az így kapott η értékre:

a) $\eta = 100\%$, ha az adott testrész hőveszteségе pontosan akkora, mint az ún. „sugárzásmentes" esetben;
b) $\eta < 100\%$, ha a testrész hőveszteségе kisebb, mint az alapesetnél kapott érték, azaz a testrész melegebb környezetben van;
c) $\eta > 100\%$, ha a vizsgált testrész hőveszteségе nagyobb, mint az ugyanolyan léghőmérsékletnél mért alapérték, vagyis a testrész annál hidegebb környezetben van.

Ezeken a hidegebb, melegebb környezeti hatásokon a hideg, illetve meleg sugárzó felületeket kell értenünk.

Ha feltételezzük, hogy a $\pm 10\%$-os eltérés az ember számára még elfogadható (ilyen irányú vizsgálataink még nem voltak, de a 6.1. alfejezetben ismertetett adatok ezt alátámasztják), az ezen a sávon kívül lévő értékek feltételezhetően 20%-nál magasabb arányú panaszokat okoznak. A különböző mérési szituációknál a hideg- és melegérzetre utaló lehetséges panaszos testrészek és ezek száma is jellemző lehet. Mindezeket további vizsgálatoknak kell tisztázniuk.

16.3.3. A mérési eredményekről

Arra vonatkozóan, hogy egyes fűtési elrendezési szituációkat mily módon dolgoztunk fel, illetve a feldolgozás milyen eredményeket szolgáltatott, egy variációt mint jellegzetest, az egyik legáltalánosabban alkalmazott fűtőtest, a Radal esetét mutatjuk be, két külső falas helyiség esetében.

A két különböző hőátbocsátási tényezőjű falszerkezetre és a négy elhelyezkedésre vonatkozó számított értékeket a *16.8. táblázat*ban foglaltuk össze. Ezek szerint a hőérzet a kellemesen hűvös és a hűvös határok között van, az elégedetlenség legalább 63%. A falszerkezetek és az elhelyezkedések lényeges különbséget nem mutatnak, talán az 1. és a 4. elhelyezkedés valamivel kedvezőbb, mint a többi.

Ha az egész test hőveszteségét az alapesethez viszonyítjuk (lásd *16.9. táblázat*) elmondhatjuk, hogy a hőveszteség csak az 1. elhelyezkedésnél nőtt mindkét falszerkezet esetén. A jobb hőszigetelésű falszerkezetnél a 2. elhelyezkedés megfelel az alapesetnek, a 3. és 4. elhelyezkedésnél ennél valamivel több a hőveszteség, bár nem túl nagy mértékű. A rosszabb külső fal a 2., 3. és 4. elhelyezkedésnél is a hőveszteség jelentősebb mértékű növekedését eredményezi.

16.8. táblázat. A határoló felületek hőmérsékletei (t_1, t_2, t_3, t_4), besugárzási tényezői (φ_1, φ_2, φ_3, φ_4), a közepes sugárzási hőmérséklet (t_{ks}), az eredő hőmérséklet (t_R), a Fanger-féle hőérzeti jellemző (*PMV*) és az elégedetlenségi faktor (*PPD*) alakulása az elhelyezkedés függvényében két külső fal, Radal-radiátoros fűtés és a kétféle hőátbocsátási tényező esetén (Bánhidi 1987c)

Mérés jele	t_{lb} [°C]	t_1 [°C]	t_2 [°C]	t_3 [°C]	t_4 [°C]	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	t_{ks} [°C]	t_R [°C]	*PMV*	*PPD* [%]
2RO.6/1	20	20	6,9	17,4	44,5	0,64	0,1	0,19	0,06	19,2	19,6	−1,8	65,1
2RO.6/2	20	20	6,9	17,4	43,9	0,71	0,12	0,14	0,03	19,0	19,4	−1,8	66,9
2RO.6/3	20	20	6,9	17,4	44,5	0,73	0,04	0,22	0,01	19,1	19,5	−1,8	65,8
2RO.6/4	20	20	6,9	17,4	45,1	0,84	0,04	0,11	0,01	19,4	19,7	−1,7	63,6
2RI.5/1	20	20	6,9	13,4	52,2	0,61	0,1	0,19	0,06	19,1	19,5	−1,8	66,0
2RI.5/2	20	20	6,9	13,4	52,2	0,71	0,12	0,14	0,03	18,8	19,3	−1,8	68,4
2RI.5/3	20	20	6,9	13,4	52,2	0,73	0,04	0,22	0,01	18,4	19,1	−1,9	71,2
2RI.5/4	20	20	6,9	13,4	52,8	0,84	0,04	0,11	0,01	19,1	19,5	−1,8	66,1

16.9. táblázat. A teljes test hőveszteségének növekedése az alapesethez képest (ΔP) két külső fal és Radal-radiátoros fűtés esetén az elhelyezkedés és a külső fal hőátbocsátási tényezőjének (k_{fal}) függvényében (Bánhidi 1987c)

k_{fal} [W/(m² K)]	Elhelyezkedés	t_{lb} [°C]	t_R [°C]	ΔP [W]
0,6	1	20	19,6	−7,99
	2	20	19,4	0
	3	20	19,5	1,86
	4	20	19,7	3,9
1,5	1	20	19,5	−5,76
	2	20	19,3	7,06
	3	20	19,1	9,1
	4	20	19,5	5,76

16.3.4. A mérési eredmények értékelése

Megállapíthatjuk, hogy a számított hőérzeti jellemző *(PMV)* és az elégedetlenségi faktor *(PPD)* minden mérési szituációban kedvezőtlenebb a vártnál. Külsőfalpanel-fűtésnél a hideg és a hűvös, Radal-radiátoros és Hajdú-lapradiátoros fűtésnél a kellemesen hűvös és hűvös határok közötti hőérzeti értékeket kaptunk. Ez és a meglehetősen magas elégedetlenségi faktor (>40%) azt mutatja, hogy sem a radiátoros fűtésnél fixen tartott belső levegőhőmérséklet, $t_{lb}=20\,°C$, sem ennek a külsőfalpanel-fűtésnél megalapozottnak hitt 2 K-es csökkentése nem biztosítja a még elfogadható hőérzetet.

Eddigi méréseink és az energetikai megfontolások alapján ugyanis elfogadhatónak tekinthettünk egy állapotot, ha a hőérzet a kellemesen hűvös és kellemesen meleg határok közötti ($PMW \leq 1$), és az elégedetlenség nem haladja meg a 20%-ot ($PPD \leq 20\%$).

Ugyanezt az eredményt kaptuk méréssel is, amikor is az ún. észlelt hőmérsékleteket (EHT_{tot}) vizsgáltuk. Ez az érték azt adja meg, hogy az egész test milyen hőfokú környezetben érzi magát, feltéve, hogy mezítelen és a test körül légáramlás nincs. Ennek az értéknek, ahhoz, hogy a hőkomfort biztosítva legyen, nyugodt ülés, irodai munka mellett (1 met), feltételezve, hogy a környező felületek közepes sugárzási hőmérséklete a levegőhőmérséklettel azonos, Fanger (1982) komfortdiagramjai szerint $t_{komf}=28{,}2\,°C$-nak kellene lennie.

Ezzel szemben a legmagasabb mért érték 27,2 °C, a legalacsonyabb 25,5 °C. Ezek csak magasabb aktivitási szintnél (1,5—2 met) tekinthetők megfelelőnek.

Meg kell említenünk, hogy a nemzetközi szakirodalom szerint (McCullogh és Tones 1985, Olesen 1987) tipikus téli ruházat (0,9 clo), könnyű tevékenységi szint (1,2 met) esetében a 80%-os termikusan elfogadható hőmérsékleti tartomány a 20—23 °C, amelyen belül az optimális hőmérséklet 21,7 °C. Ha figyelembe vesszük, hogy esetünkben a viselt ruházat 0,76 clo hőszigetelő képességű, számításainknál 1 met tevékenységi szintet vettünk figyelembe, nem kell csodálkoznunk eredményeinken.

Azt, hogy az A elhelyezkedés valamilyen szempontból kedvezőbb B elhelyezkedésnél, jelöljük a továbbiakban A>B-vel, ha megítélésük egyforma, A=B-vel.

E jelölésnek megfelelően fel tudjuk írni a különböző vizsgálati szempontok szerinti elhelyezkedési sorrendeket. A vizsgálati szempontok a továbbiakban:

— a számított értékek (*PMV* és *PPD*),
— a teljes test hőveszteségének változása az alapméréshez képest (ΔP) ebben az esetben a hőveszteség csökkenését kedvezőbbnek ítéljük a hőveszteség növekedésénél,
— az észlelt hőmérsékletek teljes testre vonatkozó értéke (EHT_{tot}),
— a feltételezhetően panaszos testrészek száma, különválasztva a meleg-, illetve a hidegérzetre vonatkozó panaszokat.

A mérési eredményekből részleteiben csak az egy külső falas helyiségre vonatkozót mutatjuk be az újszerű értékelési módszer demonstrálására.

Az elhelyezkedések között a következő sorrendek alakultak ki:

a) Külsőfalpanel-fűtésnél
— *PMV* és *PPD* szerint: $1 \succ 2 \succ 3 = 4$,
— ΔP szerint: $1 \succ 4 \succ 2 \succ 3$,
— EHT_{tot} szerint: $4 \succ 1 = 2 \succ 3$,
— melegérzetre panaszos testrészek száma szerint: $3 \succ 4 \succ 2 \succ 1$,
— hidegérzetre panaszos testrészek száma szerint: $4 \succ 3 \succ 2 \succ 1$;

b) Radal-radiátoros fűtésnél
— *PMV* és *PPD* szerint: $1 \succ 3 \succ 4 \succ 2$,
— ΔP szerint: $1 \succ 3 \succ 2 \succ 4$,
— EHT_{tot} szerint: $1 \succ 3 \succ 2 = 4$, ha $k_f = 0{,}6$ W/(m^{2}K),
$1 \succ 3 \succ 4 \succ 2$, ha $k_f = 1{,}5$ W/(m^{2}K),
— melegérzetre panaszos testrészek száma szerint: $2 \succ 3 \succ 4 \succ 1$, ha $k_f = 0{,}6$ W/(m^{2}K),
$2 = 3 = 4 \succ 1$, ha $k_f = 1{,}5$ W/(m^{2}K),
— hidegérzetre panaszos testrészek száma szerint: $1 = 3 \succ 4 \succ 2$, ha $k_f = 0{,}6$ W/(m^{2}K),
$1 = 3 \succ 2 \succ 4$; ha $k_f = 1{,}5$ W/(m^{2}K),

c) Hajdú-lapradiátoros fűtésnél
— *PMV* és *PPD* szerint: $1 \succ 3 \succ 2 \succ 4$,
— ΔP szerint: $1 \succ 2 \succ 4 \succ 3$,
— EHT_{tot} szerint: $1 \succ 3 \succ 4 \succ 2$,
— melegérzetre panaszos testrészek száma szerint: $2 = 4 \succ 3 \succ 1$, ha $k_f = 0{,}6$ W/(m^{2}K),
$2 = 3 = 4 \succ 1$, ha $k_f = 1{,}5$ W/(m^{2}K),
— hidegérzetre panaszos testrészek száma szerint: $1 = 3 = 4 \succ 2$, ha $k_f = 0{,}6$ W/(m^{2}K),
$1 \succ 3 \succ 4 \succ 2$, ha $k_f = 1{,}5$ W/(m^{2}K).

Ezek szerint, ha azt is figyelembe vesszük, hogy falfűtésnél a különböző szituációk között a *PMV*, *PPD* és ΔP értékek közötti eltérések elég kicsik, valamint hogy EHT_{tot} szempontjából a tér meglehetősen homogénnek tekinthető, az elhelyezkedések közötti lényeges különbséget tenni nem érdemes.

A fűtőtestek alkalmazásánál már más a helyzet. Itt mindkét esetben (Radal és Hajdú), és mindkét falszerkezet mellett a legkedvezőbbnek az 1. elhelyezkedés adódik még akkor is, ha a melegérzetre panaszos testrészek számánál ez az elhelyezkedés kerül az utolsó helyre.

Ha a Radal-radiátoros és a Hajdú-lapradiátoros fűtést próbáljuk összehasonlítani, azt mondhatjuk, hogy:

— *PMV* és *PPD* szerint: Hajdú $\succ$ Radal,
— ΔP szerint: Hajdú $\succ$ Radal, ha $k_f = 0{,}6$ W/(m^{2}K)
és az 1. elhelyezkedésről van szó,
Radal $\succ$ Hajdú, az összes többi esetben,

— EHT_{tot} szerint: Radal≻Hajdú, ha $k_f = 0{,}6$ W/(m²K) és a 3. elhelyezkedésről van szó,
Hajdú≻Radal, az összes többi esetben,

— melegérzetre panaszos testrészek száma szerint: Hajdú≻Radal, ha $k_f = 0{,}6$ W/(m²K),
Radal≻Hajdú, ha $k_f = 1{,}5$ W/(m²K),

— hidegérzetre panaszos testrészek száma szerint: Radal≻Hajdú.

Látható tehát, hogy a szempontoktól függően változik a „kedvezőség" iránya. Összegezve meg kell állapítanunk, hogy ha hőérzetre méretezünk, nem kapunk megfelelő eredményeket könnyű munkavégzés esetén a 20 °C-os belső levegő-hőmérsékletnél, a vizsgált két fűtőtest esetén sem a régi, sem az új, jobb hőszigetelésű falszerkezetek alkalmazásával. Mivel a hőérzeti szempontból leghomogénebbnek tekinthető külsőfalpanel-fűtés vizsgálatánál a belső levegő-hőmérsékletet, korábbi eredményeink extrapolálásával, 18 °C-ban állapítottuk meg, és ez sem adott megfelelő eredményeket, fel kell tételeznünk, hogy a csökkentés túl nagy mértékű volt. Természetesen ez az eset a téli külső méretezési hőmérsékletnek megfelelő érték feltételezésével jött létre. Ha ezen hőmérséklet előfordulásának igen kis gyakoriságát is figyelembe vesszük, feltételezhetjük, hogy ha a csökkentés csak 1—1,5 K körüli, eredményeink elérik a fűtőtestek alkalmazásakor kapottakat, amelyeket 20 °C-os belső levegő-hőmérséklet mellett mértünk.

Ezek feltételezésével kimondhatjuk, hogy a külsőfalpanel-fűtés a legkedvezőbb a benntartózkodók hőérzete szempontjából.

16.4. A harmadik méréssorozat: a fűtőtest a belső fal mellett helyezkedik el

A konvektív és sugárzó fűtések utolsó ellenőrzésére az emberi test hőleadása szempontjából azt a megoldást választottuk, amikor a fűtőtest a belső fal mellett helyezkedik el. Az ok: a megoldást még gyakran alkalmazzák, holott ebben az esetben „klasszikusan" érvényesülhet a hideg külső határoló felületek aszimmetrikus sugárzásának hatása. E fűtési megoldással viszont a hazánkban alkalmazott olyan fűtési megoldások köre teljessé vált, amelyek esetében a fűtőtestek sugárzásos hőleadási aránya 20—50% között változik.

A megoldás vizsgálatakor két fő változat méréseire került sor:

— a normál, 90/70 °C-ú rendszernek megfelelő hőmérsékletű fűtőközeg esetén előálló változatok,
— alacsony fűtőközeg-hőmérsékletű fűtőtest ($t_{köz} = 48$—50 °C).

Mindkét esetben a fűtőtest Radal-típusú alumíniumradiátor volt.

A méréseket a már ismertetett négy pontban elhelyezett termikus műemberrel végeztük (lásd 16.2. alfejezet). Ezért a mérési elrendezés, mérési metodika stb. bővebb ismertetését szükségtelennek tartjuk, hanem visszahivatkozunk a 16.2. alfejezetre. Az eredményeket sem elemezzük külön.

Mindhárom méréssorozat eredményeit energetikailag összegezve megállapíthatjuk, hogy az alapméréshez képest — amikor fűtőtest nincs, de a belső levegő-hőmérsékletet az előírt értéken tartjuk, tehát a falak sugárzása szabadon érvényesül — a fűtési módok közül

a) nem jelent megtakarítást:

— az alacsony fűtőközegű, belső falnál elhelyezett Radal-fűtőtest és a
— belső falnál elhelyezett Radal-fűtőtest,

mert ezek nem kedvezőbbek, mint az alapmérés;

b) megtakarítást jelent:

— a külsőfalpanel-fűtés és a
— Radal-fűtőtest,

mert ezeknél 1—1,5 °C belső levegőhőmérséklet-csökkentés engedhető meg a hőérzet szempontjából.

16.5. Légfűtések hőérzeti ellenőrzése

Az előző vizsgálatok folytatásaként került sor két légfűtési megoldás termikus műemberes és élőalanyos ellenőrzésére, ezek eredményeinek összehasonlítására, összegezésére (Bánhidi és mtsai 1989a, b).

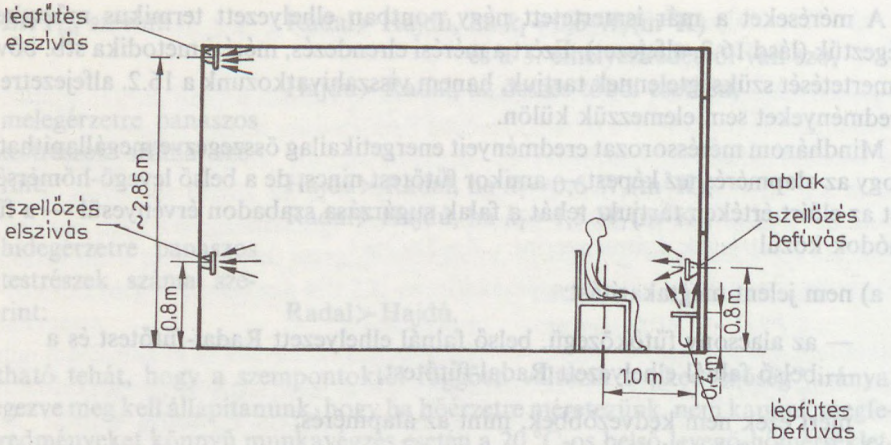
16.5.1. A mérőtér és paraméterei

Az ÉTI Mikroklíma Laboratóriumának 5 × 3 m alapterületű mérőterében végeztük vizsgálatainkat. A mérőhelyiség egyik 3 × 3 m-es végfalát ablak-parapet szimulációjára, egyik oldalfalát pedig — a sarokhelyiség kialakításához — külső fal szimulációjára tettük alkalmassá *(16.3. ábra)*.

A mérések alatt az alábbi klímaparamétereket tartottuk konstans értéken:

— az ablak belső felületi hőmérsékletét: $[k_{abl} = 3\ W/(m^2K)]$: $t_{abl\,b} = 11{,}75\ °C$,
— az ablak alatti parapet és a külső fal belső felületének hőmérsékletét $[k_{fal} = 1{,}2\ W/(m^2K)]$: $t_{par} = t_{fal\,b} = 16{,}7\ °C$,
— többi belső fal hőmérsékletét: $t_{fal} = 20\ °C$,
— mérőtér levegő-hőmérsékletét: $t_{lb} = 20\ °C$,
— a levegő relatív nedvességtartalma: $\varphi = 40\%$.

A fenti paraméterek adódnak — mint a korábbiakban említettük — a magyarországi téli állapotban átlagosnak tekinthető −2 °C külső levegő-hőmérsékletet feltételezve.



16.3. ábra. Légfűtés mérési elrendezése, A—C eset (Bánhidi és mtsai 1989a)

16.5.2. A mérési elrendezés és a mérési paraméterek

A légfűtés hőérzeti hatásvizsgálatát az alábbi négy elrendezés mellett vizsgáltuk:

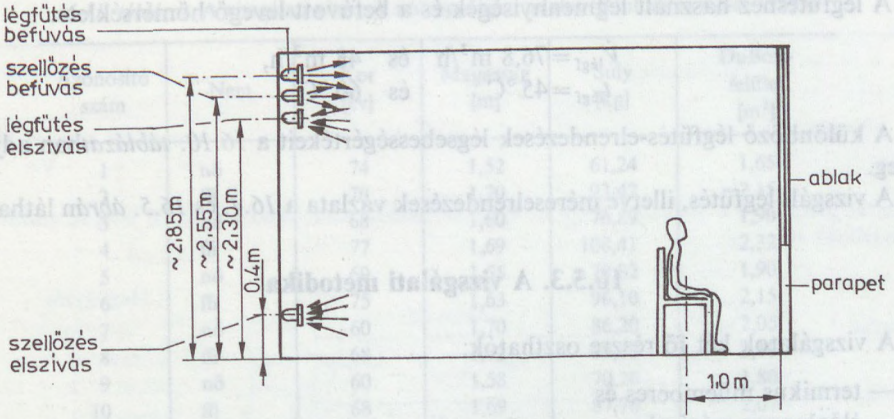
A A légfűtő rendszer befúvása az ablak előtt elhelyezett befúvókon alulról felfelé történik, míg az elszívás a szemben lévő falsíkon, a mennyezet alatt.

B A szellőzőlevegő befúvása az ablak alatt, középen, vízszintesen, míg az elszívás a szemben lévő falsík előtt, azonos magasságban.

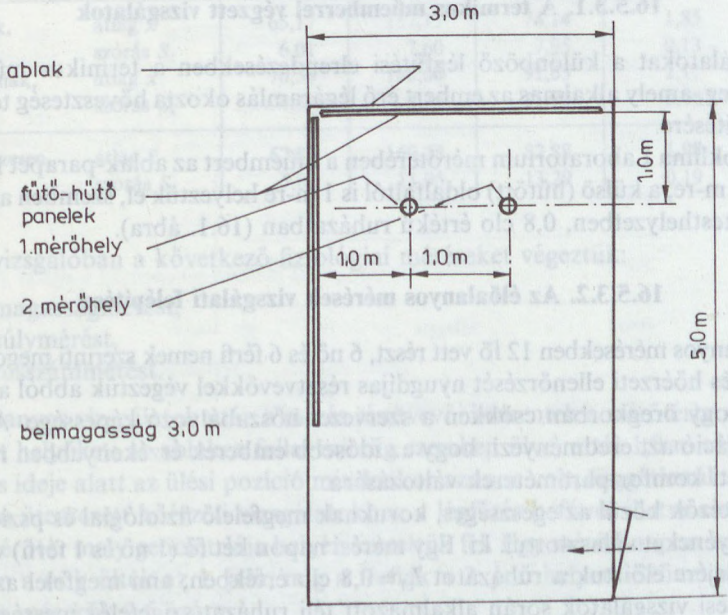
C A légfűtő rendszer befúvása és visszaszívása a falsík előtt, a mennyezet alá szerelt légcsatornán keresztül történik. A befúvás irányát az ablakos fal felé határoztuk meg.

16.10. táblázat. A légfűtéses vizsgálatok főbb paraméterei (Bánhidi és mtsai 1989b)

Légfűtés	Befúvási hőmérséklet [°C]	60	45
	Légmennyiség [m³/h]	48	76,8
	Befúvás sebessége [m/s]		
	C—D esetnél	1,0	1,6
	A—C esetnél	0,75	1,15
	Elszívás sebessége [m/s]	0,24	0,36
Szellőztetés	Légmennyiség [m³/h]	30	
	Befúvás sebessége [m/s]	0,94	
	Elszívás sebessége [m/s]	0,94	



16.4. ábra. Légfűtés mérési elrendezése, C—D eset (Báhidi és mtsai 1989a)



16.5. ábra. Mérőtér elrendezése a légfűtési kísérletek során (Bánhidi és mtsai 1989a)

D A szellőzőlevegő befúvásának helye a légfűtési rendszer befúvórácsai alatt helyezkedik el, befúvás iránya az ablak felé, míg a szellőzés elszívását ugyanazon falsíkon, de a padló síkja fölötti szellőzővezetéken keresztül oldottuk meg.

Megjegyezzük, hogy a szellőztető rendszer különböző elrendezésével a helyiség infiltrációs hőveszteségét szimuláltuk, ezért a különböző légfűtés-elrendezéseknél egységesen $\dot{V}_{sz} = 30\ m^3/h$ levegőmennyiséget fújtunk be, 20 °C hőmérsékleten.

A légfűtéshez használt légmennyiségek és a befúvott levegő hőmérséklete:

$$\dot{V}_{légf} = 76{,}8 \text{ m}^3/\text{h} \quad \text{és} \quad 48 \text{ m}^3/\text{h},$$
$$t_{légf} = 45 \text{ °C} \quad \text{és} \quad 60 \text{ °C}.$$

A különböző légfűtés-elrendezések légsebességértékeit a *16.10. táblázat*ban adjuk meg.

A vizsgált légfűtés, illetve méréselrendezések vázlata a *16.4.* és *16.5. ábrán* látható.

16.5.3. A vizsgálati metodika

A vizsgálatok két fő részre oszthatók:

— termikus műemberes és
— élőalanyos mérésekre.

16.5.3.1. A termikus műemberrel végzett vizsgálatok

A vizsgálatokat a különböző légfűtési elrendezésekben a termikus műemberrel kezdtük meg, amely alkalmas az embert érő légáramlás okozta hőveszteség testrészenkénti rögzítésére.

A Mikroklíma Laboratórium mérőterében a műembert az ablak-parapet kiképzésű végfaltól 1 m-re, a külső (hűtött) oldalfaltól is 1 m-re helyeztük el, szemben az ablakos fallal, ülő testhelyzetben, 0,8 clo értékű ruházatban (16.1. ábra).

16.5.3.2. Az élőalanyos mérések vizsgálati felépítése

Az élőalanyos mérésekben 12 fő vett részt, 6 nő és 6 férfi nemek szerinti megoszlásban.

A légfűtés hőérzeti ellenőrzését nyugdíjas résztvevőkkel végeztük abból a megfontolásból, hogy öregkorban csökken a szervezet hőszabályozó képessége. A lassabb termoreguláció azt eredményezi, hogy az idősebb emberek érzékenyebben reagálnak a környezeti komfortparaméterek változására.

A jelentkezők közül az egészséges, koruknak megfelelő fiziológiai és pszichológiai státuszú egyéneket választottuk ki. Egy mérési napon két fő (1 nő és 1 férfi) vett részt. A mérés idejére előírtuk a ruházatot $I_{cl} = 0{,}8$ clo értékben, ami megfelel az átlagos, a többi fűtési vizsgálatok során alkalmazott téli ruházat szigetelőképességének. Az alanyok összesített antropológiai adatai a *16.11. táblázat*ban láthatók.

Az alanyok a vizsgálatok közötti időt olvasással, kézimunkázással, azaz ülő, szellemi munkával (58,2 $\text{W/m}^2 = 1$ met) töltötték.

A hőérzeti mérések megkezdésekor az elővizsgálóban az alany általános előfelmérő ívet töltött ki, melynek segítségével antropológiai (testmagasság, testsúly) fiziológiai, egészségi állapotra és hőérzékenységre vonatkozó adatokhoz jutottunk. Az elővizsgáló helyiségben a mérőtérrel azonos klímafeltételeket — levegő-hőmérséklet, relatív nedvességtartalom — biztosítottunk, hogy a külvilág meteorológiai körülményeiből az alany szervezete, az elővizsgálat időtartama alatt, a mérés folyamán uralkodó klímához adaptálódjék.

16.11. táblázat. A vizsgálati alanyok antropológiai adatai (Bánhidi és mtsai 1989b)

Azonosító szám	Nem	Kor [év]	Magasság [m]	Súly [kg]	DuBois-felület [m^2]
1	nő	74	1,52	61,24	1,65
2	ffi	70	1,70	93,42	2,15
3	nő	68	1,60	76,89	1,90
4	ffi	77	1,69	108,41	2,32
5	nő	69	1,55	78,82	1,90
6	ffi	75	1,63	96,10	2,15
7	nő	60	1,70	86,20	2,05
8	ffi	68	1,72	89,38	2,10
9	nő	60	1,58	70,70	1,80
10	ffi	68	1,69	87,76	2,07
11	nő	60	1,48	71,94	1,79
12	ffi	65	1,65	72,81	1,86
Nők,	átlag $\bar{x}$	65,17	157,17	74,14	1,85
	szórás S_x	6,01	7,60	7,95	0,13
Férfiak,	átlag $\bar{x}$	70,50	168,00	91,63	2,11
	szórás S_x	4,59	3,35	11,90	0,15
Összesen,	átlag $\bar{x}$	67,83	160,33	82,88	1,98
	szórás S_x	5,81	11,05	13,29	0,19

Az elővizsgálóban a következő fiziológiai méréseket végeztük:

— testmagasságmérést,
— testsúlymérést,
— pulzusszámmérést.

Az élőalanyos vizsgálatok után a mérés résztvevői bementek a mérőtérbe és elfoglalták kijelölt helyüket: az ablakos fallal mindig szemben ülve, attól 1,0 m távolságban.

A mérés ideje alatt az ülési pozíció mindenkor azonos volt, függetlenül attól, hogy az aznapra ütemezett hőérzeti vizsgálatokhoz a légfűtés befúvó, illetve elszívó rendszerét a mérőtér mely geometriája helyén szereltük fel. Egy mérési napon belül az első 2,5 órában a nők ültek az 1. jelű, míg a férfiak a 2. jelű helyen. Szünet után helyet cseréltek a második 2,5 órára.

A termikus hőkomforttal kapcsolatos méréseknél a mag-, valamint a testfelületi hőmérséklet értékeit (7 pontban) az embert körülvevő klímaparaméterek (levegőhőmérséklet, falhőmérséklet, légmozgássebesség, páratartalom) változásának együttes hatásaként vizsgáltuk.

Az élőalanyos mérésekben résztvevők szubjektív hőérzete, melyet a környező klímaparaméterek változása eredményez, az alábbi kérdőívekre adott válaszokból összegezhető:

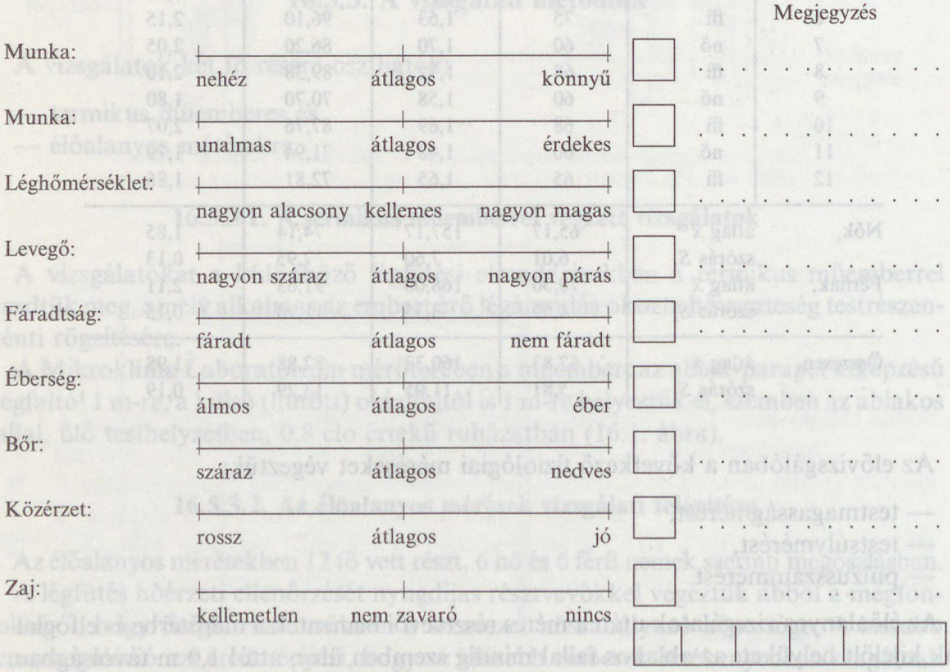
— érzetskála, melyben a kérdések a szellemi terhelés mértékére, milyenségére, a pillanatnyi klímahatások (levegő-hőmérséklet, páratartalom, huzathatás) okozta érzetre, a pszichológiai és fiziológiai állapotra irányulnak *(16.12. táblázat)*,

16.12. táblázat. Érzetskálák (Bánhidi és mtsai 1989b)

azonosítási szám és dátum

t= = V= c

Kérjük, jelölje meg a skálákon, hogy az egyes kérdésekre adott válasza a szélső értékek között hol helyezkedik el.



— hőérzeti mérőlap, mely egyrészt az ún. Fanger-féle 7 pontos skálát tartalmazza, másrészt az adott időpontban a környezeti termikus terhelés (hideg-, melegérzet) milyenségére, helyére és mértékére kérdez *(16.13. táblázat)*.

Mind az érzetskálát, mind pedig a hőérzeti mérőlapot a vizsgált személyek a mérési időszak minden 30. percében töltötték ki.

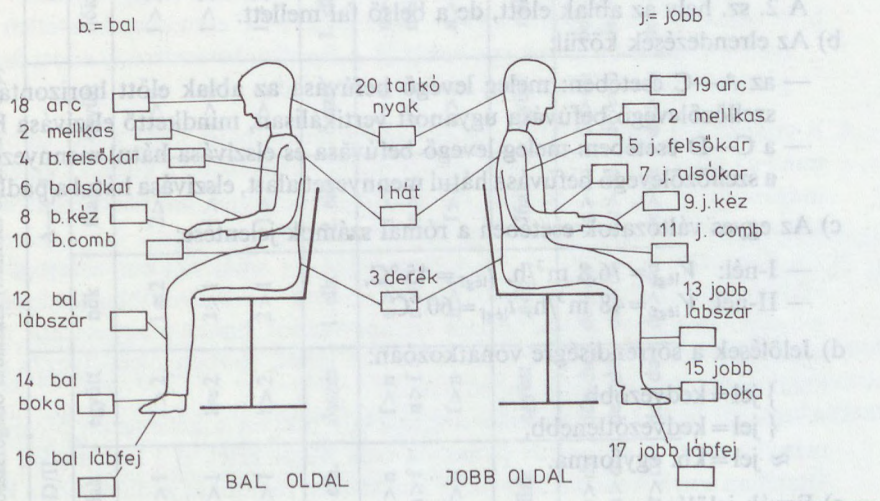
Egy napon kétszer 2,5 órát töltöttek a vizsgált személyek a mérőtérben. A két mérési periódus között 30 perces szünetet tartottunk, amikor az elővizsgálóban fiziológiai méréseket végeztünk (pulzusszám- és súlymérés). Az elővizsgáló helyiségben a mérőtérhez hasonló levegő-hőmérsékletet biztosítottunk.

16.13. táblázat. Hőérzeti mérőlap I. (Bánhidi és mtsai 1989b)

Azonosító sz:

Dátum: Idő:

1. Kérem, jelölje be az ábrán minden testrészére a hőérzetének megfelelő számértéket:



2. Milyennek találja a környezetét hőérzeti szempontból?

A válaszok számértékei:		
	nagyon meleg	+3
	meleg	+2
	kellemesen meleg	+1
	kellemes	0
	kellemesen hűvös	1
	hideg	2
	nagyon hideg	3

Naponta 6 alkalommal az alanyokkal az alábbi, a szellemi teljesítmény változására jellemző vizsgálatokat végeztünk:

— reakcióidő-mérés szenzométerrel: a reakcióidő kiszámítása optikai, színinger hatására,

— disztributív figyelemvizsgálat (optikai inger hatására koordinált kézmozgással adott válaszadás, az időegység alatt).

A napi méréssorozat befejezéséül az elővizsgálóban az utófelmérésre került sor (fiziológiai mérések). Az alanyok mérés utáni időszakra (24 óra) vonatkozó szubjektív hőérzetének meghatározását az utófelmérő kérdőív válaszaiból összegeztük. A vizsgálatokról bővebben a (Bánhidi és mtsai 1989a, b) publikációkban.

16.5.4. A mérési eredmények összegzése

A vizsgálati eredmények több szempont szerint értékelhetők, ezek között általános, elméleti és gyakorlati felhasználási szempontok egyaránt megtalálhatók.

Az eredményeket az összesítő *16.14. táblázat*ban mutatjuk be. Az egyes jelölések magyarázata:

a) Az 1. sz. hely az ablak előtt, a hideg külső fal mellett; tehát a „hideg sarokban". A 2. sz. hely az ablak előtt, de a belső fal mellett.

b) Az elrendezések közül:

— az A—C esetében: meleg levegő befúvása az ablak előtt horizontálisan, a szellőzőlevegő befúvása ugyanott vertikálisan, mindkettő elszívása hátul,

— a C—D esetében: meleg levegő befúvása és elszívása hátul mennyezet alatt, a szellőzőlevegő befúvása hátul mennyezet alatt, elszívása hátul a padló felett.

c) Az egyes változatok esetében a római számok jelentése:

— I-nél: $\dot{V}_{légf} = 76{,}8\ m^3/h$, $t_{légf} = 45\ °C$,
— II-nél: $\dot{V}_{légf} = 48\ m^3/h$, $t_{légf} = 60\ °C$.

d) Jelölések a sorrendiségre vonatkozóan:

} jel = kedvezőbb,
{ jel = kedvezőtlenebb,
≈ jel = kb. egyforma.

e) Egyéb jelölések:

n = nő,
f = férfi,
de = délelőtt,
du = délután.

Az eredményeket értelemszerűen a következőkben összegezhetjük:

1. A vizsgálatok egyértelműen bizonyították, hogy olyan jellegű vizsgálatok esetében, amikor az emberi test a légáramlás miatt fokozott konvekciós hőleadásnak van kitéve, pontos műszaki adatokat szolgáltat a műemberes mérési technika. Az egyes testrészek fokozottabb hőleadása élő alanyokon végzett bőrhőmérséklet-mérésekkel, a viszonylag kis hőmérséklet-eltérések miatt nem határozható meg. A termikus műember tehát nagyon jól alkalmazható: szellőzések, légfűtések minősítése, összehasonlítása esetén, illetve a huzathatás okozta hőveszteség számszerű értékének meghatározására.
2. A Mikroklíma Laboratóriumban végzett termikus műemberes és élőalanyos vizsgálatok egyértelműen bizonyították:

a) A termikus műemberrel mért számszerű értékek és a szubjektív emberi hőérzet közötti összefüggések pontosan meghatározhatók.

b) Ennek értelmében kialakítható egy olyan adatbank, amely csak a műemberes mérések eredményei alapján, közvetlenül szolgáltatja az adott esetben várható szubjektív emberi hőérzetet.

16.14. táblázat. A vizsgálatok eredményeinek összefoglaló táblázata (Bánhidi és mtsai 1989b)

ELHELYEZKEDÉS szerint	C—D/I.			C—D/II.			A—C/I.			A—C/II.		
	nők	ffiak	együtt	nők	ffiak	együtt	nők	ffiak	együtt	nők	ffiak	együtt
Hőérzet és a panaszok szerinti sorrend	1>2	2>1	2>1	1>2	2>1	1>2	1≈2	2>1	1>2	1>2	2>1	1>2
Elvégzett tesztek szerinti sorrend	1≈2	2>1	1≈2	1≈2	2>1	1≈2	2>1	1>2	1>2	1>2	1>2	1>2
Összes vizsgálatot együtt tekintve a sorrend	1>2	2>1	2>1	1>2	2>1	1>2	2>1	1>2	1>2	1>2	2>1	1>2
NEMEK szerint	1. elh.	2. elh.	összes	1. elh.	2. elh.	összes	1. elh.	2. elh.	összes	1. elh.	2. elh.	összes
Hőérzet és a panaszok szerint	n>f	f>n	n>f	n>f	f>n	f>n	n>f	f>n	f>n	n>f	f>n	f>n
Elvégzett tesztek szerint	n>f	n>f	n>f	n≈f	n>f	n>f	n≈f	n>f	n>f	n≈f	n≈f	n≈f
Összes vizsgálat együtt tekintve a sorrend	n>f	n>f	n>f	n>f	f>n	f>n	n>f	f>n	n>f	n>f	f>n	f>n
DÉLELŐTTI ÉS DÉLUTÁNI mérési eredm. szerint	nők	ffiak	együtt	nők	ffiak	együtt	nők	ffiak	együtt	nők	ffiak	együtt
Hőérzet és a panaszok szerint	de>du	de>du	de>du	de>du	de>du	de>du	de>du	de>du	de>du	de>du	de>du	de>du
Elvégzett tesztek szerint	de≈du	du>de	de>du	de≈du	du>de	de>du	du>de	du>de	de≈du	de>du	du>de	de≈du
Összes vizsgálatot együtt tekintve a sorrend	de>du	du>de	de>du	de>du	du>de	de>du	de>du	de>du	de>du	de>du	de>du	de>du

Jelmagyarázat: n — nők, f — férfiak, de — délelőtt, du — délután

3. Jogosan merülhet fel a kérdés, hogy az egyes változatok értékelésekor miért nem alkalmaztuk a Fanger-féle *PMV—PPD*-módszert (Fanger 1982), mint azt egyéb fűtési megoldások vizsgálatakor már megtettük (Bánhidi 1987c, Bánhidi és mtsai 1987). Ennek magyarázata a következő két pontban foglalható össze:

   a) Kétségtelen tény, hogy a különböző légfűtési esetekben a légmennyiség változása a légsebesség megváltozásával figyelembe vehető, ez azonban a vizsgált esetekben nagyon bonyolult és egyáltalán nem tűnik meggyőzőnek.
   b) A befúvási levegő-hőmérséklet — amely az A—C esetekben közvetlen aszimmetrikus huzathatást okoz a bokánál — figyelembevételére az adott összefüggések, illetve azok magyarázata nem ad módot.

4. A vizsgált két változattal kapcsolatban megállapítható, hogy mind szubjektíve, mind az emberi test hőleadása szempontjából kedvezőbb a kisebb légmennyiség magasabb levegő-hőmérséklet (I. változatok), mint a nagyobb légmennyiség, alacsonyabb levegő-hőmérséklet (II. változatok).
5. Az elrendezések közül az A—C megoldás — tehát amikor a levegőbefújás vertikálisan, az ablak előtt lentről felfelé irányul — a kedvezőbb, mind szubjektíve, mind az emberi test hőleadása szempontjából. Ennek magyarázata: a meleg légsugár részben közvetlenül éri az emberi testet, részben ellensúlyozza a hideg ablak és parapetfal kedvezőtlen hatását.
6. A vizsgált változatok esetében a szubjektív hőérzet a kellemesen hűvös tartományba esett. A szubjektív panaszok csak ritkán érték el a kellemetlen szintet, általában a nem kellemetlen—kissé kellemetlen rovatokat jelölték meg a kísérleti személyek. A legtöbb panaszt kapott testrészek a derék és a lábszárak, elég sokszor szerepelnek a lábfejek is. Ezekhez az esetekhez a hőveszteség a komfortonmért értékhez képest lényegesen magasabb, az „észlelt" hőmérséklet 4—5 K-nel is elmaradhat ettől az állapottól.
7. Az eddig végzett hőkomfortvizsgálatok során általában nem vették figyelembe a napi bioritmus hatását, és például a délutáni és reggeli szubjektív mérési eredményeket együttesen kezelték. Az általunk végzett vizsgálatok során tudatosan törekedtünk arra, hogy ezt a kérdést egy gyakorlati esetben is ellenőrizzük. Nos a vizsgálatok azt bizonyították, hogy

   — a vizsgált légfűtési esetekben és
   — a vizsgált idős (60 év feletti) alanyok esetében

   a napi bioritmus lényegesen befolyásolja a szubjektív hőérzetet, a komforttartomány határeseteiben a helyi diszkomforthatásokra vonatkozó emberi reakciókat. Ez magyarázza, illetve ezt bizonyítja például, hogy a kedvezőbb (2. pozíció) helyen elhelyezkedő személyek esetében délután kedvezőtlenebb hatás adódott a délelőttihez, esetenként az 1. pozícióban lévő egyénhez viszonyítva stb.

17. Az emberi követelményértékek és az energiafelhasználás optimumára méretezés lehetőségei nyáron

A téli állapotok elemzése után vizsgáljuk meg, mi a helyzet nyáron.

A meleg nyári állapotokban a lehetőségek tervezési szinten való figyelembevétele talán kevésbé van előtérben hazánkban. Ennek oka sokrétű, de az alapvető ok gazdasági jellegű:

— a nyári meleg időszak viszonylag rövid, a 24 °C feletti külső hőmérsékletű napok gyakorisági száma a *17.1. ábra,* valamint a *17.2. ábrán* látható külső hőmérsékleti függvény szerint alacsony, kb. 20 nap, a 30 °C feletti kánikulai napok száma pedig csak kb. 5 (Gábor és Zöld 1981).
— a hűtő, légkondicionáló rendszerek költsége viszont magas.

Ezek az okok — párosulva a korábbi egyszerűsített (léghőmérsékletre méretezés), és kimondhatjuk, nem humáncentrikus méretezési elvekkel és a meleghatásra adódó kedvezőtlen emberi reakciók ismeretének hiányával — eredményezték e fontos kérdés bizonyos fokú háttérbe szorulását. A közeljövőben azonban a helyzet előreláthatóan változik, e kérdés is előtérbe kerül, tehát célszerű röviden áttekinteni.

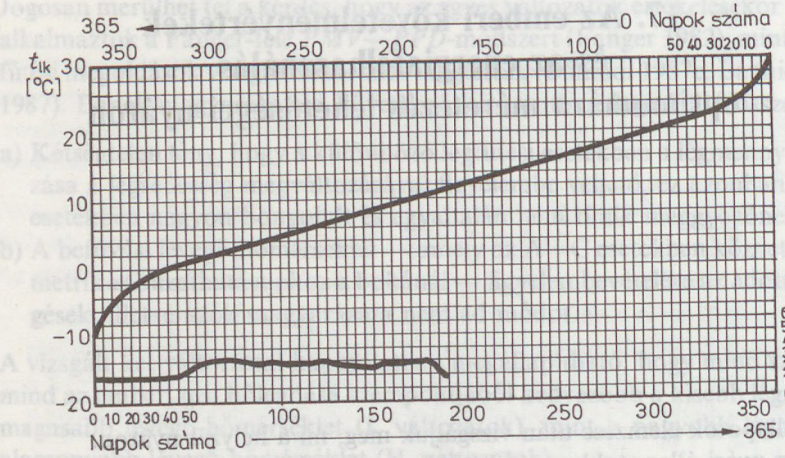
A fejezet címválasztása egyébként tudatos, mivel két egymástól eltérő eredetű belső téri meleg állapottal foglalkozunk:

— az első az, amely csak a külső időjárás hatására keletkezik,
— a második az, amikor is a külső időjárási paraméterek mellett, vagy csak kizárólagosan, a belső hőfejlődések okozzák az emberi szempontból kedvezőtlen meleg mikroklímát.

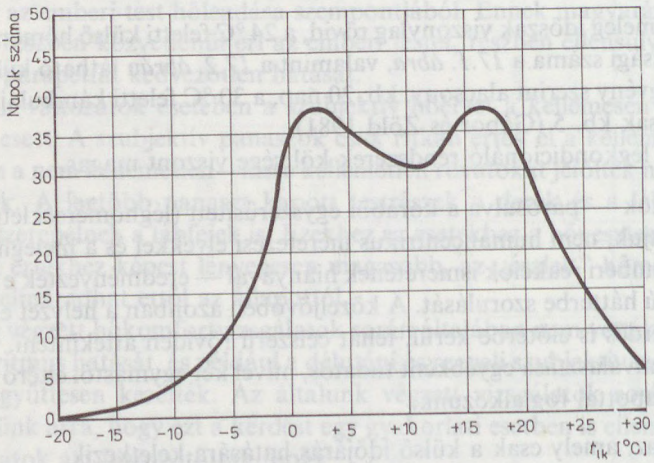
A nyári állapotok vizsgálatakor viszont bizonyos fokú földrajzi megkötöttségeket alkalmazunk; csak az ún. mérsékelt égövi nyári paraméterekkel számolunk. Erre vonatkozóan a már bemutatott adatokból (lásd 17.1. ábra) és a külső hőmérsékleti függvényből (lásd 17.2. ábra) indulunk ki.

Gyakorlatilag tehát ez azt jelenti, hogy a meleg mediterrán, sivatagi, trópusi stb. környezet vonatkozó hőkomfort- és energiafelhasználási kérdéseivel egyáltalán nem foglalkozunk. Ennek egyébként önálló és kiterjedt szakirodalma van (Givoni 1969, Givoni és Berner-Nir 1967a, b).

További „szűkítését" jelenti a tématerületnek, hogy az épületek hőtechnikai viselkedését a napsugárzás hatására már elemeztük, bizonyos mértékig a 11. fejezetben, itt



17.1. ábra. A külső hőmérséklet gyakorisági függvénye Budapesten (Gábor és Zöld 1981)



17.2. ábra. A külső hőmérséklet sűrűségfüggvénye (Gábor és Zöld 1981)

csak az „eredményt", a belső meleg mikroklíma hőérzeti hatását tekintjük át. A napsugárzás hatásának kérdésével egyébként a szakirodalomban nagyon sok könyv foglalkozik, magyar vonatkozásban például Gábor és Zöld (1981), Gyurcsovics (1982), de számos egyéb mű is található: ISES (1985), Jesch (1982), Sebestyén (1972), Szokolay (1975), Tömöry (1980).

E fejezetben emellett azokra az egyéb, nemzetközi irodalmi forrásokra, mindenhol található adatokra (pl.: Szabó 1973) mint alapra is hivatkozunk, amelyek az ember, annak komfortja szempontjából tekintik át e kérdést. Természetesen az épület, annak hővédelme, hőtehetetlensége stb. ebben az esetben is döntő (pl. hagyományos, paneles vagy könnyűszerkezetes épületek eltérő esetei), s ezt a témát is érintjük. Az energiafel-

használás kérdése nyáron egyébként — mint látni fogjuk — sok variációs lehetőséget rejt magában.

Természetesen, ebben az esetben is, a gazdasági paraméterek a döntőek az emberi komfort optimuma vagy megengedhető értéke szempontjából, de itt az időfaktor még jobban befolyásoló tényező. Hiszen emberi szempontból elviselhetetlen meleg mikroklíma-paraméterek hazánkban nincsenek. A nehezen elviselhető meleg napok száma kevés, illetve az időtartam viszonylag rövid.

Másik „előny" a téli hideg állapotokhoz viszonyítva, hogy

— a ruházattal viszonylag szélesebb önszabályozási lehetősége van az embernek,
— a kezeletlen — ez esetben tehát nem hűtött — levegő egyszerű áramoltatásával is javítható a komfortérzet, mivel a fokozottabb konvektív és párolgásos hőleadást elősegíthetjük. Ebben az esetben pl. csak a ventillátormotor az energiafelhasználási tétel.

Az optimális állapotokat biztosító légkondicionálás költségei ugyanis magasak. Ezért alkalmazási területeik erősen korlátozottak; elsősorban reprezentatív középületekre és különlegesen fontos ipari üzemekre. Mindezeket figyelembe véve a következő három kérdéscsoporttal foglalkozunk:

— a meleg időtartam osztályozásával,
— az emberi hőkomfort szempontjából optimális és megengedhető határértékekkel,
— ugyanezen határértékekkel a szellemi és fizikai munkavégzés szempontjából és néhány vizsgálat kapcsán az általános energetikai meggondolásokkal.

17.1. A különböző külső paraméterek figyelembe vehető, illetve veendő időtartamai

A korábbiakban (15.1. alfejezet) az átmeneti időszakkal fejeztük be a külső levegőhőmérsékletre jellemző időintervallumok ismertetését. A nyári időszakot, az ún. semleges időszak ismertetésével kezdjük, mivel ez átnyúlhat a meleg időszakba is, az épület karakterisztikájának függvényében.

1. *A semleges időszak.* A fűtési idényen kívüli időszak nagyobb részét, mintegy 3000—3500 órát tesz ki a semleges időszak, amire a 20—22 °C külső hőmérséklet jellemző. Figyelembe kell venni, hogy adott rendeltetésű helyiség hőtechnikai jellemzőinek kedvező vagy kedvezőtlen volta mintegy 1000 órával hosszabb vagy rövidebb semleges időszakot eredményezhet. Ez vonatkozik a hőérzetileg kedvezőtlen, a szélsőségesen meleg időszakhoz csatlakozó időtartamra is. Ebben az időszakban a főszerepet a homlokzati üvegezési arány és az üvegezés, valamint az árnyékolás naptényezője játssza.

2. *A szélsőségesen meleg időszak.* Évente mintegy 500—1000 órás időtartam ez, amely nem összefüggő időszakokból adódó 22—45 napot jelent, hanem 60—100 napnak délelőtti, délutáni óráiból tevődik össze. A hőtechnikai jellemzők közül a legnagyobb befolyása a homlokzati üvegezési aránynak, a naptényezőnek és a helyiséget burkoló felületek hőelnyelésének van.

17.2. Az emberi hőkomfort szempontjából optimális és megengedhető paramétereknek megfelelő nyári méretezési értékek

Arra vonatkozóan, hogy az emberi hőkomfort szempontjából nyáron az optimális és a megengedhető méretezési értékek hogyan alakulnak, két eljárást, módszert célszerű áttekintenünk:

— a méretezést komfortdiagramok, valamint
— a *PPD* adatok

alapján.

Ezek a nemzetközileg alapértéknek elfogadott adatok, bár ezektől gyakran eltérnek, általában ugyancsak gazdasági okok miatt. Hazai vonatkozásban a helyzet hasonló, de az eltérés mértéke, lehetősége — mint azt a következő pontban látni fogjuk — csak egyes területeken tisztázott.

Mielőtt azonban ezekre rátérnénk, tekintsük át a komfortdiagramokra, valamint a *PPD* értékekre vonatkozó adatokat.

17.2.1. A hőkomfortértékek a komfortdiagramok alapján

Az emberi hőkomfort szempontjából optimális értékeket a Fanger-féle komfortdiagramok alapján (Fanger 1982) határozhatjuk meg. Ehhez elsősorban a 4 × 3 darab $t_{lb} - t_{ks}$ diagram használható fel.

Ezekből a nyári ruházatnak megfelelő 0,5 clo értékű három ábrából *(17.3. ábra)* a három metabolikus értékre, azonos levegő- és közepes sugárzási hőmérsékletre, a következő ambiens hőmérsékletértékek adódnak:

a) nyugalmi állapot (1 met), ha

— $v \leq 0{,}1$ m/s, 25,2 °C,
— $v = 0{,}5$ m/s, 28,0 °C,
— $v = 1{,}5$ m/s, 29,2 °C;

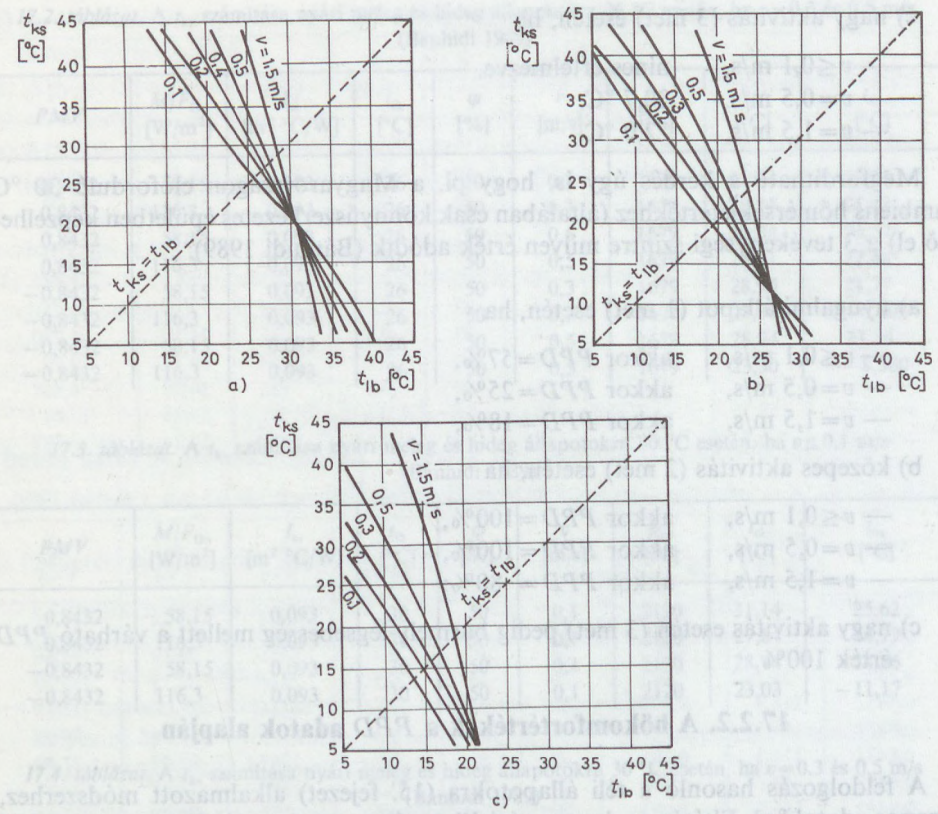
b) közepes aktivitás (2 met) esetén, ha

— $v \leq 0{,}1$ m/s, 18,0 °C,
— $v = 0{,}5$ m/s, 22,4 °C,
— $v = 1{,}5$ m/s, 25,2 °C;

c) nagy aktivitás (3 met) esetén, ha

— $v \leq 0{,}1$ m/s, 13,0 °C,
— $v = 0{,}5$ m/s, 17,0 °C,
— $v = 1{,}5$ m/s, 19,0 °C.

Tehát ezekben az esetekben a hőkörnyezettel elégedetlenek aránya (*PPD*) csak 5% körüli lesz.



17.3. ábra. Komfortdiagram a levegő-hőmérséklet és a közepes sugárzási hőmérséklet függvényében, könnyű öltözetű ($I_{cl}=0{,}5$) emberekre: a) nyugalmi állapotra, b) közepes aktivitásra, c) nagy aktivitásra (Fanger 1982)

Amennyiben a *PPD* érték százalékos arányát 20%-nak adjuk meg (azaz $PMV=+0{,}8$), akkor a következő értékek adódnak:

a) nyugalmi állapot (1 met) esetén, ha

— $v \leq 0{,}1$ m/s, nincs értelmezve,
— $v=0{,}5$ m/s, 29,5 °C,
— $v=1{,}5$ m/s, 30,5 °C;

A „nincs értelmezve" azt jelenti, hogy a *PMV* érték több, mint +2,

b) közepes aktivitás (2 met) esetén, ha

— $v \leq 0{,}1$ m/s, nincs értelmezve,
— $v=0{,}5$ m/s, 25,6 °C
— $v=1{,}5$ m/s, 26,4 °C;

c) nagy aktivitás (3 met) esetén, ha

— $v \leq 0{,}1$ m/s, nincs értelmezve,
— $v = 0{,}5$ m/s, 20,7 °C,
— $v = 1{,}5$ m/s, 22,0 °C.

Megfordítható a kérdés úgy is, hogy pl. a Magyarországon előforduló 30 °C ambiens hőmérsékletértékhez (általában csak könnyűszerkezetes épületben képzelhető el) a 3 tevékenységi szintre milyen érték adódik (Bánhidi 1989):

a) nyugalmi állapot (1 met) esetén, ha

— $v \leq 0{,}1$ m/s, akkor $PPD = 57\%$,
— $v = 0{,}5$ m/s, akkor $PPD = 25\%$,
— $v = 1{,}5$ m/s, akkor $PPD = 18\%$,

b) közepes aktivitás (2 met) esetén, ha

— $v \leq 0{,}1$ m/s, akkor $PPD = 100\%$,
— $v = 0{,}5$ m/s, akkor $PPD = 100\%$,
— $v = 1{,}5$ m/s, akkor $PPD = 80\%$;

c) nagy aktivitás esetén (3 met) pedig bármely légsebesség mellett a várható *PPD* érték 100%.

17.2.2. A hőkomfortértékek a *PPD* adatok alapján

A feldolgozás hasonló a téli állapotokra (15. fejezet) alkalmazott módszerhez, azonos adatokkal. Eltérés az, hogy nyári állapotban a melegre és hidegre várhatóan panaszkodó 20%-os *PPD* értékeit együtt tekintjük át (a melegre a pozitív, a hidegre a negatív előjel utal a következőkben bemutatásra kerülő táblázatok *PMV* értékeinél). További eltérés, hogy ezeket az értékeket csak 0,6 clo, azaz nagy $I_{cl} = 0{,}093$ m^2 °C/W értékekre dolgoztuk ki (Bánhidi 1989).

a) Először a 26 °C-hoz tartozó t_{ks} értékeket mutatjuk be a *17.1. táblázat*ban.
b) A *17.2. táblázat*ban az előzőhöz hasonló értékek találhatók, de $v = 0{,}3$ és 0,5 m/s relatív légsebességre kerültek kidolgozásra. A melegre panaszkodókra vonatkozó értékekhez természetesen magasabb, a hidegre panaszkodók esetében alacsonyabb t_{ks} értékek tartoznak.

17.1. táblázat. A t_{ks} számítása nyári meleg és hideg állapotokra 26 °C esetén, ha $v \leq 0{,}1$ m/s (Bánhidi 1989)

PMV	M/F_{Du} [W/m^2]	I_{cl} [m^2 °C/W]	t_{lb} [°C]	φ [%]	v [m/s]	p_{vg} [Pa]	t_{cl} [°C]	t_{ks} [°C]
0,8432	58,15	0,093	26	50	0,1	1679	31,34	29,99
0,8432	116,3	0,093	26	50	0,1	1679	28,11	19,96
−0,8432	58,15	0,093	26	50	0,1	1679	28,94	19,72
−0,8432	116,3	0,093	26	50	0,1	1679	23,30	−4,311

17.2. táblázat. A t_{ks} számítása nyári meleg és hideg állapotokra 26 °C esetén, ha $v = 0{,}3$ és 0,5 m/s (Bánhidi 1989)

PMV	M/F_{Du} [W/m²]	I_{cl} [m² °C/W]	t_{lb} [°C]	φ [%]	v [m/s]	p_{vg} [Pa]	t_{cl} [°C]	t_{ks} [°C]
0,8432	58,15	0,093	26	50	0,3	1679	31,34	33,33
0,8432	116,3	0,093	26	50	0,3	1679	28,11	21,43
0,8432	58,15	0,093	26	50	0,5	1679	31,34	35,57
0,8432	116,3	0,093	26	50	0,5	1679	28,11	22,44
−0,8432	58,15	0,093	26	50	0,3	1679	28,94	21,77
−0,8432	116,3	0,093	26	50	0,3	1679	23,30	−6,803
−0,8432	58,15	0,093	26	50	0,5	1679	28,94	23,16
−0,8432	116,3	0,093	26	50	0,5	1679	23,30	−8,560

17.3. táblázat. A t_{ks} számítása nyári meleg és hideg állapotokra 30 °C esetén, ha $v \leq 0{,}1$ m/s (Bánhidi 1989)

PMV	M/F_{Du} [W/m²]	I_{cl} [m² °C/W]	t_{lb} [°C]	φ [%]	v [m/s]	p_{vg} [Pa]	t_{cl} [°C]	t_{ks} [°C]
0,8432	58,15	0,093	30	50	0,1	2120	31,14	25,62
0,8432	116,3	0,093	30	50	0,1	2120	27,84	14,79
−0,8432	58,15	0,093	30	50	0,1	2120	28,74	14,86
−0,8432	116,3	0,093	30	50	0,1	2120	23,03	−11,17

17.4. táblázat. A t_{ks} számítása nyári meleg és hideg állapotokra 30 °C esetén, ha $v = 0{,}3$ és 0,5 m/s (Bánhidi 1989)

PMV	M/F_{Du} [W/m²]	I_{cl} [m² °C/W]	t_{lb} [°C]	φ [%]	v [m/s]	p_{vg} [Pa]	t_{cl} [°C]	t_{ks} [°C]
0,8432	58,15	0,093	30	50	0,3	2120	31,14	26,38
0,8432	116,3	0,093	30	50	0,3	2120	27,84	13,18
0,8432	58,15	0,093	30	50	0,5	2120	31,14	26,90
0,8432	116,3	0,093	30	50	0,5	2120	27,84	12,05
−0,8432	58,15	0,093	30	50	0,3	2120	28,74	13,93
−0,8432	116,3	0,093	30	50	0,3	2120	23,03	−18,21
−0,8432	58,15	0,093	30	50	0,5	2120	28,74	13,28
−0,8432	116,3	0,093	30	50	0,5	2120	23,03	−23,49

17.5. táblázat. A t_{lb} számítása nyári meleg és hideg állapotokra, ha $v \leq 0{,}1$ m/s (Bánhidi 1989)

PMV	M/F_{Du} [W/m²]	I_{cl} [m² °C/W]	t_{ks} [°C]	φ [%]	v [m/s]	p_{vg} [Pa]	t_{cl} [°C]	t_{lb} [°C]
0,8432	58,15	0,093	24	50	0,1	2298	31,06	31,40
0,8432	116,3	0,093	24	50	0,1	1372	28,31	22,62
0,8432	58,15	0,093	26	50	0,1	2080	31,15	29,65
0,8432	116,3	0,093	26	50	0,1	1243	28,39	21,01

17.5. táblázat. folytatása

PMV	M/F_{Du} [W/m^2]	I_{cl} [m^2 °C/W]	t_{ks} [°C]	φ [%]	v [m/s]	p_{vg} [Pa]	t_{cl} [°C]	t_{lb} [°C]
0,8432	58,15	0,093	28	50	0,1	1875	31,26	27,87
0,8432	116,3	0,093	28	50	0,1	1136	28,46	19,58
0,8432	58,15	0,093	30	50	0,1	1679	31,34	26,00
0,8432	116,3	0,093	30	50	0,1	1041	28,53	18,16
−0,8432	58,15	0,093	24	50	0,1	1340	29,10	22,23
−0,8432	116,3	0,093	24	50	0,1	517	24,13	7,84
−0,8432	58,15	0,093	26	50	0,1	1223	29,15	20,75
−0,8432	116,3	0,093	26	50	0,1	475	24,16	6,230
−0,8432	58,15	0,093	28	50	0,1	1117	29,21	19,29
−0,8432	116,3	0,093	28	50	0,1	435	24,20	4,968
−0,8432	58,15	0,093	30	50	0,1	1021	29,25	17,84
−0,8432	116,3	0,093	30	50	0,1	398	24,24	3,697

17.6. táblázat. A t_{lb} számítása nyári meleg és hideg állapotokra, ha $v = 0{,}3$ és 0,5 m/s (Bánhidi 1989)

PMV	M/F_{Du} [W/m^2]	I_{cl} [m^2 °C/W]	t_{ks} [°C]	φ [%]	v [m/s]	p_{vg} [Pa]	t_{cl} [°C]	t_{lb} [°C]
0,8432	58,15	0,093	24	50	0,3	2283	31,07	31,28
0,8432	116,3	0,093	24	50	0,3	1551	28,19	24,66
0,8432	58,15	0,093	26	50	0,3	2146	31,13	30,20
0,8432	116,3	0,093	26	50	0,3	1454	28,28	23,58
0,8432	58,15	0,093	28	50	0,3	2013	31,18	29,09
0,8432	116,3	0,093	28	50	0,3	1362	28,82	22,49
0,8432	58,15	0,093	30	50	0,3	1886	31,25	27,97
0,8432	116,3	0,093	30	50	0,3	1271	28,28	21,36
0,8432	58,15	0,093	24	50	0,5	2277	31,07	31,24
0,8432	116,3	0,093	24	50	0,5	1616	28,14	25,34
0,8432	58,15	0,093	26	50	0,5	2168	31,12	30,38
0,8432	116,3	0,093	26	50	0,5	1537	28,20	24,50
0,8432	58,15	0,093	28	50	0,5	2062	31,16	29,51
0,8432	116,3	0,093	28	50	0,5	1458	28,25	23,63
0,8432	58,15	0,093	30	50	0,5	1958	31,21	28,61
0,8432	116,3	0,093	30	50	0,5	1383	28,30	22,75
−0,8432	58,15	0,093	24	50	0,3	1562	28,99	24,78
−0,8432	116,3	0,093	24	50	0,3	683	23,99	11,62
−0,8432	58,15	0,093	26	50	0,3	1462	29,04	23,67
−0,8432	116,3	0,093	26	50	0,3	634	24,03	10,48
−0,8432	58,15	0,093	28	50	0,3	1364	29,09	22,52
−0,8432	116,3	0,093	28	50	0,3	586	24,07	9,321
−0,8432	58,15	0,093	30	50	0,3	1269	29,19	21,34
−0,8432	116,3	0,093	30	50	0,3	540	24,10	8,121
−0,8432	58,15	0,093	24	50	0,5	1644	28,95	25,63
−0,8432	116,3	0,093	24	50	0,5	897	23,89	14,16
−0,8432	58,15	0,093	26	50	0,5	1560	28,99	24,75
−0,8432	116,3	0,093	26	50	0,5	761	23,92	13,27
−0,8432	58,15	0,093	28	50	0,5	1479	29,04	23,86
−0,8432	116,3	0,093	28	50	0,5	717	23,96	12,36
−0,8432	58,15	0,093	30	50	0,5	1398	29,07	22,94
−0,8432	116,3	0,093	30	50	0,5	675	23,99	11,43

c) A *17.3. táblázat* azonos a 17.1. táblázattal, de a viszonyítási alapérték 30 °C levegő-hőmérséklet.

d) A *17.4. táblázat* viszont azonos a 17.2. táblázattal, de 30 °C levegő-hőmérsékletre vonatkozik.

e) A *17.5. táblázat* esetében „megfordul a kérdés". Adott a közepes sugárzási hőmérséklet, mégpedig 24, 26, 28 és 30 °C; kérdés milyen levegő-hőmérséklet szükséges 20%-os meleg és hidegre vonatkozó *PPD* értékhez. Specifikus érték továbbá a $v \leq 0{,}1$ m/s relatív légsebesség.

f) Végül a *17.6. táblázat* azonos esetre vonatkozik mint a 17.5. táblázat, de a relatív légsebesség 0,3 és 0,5 m/s.

17.3. Épületekben nyáron előálló belső mikroklíma-állapotok és azok hatása a szubjektív hőérzetre, teljesítőképességre

E fejezeten belül három témakörrel foglalkozunk:

— könnyűszerkezetes iskolaépületekben Magyarországon előálló belső mikroklíma-paraméterek és azok várható hatása a hőérzetre, teljesítőképességre (számított és mért adatok),
— nyári emberi követelményértékek-vizsgálata iskolákban,
— helyszíni és laboratóriumi vizsgálatok meleg ipari környezetben várhatóan kialakuló szubjektív hőérzet meghatározására.

A témaválasztás elve specifikus a következő okokból:

a) Irodaépületek esetében a nyáron előálló, hőérzetileg kedvezőtlen paraméterek emberre, annak szellemi teljesítőképességére gyakorolt hatására vonatkozó olyan külföldi publikációk száma, amelyet hazai vonatkozásban alkalmazhatnánk, elenyésző. A magyarázat egyszerű; irodaépületek esetében klímaberendezéseket alkalmazva optimális paramétereket tartanak. Az ennél rosszabb esetek viszont nem képviselnek kutatás, illetve publikáció tárgyát.

b) Az ipari épületek témaköre viszont rendkívül szerteágazó — egy külön könyv tartalmát kitöltő —, ezért ebből csak egy hazai szemelvényt mutatunk be.

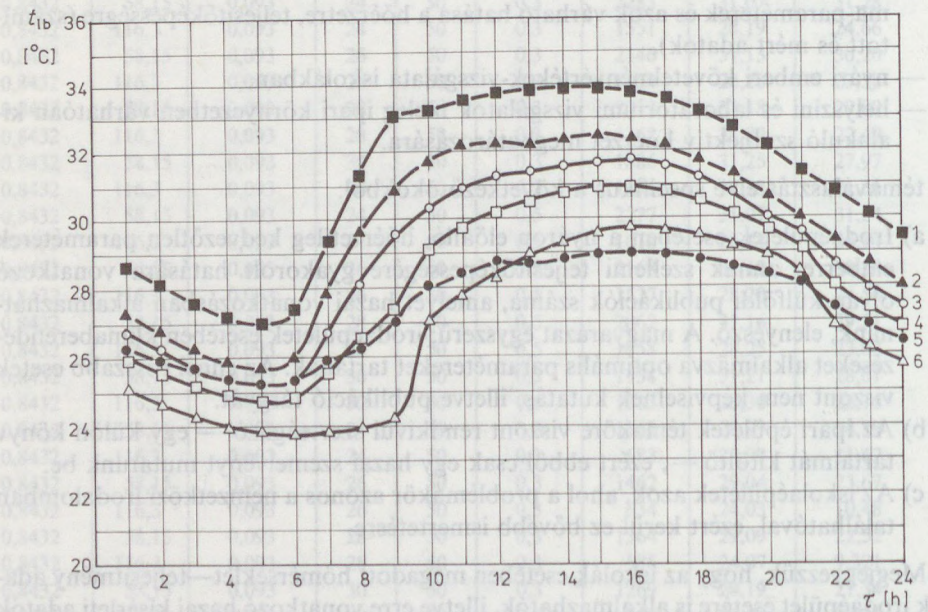
c) Az iskolaépületek azok, ahol a problémakör azonos a nemzetközi irodalomban találhatóval, ezért kerül ez bővebb ismertetésre.

Megjegyezzük, hogy az iskolák esetében megadott hőmérséklet—teljesítmény adatok irodaépület esetére is alkalmazhatók, illetve erre vonatkozó hazai kísérleti adatok találhatók a következő publikációkban: Bánhidi (1977), Bánhidi és mtsai (1981 a, b), Bischof és Bánhidi (1988).

17.3.1. Könnyűszerkezetes iskolaépületekben nyáron kialakuló mikroklíma-paraméterek

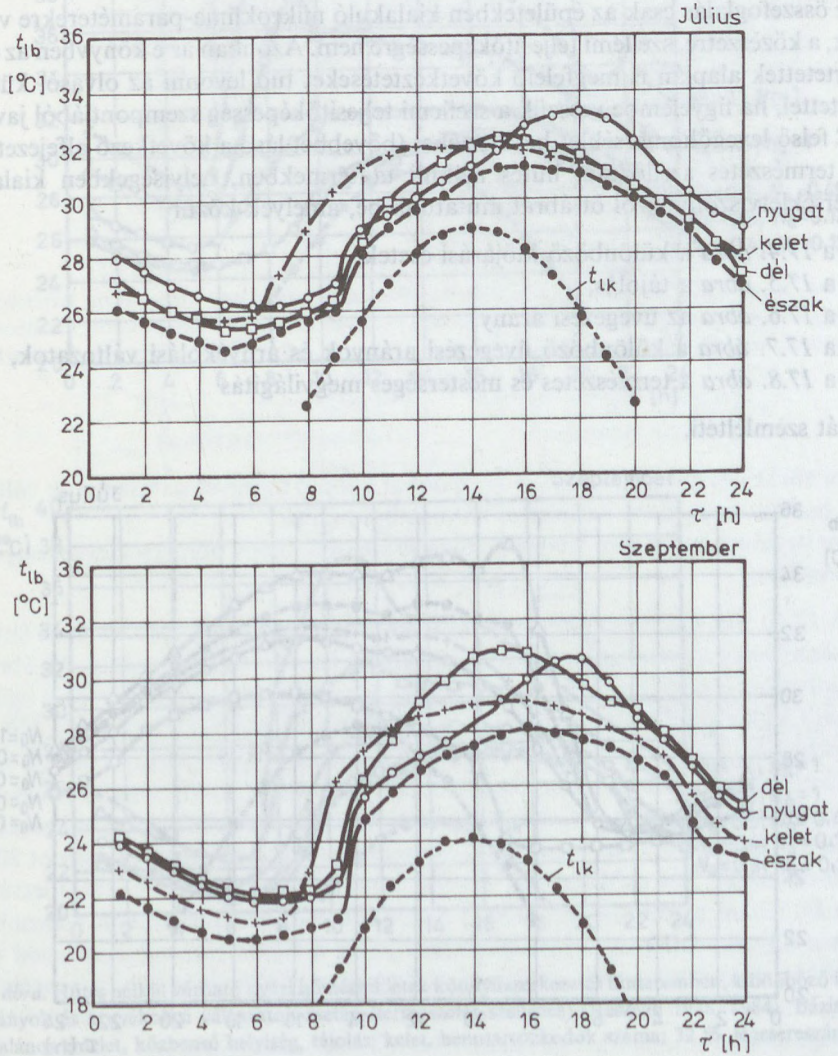
Könnyűszerkezetes épületekben az emberi követelményértékek szempontjából legkedvezőtlenebb hőkomfortállapotok nyáron alakulnak ki. Amennyiben ezen épületek funkciója iroda vagy kommunális, úgy ezekben eleve gépi hűtést vagy klimatizálást kell, vagy kellene, alkalmazni.

Van azonban a könnyűszerkezetes épületeknek egy olyan csoportja is, ahol szellemi munkavégzés folyik, de az épület funkciójánál fogva általában csak egyszerű szellőzést alkalmaznak, s ezek az iskolák, illetve oktatási épületek. Ezekben ugyanis a tanítás szeptember elejétől június végéig tart, így a legmelegebb időszakban „üzemszünet" van (ha eltekintünk ezen épületek egyéb, rövidebb időszakos, esetenkénti igénybevételétől, például tanfolyamok részére). Ezért az ilyen épületeket hazánkban általában, elsősorban költségvonzati okok miatt, csak természetes vagy mesterséges szellőzéssel látják el. Meg kell említenünk továbbá, hogy az ilyen könnyűszerkezetes épületeket általában egy, esetleg két-három szintesekre és általában alsófokú oktatási intézmények céljaira alkalmazzák.



17.4. ábra. Hűtés nélkül várható nyári hőmérsékletek könnyűszerkezetes tanteremben, különböző időjárási adatok esetén (természetes szellőzésre) (Részegh 1978, 1984). 1. kánikula, erős napsütés ($t_{max}=32$ °C; $I=1{,}5I_{ált}$), 2. meleg idő, erős napsütés ($t_{max}=29$ °C; $I=1{,}15I_{ált}$), 3. meleg, napsütéses idő $t_{max}=29$ °C; $I=0{,}8I_{ált}$), 4. meleg idő, gyenge napsütés ($t_{max}=29$ °C; $I=0{,}5I_{ált}$), 5. meleg, felhős idő ($t_{max}=29$ °C; $I=0{,}3I_{ált}$), 6. meleg idő, nincs napsütés ($t_{max}=29$ °C; $I=0$). Bázisadatok: általános emelet, közbenső helyiség, hó: július, üvegezési arány: $N_ü=0{,}5$, árnyékolás: $N_á=0{,}45$, benntartózkodók száma: 32 fő, légcsereszám: 3/h.

Az ilyen jellegű épületek belső mikroklímájának kérdésével legintenzívebben a 70-es évek kezdetétől a 80-as évek közepéig foglalkoztak. Napjainkban a téma hazai vonatkozásban tisztázottnak tekinthető, illetve az ilyen funkciójú könnyűszerkezetes épületek építésének aránya csökken. Mivel azonban sok megépült könnyűszerkezetes iskola, illetve oktatási épület üzemel, s eredményeik — mint bevezetőben említettük — bizonyos mértékig alkalmazhatók irodai épületek esetére is, célszerű a kérdés hazai tapasztalatait röviden áttekinteni. Megjegyezzük, hogy voltak hazai kezdeményezé-



17.5. ábra. Hűtés nélkül várható nyári hőmérsékletek könnyűszerkezetes tanteremben, különböző tájolások esetén (természetes szellőzésre) (Részegh 1978, 1984). Bázisadatok: általános emelet, közbenső helyiség, légcsereszám: 3/h, üvegezési arány: $N_{ü}=0{,}5$, árnyékolás: $N_{á}=0{,}45$, benntartózkodók száma: 32 fő

sek, vizsgálatok, kifejezetten könnyűszerkezetes irodaépületek komfortkérdéseinek tisztázására (Bánhidi 1983, Szabó 1973), de ezek eredményei kevésbé általánosíthatók.

A témáról a hivatkozott időszakban sok publikáció látott napvilágot, melyek közül néhányra hívjuk fel a figyelmet: Borol (1969), Egyedi (1974), Fekete (1972), Geibert (1976), Humphreys (1974), Kosztolányi (1974), Langdon és Laudon (1970), Pepler (1971), Terantera és mtsai (1979).

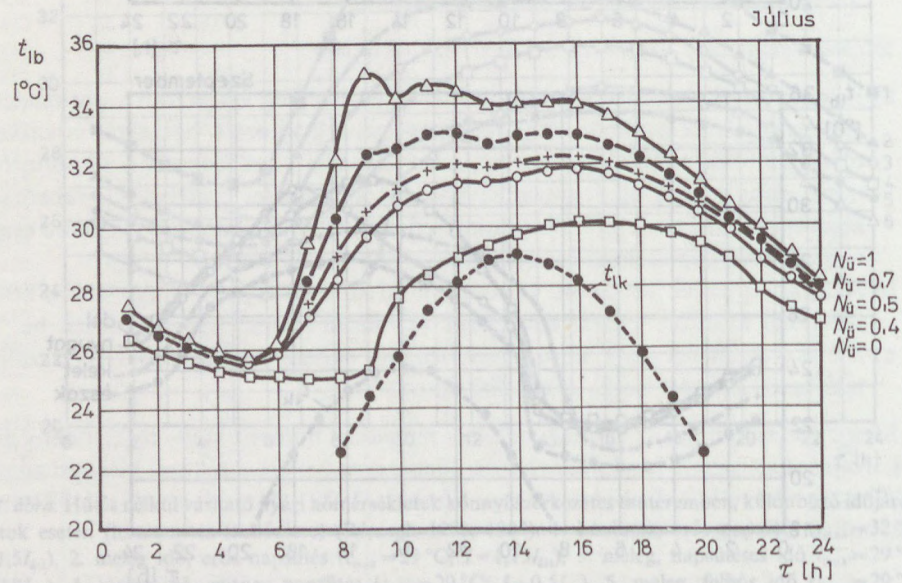
A következőkben a kérdést elsősorban Részegh — főleg Szabó Gyula munkássága alapján kidolgozott — korábbiakban is felsorolt vizsgálatainak egy részét feldolgozó publikációi alapján foglaljuk össze (Részegh 1978, 1984).

Az összefoglalás csak az épületekben kialakuló mikroklíma-paraméterekre vonatkozik, a közérzetre, szellemi teljesítőképességre nem. Azonban az e könyvben az eddig ismertetettek alapján is megfelelő következtetéseket tud levonni az olvasó, különös tekintettel, ha figyelembe vesszük a szellemi teljesítőképesség szempontjából javasolt 28 °C felső levegőhőmérséklet-határértéket (bővebbet lásd a következő alfejezetben).

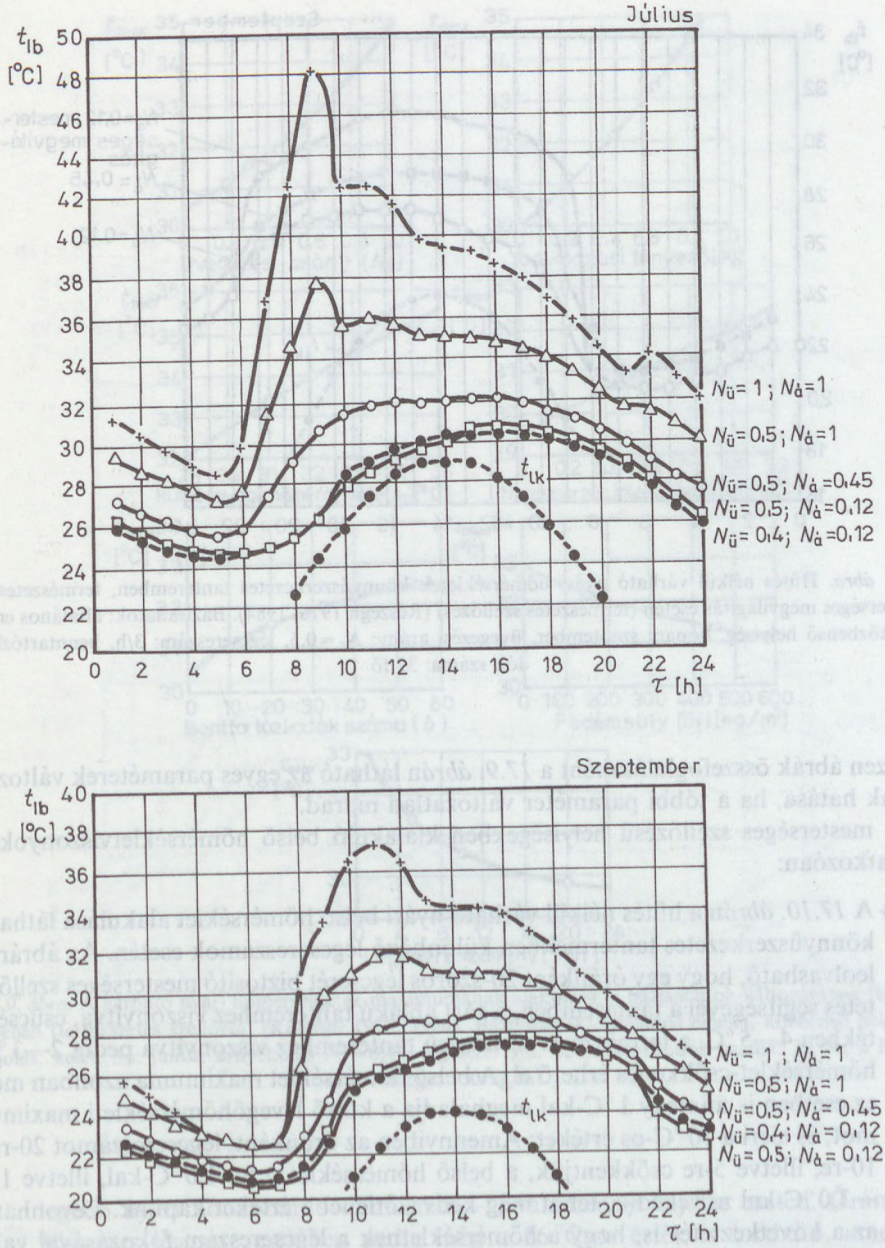
A természetes szellőzésű, hűtés nélküli tantermekben, helyiségekben kialakuló hőmérsékletviszonyokról öt ábrát mutatunk be, amelyek közül

— a *17.4. ábra* a különböző időjárási esetek,
— a *17.5. ábra* a tájolás,
— a *17.6. ábra* az üvegezési arány,
— a *17.7. ábra* a különböző üvegezési arányok és árnyékolási változatok, végül
— a *17.8. ábra* a természetes és mesterséges megvilágítás

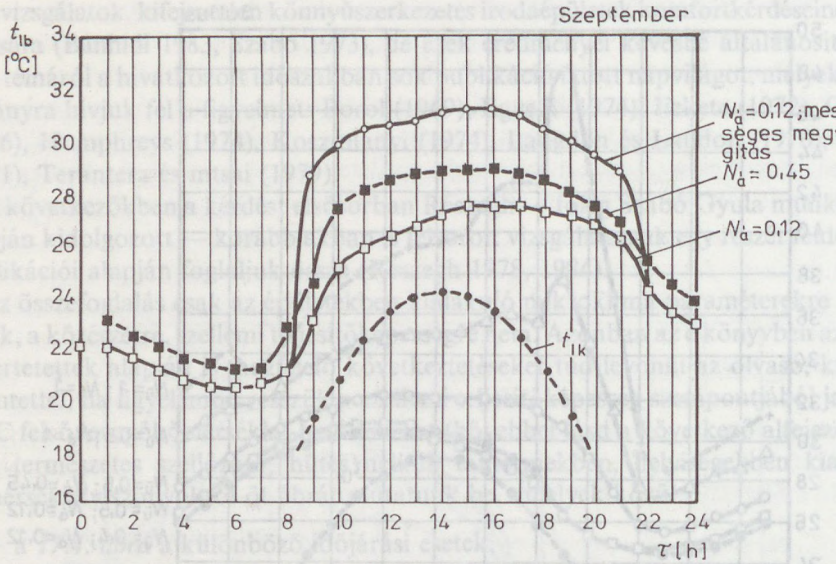
hatását szemlélteti.



17.6. ábra. Hűtés nélkül várható nyári hőmérsékletek könnyűszerkezetes tanteremben, különböző üvegezési arány esetén (természetes szellőzésre) (Részegh 1978, 1984). Bázisadatok: általános emelet, közbenső helyiség, tájolás: kelet, hó: július, árnyékolás: $N_á = 0{,}45$, légcsere: 3/h, benntartózkodók száma: 32 fő



17.7. ábra. Hűtés nélkül várható nyári hőmérsékletek könnyűszerkezetes tanteremben, különböző üvegezési arányok és árnyékolási változatok esetén (természetes szellőzés) (Részegh 1978, 1984). Bázisadatok: általános emelet, közbenső helyiség, tájolás: kelet, benntartózkodók száma: 32 fő, légcsereszám: 3/h



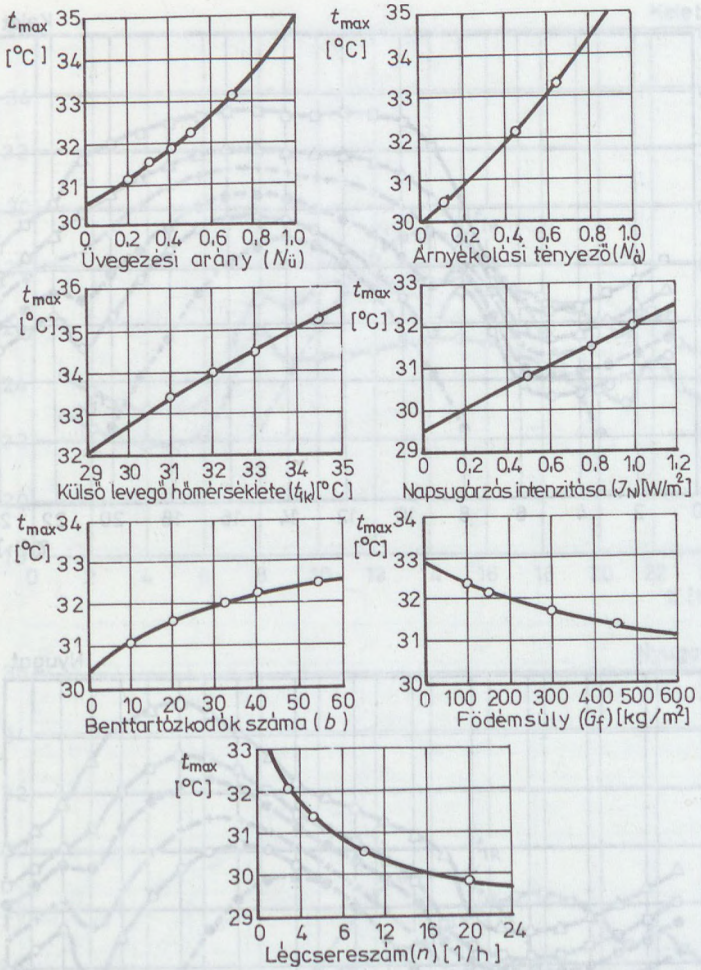
17.8. ábra. Hűtés nélkül várható nyári hőmérsékletek könnyűszerkezetes tanteremben, természetes és mesterséges megvilágítás esetén (természetes szellőzés) (Részegh 1978, 1984). Bázisadatok: általános emelet, közbenső helyiség, hónap: szeptember, üvegezési arány: $N_ü = 0{,}5$, légcsereszám: 3/h, benntartózkodók száma: 32 fő

Ezen ábrák összefoglalásaként a *17.9. ábrán* látható az egyes paraméterek változásának hatása, ha a többi paraméter változatlan marad.

A mesterséges szellőzésű helyiségekben kialakuló belső hőmérsékletviszonyokra vonatkozóan:

a) A *17.10. ábrán* a hűtés nélkül várható nyári belső hőmérséklet alakulása látható könnyűszerkezetes tantermekben különböző légcsereszámok esetén. Az ábráról leolvasható, hogy egy óránként 20-szoros légcserét biztosító mesterséges szellőztetés segítségével a tanteremben, a zárt ablakú tanteremhez viszonyítva, csúcsértékben 4—5 °C, a természetes szellőzésű tanteremhez viszonyítva pedig 2—3 °C hőmérséklet-csökkenés érhető el. A belső hőmérséklet maximuma azonban még ez esetben is mintegy 1 °C-kal meghaladja a külső levegőhőmérsékleti maximumot, és eléri a 30 °C-os értéket. Amennyiben az óránkénti légcsereszámot 20-ról 10-re, illetve 5-re csökkentjük, a belső hőmérséklet 0,5—1,0 °C-kal, illetve 1,0—3,0 °C-kal növekedik, tehát még kedvezőtlenebb értéket kapunk. Levonható az a következtetés is, hogy a hőmérsékletnek a légcsereszám fokozásával való csökkentése, a nagyobb légcsereszámok tartományában már kevésbé hatékony, ugyanakkor várhatóan jelentős beruházási és üzemeltetési költségtöbbletet von maga után.

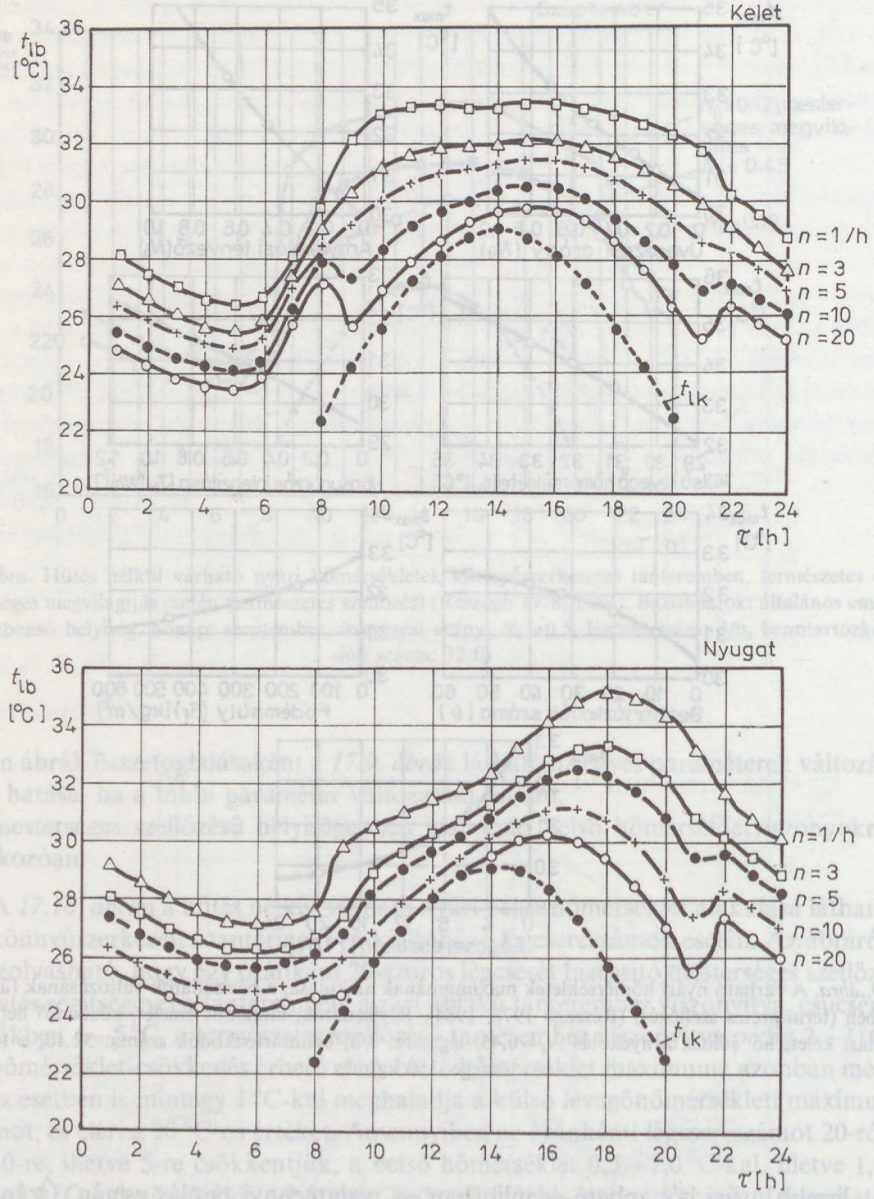
b) Az adiabatikus hűtés által adódó lehetőségek a *17.11.* és *17.12. ábrák*ból határozhatók meg. Az ábrákból látható, hogy adiabatikus hűtéssel, már óránként ötszörös légcserénél is, várhatóan 28 °C alatti hőmérséklet biztosítható a legme-



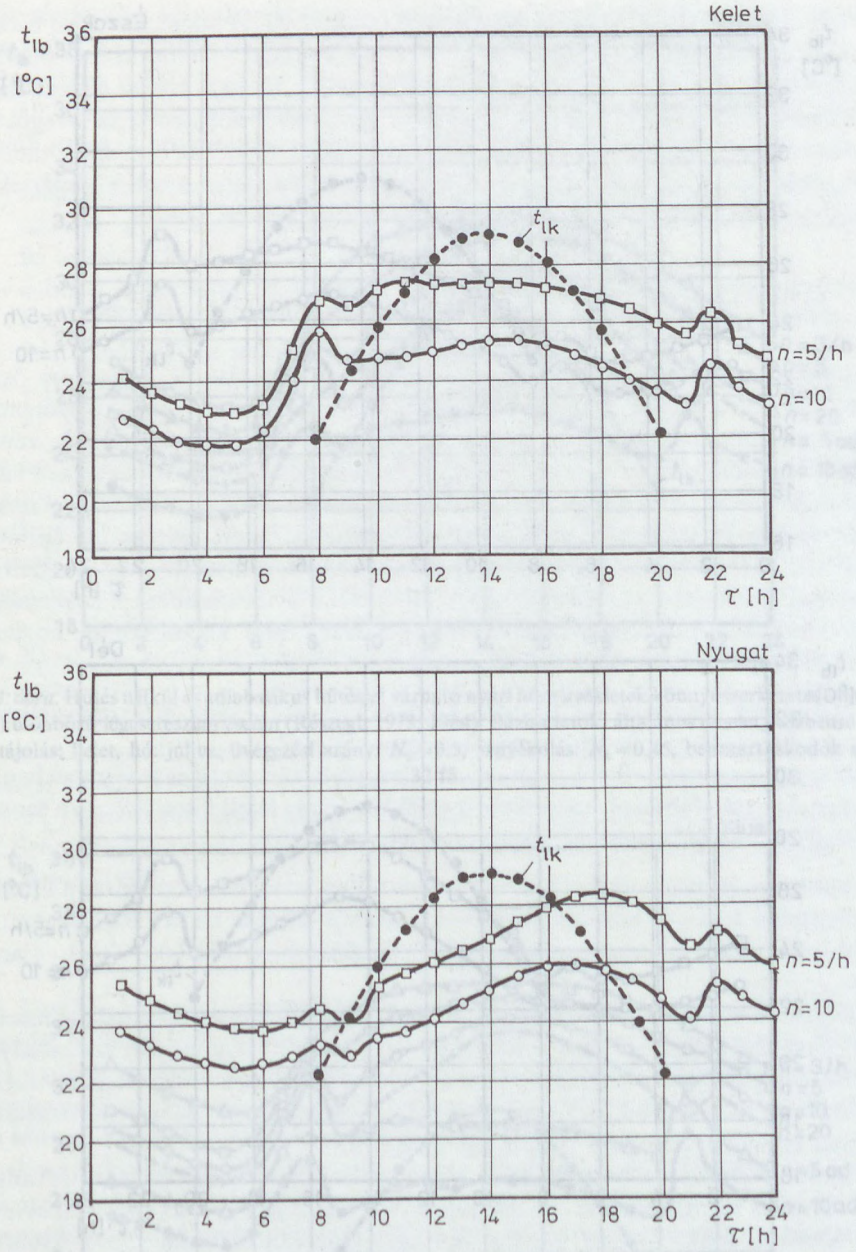
17.9. ábra. A várható nyári hőmérsékletek maximumának alakulása, a bázisadatok változásának függvényében (természetes szellőzés) (Részegh 1978, 1984). Bázisadatok: általános emelet, közbenső helyiség, tájolás: kelet, hó: július, árnyékolás $N_á = 0{,}45$, légcsere: 3/h, benntartózkodók száma: 32 fő, a födém tömege: 150 kg/m²

legebb nyári hónapban — júliusban —, valamennyi tájolás esetén. Óránként 10-szeres légcsere esetében pedig még a 26 °C-os érték is tartható, amely a klimatizált helyiségekkel kapcsolatos — iskolákban nem szükséges — igényeket is kielégíti.

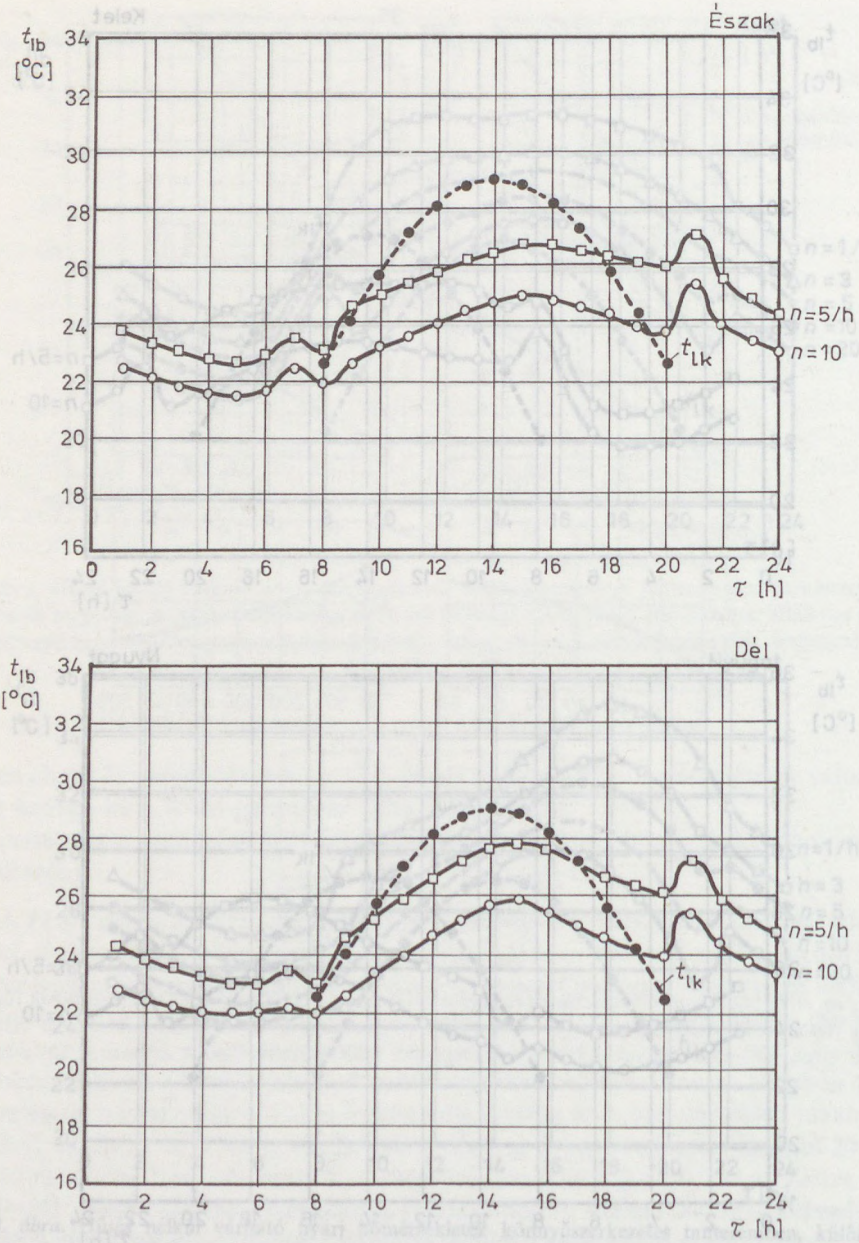
c) A légcsere intenzitásának és módjának hatását a *17.13. ábrán* foglaltuk össze. Az ábrából megállapítható, hogy adiabatikus szellőztetésű rendszer alkalmazásával a helyiségekben várható hőmérséklet értéke a természetes szellőzésnél kialakulóhoz képest, gépi hűtés nélkül is, 5—7 °C-kal csökkenthető.



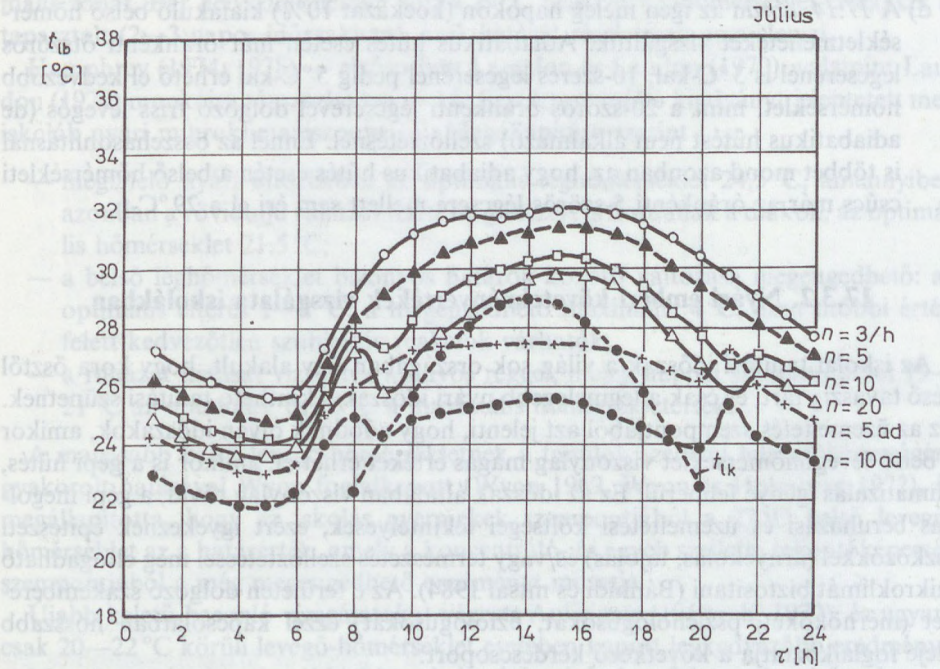
17.10. ábra. Hűtés nélkül várható nyári hőmérsékletek könnyűszerkezetes tanteremben, különböző légcsereszám esetén (Részegh 1978, 1984). Bázisadatok: általános emelet, közbenső helyiség, hó: július, üvegezési arány: $N_{ü}=0{,}5$, árnyékolás: $N_{á}=0{,}45$, benntartózkodók száma: 32 fő



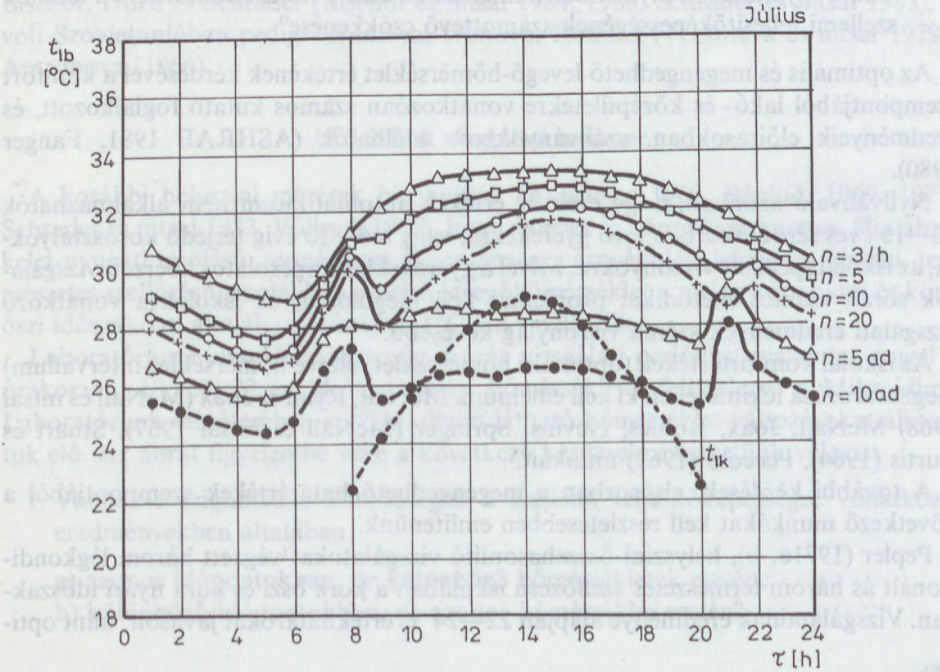
17.11. ábra. Adiabatikus hűtés esetén várható nyári hőmérsékletek különböző tájolásnál (Részegh 1978, 1984). Bázisadatok: általános emelet, közbenső helyiség, hó: július, üvegezési arány: $N_ü = 0{,}5$, árnyékolás: $N_á = 0{,}45$, benntartózkodók száma: 32 fő



17.12. ábra. Adiabatikus hűtés esetén várható nyári hőmérsékletek különböző tájolásnál (Részegh 1978, 1984). Bázisadatok: általános emelet, közbenső helyiség, hó: július, üvegezési arány: $N_ü = 0{,}5$, árnyékolás: $N_á = 0{,}45$, benntartózkodók száma: 32 fő



17.13. ábra. Hűtés nélkül és adiabatikus hűtéssel várható nyári hőmérsékletek könnyűszerkezetes tanteremben, különböző légcsereszám esetén (Részegh 1978, 1984). Bázisadatok: általános emelet, közbenső helyiség, tájolás: kelet, hó: július, üvegezési arány: $N_{ü}=0{,}5$, árnyékolás: $N_{á}=0{,}45$, benntartózkodók száma: 32 fő



17.14. ábra. Hűtés nélkül és adiabatikus hűtéssel várható nyári hőmérsékletek könnyűszerkezetes tanteremben, különböző légcsereszám esetén (kockázat: 10%) (Részegh 1978, 1984). Báziadatok: általános emelet, közbenső helyiség, tájolás: kelet, hó: július, üvegezési arány: $N_{ü}=0{,}5$, árnyékolás: $N_{á}=0{,}45$, benntartózkodók száma: 32 fő

d) A *17.14. ábrán* az igen meleg napokon (kockázat 10%) kialakuló belső hőmérsékletmeneteket vizsgáltuk. Adiabatikus hűtés esetén már óránkénti ötszörös légcserénél is 3 °C-kal, 10-szeres légcserénél pedig 5 °C-kal érhető el kedvezőbb hőmérséklet, mint a 20-szoros óránkénti légcserével dolgozó friss levegős (de adiabatikus hűtést nem alkalmazó) szellőztetésnél. Ennél az összehasonlításnál is többet mond azonban az, hogy adiabatikus hűtés esetén a belső hőmérsékleti csúcs már az óránkénti 5-szörös légcsere mellett sem éri el a 29 °C-t.

17.3.2. Nyári emberi követelményértékek vizsgálata iskolákban

Az iskolai tanítási időszak a világ sok országában úgy alakult, hogy kora ősztől késő tavaszig tart, és csak a legmelegebb nyári időszak tekinthető tanítási szünetnek. Ez az üzemeltetés szempontjából azt jelenti, hogy adódnak olyan időszakok, amikor a belső levegőhőmérséklet viszonylag magas értéket érhet el, amikor is a gépi hűtés, klimatizálás igénye felmerül. Ez az időszak általában viszonylag rövid, a gépi megoldás beruházási és üzemeltetési költségei tekintélyesek, ezért igyekeznek építészeti eszközökkel (árnyékolás, tájolás) és/vagy természetes szellőztetéssel még elfogadható mikroklímát biztosítani (Bánhidi és mtsai 1984). Az e területen dolgozó szakembereket (mérnököket, pszichológusokat, fiziológusokat) ezzel kapcsolatban hosszabb ideje foglalkoztatja a következő kérdéscsoport:

— Melyik az optimális belső levegőhőmérséklet-érték vagy értékintervallum a tanulók szellemi teljesítőképessége szempontjából?
— Mennyi a megengedhető legmagasabb levegő-hőmérséklet a tantermekben?
— Van-e egyáltalában olyan határhőmérséklet, amely felett kimutatható a tanulók szellemi teljesítőképességének számottevő csökkenése?

Az optimális és megengedhető levegő-hőmérséklet értékének kérdésével a komfort szempontjából lakó- és középületekre vonatkozóan számos kutató foglalkozott, és eredményeik előírásokban, szabványokban találhatók (ASHRAE 1981, Fanger 1980).

Nyilvánvaló azonban, hogy ezek az értékek automatikusan nem alkalmazhatók 10—15 éves serdülőkorban lévő gyerekekre, vagy a 6—10 évig terjedő korosztályokra, az iskolai speciális viszonyokra. Mivel a gyerekekkel kapcsolatos hőérzeti vizsgálatok során számos metodikai problémát kell megoldani, az iskolákra vonatkozó vizsgálati eredmények száma viszonylag kevesebb.

Az iskolai komfortértékek (optimális hőmérséklet, illetve hőmérséklet-intervallum) meghatározása tekintetében ki kell emelnünk McNall, Ryan és Joax (McNall és mtsai 1968) McNall, Joax, Rohles, Nevins, Springer (McNall és mtsai 1967), Stuart és Curtis (1964), Peccolo (1962) munkáit.

A további kérdések, elsősorban a megengedhető határértékek szempontjából a következő munkákat kell részletesebben említenünk.

Pepler (1971a, b), helyszíni összehasonlító vizsgálatokat végzett három légkondicionált ás három természetes szellőzésű iskolában a kora őszi és kora nyári időszakban. Vizsgálatainak eredménye alapján 22—24 °C értékhatárokat javasolt, mint opti-

mális zónát. Bár helyszíni mérései során 29 °C belső levegőhőmérséklet-értékeket is tapasztalt (2—3 napos időszakban), ezek hatását részletesen nem elemzi.

Humphrey (1974, 1978) — elsősorban Langdon és Laudon (1970), valamint Laudon (1970) munkáira támaszkodva — két figyelemre méltó kiadványt jelentetett meg iskolák nyári mikroklímaviszonyairól. Megállapítása szerint

— megfelelő nyári öltözékben az optimális léghőmérséklet 24,5 °C, amennyiben azonban a rövidujjú ruházat felett még blézert is hordanak a diákok, az optimális hőmérséklet 21,5 °C;
— a belső léghőmérséklet bizonyos határok közötti változása megengedhető: az optimális eltérés 1—2 °C, a megengedhető maximális 4 °C, ezen utóbbi érték felett kedvezőtlen szubjektív reakciók várhatók;
— a ruházat hatását vizsgálva a hűvös reggel, meleg nappal szempontjából 19—21 °C az optimális, és 26 °C a maximális hőmérsékletérték.

A magasabb belső levegő-hőmérsékletnek a tanulók szellemi teljesítőképességére gyakorolt hatásával Wyon foglalkozott (Wyon 1969, Wyon és Holmberg 1972), és megállapította, hogy az iskolás gyermekek szempontjából a 27 °C belső levegőhőmérséklet az a határérték, amely a koncentráló- és egyéb szellemi teljesítőképesség szempontjából a még megengedhető eredményt mutatja.

Újabb keletű hasonló vizsgálatokat végzett Auliciems (1969a, b, 1972), és ugyancsak 20—22 °C körüli levegő-hőmérséklet esetében kapott legkedvezőbb eredményt.

Magyarországon a korábbiakban helyszíni méréseket folytattak, elsősorban az iskolatermekben kialakuló valóságos helyzet rögzítésére (Bánhidi 1969, 1977), valamint a valóságos helyzet elméleti számítási lehetőségeinek tisztázására [Szabó, illetve Részegh (1982, 1984)]. A volt NDK-ban ugyancsak helyszíni méréseket végzett Bischof, Horn és Schrader (Bischof és mtsai 1984, 1988, Schrader és mtsai 1983), a volt Szovjetunióban pedig Teranteva, Ivanova, Rozsina (Teranteva és mtsai 1979), Antropova (1968).

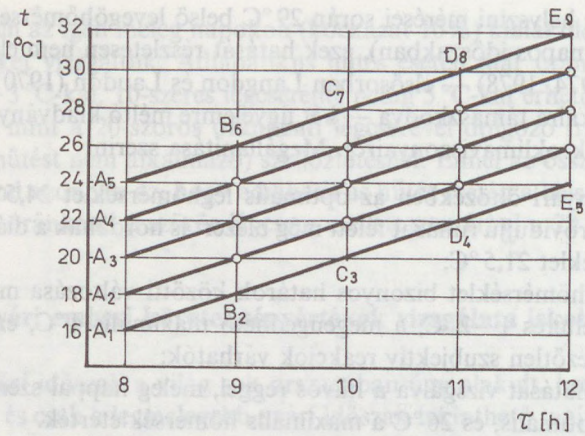
17.3.2.1. A vizsgálati módszer

A korábbi helyszíni mérések bizonyítják (Auliciems 1969, Bánhidi 1969, 1977, Schrader és mtsai 1983, Völksch 1977), hogy paneles és könnyűszerkezetes, általában kelet-nyugati tájolású, természetes és mesterséges árnyékolási lehetőség nélküli, természetes szellőzésű iskolákban a belső levegőhőmérséklet a meleg kora nyári és kora őszi időszakban általában óránként 2 °C-kal emelkedik.

Laboratóriumi vizsgálataink során 4 órás vizsgálati periódust, valamint reggel 8 órakor 16, 18, 20, 22 és 24 °C indulási hőmérsékletet feltételezve a Mikroklíma Laboratórium mérőterében a *17.15. ábrán* látható hőmérséklet-változásokat állítottuk elő. Az ábrát figyelembe véve a következő kérdésekre kerestünk választ:

1. Vannak-e szignifikáns különbségek a szellemi teljesítőképességre vonatkozó eredményekben általában

   a) azonos időpontokban, de különböző hőmérsékletek esetén,
   b) különböző időpontokban, de azonos hőmérséklet esetén?



17.15. ábra. A vizsgálati helyiség napi hőmérséklet változása (Bánhidi és mtsai 1984c)

2. Mennyire függ a gyermekek napi teljesítménye a hőmérsékletszinttől,

   a) a napi első (8) és utolsó (12 órai) mérési eredményeket összehasonlítva,
   b) a napi teljesítmény trendjének vonatkozásában?

3. Milyen hőmérsékletértékek mellett értek el a gyerekek átlagos, legjobb és legrosszabb eredményeket a szellemi munkavégzés szempontjából?

17.3.2.2. A vizsgálati feltételek

Az ÉTI Mikroklíma Laboratóriumának mérőterében egy átlagos tantermet szimuláltunk, ahol 9 gyerek ült reggel 8 órától 12 óráig azonos órarenddel, illetve 4×45 perces tanítási periódussal.

A falak és a levegő hőmérsékletét azonos értéken tartottuk. A szellőzés mintegy 40 $m^3/(h\ fő)$ volt, a levegő sebessége kisebb volt, mint 0,1 m/s, míg a levegő relatív nedvességtartalmát 50%-on tartottuk.

A júniusi — tehát kora nyári — méréseken, két 9 fős csoportban, összesen 18 gyerek vett részt (a benn tartózkodó pedagógust, illetve mérőszemélyeket nem számítva). A teljes program lefolytatása tehát két hetet vett igénybe.

Mindkét csoportba tartozó gyerekek előzetesen két tanítási napnak megfelelő időt töltöttek a laboratóriumban, hogy megtanulják a különböző feladatokat.

17.3.2.3. A mérési módszer

A vizsgálati metodika — a hőtechnikai, illetve a mikroklímaadatok állandó rögzítése mellett — három fő részre osztható:

— elővizsgálatok,
— tantermi szimulációs vizsgálatok a mérőtérben,
— utóvizsgálatok.

Elővizsgálatok

A gyerekek 7 óra 30 perckor érkeztek a laboratóriumba, ahol az ún. elővizsgáló szobában (ahol a hőmérsékletet állandóan azonos szinten tartottuk, mint a belső mérőtéri hőmérsékletet) a következő vizsgálatokon vettek részt:

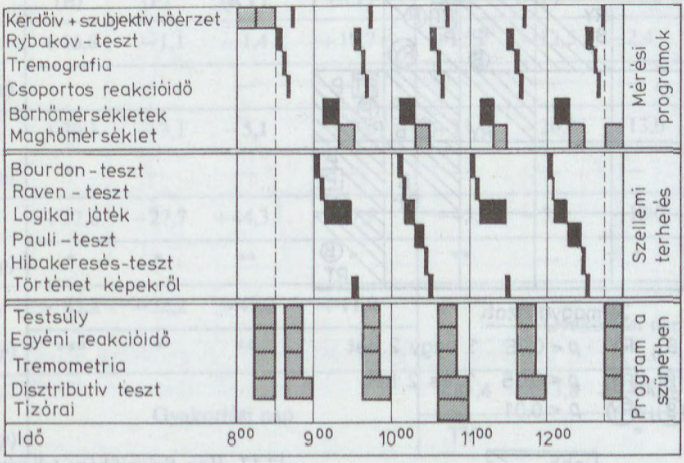
a) súlymérés,
b) clo értékelő lap kitöltése,
c) szenzométeres vizsgálat,
d) disztributív figyelemvizsgálat,
e) érzetskála meghatározása.

Tantermi szimulációs vizsgálatok a mérőtérben

A gyerekek 8 órakor a tanteremnek kiképzett mérőtérbe mentek, ahol naponta változó (random) összeállításban a következő feladatokat végezték:

— érzetskála meghatározása,
— Rybakov-teszt,
— tremometria,
— csoportos reakciómérés,
— Pauli-teszt,
— termográfia,
— logikai játékok,
— Raven-teszt,
— Bourdon-teszt,
— hibakeresés-teszt,
— bemutatott különböző képekről 1-1 rövid történet megírása.

Emellett a 45 perces órák végén mértük a bőrhőmérsékletet, egy alkalommal 4 pontban, úgymint homlok, orr, mellkas, kézhát.



17.16. ábra. A különböző vizsgálatok menetrendje (Bánhidi és mtsai 1984)

Az egyes órák között 10 perces, a második óra után 15 perces szünet volt, ez utóbbi ideje alatt a gyerekek tízóraiztak, tejet és üdítőt kaptak.

A szünetekben súlymérés, szenzométeres és disztributív vizsgálat folyt, de ezek összideje személyenként a 2 percet nem haladta meg.

A különböző vizsgálatok menetrendje a *17.16. ábrán* látható.

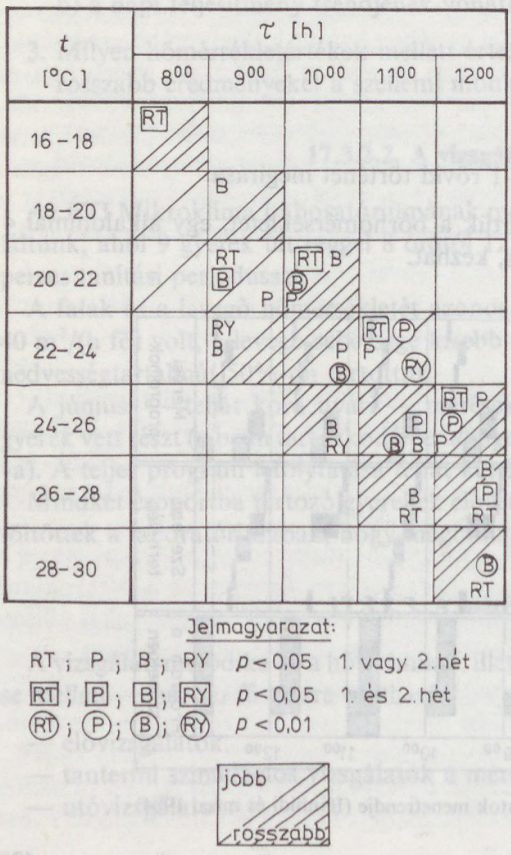
Utóvizsgálatok

Az utóvizsgálatok ugyancsak az elővizsgálóban zajlottak, és programjuk megegyezett az elővizsgálatok programjával. Emellett a gyerekek egy-egy kérdőívet kaptak a vizsgálatokkal kapcsolatos szubjektív kérdésekkel, s e kérdőívet másnap kellett kitöltve visszahozniuk.

17.3.2.4. Mérési eredmények

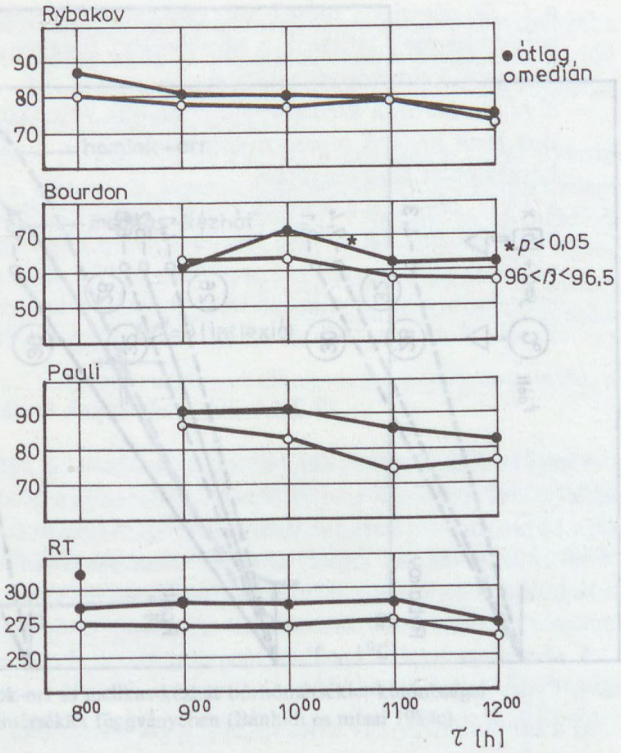
Az eredményeket összegező ábrákban és táblázatokban rögzítettük, amelyek a következők:

— a *17.17. ábrán* a szignifikáns teljesítményváltozásokat láthatjuk különböző hőmérsékletek esetében (tehát amikor $d=0$) a Wilcoxon-teszt módszerével kidolgozva,



17.17. ábra. Szignifikáns teljesítményváltozások változó hőmérsékletnél ($d=0$) Wilcoxon-teszt alapján (Bánhidi és mtsai 1984c)

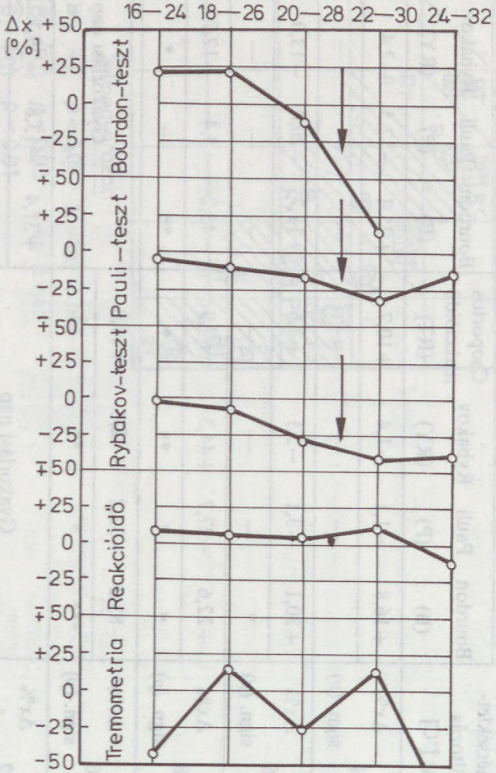
17.18. ábra. Tesztek átlagértékeinek napi alakulása (Bánhidi és mtsai 1984c)



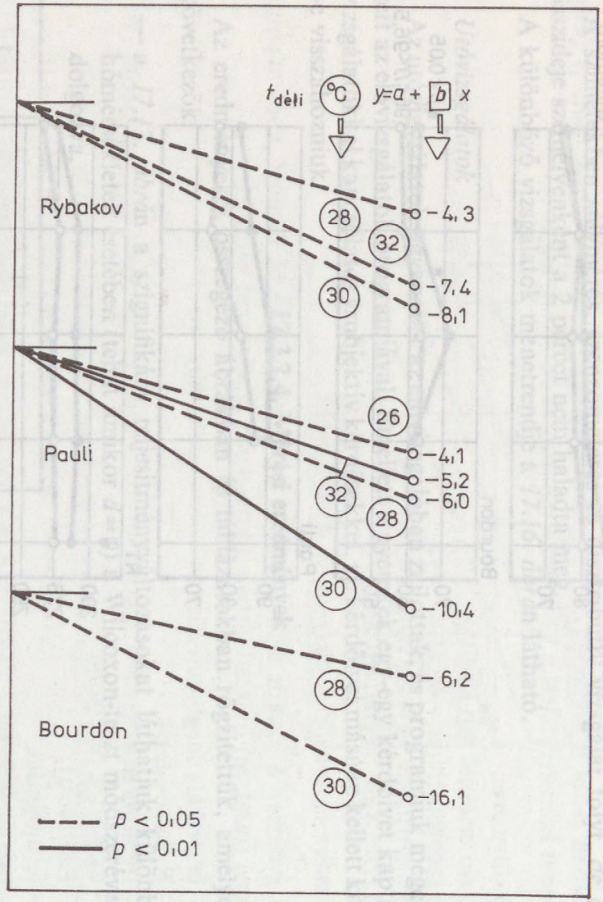
17.7. táblázat. A teljesítményváltozás a hőmérséklet függvényében a napi első és utolsó mérési eredményekből (Bánhidi és mtsai 1984c)

Napi hőmérséklet-változás Δt [°C]		Első hét				Második hét			
		Bourdon (B)	Pauli (P)	Rybakov (RY)	Csoportos reakcióidő (RT)	Bourdon (B)	Pauli (P)	Rybakov (RY)	Csoportos reakcióidő (RT)
16—24	Δx%	+16,8	−1,1	−1,4	+10,7	+25,2	−12,5	−2,4	+8,1
	sign. (p)		—	—	—	—	—	—	—
18—26	Δx%	+30,1	−3,1	−5,1	+7,6	+11,7	−20,0	−13,0	+4,8
	sign. (p)	*	—	—	—	—	—	—	—
20—28	Δx%	+22,6	−27,7	+44,3	+7,9	−45,2	−5,4	−12,7	−0,4
	sign. (p)	*	*	**	*	**	—	*	—
22—30	Δx%	−83,2	−32,2	−42,2	+11,0	Gyakorlási nap			
	sign. (p)	***	*	**	—				
24—32	Δx%	Gyakorlási nap				+31,4	−13,8	−39,1	−11,4
	sign. (p)					TV	—	*	—

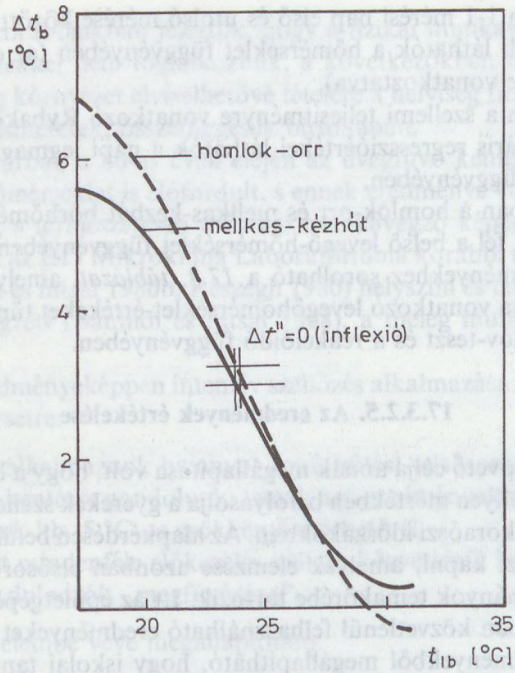
Megjegyzés: * $p < 0,05$
** $p < 0,01$
*** $p < 0,001$



17.19. ábra. 1-1 mérési nap első és utolsó mérése közötti százalékos teljesítményeltérések a hőmérséklet függvényében (az első és második hét középértékeire vonatkoztatva) (Bánhidi és mtsai 1984c)



17.20. ábra. A szellemi teljesítményre vonatkozó Rybakov-, Pauli- és Bordon-teszt lineáris regresszió értékei a napi legmagasabb (déli) levegő-hőmérséklet függvényében (Bánhidi és mtsai 1984c)



17.21. ábra. A homlok-orr és mellkas-kézhát bőrhőmérséklet-különbségei a belső levegő-hőmérséklet függvényében (Bánhidi és mtsai 1984c)

17.8. táblázat. Teljesítmény-határértékekre vonatkoztatott hőmérsékletek (Bánhidi és mtsai [1984c])

Teszt jele	Mentális teljesítményekhez tartozó hőmérséklet [°C]			Optimális teljesítményhez tartozó hőmérséklet-tartomány [°C]
	maximuma	minimuma	szign. max-min	
Bourdon (B)	22	32	<0,01	22—24
Pauli (P)	20	32	<0,05	20—22
Rybakov (RY)	18	30	<0,01	18—20
Reakcióidő (RT)	24	16	<0,05	22—26

— a *17.18. ábrán* a Rybakov-, Bourdon- és Pauli-tesztek, valamint a reakcióidő átlagértékének napi alakulása látható az idő függvényében, reggel 8 és 12 óra között,

— a *17.7. táblázat*ban a teljesítményváltozás értékeit tüntettük fel a hőmérséklet függvényében, a napi első és utolsó mérési eredményeket figyelembe véve,

— a *17.19. ábrán* 1-1 mérési nap első és utolsó mérése közötti százalékos teljesítmény eltérések láthatók a hőmérséklet függvényében (az első és második hét középértékeire vonatkoztatva),
— a *17.20. ábrán* a szellemi teljesítményre vonatkozó Rybakov-, Pauli- és Bourdon-teszt lineáris regresszióértékei láthatók a napi legmagasabb (déli) levegőhőmérséklet függvényében,
— a *17.21. ábrá*ban a homlok-orr és mellkas-kézhát bőrhőmérséklet-különbségeket dolgoztuk fel a belső levegő-hőmérséklet függvényében,
— végül az eredményekhez sorolható a *17.8. táblázat,* amely a szellemi teljesítményhatárokra vonatkozó levegőhőmérséklet-értékeket tünteti fel a Bourdon-, Pauli-, Rybakov-teszt és a reakcióidő függvényében.

17.3.2.5. Az eredmények értékelése

Vizsgálataink alapvető célja annak megállapítása volt, hogy a belső levegő-hőmérséklet növekedése milyen mértékben befolyásolja a gyerekek szellemi teljesítőképességét a koranyári és a koraőszi időszakokban. Az alapkérdésen belül több részletkérdésre kívántunk választ kapni, amelyek elemzése azonban elsősorban a fiziológiai és pszichológiai tudományok témakörébe tartozik. Itt az épületgépészeti — elsősorban tervezési gyakorlatban közvetlenül felhasználható eredményeket — összegezzük.

A vizsgálati eredményekből megállapítható, hogy iskolai tantermekben a meleg kora nyári és kora őszi időszakokban

a) a tanulók mentális teljesítőképességét elsősorban a hőmérséklet és csak másodsorban a tanítási időtartam növekedése befolyásolja;
b) a szellemi teljesítmény szempontjából a legkedvezőbb a 18—22 °C közötti intervallum, tehát a 20 °C átlagérték;
c) a szellemi teljesítőképesség csökkenése szempontjából megengedhető hőmérséklet-határértékek a délelőtti tanítási időpontok függvényében a következők:
— 10 óráig max. 23 °C,
— 11 óráig max. 25 °C,
— 12 óráig max. 27 °C;
d) a hőmérséklet a 27 °C-ot semmikor ne haladja meg, mert ebben az esetben a tanulók szellemi teljesítőképességében számottevő csökkenés várható;
e) a c) és d) pontokban rögzített feltételek közép-európai országokban és hazánkban a tanítási időszakban építészeti eszközökkel — mint pl. napsugárzás-védelem, tájolás stb. — az esetek döntő többségében biztosíthatók.

17.3.3. Meleg ipari környezetben nyáron kialakuló szubjektív hőérzetről és annak befolyásolási lehetőségeiről

E témakörben befejezésképpen egy rövid példán kívánjuk bemutatni, hogy meleg ipari környezetben a nyáron kialakuló nagyon kedvezőtlen szubjektív hőérzetet hogyan lehet elfogadhatóvá tenni az emberi test konvektív hőleadási arányának

növelésével. Bár a korábbiakban jeleztük, hogy a fizikai munkavégző képességgel s ezért az ipari épületekkel nem foglalkozunk, a következőkben bemutatásra kerülő eset jó példa a meleg környezet elviselhetővé tételére a helyiség funkciójától függetlenül, a hőérzeti alapismeretek, összefüggések birtokában.

Az Ajkai Üveggyárban a 80-as évek elején az üvegfúvó kemencék körül nyáron 50—60 °C levegő-hőmérséklet is előfordult, s ennek eredménye volt a nagyon meleg, kellemetlen hőérzet, s természetesen a fizikai munkavégző képesség csökkenése. A feladat megoldására az ÉTI Mikroklíma Laboratóriuma korábbi tapasztalatait figyelembe véve (Bánhidi és mtsai 1980b, Részegh 1980) helyszíni és laboratóriumi szimulációs méréseket végzett (Bánhidi és mtsai 1988), a meleg munkahelyen dolgozók bevonásával.

A vizsgálatok eredményeképpen intenzív szellőzés alkalmazása került javaslatba, a következő két alapesetre:

— a szellőzéskor alkalmazunk bizonyos fokú hűtést (elsősorban adiabatikus hőmérséklet-csökkentésre gondolunk), amelynek eredményeképpen a külső levegő hőmérsékletének kb. 5 °C-os csökkentése érhető el,
— a külső levegőt mindenféle előkezelés nélkül, közvetlenül használjuk fel szellőzésre, illetve a dolgozók „megfúvására".

Az előzőeket figyelembe véve megállapítható:

a) +27 °C esetén (tehát $\Delta t = 5$ °C hűtést alkalmazva) minimum 1,0 m/s légsebesség szükséges ahhoz, hogy a nagyon meleg hőérzetet elfogadható melegre változtassa.
b) +27 °C befúvási levegő-hőmérsékletet tartva, de a sugárzó hőforrásokat leárnyékolva már 0,5 m/s légsebességgel is elérhető az elfogadható meleg hőérzet, de csak a dolgozók 50—70%-a esetében.
c) +32 °C befúvási levegő-hőmérséklet esetén minimum 1,5 m/s légsebesség szükséges az elfogadhatóan meleg hőérzet biztosításához, 1,0 m/s légsebesség esetén ez a szubjektív hőérzet csak a dolgozók 50%-ánál jelentkezik.
d) Amennyiben a sugárzó hőforrásokat leárnyékoljuk, 1,0 m/s légsebesség biztosítja az elfogadhatóan meleg hőérzetet a dolgozók 50—70%-a esetében.

Az előzőek is bizonyítják, hogy nyári állapotban a sugárzó hőforrások leárnyékolásával (pl. lakások, kommunális épületek esetében napsugárzás-védelemmel) és fokozott légmozgással kedvezően ellensúlyozhatjuk a nagyon meleg szubjektív hőérzetet.

További melegüzemi hazai vizsgálati eredmények találhatók a (Bánhidi és mtsai 1980a), a meleg ellensúlyozásának szellőzéses lehetősége pedig a (Bánhidi és mtsai 1983) publikációban.

18. A légforgalom szerepe az emberi követelményértékek, az energiafogyasztás és ezek optimumának elérésében, figyelembe véve az infiltráció, a légszennyeződés és a penészesedés kérdését

A téma, amelyet a cím is kifejez, meglehetősen összetett, s mivel mind a téli, mind a nyári állapotokban fontos szerepet játszik az ember—épület—energia kapcsolatrendszerben, külön fejezetben dolgozzuk fel.

A feldolgozást a következő sorrendben végezzük:

a) Először az emberi követelményértékek szempontjából szükséges légforgalom mértékét tekintjük át:

— az ún. alap-légmennyiségszükségletet, majd
— a légszennyeződés kiküszöbölése,
— a „beteg épület" (sick building) jelenség elkerülésének

levegőmennyiség-igényét, valamint ezek energiafogyasztási kihatásait.

b) Ezután az embertől független, az épület adottságaitól függő filtrációs légforgalmat s ezek energiaigényét elemezzük

— a filtrációs, majd
— a penészesedés elkerüléséhez szükséges

légmennyiségek sorrendjében.

c) Ezt követően az épület állagának megóvása, a páralecsapódás elkerülése szempontjából szükséges légmennyiség kérdésével foglalkozunk.

d) Végül, nagyon röviden, a légforgalommal kapcsolatos energetikai kérdéseket tekintjük át.

18.1. Az emberi követelményértékek szempontjából szükséges légforgalom kérdése, különös tekintettel a magyarországi gyakorlatra

Az emberi követelményértékek szempontjából szükséges légforgalom témakörén belül — mint a bevezetőben már említettük — három kérdéssel foglalkozunk:

a) Az emberi követelményértékek szempontjából szükséges „alap"-légmennyiségértékekkel. Ezen belül azonban a jelenlegi hazai méretezési előírásokban a

gyakorlatra vonatkozó adatokat ismertetjük, mivel általános értékelést a korábbiakban (6. fejezet) már adtunk.

b) A légszennyeződés kiküszöböléséhez szükséges, hazai vonatkozásban érvényes vagy ismert levegőmennyiség kérdésével (az általános nemzetközi adatokat a 6.4. alfejezetben ismertettük).

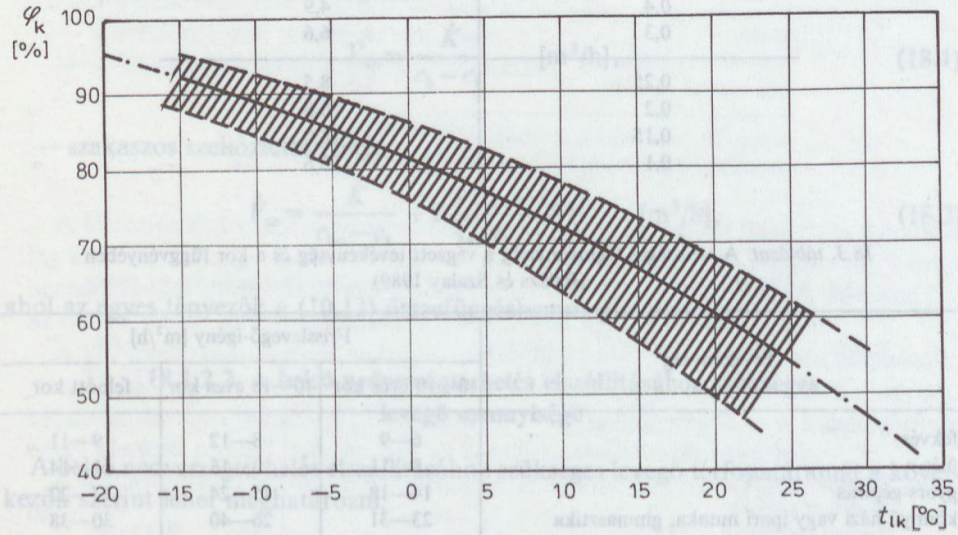
c) Végül a „beteg épület" (sick building) szindróma kiküszöböléséhez szükséges adatokat, az e téren jelenleg folyó hazai kezdeményezéseket ismertetjük röviden, mert

— jelenleg pontos adtok e téren nemzetközi szinten sem állnak rendelkezésre,
— hazai vonatkozásban egyáltalán nincsenek ilyen jellegű előírások, de a felmérésekre vonatkozó kutatások megkezdődtek,
— magával a „sick building" jelenséggel a 6.6. fejezetben már foglalkoztunk.

18.1.1. Az emberi követelményértékek szempontjából szükséges, illetve előírt légmennyiségértékek

A következőkben az adatok legnagyobb részét az Építéstudományi Intézet által e témakörben 1989-ben kidolgozott előírás-javaslat (Balázs és Szalai 1989) alapján ismertetjük. Először néhány alapadat.

A külső levegő relatív nedvességtartalmának méretezési értéke a *18.1 ábrá*ból, a lakásokban előforduló szennyezőanyagok megengedett koncentrációértékei a *18.1. táblázat*ban láthatók.



18.1. ábra. A külső levegő relatív nedvességtartalmának méretezési értékei. A téli méretezési állapotnál: $t_{lk} = -12$ és -15 °C és $\varphi_k = 90\%$, a nyári méretezési állapotnál: $t_{lk} = 32$ °C és $\varphi_k = 45\%$ értékek veendők (Balázs és Szalay 1989)

18.1. táblázat. Szennyezőanyagok ajánlott megengedett koncentrációi lakásokban (Balázs és Szalay 1989)

Szennyezőanyag		Koncentráció			
		folyamatosan		rövid ideig	
		mg/m³	ppm	mg/m³	ppm
Szén-dioxid	CO_2	2960	1500*	4900	2500*
Szén-monoxid	CO	20*	17	50*	43
Nitrogén-oxid	NO_2	5*	3	10*	5
Formaldehid	COHO	1*	0,5	2*	1
Kén-dioxid	SO_2	10*	4	20*	8
Portartalom		0,5			

*-gal jelölt értékek az alapadatok, nem jelöltek átszámítottak

Megjegyzés: * 1 ppm = 10^{-4} térfogatszázalék (tf %)

** egyéb gázok esetén a MAK értékek (MSZ 21461—78.) az irányadók azzal a kikötéssel, hogy lakásokban ennél szigorúbb értékek veendők.

18.2. táblázat. Minimális frisslevegő-mennyiség légzéshez (Balázs és Szalay 1989)

Megengedett belső CO_2-koncentráció [tf %]	Külső friss levegő mennyisége [m³ (h/fő)]
0,5	3,8
0,4	4,9
0,3	6,6
0,25	8,5
0,2	10,6
0,15	18,0
0,1	25,6

18.3. táblázat. A szükséges légmennyiség a végzett tevékenység és a kor függvényében (Balázs és Szalay 1989)

Tevékenység	Frisslevegő-igény [m³/h]		
	6—10 éves kor	10—18 éves kor	felnőtt kor
fekvés	6—9	8—12	9—11
ülés	8—11	9—15	11—14
gyors-gépírás	14—18	15—24	17—22
könnyű házi vagy ipari munka, gimnasztika	23—31	26—40	30—38
erőltetett gyaloglás, tánc, sporttevékenység	38—51	45—68	50—64

* Dohányzás engedélyezése esetén a levegőmennyiség-értékek 1,5-es szorzóval növelhetők.

A légzésbiológia szempontjából szükséges minimális friss levegő mennyisége a *18.2. táblázat*ban látható. A tevékenységtől és kortól függően szükséges légmennyiséget viszont a *18.3. táblázat* tartalmazza. Ez utóbbival kapcsolatos alapfeltétel: 0,04 térfogat% (továbbiakban tf%) CO_2-tartalmú külső levegő és maximum 0,15 tf% CO_2-tartalmú belső levegő. További megjegyzés: a táblázat értékeit 1,5 mértékben kell növelni dohányzás feltételezése esetén.

18.1.2. A légszennyeződés kiküszöböléséhez szükséges légmennyiségek

A légszennyeződés szempontjából kettős csoportosítást alkalmazunk:

— a gáznemű szennyezőanyagok és
— a nedvességterhelés.

Az utóbbival csak azért foglalkozunk itt, mert a zárt terek belső nedvességterhelése részben az embertől, részben annak tevékenységétől függ, és kiküszöbölése csak szellőzéssel oldható meg.

18.1.2.1. A gáznemű szennyezőanyagok eltávolításához szükséges levegőmennyiség

A gáznemű szennyezőanyagok megfelelő mértékű eltávolításához szükséges szellőzőlevegő mennyiségét a következők szerint lehet meghatározni:

— folyamatos szellőztetés esetén:

$$\dot{V}_{sz} = \frac{\dot{K}}{c_b - c_k} \quad [m^3/h], \tag{18.1}$$

— szakaszos szellőztetés esetén:

$$\dot{V}_{sz} = \frac{\dot{K}}{c_{bo} - c_k} + 2\frac{V(c_{bo} - c_{üsz})}{\tau_{üi}(c_{bo} - c_k)} \quad [m^3/h], \tag{18.2}$$

ahol az egyes tényezők a (10.12) összefüggésben megtalálhatók.

18.1.2.2. A belső nedvességterhelés elszállításához szükséges levegő mennyisége

A belső nedvességterhelés elszállításához szükséges levegő térfogatáramát a következők szerint lehet meghatározni:

$$\dot{V}_{sz} = \frac{w}{\varrho(x_b - x_k)} \quad [m^3/h], \tag{18.3}$$

18.4. táblázat. A minimális frisslevegő-mennyiség ajánlott értékei (Balázs és Szalay 1989)

Helyiség	Friss levegő mennyisége [m^3/h]	Megjegyzés
Szoba	20	folyamatos
Konyha	35	folyamatos, de főzés idejére + 100—150 m^3/h ajánlott
WC/fürdő	20/25	folyamatos, de csúcsterhelésnél + 100 m^3/h ajánlott
WC + fürdő	45	
Teljes lakás (2 szobás)	120	min. 0,5-szörös légcsere

18.5. táblázat. Összegezett gyakorlati nedvességtermelés-értékek egy tipikus 4 személyes háztartásban (Balázs és Szalay 1989)

Forrás	24 órára vonatkozatott nedvességtermelés [liter]
4 személy 8 óra alvás	1,0—2
2 személy 16 óra tevékenység	1,5—3
Főzés	2,0—4
Fürdés, mosogatás	0,5—1
Normál napi teljes mennyiség	5—10
Mosás	0,5—1
Nedves ruha szárítása	3,5—7
Gáz falifűtő készülék	1,0—2
Maximális napi teljes mennyiség	10—20

18.6. táblázat. Nedvességtermelési normaértékek lakásokban (Balázs és Szalay 1989)

Ember:	könnyű tevékenység	30—60 g/h
	közepes munka	120—200 g/h
	nehéz munka	200—300 g/h
Fürdés:	kádfürdés	kb. 700 g/h
	zuhanyozás	kb. 2600 g/h
Konyhai tevékenység:	főzési folyamat	600—1500 g/h
Szobai növényzet		5—20 g/h
Szabad vízfelület		kb. 40 g/m^2h
Mosás utáni szárítás (5 kg ruha adagnál)		
	—centrifugálás után	50—200 g/h
	—centrifugálás nélkül, csepegő szárítás	100—500 g/h

ahol

w a fejlődő nedvességmennyiség [kg/h],
x_b a helyiség levegőjének abszolút nedvességtartalma [kg/kg],
x_k a szellőzőlevegő abszolút nedvességtartalma [kg/kg],
ϱ a levegő sűrűsége [kg/m^3].

Lakások légcseréjénél a helyiségenkénti minimális friss levegő mennyiségek ajánlott tervezési értékeit a *18.4. táblázat* tartalmazza.

A megengedett páratartalomra történő méretezéshez, ellenőrzéshez szolgáltat tervezési tájékoztató adatokat a *18.5. táblázat*.

Megjegyezzük, hogy a lakás megfelelő átöblítése érdekében a friss levegőt lehetőleg a szobába vezessük be és a mellékhelyiségen keresztül vezessük el.

A csúcs-nedvességterhelés eseteinek ellenőrzéséhez nyújt tájékoztató adatokat a *18.6. táblázat*.

18.2. Az épület adottságaitól függő filtrációs légforgalom

Az épület filtrációs forgalmával és ennek energiaigényével kapcsolatos ismereteket pl. Gábor és Zöld (1981) könyve jól foglalja össze. Ezért itt csak az alapgondolatmenetet, az egyes főbb elveket és néhány ábrát mutatunk be a következő sorrendben:

— a filtrációs légforgalom számítása,
— az alaprajz és az építészeti adottságok szerepe,
— a szél hatása,
— a nyílászárók minőségének hatása,
— a meteorológiai feltételek változása,
— a fűtőberendezés üzemeltetésének hatása.

18.2.1. A filtrációs levegőforgalom számítása

A filtrációs légforgalom pontos számítása nagyon bonyolult feladat, és gyakorlatilag csak számítógép alkalmazásával lehetséges. Az épület maga ugyanis egy összetett aerodinamikai objektum, rengeteg többszörösen hurkolt áramkörrel, amelyen belül az összes ablak, ajtó, szellőzőkürtő stb. hatását figyelembe kell venni.

A korszerű számítógépes eljárások a folyamathálózatok módszerén alapulnak. A vizsgált hálózat egy épület és a külső környezet, valamint az épületen belüli helyiségek kapcsolatait reprezentáló gráf. A csúcsok az egyes helyiségek és a külső környezet egyes diszkrét pontjai, míg az élek az ablakok, ajtók, szellőzőkürtők.

A légtömegáram a nyomáskülönbség és az ellenállási törvény ismeretében számítható.

18.2.2. Az alaprajz és az építészeti adottságok szerepe

A filtrációs hőigénnyel kapcsolatban ismert tény, hogy szerepe annál jelentősebb, minél kisebb az épület transzmissziós hőveszteségе, tehát rosszul szigetelt épületben hatása kicsi, míg jól szigetelt esetében nagy. A filtrációs hőveszteség függ

— a szintek számától,
— a gravitációs felhajtóerő és az elszívó szellőzés közös hatásától (elsősorban magas épület),
— a nyílászárók minőségétől,
— az egy szinten lévő lakások számától.

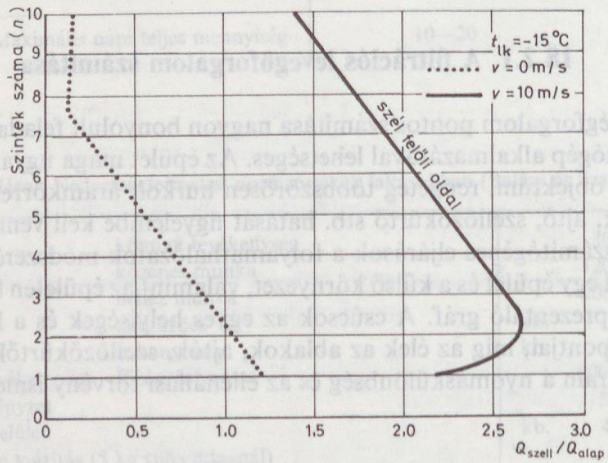
Itt mindössze annyit jegyzünk meg mint alaptételt, hogy szélcsendes időben:

— 4-5 szintes épületeknél csak beáramlás van,
— 10 szintes épületeknél már előfordul, hogy a 8., 9. szinttől a lépcsőházból jut levegő a lakásokba,
— 12 és ennél több szintes épületek esetében szabályos semleges zóna kialakulásával találkozhatunk.

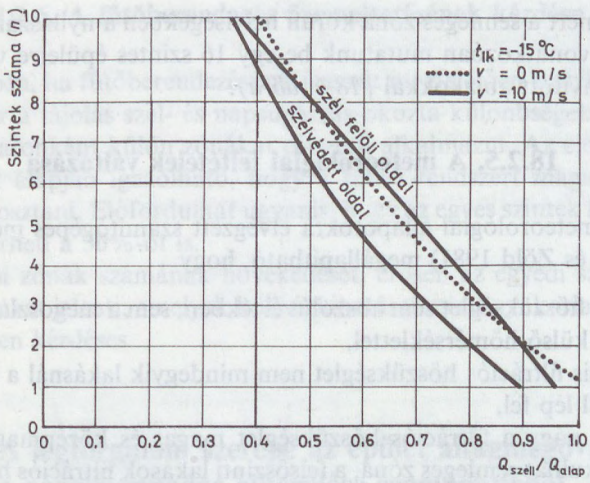
18.2.3. A szél hatása a filtrációra

A szél hatása annál inkább érvényesül,

— minél alacsonyabb az épület,
— annál nagyobb mértékben változik a filtrációs hőszükséglet, minél kisebb az épület mélysége (menetszáma) és
— minél tagoltabb az alaprajz külső kontúrja.



18.2. ábra. A szél hatása a filtrációs hőszükségletre (betűjelek és paraméterek az ábrákban) (Gábor és Zöld 1981)

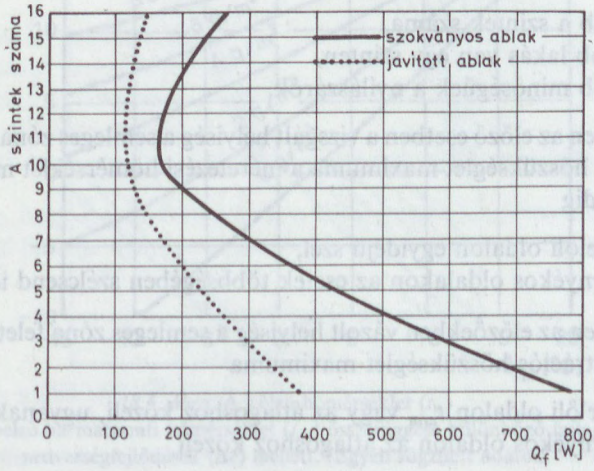


18.3. ábra. A szél hatása a filtrációs hőszükségletre (betűjelek és paraméterek az ábrákban) (Gábor és Zöld 1981)

Példaképpen bemutatjuk egy, a szél hatására legérzékenyebb kis menetszámú — azaz sovány *(18.2. ábra)* — és nagy menetszámú — kövér ház *(18.3. ábra)* — filtrációs hőszükségletének alakulását a szél hatására (Gábor és Zöld 1981).

18.2.4. A nyílászárók minőségének hatása

A nyílászárók minőségének javításával elérhető hatás elsősorban attól függ, hogy milyen épületen alkalmazzák azokat. Javított minőségű ablakok esetében a filtrációs hőszükségletben megtakarítás elsősorban azon épületekben érhető el, ahol kialakul



18.4. ábra. A filtrációs hőszükséglet változása (Gábor és zöld 1981)

semleges zóna, mert a semleges zóna körüli helyiségekben a nyílászárók javítása nem hatékony. Erre vonatkozóan mutatunk be egy 16 szintes épületre vonatkozó ábrát szokványos és javított ablakokkal *(18.4. ábra)*.

18.2.5. A meteorológiai feltételek változása

A különféle meteorológiai állapotokra elvégzett számítógépes méretezés eredményeiből (Gábor és Zöld 1981) megállapítható, hogy

— a filtrációs hőszükséglet sem abszolút értékben, sem a megoszlás jellegében nem arányos a külső hőmérséklettel,
— a maximális filtrációs hőszükséglet nem mindegyik lakásnál a méretezés szélső állapotánál lép fel,
— különösen nagy a filtrációs hőszükséglet magas és középmagas épületekben, ahol kialakulhat semleges zóna, a felsőszinti lakások filtrációs hőszükségletének abszolút értéke ekkor a külső hőmérséklet növekedésével együtt nő, tehát a filtrációs hőszükséglet nem egy állapotra, hanem a fűtési idény folyamatát reprezentáló állapotsorozat eredményeihez határozható meg.

Itt kell megemlíteni, hogy irodaépületekben a filtrációs levegőforgalom kevésbé stabil, mint lakóépületekben. Ennek okai:

— a belső terekből viszonylag kisebb az elszívott levegő mennyisége (kevesebb a belső téri vizes helyiség),
— nagyobb a homlokzati üvegezési arány.

Általános értékelést nem lehet adni, de az egyes tényezők hatásának tendenciája a következőket mutatja (Gábor és Zöld 1981):

a) A semleges zóna kialakulása a minimális külső méretezési hőmérséklet (t_{min}) esetén annál valószínűbb, minél

— nagyobb a szintek száma,
— kevesebb lakás van egy szinten,
— rosszabb minőségűek a nyílászárók.

b) Amennyiben az előző esetben a vizsgált helyiség a semleges zóna alatt van, akkor a filtrációs hőszükséglet maximuma a méretezési hőmérséklet minimumánál lép fel, mégpedig

— a szél felőli oldalon egyidejű szél,
— a szélárnyékos oldalakon az esetek többségében szélcsend idején.

c) Amennyiben az előzőekben vázolt helyiség a semleges zóna felett helyezkedik el, akkor a filtrációs hőszükséglet maximuma

— a szél felőli oldalon t_{min} vagy az átlagoshoz közeli, ugyanakkor
— a szélárnyékos oldalon az átlagoshoz közeli

külső hőmérséklet esetén adódik.

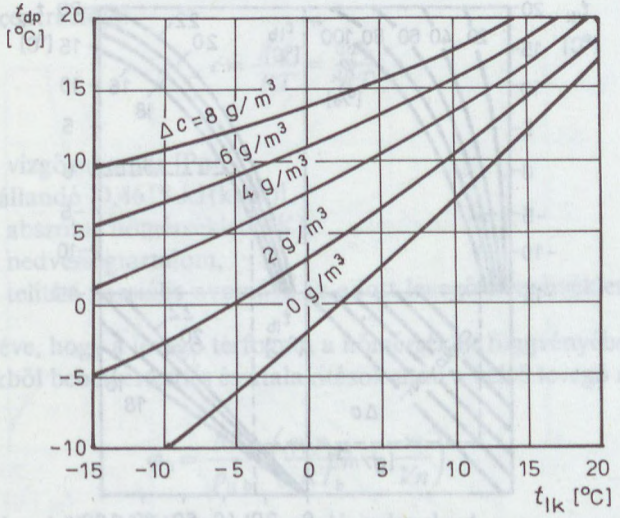
18.2.6. A fűtőberendezés üzemeltetésének kérdése

Abban az esetben, ha fűtőberendezésünk üzemét megfelelően stabil szinten kívánjuk tartani, akkor a tájolás szél- és napsugárzás okozta különbségek kiküszöbölése céljából homlokzatonként külön zónákat célszerű alkalmazni. Az előző alfejezetekben ismertetettek alapján igazolható, hogy a fűtési rendszert magasság szerint is célszerű zónákra osztani. Előfordulhat ugyanis, hogy az egyes szintek közötti hőveszteség-változás elérheti a 30%-ot is.

Mindez a fűtési zónák számának növekedését, erősen az egyedi szabályozás felé történő eltolódásokat jelenti, amelyek költségkihatásai miatt gyakorlati megvalósításuk a közeljövőben kérdéses.

18.3. A légforgalom szerepe az épület állagmegóvása, a páralecsapódás elkerülése szempontjából

Az emberek szellőzésikövetelmény-értékeinek kielégítése mellett épületek esetében még egy további szellőzési igénnyel kell számolnunk, amely viszont befolyásolja az épületek energiafogyasztását; s ez az épületek állagmegóvása, a páralecsapódás elkerülése céljából szükséges légforgalom. Ez a kérdés elsősorban az épületfizika témakörébe tartozik, azonban bizonyos áttekintése szükséges ennek a problémakörnek is. Ezért a következőkben néhány alapadatból mutatjuk be a legfontosabbakat, a már hivatkozott forrásmunkák (Balázs és Szalay 1989, Gábor és Zöld 1981), valamint

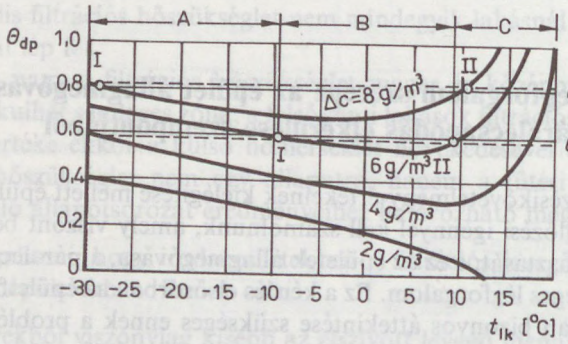


18.5. ábra. A külső hőmérséklet (t_{lk}) és a belső harmatponti hőmérséklet (t_{dp}) összefüggése különböző fajlagos nedvességfejlődések (Δc) mellett. (Egyéb rögzített adatok: $t_{lb} = 20$ °C, $\varphi_k = 80\%$) (Gertis 1988)

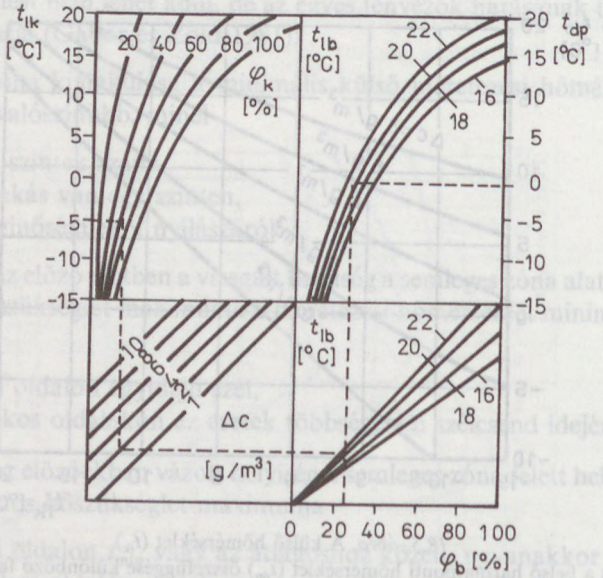
Gertis (1977, 1988), Erhorn és Gertis (1985), Heindl és mtsai (1987), Ibamoto és Nishi (1968), Ruotsalainen és Seppänen (1988) alapján.

A külső levegő relatív nedvességtartalmának értékei a 18.1. ábráról határozhatók meg. A külső hőmérséklet és belső harmatponti hőmérséklet közötti összefüggés a *18.5. ábrán* látható, de mivel ez 20 °C és 80% relatív nedvességtartalom mellett rögzített értékekre vonatkozik, célszerű bevezetni a „saját léptékben" mért harmatponti hőmérséklet fogalmát. Ez az érték meghatározható a

$$\Theta_{dp} = \frac{t_{dp} - t_{lk}}{t_{lb} - t_{lk}} \tag{18.4}$$



18.6. ábra. A sajátléptékben mért belső harmatponti hőmérséklete (Θ_{dp}) a külső hőmérséklet (t_{lk}) függvényében (Gertis 1988)



18.7. ábra. A relatív nedvességtartalom (φ_b) és a harmatponti hőmérséklet (t_{dp}) meghatározása (Gertis 1988)

összefüggésből, ahol t_{dp} a harmatponti hőmérséklet. E fogalom felhasználásával a *18.6. ábrán* mutatjuk be a saját léptékben mért harmatponti hőmérsékleteket a külső hőmérséklet függvényében. Az ábrán a folytonos vonal a harmatponti hőmérséklet különböző fajlagos nedvességterhelések esetén, míg a szaggatott vonal a belső felületi hőmérséklet. Az ábra $k_{fal} = 1{,}4$ W/(m^{2}K) és $k_{abl} = 3{,}2$ W/(m^{2}K) értékre vonatkozik.

A belső relatív nedvességtartalom és a harmatponti hőmérséklet a *18.7. ábrából* határozható meg. Ez utóbbi ábrával kapcsolatban ismernünk kell a következő gondolatmenetet.

A helyiség stacionárius nedvességmérlege a következő formában írható fel:

$$\dot{m}_t = w + \dot{m}_{be}, \tag{18.5}$$

ahol

$\dot{m}_t$ a távozó levegővel eltávolított vízgőzáram,
$\dot{m}_{be}$ a helyiségbe belépő levegővel beszállított vízgőzáram,
w a helyiségben fejlődő nedvesség

(valamennyi mértékegysége g/h). Az egyenlet abban az esetben írható fel így, ha páralecsapódás nem keletkezik.

A levegővel szállított vízgőzáram általában:

$$\dot{m} = Vnc, \tag{18.6}$$

ahol

V a helyiség térfogata [m^3],
n a légcsereszám [l/h],
c a vízgőz koncentrációja a levegőben [g/m^3].

A vízgőz koncentrációja:

$$c = \frac{p_{vg}}{RT} = \frac{\varphi p_{lt}}{RT}, \tag{18.7}$$

ahol

p_{vg} parciális vízgőznyomás [Pa],
R a vízgőzállandó [0,4615 kJ(kgK)],
T a levegő abszolút hőmérséklete [K],
φ a relatív nedvességtartalom,
p_{lt} a vízgőz telítési parciális nyomása az adott levegő-hőmérsékleten [Pa].

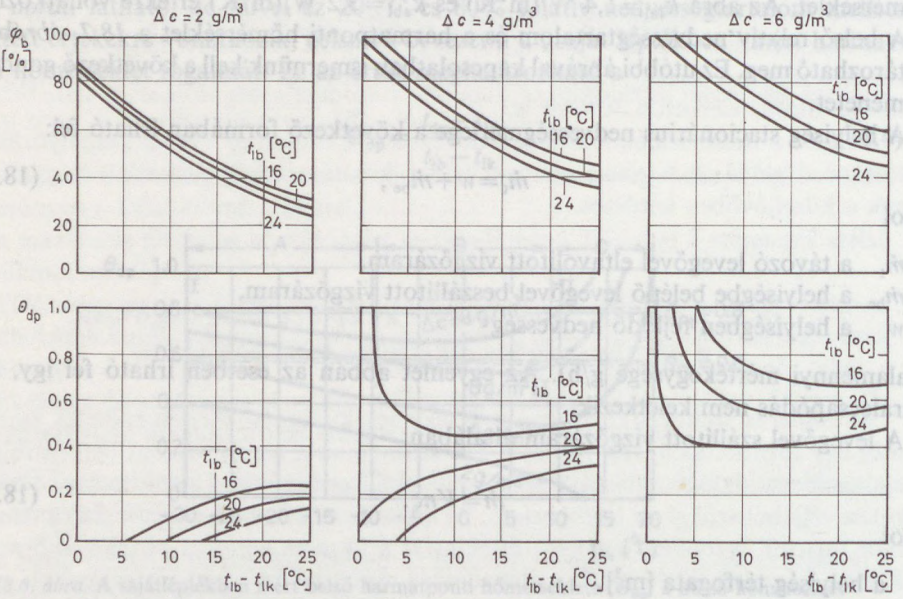
Figyelembe véve, hogy a levegő térfogata a hőmérséklet függvényében változik, az előző egyenletekből behelyettesítés és átalakítások után a belső levegő relatív nedvességtartalma:

$$\varphi_b = \frac{RT_k}{p_{lt\,b}} \left(\frac{\varphi_k p_{lt\,k}}{RT_b} + \frac{w}{Vn} \right), \tag{18.8}$$

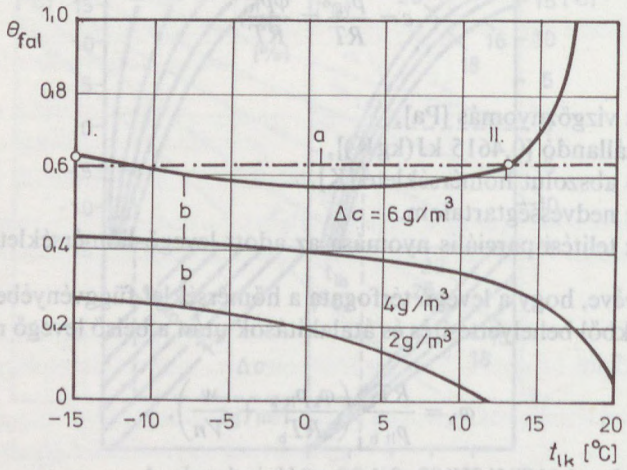
ahol b a belső, k a külső légállapotokra utaló indexek. A

$$\Delta c = \frac{w}{Vn} \tag{18.9}$$

fajlagos nedvességfejlődés (azaz az egységnyi szellőzőlevegő-térfogatárammal elszállítandó nedvességfejlődés [g/m^3], a továbbiakban számítások, illetve diagramok fontos paramétere lesz.

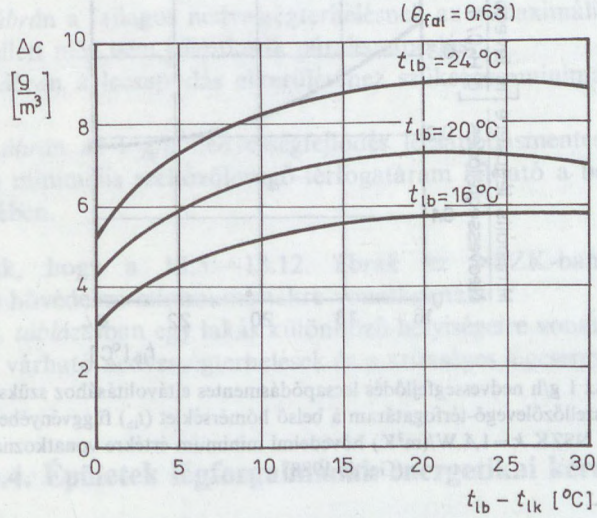


18.8. ábra. A belső levegő nedvességtartalma (φ_b) és sajátléptékben mért harmatponti hőmérséklete (Θ_{dp}) a külső hőmérséklet (t_{lk}) függvényében, különböző fajlagos nedvességterhelések (Δc) és belső hőmérsékletek (t_{lb}) mellett (Gertis 1988)

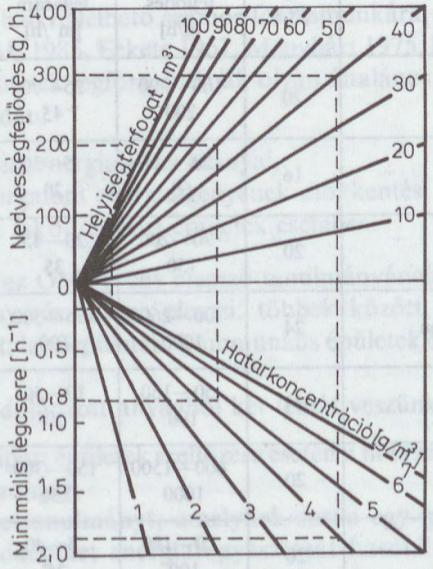


18.9. ábra. Homogén anyagú falsarok sajátléptékben mért minimális belső felületi hőmérséklete (Θ_{fal}) a külső hőmérséklet (t_{lk}) függvényében, különböző fajlagos nedvességterhelés (Δc) és 20 °C belső levegő-hőmérséklet mellett. [A fal rétegtervére: $k = 1{,}4$ W/(m^{2}K)] (Gertis 1988)

Felhasználva az előzőekben bemutatott Δc fogalmat, a *18.8. ábrán* a belső levegő nedvességtartalma és saját léptékben mért harmatponti hőmérséklete a külső és belső levegőhőmérsékletek függvényében látható, különböző fajlagos nedvességterhelések és belső hőmérsékletek mellett.

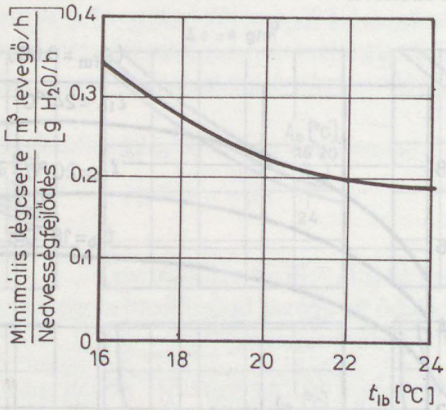


18.10. ábra. A fajlagos nedvességterhelésnek az a maximális értéke, amely mellett még nem jelentkezik páralecsapódás a belső és a külső hőmérsékletek különbsége függvényében (Gertis 1988)



18.11. ábra. A minimálisan szükséges légcsereszám, a 18.10 ábra szerinti határértékeket is figyelembe véve (Gertis 1988)

A lecsapódás szempontjából különösen a hőhidak veszélyesek (TTI 1979, Várfalvi 1989). Ezek felületi hőmérsékletének meghatározására nincsenek általános érvényű egyszerű összefüggések, ismert azonban, hogy az ilyen szempontból legkényesebb



18.12. ábra. Az 1 g/h nedvességfejlődés lecsapódásmentes eltávolításához szükséges minimális szellőzőlevegő-térfogatáram a belső hőmérséklet (t_{lb}) függvényében [Az ábrák az NSZK $k = 1{,}4$ W/(m²K) hővédelmi minimum értékre vonatkoznak!] (Gertis 1988)

18.7. táblázat. Egy átlagos (75 m² alapterületű, négyszobás, NSZK-beli) lakás különböző helyiségeinek nedvesség- és szellőzésadatai (Gertis 1988)

Helyiség	t_{lb} [°C]	Nedv. fejlődés [g/h]	Szellőző-légáram [m³/h]	Helyiség-térfogat [m³/h]	Szüks. légcsere [l/h]
Lakószoba	20	100—300 200	25—70 45	40—80 60	0,3—1,8 0,8
Hálószoba	16	20—100 60	5—30 20	20—40 30	0,1—1,5 0,8
Gyermekszoba	20	90—200 150	20—45 35	20—60 40	0,3—2,3 0,8
Fürdőszoba használat közben	24	700—2600 1000	135—500 190	20—30 25	4,5—25 8
napi átlagban	24	50—150 100	10—30 20	20—30 25	0,3—1,5 0,8
Konyha főzés közben	20	600—1500 1000	150—300 230	20—40 30	3,8—18 8
napi átlagban	20	20—180 100	5—40 25	20—40 30	0,1—2,0 0,8

Megjegyzés: a felső sorban az értékek szokványos tartománya, az alsó sorban az átlagadatok szerepelnek.

helyek a külső fal sarkai. Homogén falszerkezet esetében a Θ_{fal} értéke 0,63. Erre az értékre — a 18.6. ábrához hasonló feldolgozásban, a 18.4. ábrát figyelembe véve — került kidolgozásra a *18.9. ábra.*

További három fontos ábra:

— a *18.10. ábrán* a fajlagos nedvességterhelésnek az a maximális értéke látható, amely mellett még nem jelentkezik páralecsapódás,
— a *18.11. ábrán* a lecsapódás elkerüléséhez szükséges minimális légcsereszám látható,
— a *18.12. ábrán* az 1 g/h nedvességfejlődés lecsapódásmentes eltávolításához szükséges minimális szellőzőlevegő-térfogatáram látható a belső hőmérséklet függvényében.

Megjegyezzük, hogy a 18.5.—18.12. ábrák az NSZK-ban érvényes $k = 1{,}4\ W(m^2K)$ hővédelmi minimumértékre vonatkoznak.

Végül a *18.7. táblázat*ban egy lakás különböző helyiségeire vonatkozóan kerültek kidolgozásra a várható nedvességterhelések és a szükséges légcsereszámok.

18.4. Épületek légforgalmának energetikai kérdései

Az épületek légforgalmának energetikai kérdéseivel a korábbiakban már több esetben is foglalkoztunk, mint pl. az 5. és 9. fejezetekben. Ezért itt a légforgalom energetikai kihatásaival kapcsolatban nem tárgyaljuk a levegő fűtési és hűtési energiaigényének meghatározási kérdéseit, csak visszahivatkozunk az ott ismertetettekre éppúgy, mint az e témában fellelhető számos forrásmunkára, amelyekből csak néhányat említünk (ASHRAE 1985, Fekete 1967, Menyhárt 1975, Rietschel és Raiss 1964, 1968). Itt inkább az épületek légforgalmának olyan általános energetikai kérdéseivel foglalkozunk, mint például

— a fűtési és szellőzési energiaigény arányai,
— a szellőzéses légforgalom energiaigényének csökkentési lehetőségei,
— az előző kérdések lakó- és ipari épületek esetében.

Az elemzés alapjául az OMFB egy elemző tanulmányának (OMFB 1984) adatait tekintjük. A tanulmány részletesen elemzi, többek között, a különböző épületek légtechnikai rendszereit; lakóépületek, kommunális épületek és csarnok jellegű épületek bontásban.

A tanulmányban feldolgozott anyagból két témát veszünk át, mégpedig

— a csarnok jellegű ipari épületek szellőzése esetén a hőérzeti igények és a technológiai feltételek viszonyát,
— egy gazdasági esettanulmányt, amelynek során egy ipari csarnok, egy lakóépület és egy irodaépület energiafogyasztását hasonlítják össze, különös tekintettel az általános és szellőzéses energiaforgalomra, költségekre, egyéb mutatókra.

A választást az első téma esetében az indokolja, hogy

— az ipari épületek komfortkérdései szorosan összefüggnek a légforgalommal,
— ugyanakkor ezen épülettípusok esetében a komfortkérdésekkel ezideig kevésbé foglalkoztunk.

18.4.1. Csarnok jellegű ipari épületek szellőzése esetén a hőérzeti igények és a technológiai feltételek viszonya

A csarnok jellegű ipari épületek (továbbiakban csarnokok) fűtő- és légtechnikai berendezéseinek feladata, hogy a belső környezet klimatikus viszonyait és a belső levegő szilárd vagy gáz, illetve gőz halmazállapotú szennyeződésének koncentrációját befolyásolják vagy meghatározzák.

A klimatikus viszonyokat

— vagy a technológiai (T) igények (pl. mirelitüzem, húsüzem, műszergyártás, elektronika, nyomda, optikai üzem, gyógyszeripar, fonoda);
— vagy a humán (H) igények (pl. forgácsolóüzem, tmk-műhely, gépipar, szerelde, varroda, turbinacsarnok, öntőde, üveghuta) írják elő.

A technológia jellege által előírt vagy megengedett belső légállapot a komfortparaméterekkel meghatározott hőkomforttal

— ellentétes (TE) lehet (pl. húsüzem, fonoda, mirelitüzem);
— semleges (TS) lehet (pl. üveghuta, turbinacsarnok, varroda, szerelde);
— megegyező (TM) lehet: (pl. műszeripar, optikai üzem, gyógyszeripar).

A (TE) eset értelmezése az, hogy pl. egy húsüzem vagy mirelitüzem +5 °C—10 °C-os előírt hőmérsékletéhez, a technológiából következő aktivitás mellett, csak olyan öltözködéssel lehet alkalmazkodni, ami az általános kényelmi követelményekkel ellentétes.

A (TM) esetben az előírt szárazhőmérséklet és nedvességtartalom, illetve ezeknek ingadozása, a technológiára jellemző aktivitás mellett, kényelmes öltözködést tesz lehetővé.

Egy (TM) jellegű csarnok légtechnikai berendezésének létesítése nem lehet gazdaságossági megfontolás kérdése. Az alkalmazott rendszer és annak elemei önmagukban határozzák meg gazdaságosságukat (gépek hatásfoka, energiavisszanyerés stb.).

Egy (TE) jellegű csarnok esetén az ellentét lehetséges legjobb feldolgozásához valamennyi komfortparaméter vizsgálata és figyelembevétele fokozott jelentőséget kap. Ezek fontossági sorrendben:

1. a végzett tevékenység, aktivitás,
2. a ruházat szigetelőképessége, öltözködés,
3. a levegő hőmérséklete,
4. a levegő nedvességtartalma,
5. a levegő relatív sebessége,
6. a környezet átlagos sugárzási hőfoka.

Például:

a) Hidegüzem esetén 1., 3., 6. adott, 4. az adott hőmérséklet-tartományban nem meghatározó, az 5. gondos tervezése és a 2. helyes megválasztása döntő jelentőségű.

b) Magas páratartalmat igénylő üzem esetén (fonoda) 1., 4., 5 és 6. adott. A komfortigények kielégíthetők a levegő hűtésével, a 3 és a 2 helyes megválasztásával. A hűtés mértéke az energiafogyasztást alapvetően befolyásolja.

Egy (TS) jellegű csarnokok esetében a klimatikus viszonyokat a humán igények határozzák meg. Ezek kielégítése, a komfortviszonyok biztosítása vagy a diszkomfort csökkentése, gazdasági kérdés.

Például:

a) Az alábbi üzemekben, a nagy beruházási és üzemeltetési költségek miatt, a cél csak a diszkomfort csökkentése lehet:

— turbinacsarnokban,
— hutacsarnokban,
— öntödében,
— alukohóban és
— melegüzemekben általában.

b) Az alábbi üzemekben a komfort igények is viszonylag gazdaságosan biztosíthatók, az e célt szolgáló berendezés létesítése, illetve a hőkomfort mértéke beruházási erőforrások kérdése:

— varrodában,
— szerelőműhelyben.

Különös gondosságot igényel a melegüzemek és ezen belül is a nedves melegüzemek munkatérkörnyezetének kialakítása. Komfortviszonyok között a levegő nedvességének hőérzetre gyakorolt hatása kicsi. A diszkomfortállapotot okozó magas hőmérsékletek esetén a nedvesség hatása viszont jelentős, elsősorban az izzadás mértéke miatt.

Az alkalmazott berendezés, a technológia jellegétől és kialakításától függően, az év nagy részében alkalmas lehet komfortállapot biztosítására, ha a létesítmény tervezésekor a technológiai, építészeti, épületgépészeti berendezéseket e tekintetben is összehangolják. Ez az összehangolás mindenképpen lényeges akkor is, ha komfortállapot létesítése eleve kizárt, hiszen nem mindegy, hogy a diszkomfort milyen fokú és időtartamú.

A technológiai kialakítás alapvető a megfelelő hőszigetelés, minimális sugárzó felület és a kezelési körülmények szempontjából.

A technológiai berendezések hőterhelésüket konvekcióval és sugárzással adják le. Amennyiben, a berendezések kezelése miatt, a kezelőszemélyzet a berendezések közelében tartózkodik, a sugárzó felületek okozzák a legnagyobb problémát, mivel a sugárzó hő elleni védelmet építészeti vagy épületgépészeti eszközökkel igen körülményesen vagy egyáltalán nem lehet megoldani. Általánosan: minimálisra kell csökken-

teni a technológiai berendezések hőveszteségét, ezen belül különösen a sugárzó felületek hőfokát és nagyságát.

Az építészeti kialakítás két alapvető megoldással

— a napsugárzás elleni árnyékolással és
— a jól méretezett természetes szellőzéssel

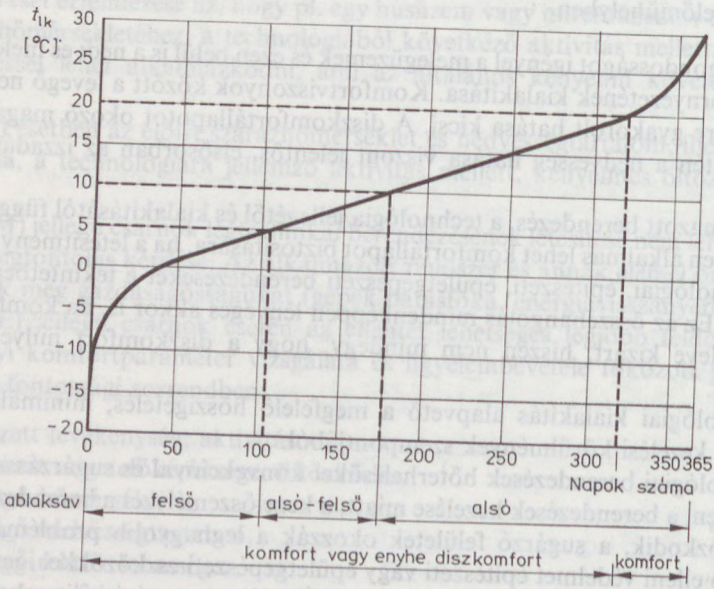
valósíthatja meg a komfortállapotot, illetve csökkentheti a diszkomfortállapot fokát. Viszonylag nagy üvegezési arányú épületek esetén a napsugárzás elleni védelem elmulasztása azt eredményezi, hogy még a technológiailag nem melegüzem is meleg üzemmé válhat.

A klimatikus viszonyokat alapvetően befolyásoló környezeti levegő-hőmérséklet és átlagos sugárzási hőmérséklet alakulása tehát a technológiai és építészeti kialakításnak is függvénye. Ha ezek kedvezőtlenek, a gépészeti tervezés csak drága és nem teljes értékű megoldásokat tud produkálni.

A környezeti levegő-hőmérséklet és átlagos sugárzási hőmérséklet összefüggéséből következik, hogy közepes aktivitás, közepes öltözék, 0,3 m/s relatív légsebesség és átlagos nedvesség esetén, 25 °C átlag sugárzási hőmérsékletnél, 12 °C környezeti hőmérséklet biztosít komfortállapotot.

Megfelelő technológiai és építészeti kialakítás esetén, magyarországi klímaviszonyok között, az év nagy részében biztosítható a komfortállapot, ha az átlagos sugárzási hőmérsékletet 25 °C alatt, a környezeti hőmérsékletet 12 °C alatt tudjuk tartani. Ennek feltétele a megfelelő szigetelés, árnyékolás és jól méretezett szellőzés.

Egyszerű külső friss levegős szellőzéssel, 10 °C külső hőmérséklet alatt, a komfortállapot tehát még biztosítható. A külső hőmérséklet emelkedésével mind a környező



18.13. ábra. A külső hőmérséklet és a komfortállapot összefüggése (OMFB 1984)

épületszerkezetek felületi hőmérséklete, mind a környezeti léghőmérséklet megnő. A komfortállapot elvileg mindaddig fenntartható, amíg a relatív sebesség értéke növelhető. Ezt követően elkerülhetetlen a diszkomfortállapot, ami nem jelenti azt, hogy a csarnok munkavégzésre alkalmatlan, azonban egészségügyi és munkavédelmi rendszabályok lépnek előtérbe *(18.13. ábra)* (OMFB 1984).

Az elmondottak alapján szükséges bizonyos szemléletváltoztatás a melegüzemek tervezésekor. Jelenleg szinte gyakorlat, hogy a melegüzemek mikroklímája akkor is diszkomfortzónában van, amikor ez nem indokolt. Ennek részben az is oka, hogy előmelegítetlen friss levegő bevezetésétől idegenkednek, az előmelegítési hőigény pedig energetikai szempontból általában kedvezőtlen. Az előmelegítetlen friss levegővel való téli szellőztetésre hagyományos és új módszer is rendelkezésre áll.

A felső ablaksávval végzett téli természetes szellőzés, megfelelő méretezés és üzemeltetés esetén általában biztosítani tudja a munkazóna komfortállapotát. A belső ablaksávon át beeső levegő ugyanis a munkazónáig, a belső meleg levegővel keveredik. Ez a kialakítás külső energia bevezetése nélkül, a hulladékhő felhasználásával biztosítja a friss szellőzőlevegő előmelegítését. E módszert gáz vagy egyéb szennyező technológiák esetén nem lehet alkalmazni, mivel a munkatér szennyezéskoncentrációját növeli.

Ezen az elven alapul például az a korszerűnek tekinthető megoldás is, amikor a fűtetlen friss levegőt mesterségesen táplálják a munkazónába, indukciós befúvó fejen keresztül.

18.4.2. Különböző funkciójú épületek fűtési és szellőzési energiaforgalma és annak mutatói

A következőkben a már hivatkozott forrásmunka (OMFB 1984) alapján a következő változatok kerülnek összehasonlításra:

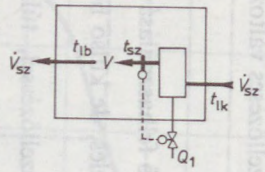
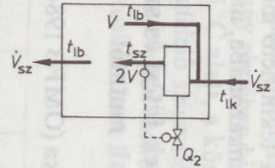
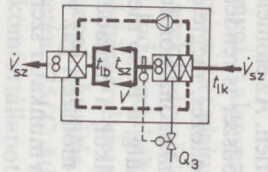
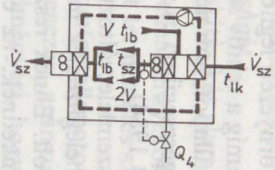
a) Egy átlagos alapterületű lakás háromféle szellőzéses változata, mégpedig
   1. a jelenleg használatos elszívórendszerek,
   2. kiegyenlített szellőzés,
   3. kiegyenlített szellőzés energia-visszanyerő felhasználásával.

b) Egy ipari csarnok, ahol van belső hőtermelés, de külső hőforrás is szükséges. Ezen belül négy változat
   1. termoventilátoros, frisslevegő-befúvós szellőzéssel, túlnyomásos elvezetéssel,
   2. termoventilátoros befúvós szellőzéssel, 50% visszakeveréssel, túlnyomásos elvezetéssel (ekkor a termoventilátorok összes légteljesítménye kétszeres.),
   3. központi befúvós-elszívós szellőzéssel, közvetítős hőhasznosítással,
   4. mint a 3., de visszakeveréssel.

   A négy változat részleteiben a *18.8. táblázat*ban látható. A példa kidolgozásakor azonos hőterhelést és külső-belső feltételeket vettek figyelembe.

c) A középületekre vonatkozóan két könnyűszerkezetes irodaépületet mutatunk be, melyek főbb technikai adatai a *18.9. táblázat*ban láthatók. Az adatokból

18.8. táblázat. Műanyagfeldolgozó üzem szellőzése (53 kW belső hőterhelés, 28 °C belső hőmérséklet, min. 17 °C szellőzőlevegő-hőmérséklet, évi 4368 üzemóra, átlagos külső hőmérséklet 0 °C) (OMFB 1984)

Megoldás módja	Termoventilátoros szellőzés tiszta friss levegővel, túlnyomásos elvezetés	Termoventilátoros szellőzés 50% visszakeveréssel, túlnyomásos elvezetés	Központi befuvó és elszívó szellőzés, közvetítőközeges hőhasznosítás	Központi befuvó és elszívó szellőzés, közvetítőközeges hőhasznosítás és 50 % visszakeverés
Elvi vázlat				
Légmennyiség [m^3/h]	15 500	31 000	15 500	31 000
Hőigény [kW]	94,8	33,6	47,4	0
Éves hőigény [kWh/év]	$4{,}14 \cdot 10^5$	$1{,}47 \cdot 10^5$	$2{,}07 \cdot 10^5$	0
Felvett villamos teljesítmény [kW]	0,43	2,32	15	28
Éves villamosenergia-igény [kWh/év]	1878	10 134	65 520	122 304
Berendezés költsége [Ft]	120 000	200 000	600 000	780 000
Megvalósulási időtartam [hónap]	1	1	4	4
Kamat [%]	12	12	12	12
Karbantartás [Ft]	12 000	12 000	40 000	40 000
	Éves költségek			
Állapot [Ft]	15 440	25 730	79 407	103 230
Energia [Ft]	377 300	157 600	350 100	305 760
Karbantartás [Ft]	12 000	12 000	40 000	40 000
Összes [Ft]	404 740	195 330	469 507	448 999

18.9. táblázat. Két légkondicionált épület energiafogyasztási adatai (OMFB 1984)

Megnevezés		Mértékegység	„A"	„B"
Transzmissziós hőveszteség		kW	62,6	105,8
Maximális szellőzőlevegő-mennyiség		m^3/s	0,5	1,2
A szellőzőlevegő hőigénye	hővisszanyerés nélkül	kW	23,3	55,9
	hővisszanyeréssel	kW	6,6	15,8
A nedvesítés hőigénye		kW	4,2	10,1
Maximális fűtési teljesítmény	hővisszanyerés nélkül	kW	90,1	171,8
	hővisszanyeréssel	kW	73,4	131,7

csak a beruházási költség növekedését, valamint a teljesítmény- és fogyasztásváltozásokat vettük figyelembe.

A számítási eljárás a következőkben foglalható össze.

Az éves költség az állandó, az energia- és a karbantartási költség összege.

Az állandó költséget a következőképpen lehet meghatározni:

$$K_a = Bi\alpha, \tag{18.10}$$

ahol

K_a az állandó költség,
B a beruházási költség,
i az interkaláris tényező,
α az annuitás.

Az interkaláris tényező definíciója:

$$i = \left(1 + \frac{P}{100}\right)^t, \tag{18.11}$$

ahol

P a kamat,
t a beruházási költségek és a próbaüzem súlypontja közötti időtartam, évben.

Az annuitásé pedig a következő:

$$\alpha = \frac{\left(1 + \frac{P}{100}\right)^n \cdot \frac{P}{100}}{\left(1 + \frac{P}{100}\right) - 1}. \tag{18.12}$$

Az energiaköltség a vizsgált esetekben a fűtés és a légkondicionálás (villamos energia) költségéből áll. A fűtés fajlagos költsége egységesen 0,9 Ft/kWh-ra lett felvéve, mely távfűtéses hőszolgáltatásnak felelt meg. A villamos energia fajlagos

18.10. táblázat. Ipari csarnok négy szellőzési változatának energiafogyasztási adatai (OMFB 1984)

		1. változat	2. változat	3. változat	4. változat
Beruházási adatok					
1. Beruházási költség	Ft	120 000	200 000	600 000	780 000
2. Kamat	%	12	12	12	12
3. Megvalósulási idő	év	0,083	0,083	0,333	0,333
4. Élettartam	év	25	25	25	25
Energiaigény	kWh/év				
5. Fűtés		$4{,}14 \cdot 10^5$	$1{,}47 \cdot 10^5$	$2{,}07 \cdot 10^5$	0
6. Légkondicionálás		1878,0	10 134,0	65 520	122 304
Éves költség	Ft/év				
7. Állandó		15 440	25 730	79 407	103 230
8. Energia		377 300	157 600	350 100	305 760
9. Karbantartás		12 000	12 000	40 000	40 000
10. Összesen:		404 740	195 330	469 507	448 990
Felhasznált fajlagosok:					
11. Fűtés	Ft/kWh	0,9	0,9	0,9	0,9
12. Légkondicionálás	Ft/kWh	2,5	2,5	2,5	2,5
13. i	Ft/kWh	1,009	1,009	1,038	1,038
14. α	Ft/kWh	0,1275	0,1275	0,1275	0,1275
15. A berendezés kihasználási ideje	h/év	4 368	4 368	4 368	4 368

költsége a fogyasztás típusától és a kihasználástól függően, az 1985—2000 időszak átlagával lett figyelembe véve.

Az eredmények a *18.10.* és *18.11. táblázat*ban láthatók. A következtetések alapján megállapítható, hogy a lakóépületek esetében az egyes változatok összköltségei között nincs szignifikáns különbség. Ezért figyelembe véve a költségekben nehezen kifejezhető hőérzeti különbségeket, valamint a szellőztetés minőségével összefüggő állagvédelmi károsodásokat, illetve költségeket, kézenfekvő a magasabb színvonalú megoldások választása.

Az ipari épületekre vonatkozó példa eredményei közül az éves hőigény és az éves összes költség értékeit emeljük ki. Látható, hogy a 4. megoldással elvileg eljuthatunk az éves hőigény nulla értékéig, azonban a meteorológiai szélső értékek miatt, a fűtési teljesítőképességet műszakilag így is biztosítani kell.

Ez a hőfogyasztás szempontjából optimális megoldás (4-es) azonban több mint kétszeres éves költséget eredményez az összköltség szempontjából optimális, egyszerű visszakeveréses rendszerrel szemben (2), de csak kb. 10%-kal drágább a hőhasznosítás nélkülihez (1) képest.

Az eredmény azt a közismert tényt igazolja, hogy a visszakeverést műszakilag lehetővé tevő technológia esetén, bizonyos igényszintig, a visszakeveréses üzem a leggazdaságosabb.

18.11. táblázat. Három lakás és két iskola költség- és energiafogyasztási adatai (OMFB 1984)

		Lakások			Iskola	
		1.	2.	3.	1.	2.
		változat			változat	
Beruházási adatok						
1. Beruházási költség	Ft	1 300	3 600	4 800	40 000	50 000
2. Kamat	%	12	12	12	12	12
3. Megvalósulási idő	év	0,02	0,02	0,02	0,083	0,083
4. Élettartam	év	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
Energiaigény	kWh/év					
5. Fűtés		9 250	7 800	6 900	6 700	8 000
6. Légkondicionálás		300	600	800	925	875
Éves költség	Ft/év					
7. Állandó		206	571	762	6 292	7 991
8. Energia		9 585	9 540	9 570	8 990	10 000
9. Karbantartás		50	100	120	1 000	1 250
10. Összesen		9 841	10 211	10 452	16 282	19 241
Felhasznált fajlagosok						
11. Fűtés	Ft/kWh	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
12. Légkondicionálás		4,2	4,2	4,2	3,2	3,2
13. i		1,002	1,002	1,002	1,009	1,009
14. α		0,1584	0,1584	0,1584	0,1584	0,1584
15. A berendezés kihasználási ideje	h/év	3 000	3 000	3 000	5 000	5 000

Ahol visszakeverés nem alkalmazható (szennyezettség, robbanásveszély stb.) a 3. megoldás kb. 15%-kal drágább az 1.-nél.

Felhívjuk a figyelmet arra, hogy a példa eredményei nem általánosíthatók, de leszűrhető, hogy ebben az egyébként gyakori esetben, a jelenlegi és várható energiaárak és beruházási költségek, illetve költségarányok mellett, csak a visszakeveréses üzemmel lehet az éves összköltségben megtakarítást elérni.

Az irodaépületre vonatkozó példák eredményei azt bizonyítják, hogy a — látszólag indokolatlanul túlbonyolított — légtechnikai rendszerrel a hőterhelések hasznosításának, az energiaáramok szervezésének egy olyan szintje érhető el, amely végül is — a növekmények összevetésében — összköltség-megtakarítást eredményez. Ehhez járul még az a — költségekben szabatosan nem megfogalmazható — körülmény, hogy a kedvezőbb hőérzeti feltételek a szellemi tevékenység, a termelőmunka produktivitását javítják, a szabályozott belső légállapotok az épületszerkezetek fizikai élettartamát növelik, illetve az állagkárosodást csökkentik.

Megjegyezzük, hogy az 1984. évi költségek, költségprognózisok számszerű értékei ma már egyáltalán nem használhatók, de az egyes változatok közötti arányok — habár napjainkban ugyancsak eltérőek lehetnek — szemléletkialakításra, döntéselőkészítésre figyelembe vehetők.

19. Az embert érő komplex hatások és az energiagazdálkodási törekvések kielégítésének néhány adata

A zárt térben tartózkodó embert — mint azt már az 1. fejezetben is ismertettük — nagyon sok külső hatás éri, amelyek eredményeképpen alakul ki szubjektív közérzete. Természetesen nem szabad elfelejtenünk, hogy a szubjektív közérzetet számos nem fizikai, hanem az emberrel, annak életvitelével közvetlenül összefüggő hatás is befolyásolja. A műszaki gyakorlatban ez utóbbiak befolyásolására általában nincs lehetőség, illetve nem képezi a műszaki tervezés tárgykörét.

A műszaki tervezés során a különböző fizikai paraméterek megfelelő — optimális vagy még megengedhető, esetleg ezek közötti intervallumok valamelyike — értékének biztosítása a feladat.

Napjainkban megfelelő előírások állnak rendelkezésre külön-külön egyes paraméterek hatásmechanizmusának figyelembevételére, mint pl. a hőterhelés, zajhatás, belső levegő minősége, megvilágítás, huzathatás stb. Ezen hatásokra külön-külön méretezzük a belső teret, és gyakran azzal a sajnálatos ténnyel kell szembenéznünk, hogy a különböző paraméterek szerint optimálisra méretezett tér az ember szempontjából kedvezőtlen mind közérzete, mind munkavégző teljesítőképessége vonatkozásában.

Tehát olyan méretezési módszerek kidolgozása szükséges, amelyek egyszerre több paraméter együttes hatását veszik figyelembe.

Ha azokat a műszaki paramétereket gyűjtjük össze, amelyek az ember közérzetét, de ugyanakkor az épületek, zárt terek energiaforgalmát is számottevően befolyásolják, igen tekintélyes listát állíthatunk össze (lásd 1. fejezet):

a) Az első csoportba az emberi hőérzetet befolyásoló 6 paraméter hatását kell említenünk, amelyek figyelembevételét, azok kihatását e könyv korábbi részeiben részletesen elemeztük, hiszen témájánál fogva gyakorlatilag ez volt a könyv egyik alapfeladata, célja.

b) Korunk következő nagy problémaköre az emberi komfort—energiafelhasználás, a belső légforgalom, légszennyeződés kérdése. Ezzel a könyvben több helyen, de különösen az előző, 18. fejezetben foglalkoztunk. Meg kell jegyeznünk, hogy ez az a hatás, amelyet a komfort—hőtechnikai—energetikai méretezés, tehát az előző a) pont témakörével leginkább együttesen kezelnek.

c) A következő csoportba a világítástechnikai kérdéseket sorolhatjuk, több okból:

— a természetes megvilágítás alkalmazásának aránya lényegesen befolyásolja az épület zárt terének energiaforgalmát (lásd 6.7.2. pont),
— a mesterséges megvilágítás, mint számottevő hőforrás szerepelhet egyes zárt terek energiamérlegében, ezek figyelembevételi, hasznosítási lehetőségei széles határok között változnak,
— ide soroljuk — önkényesen — a színdinamikai hatásokat is, amelyek a szubjektív hőérzetre közvetlenül és közvetve hatással vannak, és így az energiafelhasználást is számottevően befolyásolhatják (lásd 6.7.1. pont).

d) Kétségtelenül egyre fontosabb tényező az akusztikai kérdések témaköre is. A különböző zajhatások egyrészt kedvezőtlenül befolyásolják az ember közérzetét és munkavégző képességét, másrészt, az ellenük való védekezés miatt, alkalmazandó akusztikai szigetelés számottevően befolyásolhatja a zárt tér egyéb hőtechnikai paramétereit és ezen keresztül a költségtényezőket is.

e) Az emberi közérzetet befolyásoló tényezők között (lásd 1.3. alfejezet), mint különleges tényező szerepel a napsugárzás és az ionizáció. Ezek közül a napsugárzást e könyvben a korábbiakban részletesebben elemeztük, illetve felhívtuk a figyelmet a különböző forrásmunkákra. Az ionizáció kérdését ugyancsak elemeztük a 6.5. alfejezetben, de ott is megállapítottuk, hogy „ígéretes lehetőség" az ember—épület—energiafelhasználás problémakörében, azonban pontos hatásmechanizmusa még tisztázatlan. Tehát a kombinált hatásokra való méretezéskor célszerű figyelembe venni, azonban egyelőre nem pontos értékeit, hanem csak főbb alapelveit (a negatív ionkoncentráció túlsúlyának biztosítása).

A „tudomány mai állása szerint" tehát legalább ezeket a paramétereket kellene együttesen figyelembe venni egy zárt tér méretezésekor, és e kombinált hatások optimumával számolni az ember vagy az ember—gazdaságossági adottságok szempontjából. Az ehhez szükséges adatoknak azonban jelenleg csak kis része áll rendelkezésre, de különböző nemzetközi konferenciákon talán ebben a kérdésben a legnagyobb az egyetértés; ezt a feladatot sürgősen meg kell oldani. Ugyanakkor az is nyilvánvaló, hogy ez több évtizedes munkát igényel, lépésről lépésre lehet a kérdést megoldani, elsősorban laboratóriumi vizsgálatokkal. Azért lépésről lépésre és laboratóriumi körülmények között, mivel egyszerre csak egy paraméter változásának hatását lehet az ember szemszögéből figyelembe venni, mert ellenkező esetben nem tudjuk kiszűrni az egyedi hatásokat a komplex hatásmechanizmusból.

A továbbiakban először az eddig e téren rendelkezésre álló, több paraméter együttes hatását tisztázni kívánó vizsgálatok, kutatások eredményeit foglaljuk össze röviden, különös tekintettel az ember—épület—energiafelhasználás témakörére, ezen belül is a kombinált hatások mai figyelembevételi lehetősége szempontjából. A mai alatt a könyv írásakor, 1989 végén ismert adatokat értjük „a teljesség igénye nélkül", remélve, sőt biztosra véve, hogy a könyv megjelenésekor már számos új adat áll majd e témában rendelkezésre.

19.1. Több paraméter együttes figyelembevételére vonatkozó eddigi eredmények

A zárt térben tartózkodó emberre ható mikroklíma-paraméterek együttes hatásának vizsgálatával kapcsolatban ez ideig a következő fontosabb kérdéseket tanulmányozták:

— világítás és hőhatás,
— zaj- és hőhatás,
— szín- és hőhatás,
— szín-, zaj- és hőhatás.

Az egyes vizsgálatok eredményeit a következőkben foglaljuk össze. Megjegyezzük azonban, hogy a vizsgálatok elsősorban a szellemi teljesítőképesség változására vonatkoztak. A fizikai munkavégzéssel kapcsolatos változásokat, az ún. komfort-hőmérséklet szintjén alig vették vizsgálat alá, míg magasabb hőmérséklethatárok esete viszont nem képezi e könyv tárgyát. A teljesítmény változással kapcsolatos kérdésekkel, ezeknek a hő hatására bekövetkezett változásaival egyébként a 17. fejezetben már foglalkoztunk.

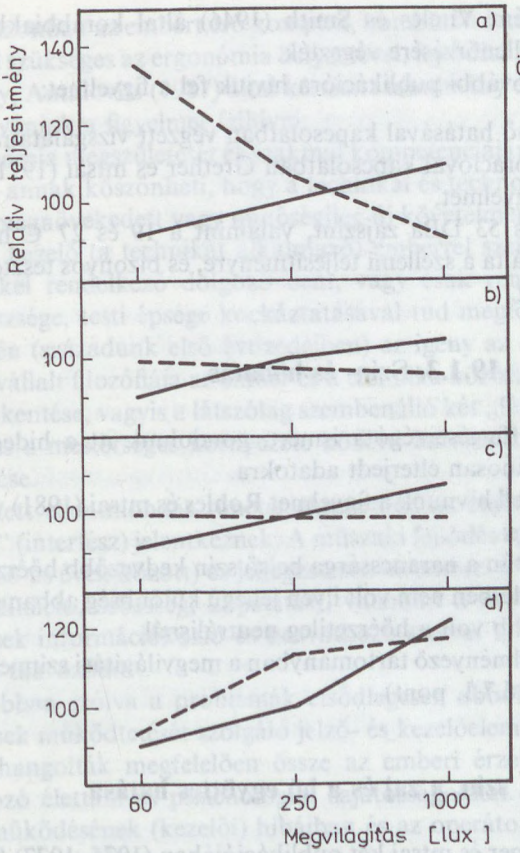
19.1.1. Világítás és hőhatás

E témában Löfberg és mtsai (1975) által, iskolás gyerekekkel végzett vizsgálatok eredményei érdemelnek figyelmet. A vizsgálatok során 60, 250 és 1000 lux megvilágítási erősség, 22 és 27 °C levegő-hőmérséklet, valamint magas ($C=0{,}90$) és alacsony ($C=0{,}42$) kontraszt együttes hatását vizsgálták. Ezek során megállapították, hogy

— a megvilágítás erősségének növelése emeli a teljesítményt, még 27 °C esetében is,
— a teljesítménynövekedés azonban abban az esetben, ha a meleghatás délután jelentkezik, a teljesítménynövekedést lelassítja, sőt egyes szellemi teljesítmény tesztek esetében csökkentheti is.

Mindezekkel kapcsolatos összefoglaló eredmények a *19.1. ábrán* láthatók.

Ugyanakkor Rohles és mtsai (1981a) úgy találták, hogy neutrális hőállapotban a megvilágításnak nincs hatása a hőérzetre (bővebben lásd 6.7.1. pont). A különböző világítási megoldások és különböző hőmérsékletek hatásával foglalkozott Bánhidi és Antalovits, továbbá Debrecheni, s eredményeik a (Bánhidi és mtsai 1984b, c) publikációkban találhatók.



19.1. ábra. A hőmérséklet és megvilágítás hatása az ember szellemi teljesítményére (Löfberg és mtsai 1976)

19.1.2. Zaj- és hőhatás

E témakörben már több érdekes eredményre hívhatjuk fel a figyelmet.

Wyon több esetben vizsgálta a fizikai és szellemi teljesítőképesség változását különböző paraméterek hatására. Kiindulásként a hideg és meleg hatását a fizikai és szellemi teljesítőképességre (Wyon és Holmberg 1974, Wyon és mtsai 1982), majd különböző kombinált hatásokat vizsgált (Wyon 1980, 1984, Wyon és mtsai 1975).

Wyon és mtsai (1982) egy 160 fős kísérleti csoportot tettek ki 85 és 50 DB zaj esetén 22, valamint 30 °C levegő-hőmérséklet hatásának. A különböző esetekre vizsgálták fehér és fekete, férfi és nő alanyok koncentrálóképességének változását. Eredményeik a következőkben foglalhatók össze:

— a zaj önmagában csökkentette a munka intenzitását,
— a hő önmagában növelte az elkövetett hibák számát,
— a kombinált hatásra a két kedvezőtlen hatás kiegyenlítődött a vizsgált szinteken.

A vizsgálatokat egyébként Viteles és Smith (1946) által korábbiakban végzett kísérletek eredményeinek ellenőrzésére végezték.

A témakörben néhány további publikációra hívjuk fel a figyelmet:

— Bell (1978) a zaj- és hő hatásával kapcsolatban végzett vizsgálataira,
— hő-, zajhatással és vibrációval kapcsolatban Grether és mtsai (1971, 1972) két kiadványa érdemel figyelmet,
— Hygge (1985) a 38 és 53 DBa zajszint, valamint a 19 és 27 °C hőmérséklet együttes hatását vizsgálta a szellemi teljesítményre, és bizonyos tesztek esetében eltérő hatásokat talált.

19.1.3. Szín- és hőhatás

A szín- és hőérzet összefüggése régóta ismert, gondolunk itt a hideg és meleg színekkel kapcsolatos általánosan elterjedt adatokra.

A témakörben ismét fel kell hívnunk a figyelmet Rohles és mtsai (1981) vizsgálatainak következő eredményeire:

— egyórás tartózkodás után a narancssárga belső szín kedvezőbb hőérzetet adott, mint a kék, holott kezdetben nem volt ilyen jellegű különbség abban az esetben, ha a környezet hidegebb volt a hőérzetileg neutrálisnál,
— neutrális hőérzetet eredményező tartományban a megvilágítási színnek nem volt hatása (bővebbet lásd 6.7.1. pont).

19.1.4. A szín, a zaj és a hő együttes hatása

Ebben a témakörben Fanger és mtsai két publikációjában (1975, 1977) foglaltakra hívjuk fel a figyelmet, amelyet a 6.7.1. pontban ugyancsak részletesebben ismertettünk.

Felhívjuk a figyelmet, hogy az ÉTI Mikroklíma Laboratóriumában Fabó (1989) kezdett egy, a kombinált hatásokat ellenőrző kísérletsorozatot, mégpedig a hőmérséklet (levegő- és közepes sugárzási), a relatív nedvességtartalom, zajhatások, ionizációparaméter kombinációk esetére.

19.2. Az ergonómia szerepe röviden, a zárt terek belső mikroklímájának méretezésében

Azzal kapcsolatban, hogy a zárt térben tartózkodó embernek nemcsak a hőérzetét, hanem a környezetével való komplex kapcsolatát is figyelembe kell venni, a korábbiakban, e könyv II. részében, már foglalkoztunk. Ilyen szempontból pl. a 13. fejezetben, a hőérzetileg megengedhető határértékek elvének bemutatásakor, a mikroklímának a munkavégző képességre gyakorolt hatásmechanizmusának kérdését is elemeztük. Ez az elv már önmagában is felveti az ergonómiai szerepének, illetve előtérbe kerülésének szükségességét, de ott a kérdéssel részleteiben nem foglalkoztunk.

Amikor azonban az embert érő komplex, kombinált hatások témakörét elemezzük, óhatatlanul szükséges az ergonómia helyzetével, fejlődési tendenciáival foglalkozni. E kérdésre egy, Antalovits (1987) által készített tanulmány egyes részeinek rövid ismertetésével kívánjuk a figyelmet felhívni.

Az ergonómia megszületését és szakmai kompetenciájának állandó bővülését tulajdonképpen annak köszönheti, hogy a technikai és technológiai fejlődés egyes szakaszai olyan megnövekedett vagy minőségileg új követelményeket állítanak a technikai eszközöket kezelő (a technikát alkalmazó) emberrel szemben, amelynek az átlagos képességekkel rendelkező dolgozó nem, vagy csak rendkívüli erőfeszítések árán, esetleg egészsége, testi épsége kockáztatásával tud megfelelni. Így teremtődött meg annak idején (századunk első évtizedeiben) az igény az ergonómia iránt, amelynek tudatosan vállalt filozófiája az ember és a technika közötti ellentmondások feloldása, illetve csökkentése, vagyis a látszólag szembenálló két „fél" érdekeinek egyeztetésével az ember és a mesterséges környezete közötti harmonikusabb viszony feltételeinek megteremtése.

Az említett ellentmondás tünetei alapvetően az ember és a technika érintkezési „felületein" (interfész) jelentkeznek. A műszaki fejlődés egy korábbi szakaszában (kb. a 30-as és 60-as évek között) ez jellegzetesen az emberi érzékelési és mozgási képességek (koordináció, sebesség, kapacitás), valamint a növekvő bonyolultságú gépek, berendezések információközlő és beavatkozó szervei közötti természetes megfelelés hiányában tükröződött.

Pontosabban szólva a problémák elsődlegesen abból adódtak, hogy a gépek és berendezések működtetését szolgáló jelző- és kezelőelemek kialakítását, elrendezését stb. nem hangolták megfelelően össze az emberi érzékelési és mozgási funkcióit meghatározó élettani és pszichológiai sajátosságokkal. Ez egyaránt tükröződött a rendszer működésének (kezelői) hibáiban és az operátor túlzott megterhelésében és annak káros hatásaiban.

Természetesen nemcsak a működő technikával, hanem az azt magába foglaló környezettel is van a dolgozónak biológiai és pszichológiai szempontból egyaránt értelmezhető „érintkezési felülete". Az olyan fizikai környezeti tényezők, mint a munkahelyi megvilágítás, zaj, mikroklíma, levegőszennyezettség, az ergonómia kutatási és alkalmazási területének klasszikus témakörei voltak és azok ma is, mert a technikai fejlődéssel jelentőségük nem csökkent. Sőt, e tényezők a munkahelyeken kiegészültek újabb elemekkel is (pl. biológiai és vegyi ártalmak, sugárzások stb.), illetve a diszkomfortérzést vagy egészségkárosító hatást kiváltó különféle munkakörnyezeti kombinációk alakultak ki, váltak egyes munkakörökben jellemzővé. A fiziológiai és pszichológiai megterhelés hatásait illetően a technikai fejlődés fokozatosan ez utóbbira irányította az ergonómiai kutatások figyelmét. Századunk második felében ugyanis, az élenjáró technikát illetően, az operátorral szemben támasztott követelményekben a hangsúly az emberi észlelés és beavatkozás pszichikus hátterét jelentő szenzomotoros szféráról fokozatosan a gondolkodási képességekre, azaz a kognitív szférára került át, szoros összefüggésben a számítógépek elterjedésével és a mikroelektronika széleskörű alkalmazásával.

Az információs technológia keretei között az ember és a technika legfontosabb érintkezési „felületét" az ember és a számítógép közötti interkatív kapcsolat (kommunikáció) testesíti meg.

Az információs technológia elterjedésével ezért kerül világszerte az érdeklődés előterébe az ún. „szoftver ergonómia" vagy „kognitív ergonómia" — ahogy az ergonómia ezen újabb alkalmazási területét sokfelé nevezik.

A munkakörnyezet témakörének jelentősége pl. napjaink korszerű, ún. „képernyős munkahelyeinél" sem csökken, csak más hangsúlyok jelennek meg, mint korábban. Különösen a vizuális környezeti tényezők, valamint a kötött (ülő) testhelyzetben végzett munka diszkomfortérzését kialakító tényezők jelentősége növekszik.

Az eddigieket összegezve, ha az ergonómia fogalmát fejlődési folyamatában akarjuk meghatározni, azt mondhatjuk, hogy az ergonómia szűkebb értelemben egy olyan interdiszciplináris tudomány és alkalmazási terület, amely az ember igényeinek és lehetőségeinek a technikai követelményekkel történő megfelelését vizsgálja, illetve biztosítja, egyfelől a technika emberközpontú kialakításával, másfelől az emberi képességek és készségek célirányos fejlesztésével.

Az ergonómia tágabb felfogásban nemcsak az „ember-gép (technikai eszköz) — környezet" rendszer fejlesztésének tudománya és gyakorlata, hanem a munka világán kívüli területekre (háztartás, közlekedés, iskola, sport stb.) is kiterjed. E szélesebb felfogásban az ergonómia nem csupán a hatékonyabb és megbízhatóbb munkavégzés, illetve a munkakomfort feltételeinek megteremtését, valamint a felhasználói (fogyasztói) igények jobb kielégítését szolgálja, hanem az életmód, az életminőség javításának egyik nagy tartalékokkal rendelkező eszköze, lehetősége.

20. Az emberi követelményértékek és az energiafelhasználás optimumára méretezés bevezetési lehetőségének koncepcionális összefoglalása

A cél, amelyet korábbiakban, a könyv elején kitűztünk magunk elé: az épületek üzemeltetése során olyan állapotok biztosítása, amely az emberi követelményértékek és az energiafelhasználás szempontjából optimális. A cél ilyen jellegű megfogalmazása azonban nagyon általános, s mint az eddigiekből látható volt, egyszerűen nem oldható meg, az egyes tényezők nehezen hozhatók „közös nevezőre".

Azzal, hogy az optimalizálási folyamat megvalósítására milyen lehetőségek állnak rendelkezésünkre, melyek a még megoldásra váró feladatok,

— a téli állapotokra vonatkozóan a 15. és 16. fejezetekben,
— a nyári állapotokra vonatkozóan pedig a 17. fejezetben

foglalkoztunk.

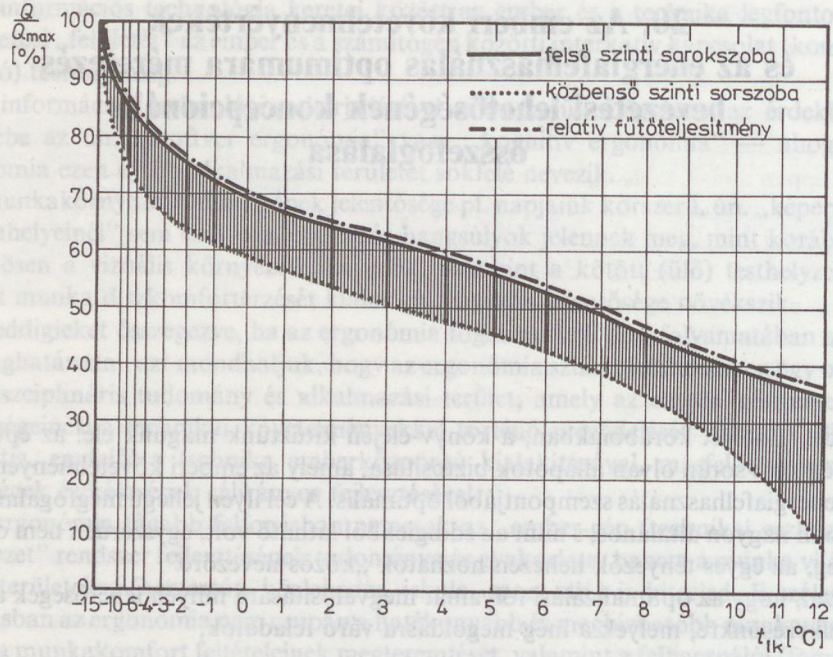
Eredeti célkitűzéseink szerint ezen utolsó fejezetben néhány általánosítható, számszerű értéket kívántunk kidolgozni, amely alapján, az új optimalizálási, méretezési módszer bevezetésével következtetni lehet az országos szintű várható megtakarításokra. Ettől a tervünktől két fő okból kénytelenek voltunk eltekinteni:

— számszerű forintmegtakarításokat számolni illuzorikus,
— több olyan részletkérdés vár még megoldásra a hőérzetileg elfogadható határértékek módszere esetében, amelyek a megtakarítások értékeit lényegesen befolyásolhatják.

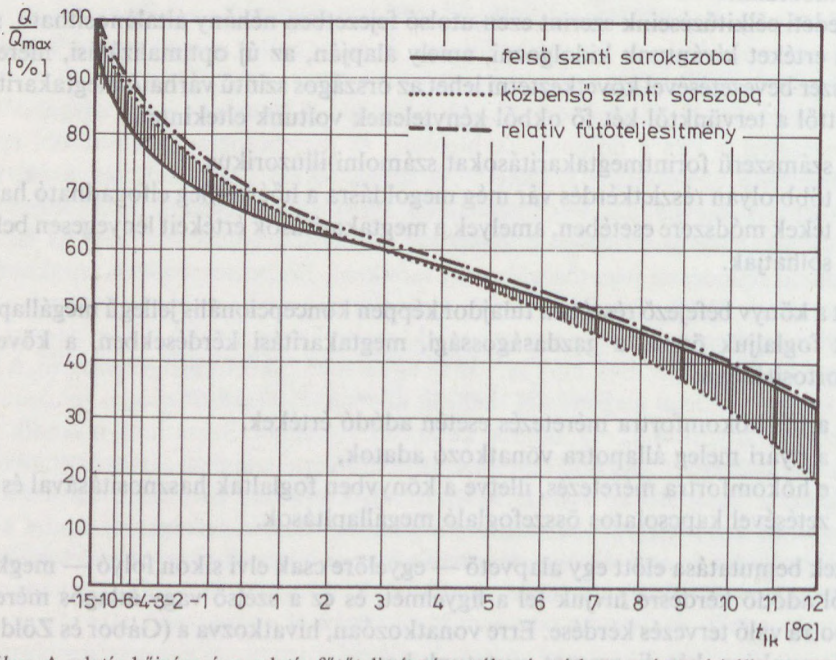
Ezért a könyv befejező részében tulajdonképpen koncepcionális jellegű megállapításainkat foglaljuk össze, a gazdaságossági, megtakarítási kérdésekben, a következő csoportosításban:

— a téli hőkomfortra méretezés esetén adódó értékek,
— a nyári meleg állapotra vonatkozó adatok,
— e hőkomfortra méretezés, illetve a könyvben foglaltak hasznosításával és bevezetésével kapcsolatos összefoglaló megállapítások.

Ezek bemutatása előtt egy alapvető — egyelőre csak elvi síkon folyó — megközelítésből adódó kérdésre hívjuk fel a figyelmet, és ez a szélső vagy átlagos méretezési állapotra való tervezés kérdése. Erre vonatkozóan, hivatkozva a (Gábor és Zöld 1981) forrásmunkára, két diagramot mutatunk be:



20.1. ábra. A relatív hőigény és a relatív fűtőteljesítmény változása „szélső" méretezési állapot esetén (Gábor és Zöld 1981)



20.2. ábra. A relatív hőigény és a relatív fűtőteljesítmény változása átlagos méretezési állapot esetében (Gábor és Zöld 1981)

— a *20.1. ábra* a relatív hőigény és a relatív fűtőteljesítmény változását mutatja a „szélső" méretezési állapot esetén,
— a *20.2. ábrán* ugyanezen adatok láthatók az átlagos méretezési állapot esetén.

Az ábrákból megállapítható, hogy a különböző helyiségek relatív fűtési hőszükséglet görbéi általában csak egy pontban, a méretezési pontban metszik egymást. Általános megállapítást téve rögzíthetjük, hogy függetlenül az optimumra vagy megengedhető értékre méretezéstől, ez a „váltás" a méretezési alapelvekben eleve 10—15%-os energiamegtakarítási lehetőséget rejt magában. Ennek a hőérzetileg megengedhető értékekkel való kombinálása pedig további megtakarítást eredményezhet.

20.1. A téli hőkomfort-méretezéssel kapcsolatos adatok, meggondolások

Az elvi jellegű áttekintés során három értéket veszünk figyelembe, illetve hasonlítunk össze:

— a jelenlegi hazai előírásokban szereplő mikroklíma-paramétereket,
— az optimális hőkomfortot biztosító Fanger-értékeket, tehát 5%-os *PPD* elégedetlenségi faktort,
— a hőérzetileg elfogadható értékekhez tartozó adatokat.

Az utóbbi esetben elsősorban a nemzetközileg általánosan elfogadott 20%-os *PPD* faktort vesszük figyelembe, illetve esetenként, ha már rendelkezésre áll hazai vizsgálati eredmény, akkor ezeket az értékeket.

Téli állapotban a hazai előírások szerint lakások esetében $\Delta t = 35\,°C$ értékkel számolunk (tehát 20 °C belső, és −15 °C külső levegő-hőmérséklettel). Kommunális és ipari épületek esetén általában $\Delta t = 31\,°C$ (16 °C belső levegő-hőmérséklet) és $\Delta t = 27\,°C$ (12 °C belső levegő-hőmérséklet) értékek vehetők figyelembe.

Amennyiben az optimális hőérzethez tartozó levegőhőmérséklet-értékeket lakások esetében 23,6 °C-nak tekinthetjük, ez gyakorlatilag 38,6/35 arányban változtatná az energiafelhasználást, tehát 10%-os többletenergia-felhasználást jelentene.

Amennyiben a hőérzetileg elfogadható értékekkel dolgozunk, akkor több változatot vehetünk figyelembe a korábbiakban feldolgozott adatok alapján.

Először is megállapíthatjuk, hogy jó hőszigetelésű épületek esetében [$k = 0{,}6$ W/(m²K)] egy közbenső szinti lakásban az eredő hőmérséklet a

$$t_R = 0{,}5\, t_{lb} + 0{,}5\, t_{ks} \qquad (20.1)$$

alapján 19,8 °C-ra, míg rosszul szigetelt épület esetében ez az érték 19,5 °C-ra adódik. Ezen belül a két közepes sugárzási hőmérséklet 19,42 °C és 19,2 °C. A hőérzetileg legkedvezőtlenebb sarokszobák esetében viszont ez az érték 19,1 °C- és 18,8 °C, illetve a közepes hőmérséklet 18,25 °C-ra és 17,6 °C-ra adódik (lásd 15. fejezet). 20%-os elégedetlenségi faktort feltételezve, lakások esetében a 15.1. táblázatból viszont megállapítható, hogy eleve 0,6 clo értékű ruházatnál 23,6 °C, 1 clo értékűnél viszont 20,32 °C közepes sugárzási hőmérséklet tartására lenne szükség.

Jelenlegi előírásaink tehát lakások esetére a nemzetközileg elfogadható 20%-os *PPD* szint alatti értékek adódnak (21—22%), ez azonban még elfogadható. Kedvezőtlen helyzet elsősorban a nyugalomban ülő emberek esetében adódik (olvasás, tv-nézés stb.), amikor is jól szigetelő — normál zakós öltönnyel egyenértékű — ruházat (pl. melegítő, illetve tréningruha) sem mindig elegendő a megfelelő hőérzet biztosításához. Tovább romlik a helyzet a kedvezőtlen helyi diszkomforttényezőt okozó rossz szigetelésű falak közelében, tehát pl. a régi paneles épületekben.

Megállapítható továbbá, hogy

— bizonyos tevékenységek végzése esetén a hőérzeti panaszok nem várhatók sem a jól, sem a rosszul szigetelt lakásokban,
— „meleg" hőérzeti panaszokkal nem kell számolnunk, mivel ezekhez olyan belső levegő- és közepes sugárzási hőmérsékletértékek kellenének, amelyek megvalósulása gyakorlatilag elképzelhetetlen,
— ezek a kedvezőtlen hőérzeti panaszok a méretezési szélső értékeknek megfelelő, szélsőségesen hideg napokon (3—4 nap) és a fűtési idény hidegebb szakaszai esetében a szeles napokon (4—10 nap) várható.

Kommunális épületek esetében a helyzet hasonló akkor, ha az ott tartózkodók ülő foglalatosságot végeznek (elsősorban irodákban). Olyan esetekben, amikor az ott végzett tevékenység bizonyos mozgást, azaz többlet metabolikus hőfejlődést jelent, hőérzeti panaszok nem várhatók, megfelelően tervezett szellőztetőberendezések esetében. A kedvezőtlen berendezések okozta helyi huzatérzeti panaszok eredményei a 15.2. és 15.4. táblázatokból jól láthatóak voltak. Kissé hasonló a helyzet ipari épületek esetében is, bár itt mind az aszimmetrikus sugárzás, mind a huzat okozta diszkomforttényezőkkel esetenként számolni kell, illetve tervezéskor ezt a lehetőséget figyelembe kell venni.

Összegezve megállapítható, hogy a jelenlegi előírásaink hőérzeti szempontból kedvezőtlenebb belső mikroklímát eredményeznek, mint a nemzetközi gyakorlat szerint még megengedhető 20%-os *PPD* érték, de ez, a hazai tapasztalatok szerint, megfelelő szigetelőképességű ruházat esetén (0,9 ~ 1 clo) még éppen elfogadható. Tehát a jelenleginél alacsonyabb általános méretezési paraméterek bevezetése — amely a jelenlegihez képest ugyan további energiamegtakarításokat eredményezne — nem javasolható, mivel a hőérzeti panaszok ugrásszerű növekedése várható.

20.2. A nyári meleg állapotra vonatkozó adatok, gondolatok

Az épületeket gyakorlatilag hasonlóan osztályozhatjuk, mint a téli, fűtési állapotok esetén, néhány eltérésre azonban fel kell hívnunk a figyelmet:

a) Lakások esetében nyáron a szélsőségesen meleg időszakban a belső mikroklíma-paraméterek gyakran meghaladják nemcsak az optimális, hanem a még elfogadható határértékeket is. Ettől függetlenül lakások nyári mikroklíma-paramétereinek költség- és energia-felhasználási kérdéseivel két okból nem foglalkozunk:

— lakások esetében a lakóknak széles lehetősége van az egyéni hőszabályozásra (pl. ruházat), valamint a lakás hőterhelésének számottevő csökkentésére (pl. sötétítő zsaluziák, redőnyök),
— hazánkban lakások esetében a gépi hűtés, klimatizálás alkalmazási aránya elenyészően csekély.

b) Kommunális épületek csoportjában csak egy viszonylag homogén funkcionális felhasználás esetén jöhet számba hűtés és/vagy klimatizálás, ezek pedig az irodaépületek. Ezek közül is elsősorban ilyen jellegű beavatkozásra „szorulnak" a könnyűszerkezetes, nagy üvegezési arányú modern épületek.

c) Van a kommunális épületeknek egy csoportja, amely viszont nyáron, funkciója miatt, nem igényel hűtést, klimatizálást, és ezek az iskolák. Bár ezek esetében az átmenetinek tekinthető június és szeptember hónapokban gyakran fordulhat elő a megengedhetőnél lényegesen magasabb belső levegő-hőmérséklet.

d) Ipari épületek esetében a funkcionális felhasználás függvényében az előálló belső mikroklíma-paraméterek széles skálájával találkozhatunk. Mindezektől függetlenül hűtést és/vagy klimatizálást csak ritkán, precíziós vagy egyéb állandó belső mikroklíma-paramétereket igénylő technológiák esetében alkalmaznak.

Megjegyezzük, hogy nyári állapotban azért nem beszélhetünk energiamegtakarítási értékről, mert az előzetesen már részletesen kifejtett optimálási feladat megoldásához csak a megfelelő hőkomfortot biztosító hűtés, klimatizálás energiaigényét ismerjük, az általa megtakarítható szellemi, fizikai munka teljesítményének egyenértékét nem. Ezen utóbbi megállapításához további kutatásokra lenne szükség. Azt azonban elfogadjuk, hogy a külföldi és hazai kutatási eredmények szerint a szellemi munka teljesítményének számottevő csökkenése, „letörése" 28 °C belső levegő-, illetve ambiens hőmérséklet esetén következhet be (Bánhidi és mtsai 1984a, Bánhidi 1988, Wyon 1969).

Funkcionális szempontból a lakások eleve kiesnek a lehetőségekből, és tulajdonképpen a kommunális és ipari épületek egy szűk csoportja vehető csak figyelembe. Ami a határoló szerkezeteket illeti, nyáron nem egyedül a hőátbocsátási tényező a döntő, hanem a hőcsillapítás, hőelnyelés, napsugárzás-védelem stb.

Mivel ezek nagyon sok variációs lehetőséget rejtenek magukban, az adatok részletes kidolgozását a rendelkezésre álló számok hiánya nem teszi lehetővé, ezért a megengedhető paraméterekből igyekszünk bizonyos következtetéseket levonni.

Azt eleve leszögezhetjük, hogy olyan jellegű panaszok, amelyek a nyári időszakban a „hideg" hőérzetre vonatkoznak, a hazai gyakorlatban nem fordulhatnak elő (lásd 17.2. táblázat). Ami viszont a „meleg" hőérzetre vonatkozik (17.1. táblázat), abból a következők állapíthatók meg:

a) Amennyiben a helyiségben nincs számottevő légmozgás, úgy
— nyugalmi állapotban is a 20%-os *PPD* értéknek megfelelő t_{ks} értékek adódnak mind 26 °C, mind 30 °C levegő-hőmérséklet esetén,
— ugyancsak nyugalmi állapotban a 24, 26, 28 és 30 °C közepes sugárzási hőmérséklethez és 20%-os *PPD* értékhez tartozó levegő-hőmérsékletek, kü-

lönösen könnyebb fizikai tevékenység esetén, meghaladják a határértéknek tekintett 26 °C-t, tehát ez esetben hűtésre lenne szükség. Amennyiben a nagyon meleg időszakot vesszük figyelembe, ez kb. 500—1000 órán át jelent hűtési igényt.

b) Nagy lehetőséget jelent viszont a légsebesség növelése (17.2. és 17.6. táblázat). Ezekből látható, hogy pusztán a légsebesség 0,3 vagy 0,5 m/s értékre növelésével eleve a megengedhető hőmérséklet-határérték alá esnek a belső mikroklíma-paraméterek (levegő- és közepes sugárzási-hőmérséklet). Ez utóbbi megoldással kapcsolatban két megjegyzésünk van:

— a szellőzés beruházási és üzemeltetési költsége lényegesen alacsonyabb, mint a hűtésé,
— a nagyobb légsebesség (elsősorban a 0,5 m/s értékű) alkalmazását viszont behatárolja a huzatérzet és más funkcionális adottságok.

Összegezve megállapítható, hogy a nyári hűtés mindenképpen többlet-energiafogyasztást okoz, ennek mértéke azonban megfelelően pontos méretezéssel csökkenthető. A megfelelő méretezés kategóriájába tartozik természetesen a tájolás, napsugárzás-védelem kellő megválasztása stb. is.

20.3. Összefoglaló értékelés

Az előzőeket, valamint a könyvben feldolgozott anyagot figyelembe véve, a hasznosításra és bevezetésre vonatkozóan a következők állapíthatók meg.

a) A jelenlegi hazai előírások — a már végrehajtott módosításokat is figyelembe véve — nem adnak elég lehetőséget a tervezőknek a megfelelően pontos, az emberi komfort és gazdasági adottságok együttes figyelembevételére.

b) Ezért célszerű egy új méretezési eljárás kidolgozása, amely ezt lehetővé teszi.

c) Ami a közvetlen gazdaságossági lehetőségeket illeti, el kell különítenünk a téli és a nyári állapotokat, tehát a fűtési és a hűtési igényt.

d) Télre vonatkozóan meg kell állapítanunk, hogy

— a jelenlegi lakások nagy százalékában az előírt 20 °C levegő-hőmérséklet mellett a szélsőségesen hideg időszakokban a nemzetközileg elfogadható 20%-os elégedetlenségi faktornál magasabb várható, tehát itt további megtakarításokkal számolni nem szabad,
— a korszerűbb, $k = 0{,}6$ értékű szigeteléssel ellátott lakások esetében a helyzet kedvezőbb, 20% körüli elégedetlenségi faktor várható, tehát a méretezési érték csökkentésének és így a beruházási és energiafelhasználási költség csökkentésének reális esélye ugyancsak nincs.

e) Lakások esetében azonban téli állapotokra vonatkozóan beruházási és energia megtakarítási lehetőséget ígér,

— a szélső értékre való méretezésről áttérés az átlagos értékre méretezésre önmagában is,
— növelhető ez a megtakarítás azonban a már hivatkozott új méretezési módszerek bevezetésével.

A kettő együtt 10—15%-os megtakarítási lehetőséget nyújt.

f) Kommunális és ipari épületek esetében konkrét adatok kidolgozására nem nyílt lehetőség, de a teendőkre és várható megtakarításokra a lakásokra megadott adatok irányadók.

g) Nyári állapotokra meg kell állapítanunk, hogy a rendelkezésre álló adatok erősen korlátozottak. Mindenesetre az elemzések felhívták a figyelmet arra, hogy viszonylag kisebb beruházásokkal, rövidebb üzemeltetési ciklusokkal is lehet megfelelő belső hőkomfortot biztosítani.

h) Ilyen szempontból azonban tisztázni kellene a szellemi munkavégzés potenciális gazdasági lehetőségének függvénykapcsolatát a meleg belső mikroklíma-paraméterekkel.

i) Lakások esetében a nyári hűtés hazánkban még nem időszerű téma. Ipari és kommunális épületek esetében pedig mindenkor az adott technológiát és gazdasági lehetőségeket kell figyelembe venni.

Összegezve megállapítható, hogy

— az új méretezési módszerek kidolgozásakor az e fejezetben elemzett gazdaságossági meggondolásokat feltétlenül figyelembe kell venni,
— néhány részletkérdés — elsősorban a nyári állapotok — tisztázására további vizsgálatokat lenne célszerű végezni,
— célszerű lenne részletes, konkrét gazdaságossági vizsgálatokat végezni, különböző funkciójú, szerkezetű épületek téli állapotának esetére is.

Végül néhány épületenergetikai kérdéssel foglalkozó forrásmunkára hívjuk fel a figyelmet. Bánhidi (1980a, b, 1982), Bánhidi és Hygge (1983), Klöppe (1988), Jones (1988), Kjerul és Fenlen (1976), Makara (1980), Peccolo (1962), Zöld (1974).

IRODALOM

Ádám Gy.—Bálint P.—Fekete Á.—Hársing L. (1968): Az élettan tankönyve. Medicina, Budapest.

Aldrich, L. B. (1928): A study of body radiation. Smithsonian Misc. Coll. Publ. No. 2980.

Adamson, B.—Efrting, H. (1980): Design of low energy houses. Lund Institute of Technology, Report BKL, No. 4.

Albrechtsen, O.—Clausen, V.—Christensen, F. G.—Jansen, J. G.—Møller, T. (1978): The influence of small atmospheric ions on human well-being and mental performance. Int. J. Biometeorology **22,** 249—262.

Alexandersson, R. (1984): Fibres and particulates in the indoor environment. Indoor Air '84, Stockholm. Vol. 6. pp. 27—28.

Allaix, J. R. (1979): Effect of induced cyclic swayes of deep body temperature on task performances. Assist. Space Environment Med. **50,** 585—589.

Antalovits M. (1987): Konvencionális javaslatok az ÉTI Mikroklíma Laboratórium ergonómiai tevékenységének fejlesztéséhez. ÉTI, Budapest.

Antropova, M. V. (1968): Rabotszpszobnoszt ucsaszihja i ee dinamika sz processz ucsebnoj i trudovoj dejatelnosztvo. „Proszbescsenie", Moszkva.

Arkin, H.—Shitzer, A. (1984): Model of thermoregulation in the human body. I—II—III. EEC-148, ISSN 0333—8048. Haifa.

ASHRAE (1954): Guide. ASHRAE, New York.

ASHRAE: (1966): Guide and Data Book. Fundamentals and Equipment. ASHRAE, New York.

ASHRAE (1967): Handbook of Fundamentals. McGraw-Hill, New York.

ASHRAE (1972): Handbook of Fundamentals. ASHRAE New York.

ASHRAE (1981): Standard 55—81: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. ASHRAE, New York.

ASHRAE (1985): Fundamentals Handbook. ASHRAE, New York.

Auliciems, A. (1969a): Some group differences in thermal comfort. Heat Vent. Eng. J. Air Cond. 4. 562—564.

Auliciems, A. (1969b): Thermal requirements of secondary schoolchildren in winter. J. Hyg. (Cambridge) **67,** 59—65.

Auliciems, A. (1972): Classroom performance as a function of thermal comfort. Int. J. Biometeorology **16,** 233—246.

Austerweil L. (1957): Ipari munkahelyek légállapotának kialakítása a hőérzet alapján. Épületgépészet **VI,** 68—84.

Azer, N. Z.—Nevins, R. G.—Olesen, S.—Leung, H. (1972): Improvements in sensory votes and their associated physiological responses by localized ventilation in hot environments. CIB W45 Symp., London, Különkiadvány.

Bakács T.—Jeney P. (1960): A higiéné tankönyve. Medicina, Budapest.

Balázs K. (1989): Kecskeméti penészes lakóépületek helyszíni méréses vizsgálata. ÉTI Jelentés, t. sz.: 12002. ÉTI, Budapest.

Balázs K.—Szalay Z. (1989): MSZ 04 135. „Lakóépületek szellőztetése" szabványtervezet. Magyar Szabványügyi Hivatal, Budapest.
Bálint P. (1975): Orvosi élettan. Medicina, Budapest.
Bánhidi L. (1968a): Sugárzó fűtések közérzeti méretezései. ÉTI Tájékoztató, Budapest.
Bánhidi, L. (1968b): Calcul des installations de chauffage par rayonnement. Build Int. Batiment (1968/3.) pp 20—24.
Bánhidi L. (1969): Sugárzó és konvekciós fűtésű iskolai tantermek közérzeti normaértékeinek vizsgálata. ÉTI Tudományos Közlemény, 68. szám.
Bánhidi, L. (1973): Thermal comfort surveys in public buildings. 1972. évi CIB. Kongresszus előadásának bővített anyaga. London, 1973.
Bánhidi, L. (1974): The Thermotechnical Dimensioning of Radiant Strips and Borders for the Heating of Communal Buildings. Building Science **9,** 85—90.
Bánhidi L. (1976): Zárt terek hőérzeti méretezése. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
Bánhidi, L. (1977): Summer thermal comfort criteria in light weight buildings. CIB 77 Congress, Edinburgh, Vol. G, pp. 11—16.
Bánhidi L. (1980a): Lég- vagy eredő hőmérsékletre méretezés hőérzeti és energiagazdálkodási hatása lakó- és középületekben. Épületgépészet **XXIX,** 138—141.
Bánhidi L. (1980b): Hőérzeti kutatások az energiamegtakarítási célkitűzések szolgálatában. Építési Kutatás Fejlesztés **XIII,** 147—151.
Bánhidi, L. (1980c): Thermal comfort investigation on the spot and in the laboratory for determing energy saving microclimate dimensioning parameters for living spaces. Proc. of ICBEM Congress, Pavao de Varsim.
Bánhidi, L. (1981a): The employement of the still acceptable thermal comfort dimensioning method in system building. CIB Symp. on System Building. CIB Proc. Vol. I., pp. 579—587.
Bánhidi, L. (1981b): Energie conservation in providing thermal comfort. Finnish—Swedish—Hungarian Seminar on Energy Saving in Building. ÉTI Kiadvány. Budapest.
Bánhidi, L. (1982a): Relationship between the dimensioning of enclosed spaces for thermal comfort and the issues of energetics. CIB W71 Symp. on Building Climatology 82, Moszkva. CIB Proc. pp. 281—291.
Bánhidi L. (1982b): Zárt terek hőérzeti méretezése a hőérzetileg elfogadható határértékek elve alapján. Akadémiai doktori értekezés, Budapest.
Bánhidi L. (1982c): A ruházat és a megszokás szerepe lakóhelyiségek energiatakarékos fűtésének megvalósításában. Energia és Atomtechnika **XXXV.** 446—451.
Bánhidi, L. (1983a): Issues of comfort dimensioning associated with the asymmetrical radiation of the envelopes of living rooms and offices. CIB '83 Congress, Stockholm. Vol. 3b. pp. 195—206.
Bánhidi L. (1983b): Komfortérzet elemzések. A nyári klimatikus tényezők hatása. VÁTI tanulmány „Energiatakarékosság a területrendezési tervezésben" teljes T/2. kötete.
Bánhidi L. (1985a): Műember az épületgépészetben. Építési Műszaki és Gazdasági Tájékoztató. **25**/8, 76—79.
Bánhidi, L. (1985b): Survey of laboratories investigation aspects of thermal comfort. CIB Working Paper, Publ. p. 89, pp. 1—34.
Bánhidi, L. (1986): Recent problems in thermal comfort research and dimensioning. Plea '86, Pécs. Vol. I. B—1—10.
Bánhidi L. (1987a): A termikus műember gyakorlati alkalmazása. Épületgépészeti Technika **XXV,** 87—89.
Bánhidi L. (1987b): Épületek mikroklímájával kapcsolatos kutatások nemzetközi helyzetképe, trendje. Épületgépészet **XXXVI,** 197—200.
Bánhidi, L. (1987c): Comparison of simulation methods of outdoor climate effects on the climate and occupants enclosures. CIB W71. Symp. on Building Climatology '87. Moscow. CIB Proc. pp. 314—320.
Bánhidi, L. (1987d): Hungarian experiment of voltman-duplicate in heating and ventilating research. In: New Methods in Applied Ergonomics. Taylor and Francis, Zadar, 1987, pp. 159—164.
Bánhidi, L. (1988a): Using a thermal manikin. Building Research and Practice. Journal of CIB **16,** 14—17.
Bánhidi, L. (1988b): Comfort conditions of mental labour as optimited for human and economical requirements. A new frontier: environments for innovation. Proc. of Int. Symp. on Advanced Comfort System for the Work Environment, Reseleer, USA. Vol. 3, pp. 1—8.

Bánhidi L. (1988—89): Épületek és berendezések emberre gyakorolt hatásának vizsgálata. ÉTI Jelentés, Tsz: 12026.
Bánhidi L. (1989): Az optimális és még elfogadható mikroklíma méretezési paraméterek esetében népgazdasági szinten várható gazdaságosság elméleti vizsgálata. ÉTI Tanulmány, Tsz: 11008. ÉTI, Budapest.
Bánhidi, L.—Bischof, W. (1984): Investigation on dynamic school climate. Indoor Air '84, Stockholm. Vol. 5. pp. 309—314.
Bánhidi L.—Gyurik V. (1978): Könnyűszerkezetes ABC áruházakban nyáron kialakuló mikroklímaviszonyokról. Épületgépészeti Technika **XVI.**, 150—151.
Bánhidi, L.—Hygge, S. (1983): User attitudes and comfort criteria in energy conservation. CIB '83 Congress, Stockholm. Vol. Report and Conclusions, pp. 223—229.
Bánhidi, L.—Kintses, G. (1973): Mit lüftung kombiniert Strahlschirmheizung. Heizung—Lüftung—Haustechnik. **24,** 259—262.
Bánhidi L.—Rostás J. (1982): A faktoranalízis alkalmazási lehetőségei hőérzeti vizsgálatok értékeléséhez. Épületgépészet **XXXI,** 4—6.
Bánhidi, L.—Simon, T. (1989): Possibilities and conditions of determination of the hierarchy of heating methods from human thermal comfort aspect. CLIMA 2000, Sarajevo. Vol. 5, pp. 247—252.
Bánhidi L.—Szabó Gy. (1981): Lakóhelyiségek hőérzeti méretezése. Épületgépészet **XXX.** 1—5.
Bánhidi L.—Antalovics M.—Besnyő J.—Debreczeni G.—Fabó L.—Kaucsek Gy.—Kintses G.—Simon P.—Somogyi A.—Polich J.—Szikszai E. (1984a): Képernyős munkahelyeken a mesterséges világítás hatása a dolgozók teljesítményére. Épületgépészet **XXXIII.** 255—259.
Bánhidi, L.—Antalovics, M.—Kaucsek, Gy.—Simon, P. (1984b): Isszledovazyelszkoe obszledovanyie dejsztvij uszlovij iszkussztvennogo obmesenija na meszte raboti c ekranom. KGST V. Ergonómiai Kongresszusa, Prága.
Bánhidi, L.—Antalovics, M. és mtsai—Debreczeni, G. és mtsai (1986a): The effect of artificial illumination on the performance of workes in screen-type work places. Work with Display Units Proc. par III. Stockholm, pp. 693—696.
Bánhidi, L.—Besnyő, J.—Fabó, L. (1985a): Prediction of thermal comfort in a building during a cold spell. Energy and Buildings. **8,** 175—181.
Bánhidi L.—Besnyő J.—Fabó L.—Somogyi A. (1986b): Lakóhelyek minősítésének új lehetősége a műember. „Ergonómia a műszaki fejlődés szolgálatában" c. V. Ergonómiai Konferencia, Budapest. I. kötet, pp. 83—89.
Bánhidi, L.—Besnyő, J.—Kintses, G. (1985b): About local discomfort effects caused by asymmetric radiation occuring during winter in dwelling houses. CLIMA 2000, Copenhagen. Vol. 4, pp. 165—170.
Bánhidi, L.—Besnyő, J.—Kintses, G.—Somogyi, A. (1985c): Some recent data on local discomfort effects caused by draught and asymmetric radiation. CIB W17—W77 Workshop, Budapest. Különkiadvány.
Bánhidi, L.—Besnyő, J.—Kintses, G.—Somogyi, A. (1985d): About a special question of local discomfort effect of draught. CLIMA 2000, Copenhagen. Vol. 4, pp. 47—52.
Bánhidi L.—Besnyő J.—Kintses G.—Somogyi A. (1985e): Lakóépületek téli aszimmetrikus sugárzási kérdéseiről. Épületgépészet **XXXIV,** 136—140.
Bánhidi L.—Besnyő J.—Kintses G.—Somogyi A. (1986c): A huzat okozta helyi diszkomfort érzetről. Épületgépészet **XXXV,** 24—26.
Bánhidi, L.—Besnyő, J.—Kiss, L.—Postássy, R.—Sváb, F. (1986d): Determination of the heat transfer from human body with Schlieren effect. Plea '86, Pécs, Vol. II. H-3644.
Bánhidi L.—Besnyő J.—Sváb F. (1983a): Számítóközpontok padlóbefúvásos szellőzése. ÉTI Évkönyv. Budapest, p. 134.
Bánhidi L.—Bischof W.—Kintses G.—Schrader G.—Somogyi A. (1984c): Iskolásgyerekek szellemi teljesítményének változása növekvő léghőmérséklet mellett. Épületgépészet **XXXVII,** 69—73.
Bánhidi L.—Dulin J.—Pongrácz L.—Szerdahelyi K. (1980a): Új típusú energiatakarékos hűtő-szellőzőegység alkalmazási lehetőségének vizsgálata fokozott hőterhelésű irányító kabinokban. Építési Kutatás Fejlesztés **XIII,** 36—69.
Bánhidi, L.—Fabó, L.—Juhász, J. (1988a): Testing the indoor climate of passive solar houses with the thermal manikin technique. Plea '88. Energy and buildings for temperate climates. Pergamon Press, New York.

BÁNHIDI L.—FABÓ L.—KINTSES G. (1984a): Függönyök és redőnyök szerepe télen a lakások energiatakarékos fűtésében, különös tekintettel a benntartózkodók közérzetére. Energia és Atomtechnika **XXXVII,** 117—121.

BÁNHIDI, L.—FABÓ, L.—SIMON, T.—SOMOGYI, A. (1988b): Compensation of asymmetric radiation from cold walls by thermal comfort conscious heating. Healthy Buildings '88, Stockholm. Vol. 2, pp. 363—369.

BÁNHIDI L.—FABÓ L.—SOMOGYI A. (1987c): Hideg külső falak hőérzeti kompenzálási lehetőségei a szigetelőképesség növelése nélkül, fűtési megoldásokkal. Energia és Atomtechnika **XV,** 204—210.

BÁNHIDI, L.—FABÓ, L.—SZERDAHELYI, J. (1988c): Thermal comfort simulation test for improval of hot environment in a glasswork. Trends in Ergonomics. Vol. V. Human Factors. Elsevier, Amsterdam, pp. 485—492.

BÁNHIDI, L.—FEKETE, I.—PONGRÁCZ, L.—ZÖLD, A. (1983b): Energetic and thermal comfort problems of heating up light structure office buildings. Proc. of II. ICBEM Congress, Ames, Iowa, USA, pp. 6.13—6.22.

BÁNHIDI, L.—GALAMB, E.—MERÉTEI, K. (1982): Raumklimatische Untersuchungen von Kinderkrippen in Ungarn. Z. Ges. Hyg. **28,** 109—111.

BÁNHIDI, L.—GYURIK, V.—KOKORIN, O. J.—PROHOROV, V. L.—SZTAVICKIJ, L. J. (1981a): Thermal comfort test of the energy saving winter and summer application of air conditioning convectors in offices. ÉTI Bulletin, No. 65.

BÁNHIDI L.—GYURIK V.—KOKORIN, O. J.—SZTAVICKIJ, L. J. (1981b): Klímakonvektorok energiatakarékos irodai alkalmazásának hőérzeti vizsgálata. Épületgépészet **XXX,** 268—273.

BÁNHIDI L.—HEGEDÜS GY.—KINTSES G.—SOMOGYI A. (1989a): Légfűtések hőérzeti vizsgálata. Épületgépészet **XXXVIII,** 143—146.

BÁNHIDI, L.—HEGEDÜS, GY.—MERÉTEI, K.—RÓNA, B. (1972): Primenenie ptolocsnogo linejnogo lucsisztogo otoplenija v klassznih pomesenijah skol. Gig. i San. (Moszkva) **37**/5, 86—90.

BÁNHIDI, L.—KINTSES, G.—SOMOGYI, A.—HEGEDÜS, GY. (1989b): Thermal comfort of energy saving air heating. CIB '89, Congress, Paris. Theme I, Vol. I, pp. 121—130.

BÁNHIDI L.—LÁSZLÓNÉ DUKAY M.—M.-LUND-MADSEN, TH. (1981c): Ruházatok kényelmi érzetének meghatározása a hőszigetelő képességükön keresztül. Magyar Textiltechnika **XXXIV,** 27—29.

BÁNHIDI L.—NAUMOV A. L.—PONGRÁCZ L.—PHOROV, V. I.—RÉSZEGH Cs. (1980b): Új típusú energiatakarékos hűtő-szellőző egység alkalmazhatóságának vizsgálata fokozott hőterhelésű irányító kabinokban. CLIMA 2000. Budapest, Vol. I, pp. 135—146.

BARCS V. (1962): Épülethatároló szerkezetek hőtechnikai méretezése. Mérnök Továbbképző Intézet, Budapest.

BATURIN, W. W. (1953): Lüftungsanlagen für Industriebauten. Berlin. Különkiadvány. No. 5. 349.

BECKERT, J.—MECHEL, F.—LAMPRECHT, H. (1986): Gesundes Wohnen. Wechselbeziehungen zwischen Mensch und gebauter Umwelt. Ein Kompendium. Beton-Verlag, Düsseldorf, pp. 417—421.

BEDFORD, TH. (1948): Basic Principles of Ventilation and Heating. H. K. Lewis, London.

BELDING, H. S. (1967): Resistance to heat in man and other homeothermic animals. Thermobiology. Ed. A. H. ROSE. Academic Press, London.

BELDING, H. S.—HATCH, T. F. (1955): Index for evaluation heat stress in terms of resulting physiological stains. Heating, Piping and Air Conditioning. Vol. 207, pp. 239.

BELL, P. A. (1978): Effects of noise and heat stress on primary and subsidiary task performance. Human Factors **20,** 749—752.

BENEDIKT, F. G. (1934): Heat and Cent. **31,** 19.

BENEDIKT, F. G.—ROOT, H. F. (1926): Arch. Int. Med. **I,** 38.

BENNETT, C. A.—REY, P. (1972): What's so hat about red? Human Factors. **14,** 149—154.

BENNETT, D. W.—YOUNT, J. A.—DE WITT, C. E. (1988): Design, Construction and Testing of an Anthropomorphic Robot. 1988. Development Status. Report 1988, USA.

BERGLUND, B.—BERGLUND, U.—LINDVALL, T.—SUNDELL, J. (1986): Indoor air evaluation and conclusions for health sciences and technology. Document of the Swedish Council for Building Research, Stockholm. No. 13. p. 116.

BERGLUND, L. G.—FOBELETS, A. P. (1987a): Occupant acceptance of air motion and asymmetric radiation in neutral and cool environments. Indoor Air '87, Berlin. Vol. 3, pp. 419—423.

Berglund, L. G.—Fobelets, A. P. (1987b): Floor drafts from cold walls. Indoor Air '87, Berlin. Vol. 3, pp. 439—442.
Berglund, L. G.—Gagge, A. P.—Bánhidi, L. (1984): Performance of radiant ceiling and other heating systems controlled for equal comfort with an operative temperature sensor. Indoor Air '84, Stockholm. Vol. 5, pp. 401—408.
Berry, P. C. (1961): Effect of colored illumination upon perceived temperature. J. Appl. Psychol. **45,** 248—250.
Bierner—Holm—Swenson: Om Natt-och Skiftarbete. Stockholm, 1948.
Billington, N. S. (1967): Building Physics. Heat. Pergamon Press, London.
Billington, N. S. (1976): Grenjanje zracenjem posebno u bolnicama. Belgrad, pp. 163—170.
Bischof, W.—Bánhidi, L. (1989): Reaction performance — one possible design index for indoor microclimate. Healthy Buildings '88, Stockholm. Vol. 2, pp. 387—392.
Bischof, W.—Horn, H.—Schrader, G.—Bánhidi, L. (1988): Über den Einfluss von Raumlufttemperatur und feuchte sowie unterschiedlicher Frischluftzufuhr auf die mentale Leistung von Schülern. Z. Ges. Hyg. **34,** pp. 612—614.
Bischof, W.—Horn, H.—Schrader, G.—Bánhidi, L.—Kintses, G.—Somogyi, A.: Temperaturansteig im Klassenraum und Schülerleistung. Z. Ges. Hygiene **30,** 657—660.
BME (1988): Épületek és határoló szerkezetek hőtechnikai méretezésének korszerűsítése. BME Tanulmány, Budapest.
Bogoszlovszkij, V. N. (1970): Sztroityelnaja tyeplofizika. Vüszsaja skola, Moszkva.
Bohnenkampf, H.—Pasquay, W. (1931): Untersuchungen zu den Grundlagen des Energie- und Stoffwechsels. Pfügers Arch. Ges. Physiol. **79,** 228.
Boothby, W. W.—Sandiford, J. (1929): Normal values of basal and standard metabolism. A modification of the DuBois standards. Amer. J. Physiol. **90,** 290—291.
Borol, J. C. (1969): Könnyűszerkezetes iskolák vizsgálata. Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Batiment. No. 104.
Bosnjakovic, F. (1965): Technische Thermodynamik II. Verlag Theodor Steinkopff, Dresden.
Bradtke, F.—Liese, W. (1952): Hilfsbuch für Raum- und Aussenklimatische Messungen. Springer-Verlag, Berlin.
Brundrett, G. W. (1982): Persons, not people, the effect of interpersonal differences on design criteria. CIB/CIE Workshop „Persons not People. Chester.
Budiaková, M.—Bánhidi, L.—Fabó, L.—Juhász, K. (1989): Vytapéni, vetrani, klimatizace. CSVTS Konferencia, Most (Csehszlovákia), pp. 93—98.
Bundesgesetzblatt (1977): Anhang: Verordnung über einen energie sparenden Wärmeschutz bei Gebäuden. Teil I. 1977. S. 1554. ff.
Burton, A. C. (1934): The application of the theory of heat flow to the study of energy metabolism. J. Nutr. **7,** 497—533.
Brünning, E. (1963): Die physiologischer Uhr. Springer-Verlag, Berlin.
Cammerer, W. (1967): Die Problematik des Sonnenschutzes von Gebäuden. Ges. Ing. **3,** 79—86.
Cena, K.—Clark, J. A. (1981): Bioengineering. Studies in Environmental Science. Vol. 10. Elsevier, Amsterdam, Oxford, New York.
Cena, K.—Spotila, J. R. (1984): Thermal Comfort for the Elderly. ASHRAE Research Project, 421-RP.
Chrenko, F. A.: Heated ceilings and comfort. J. Inst. Heat. Vent. Eng. **20,** 375—396 és **21,** 145—154.
CIB '89 Congress (1989): Quality for Building Users troughout the World.
Theme I. User Comfort.
Theme II. Lifespan of Buildings.
Conseil International du Batiment, Paris.
Clausen, G. H.—Møller, S. B.—Fanger, P. O. (1987a): The impact of air washing on environmental tabacco smoke odor. Indoor Air '87, Berlin (West), Vol. 2, pp. 47—51.
Clausen, G. H.—Nielsen, L. S.—Sahin, F.—Fanger, P. O. (1987b): Sensory irritation from exposure to environmental tabacco smoke. Indoor Air '87, Berlin (West), Vol. 2, pp. 52—56.
Clima 2000 , Budapest (1980): 7. Nemzetközi fűtés és légtechnikai Konferencia. REHVA-ÉTE, Építőipari Tudományos Egyesület, Budapest.
Clima 2000, Copenhagen (1985): VVS Congress-VVS-Messe. Vol 4. Indoor Climate. VVS, Copenhagen.

Clima 2000, Sarajevo (1989): Vol 5. Indoor Climate.
Collé, R.—McNall, P. E. (1980): Radon in buildings. Washington National Bureau of Standards Special Publication, No. 581.
Deighton, T. (1933): Physiological Rewiews. **13,** 427.
Détári L.—Karcagi V. (1981): Bioritmusok. Natura, Budapest.
Dickson, D. J. (1977): Air movement in offices. ECRC/No. 1012. Electricity Council Research Centre, Capenhurst, Chester.
Du Bois, E. F. (1937): The Mechanism of Heat Loss and Temperature Regulation. Stanford University Press, Stanford.
Duffie, J. A.—Beckkman, W. A. (1976): Sonnenenergie. Udo Pfriemer Verlag, München.
Dufton, A. F.—Marley, W. G. (1942): The comparison of heating systems. J. Inst. Heat. Vent. Eng. **10,** 17—64.
Egyedi A. (1974): Könnyűszerkezetes iskola szellőztetése. Épületgépészet, **XXIII,** 254—258.
Egyedi L. (1963): Épületgépészeti kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
Engel, P.—Hildebrandt, G.—Sholz, H. G. (1967): Phlügers Arch. Ges. Physiol. 1967.
Erhorn, H.—Gertis, K. (1985): Mindeswärmeschutz oder (und) Mindestluftwechsel. DIN 106.
Fabó L. (1989): Az embert érő kombinált hatások vizsgálata. ÉTI Jelentés, tsz: 11012. ÉTI, Budapest.
Fanger, P. O. (1967): Calculation of thermal comfort: introduction of a basic comfort equation. ASHRAE, Trans. **73,** p. III. 4.
Fanger, P. O. (1980): Proposed Nordic Standard for Ventilation, and Thermal Comfort. Univ. of Copenhagen. Copenhagen, 1980.
Fanger, P. O. (1982): Thermal Comfort. Robert E. Krieger Publ. Co., Malabar, Florida, p. 244.
Fanger, P. O. (1986): Az aszimmetrikus termikus sugárzás révén előidézett diszkomfort. Épületgépészet. **XXXV,** 213—214.
Fanger, P. O. (1987a): A solution to the sick building mystery. Indoor Air '87, Berlin (West). Plenary paper.
Fanger, P. O. (1987b): Man in the airconditioned environment. A solution to the sick building mystery. Proc. XVIIth International Congress of Refrigeration. Wien, pp. 1—6.
Fanger, P. O. (1987c): Strategies to avoid indoor climate complaints. Proc. of ICBEM '87 Congress. Lausanne.
Fanger, P. O. (1988a): Az érezhető levegőminőség (szagszennyezés) új mértékegységei: „olf" és „decipol". Épületgépészet **XXXVII,** 110—112.
Fanger, P. O. (1988b): Introduction of the olf — and the decipol-units to quantity air pollution perceived by humans indoors and outdoors. Energy and Buildings **12,** 1—6.
Fanger, P. O. (1988c): Olf og decipol — de nye enheder for oplevet luftkvalitet. Dansk VVS, No. 2, 6—8.
Fanger, P. O.—Christensen, N. K. (1986a): Perception of draught in ventilated spaces. Ergonomics, **29,** 215—235.
Fanger, P. O.—Christensen, N. K. (1986b): A várható huzathatás méretezése. Épületgépészet. **XXXV,** 254.
Fanger, P. O.—Langkilde, G. (1975): Interindividual differences in ambient temperatures preferred by seated persons. ASHRAE Trans. **81,** 140—147.
Fanger, P. O.—Pedersen, C. J. K. (1977): Discomfort due to air velocities in spaces. Proc. of the Meeting of Commission B1, B2, E1 of the IIR, Belgrade. Vol. 4, pp. 289—296.
Fanger, P. O.—Bánhidi, L.—Olesen, B.—Langkilde, G. (1980a): Discomfort caused by overhead radiation. CLIMA 2000, Budapest. Vol. 1. pp. 65—77.
Fanger, P. O.—Bánhidi, L.—Olesen, B.—Langkilde, G. (1980b): Comfort limits for heated ceilings. ASHRAE Trans. **86,** pp. 141—156.
Fanger, P. O.—Breum, N. O.—Jerking, E. (1975): The effect of colour and noise on man's thermal comfort conditions. Proc. of the Symposium on Physiological Requirements on the Microclimate in Industry and Problems of Their Technical Realizations, Prague, 1975. pp. 33—48.
Fanger, P. O.—Breum, N. O.—Jerking, E. (1977): Can colour and noise influence man's thermal comfort? Ergonomics **20,** 11—18.

FANGER, P. O.—LAURIDSEN, J.—BLUYSSEN, P.—CLAUSEN, G. (1988a): Air pollution sources in offices and essembly halls, quantified by the olf unit. Energy and Buildings **12,** 7—19.
FANGER, P. O.—MELIKOV, A. K.—HANZAWA, H.—RING, J. (1988b): Air turbulence and sensation of draught. Energy and Buildings **12,** 21—39.
FANGER, P. O.—MELIKOV, A. K.—HANZAWA, H.—RING, J. (1989): Turbulencia és huzat. Épületgépészet **XXXVIII,** 5—8.
FEHVA (1987): London Sick Building Syndrome. Federation of European Heating and Ventilation Association, p. 76.
FEKETE I. (1967): Szellőztető berendezések. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
FEKETE I. (1972): Könnyűszerkezetes épületek klímaviszonyainak szabályozásához szükséges gépészeti megoldások meghatározása. BME részjelentés, Budapest.
FEKETE I. (1985): Épületfizika kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
FEKETE I.—MAJOROS I. (1989): Világítási megoldások hatása a klimatizálás energiafogyasztására. Épületgépészet **XXXVIII,** 55—57.
FEKETE I.—MENYHÁRT J. (1965): Légtechnika elméleti alapjai. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
FERRIS, B.—DOCKERY, D.—WARE, J.—BERKEY, C.—SPEIZER F. (1984): Effects of passive smoking on children in the six-cities study. Indoor Air '84, Vol. 2. pp. 309—311.
FILLOUX, A.—RUBINSTEIN, H. (1989): Evaluation Technique des Systemes Domotiques. CIB '89 Congress, Paris. Theme I, Vol. I, pp. 583—593.
FISCHER, E.—SCHNEIDER, A. (1986): Elektrobiologie. Institut für Baubiologie + Oekologie, Schriftenreihe, Gesundes Wohnen, Neubeuern.
FISCHMAN, D. S.—UNDERWOOD, S. E. (1977): A further investigation into the subjective effects of low level draughts. British Gas Corporation Report No. WHT/T/RD/771143, London.
FLEISCH, A. (1951): Le métabolisme basal standard et sa determination ou moyen du „Metabocalculator". Helvet. Med. Acta **19,** 23—44.
FLYNN, J. E.—SPENCER, T. J. (1977): The Effect of Light Source Color on User Impression and Satisfaction. J. Illuminating Eng. Soc.
FRANK, G. S. (1961): „Circadion System' Proc. of 39. Ross. Cong. Pediatr. Res. S. F. Foman (Hrsbg), Ohio.
GÁBOR L.—ZÖLD A (1981): Energiagazdálkodás az építészetben. Akadémiai Kiadó, Budapest.
GAGGE, A. P. (1937): A new physiological variable associated with sensible and insensible perspiration. Amer. J. Physiol. **120,** 277.
GAGGE, A. P.—WINSLOW, C. A.—HARRINGTON, L. T. (1938): The influence of clothing on physiological reactions of the human body to varying environmental temperatures. Amer. J. Physiol. **124,** 30—50.
GAGGE, A. P.—RAPP, G. M.—HARDY, J. D. (1964): Mean radiant operative temperature for high temperature sources of radiant heat. ASHRAE Trans. **70,** 419—424.
GAGGE, A. P.—NISHI, Y. (1977): Heat exchange between human skin surface and thermal environment. In Handbook of Physiology, § 9. Ed. D. H. K. LEE. Amer. Physiological Society, Bethesda.
GAKH (1985): Raumnormative für Wohngebäude. Empfehlung der Gesellschaft für Allgemeine und Kommunale Hygienie der DDR, Erfurt.
GALAMBOS S. (1985): Az építésfizika legújabb eredményei az épületek természetes radioaktivitásának korszerű szabályozására és méretezése területén. Építés Minőség 85—5. pp. 31—33.
GEIBERT L. (1976): Iskolaépületek fűtésének és szellőztetésének problémái. Stadt- und Gebäudetechnik Vol. **30,** 137—143.
GEREBEN Z. (1981): Épületfizika gyakorló építészek részére. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
GEREBEN Z. (1986): Egészséges lakókörnyezet. Kézirat. 3.12. fejezet.
GERRITSEN, F. (1975): Theory and Practice of Color. Studio Vista, 1975.
GERTIS, K. (1977): Was bedeutet wirtschaftlich optimaler Wärmeschutz. Wksb 622. H. 4. 5. 1—4.
GERTIS K. (1988): Hővédelem és állagvédelem. Épületgépészet **XXXVIII,** 62—68.
GIVONI, B. (1969): Man, Climate and Architecture. Elsevier Architectural Science Series. Elsevier, Amsterdam.
GIVONI, B.—BERNER-NIR, E. (1967a): Effect solar radiation on physiological heat strain in relation to work and clothing. Research Report to US Public Health Service, Building Research Station, Technion, Haifa.
GIVONI, B.—BERNER-NIR, E. (1967b): Expected sweat rate as function on metabolism in environmental factors and clothing. Report to the US Department of Health Education and Welfare, Haifa.

Glück, B. (1981): Strahlungsheizung—Theorie und Praxis. VEB Verlag für Bauwesen, Berlin.
Gonzalez, R. R.—Berglund, L. G.—Gagge, A. P. (1978): Indices of thermoregulatory strain for moderate exercies in the heat. J. Appl. Physiol. **44,** 889—893.
Götz, L. (1989): Will buildings become more intelligent than their users? CIB '89, Paris. Theme I. Vol. I. pp. 595—600.
Graeffe, G. 1984: Air ions and electrical fields. Indoor Air, '84, Stockholm. Vol. 6. pp. 23—25.
Green, G. H. (1975): Indoor humidity and respiratory. Health Respiratory Technology, **11,** 3.
Grether, W. F.—Harris, C. S.—Mohr, E. C.—Nixon, C. W.—Ohlbaum, M.—Sommer, H. C.—Thaler, V. H.—Veghte, J. H. (1971): Effects of combined heat, noise and vibration stress on human performance and physiological functions. Aerospace Medicine *42,* 1092—1097.
Grether, W. F.—Harris, C. S.—Ohlbaum, M.—Sampson, P. A.—Guidnard, J. C. (1972). Further study of combined heat, noise and vibration stress. Aerospace Medicine **43,** 641—645.
Griffiths, I. D.—McIntyre, D. A. (1974): Subjective response to overhead thermal radiation. Human Factors **16,** 415—422.
Gromova, V. N.: Vucsiszlenie termicheszkogu indeksza krovoobrascsenija u sdorovuh derej rannego vozraszta. Gig. i. Szan. (Moszkva) **26,** 9. 44—47.
Gröber, H.—Erk, S.—Grigull, V. (1955): Die Grundgesetzte der Wärmeübertragung. Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg.
Gröber, H.—Erk, D.—Grigull, V. (1963): Wärmeübertragung. Springer-Verlag, Berlin.
Gubernszkij, Ju. D.: Bilogicseszkoje gyejsztvije infrakresznoj radacii gigienyicseszkoje normirovanyije mikroklimata pri lucsisztom obogreve zsliscs. Gig. i. Szan. (Moszkva) **30**/4, 81—85.
Gyurcsovics L. (1982): A napenergia hasznosítása az épületgépészetben. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
Hambraeus, A. (1984): Microorganism related to buildings. Indoor Air '84, Stockholm, Vol. 6. pp. 33—35.
Hamvay K.—Bánhidi L.: (1985a): Energiatakarékos padlófűtések. III. Országos Építőipari Energiaracionalizálási Kollokvium, III. kötet, pp. 329—348.
Hamvay K.—Bánhidi L. (1985b): Kishőmérsékletű, emelt teljesítményű padlófűtések. Építésügyi Műszaki és Gazdasági Tájékoztató (1985/4.) pp. 91—92.
Hamvay K.—Simon I.—Bánhidi L. (1987): Fokozott teljesítményű padlófűtések. Épületgépészeti Technika **XXIII,** 45—48.
Hamvay K.—Simon I.—Bánhidi L. (1987): Korszerű padlófűtések, 2. kiadás. ÉTK, Budapest.
Hanzawa, H.—Melikov, A. K.—Fanger, P. O. (1987): Airflow characteristics in the occupied zone of ventilated spaces. ASHRAE Trans. **93,** 524—539.
Hardy, J. D.—Muschenheim, C. (1934): The radiation of heat from the human body. IV. J. Clin. Invest. **13,** 817.
Hardy, J. D. (1953): Control of heat loss and heat production in physiologic temperature regulation. The Harvey Lectures. No. 49, pp. 242—270.
Hardy, J. D.—DuBois, E. F. (1938a): Basal metabolism, radiation, convection and evaporization at temperatures of 22 to 35 °C. J. Nutr. **15,** 477.
Hardy, J. D.—DuBois, E. F. (1938b): The technic of measuring radiation and convection. J. Nutr. **15,** 461—475.
Harrje, D. T.—Hubbard, L. M.—Sanchez, D. C. (1988): Diagnostic approaches to better solutions of radon IAQ problems. Healthy Buildings '88, Stockholm. Vol. 2, pp. 143—152.
Healthy Buildings '88, Stockholm (1988): Vol. 1. Planning, Physics and Climate, Technology for Healthier Buildings. Vol. 3. Systems, Materials and Policies for Healther Indoor Air. Swedish Council for Building Research, Stockholm.
Heindl, W.—Krec, K.—Panzhauser, E.—Sigmund, A. (1987): Wärmebrücken. Springer-Verlag, Wien, New York.
Hellbrügge, T. (1960): Cold Spr. Harb. Symp. quant. Biol, **25,** 311—312.
Helson, H. (1964): Adaption Level Theory. Harper and Row, New York.
Holmberg, K. (1984): Mould growth inside buildings. Indoor Air. '84, Vol. 3, Stockholm. pp. 253—256.
Holmberg, I.—Wyon, D. P. (1967): Skolprestationernas beroende av temperaturen i klassrummet. Pedagogiskapsykologiska problem. 55, 44s. Lärarhögskolan, Malmö.

Holmer, I.—Elnäs, S. (1981): Physiological evaluation of the resistance to evaporative heat transfer by clothing. Ergonomics **24,** 63—74.
Houdas, Y. (1972): Skin temperatures in warm environment and the controll of sweat evaporation. J. Appl. Physiol. **331,** 99—104.
Houghton, F. G.—Yaglou, C. P. (1923): Determination of the comfort zone. ASHRAE Trans. **29,** 361—378.
Höppe, P. (1988): Comfort requirements in indoor clima. Energy and Buildings **11,** 249—257.
Hughes, D. (1982): Notes on ionizing radiation: quantities, units, biological effects and permissible doses. Occupational Hygiene Monograph, No. 5. p. 66. Science Reviews, Leeds.
Hugod, C. (1984): Passive smoking — a source of indoor air pollution, Indoor Air, '84, Vol. 2, Stockholm, pp. 319—325.
Humphreys, N.A. (1974): Classroom temperature, clothing and thermal comfort — a study of secondary school children in summertime. BRE Current Paper CP 22/74.
Humphreys, N. A. (1978): A study of the thermal comfort of primary school children in summer. BRS Research Report CP 17/78.
Hygge, S. (1985): A study of the effects of law-intensity noise and mild heat on cognitive performance and the five-choise serial reaction task. Recent Advances in Research on the Combined Effects on Environmental Factors. Olavi Manninen, Stockholm. pp. 417—430.
Ibamoto, K. I.—Nishi, Y. (1968): Thermal sensation and its application to air conditioning. Bul. of Fac. of Eng. Hokkaido University, Hokkaido, p. 46.
IES (1981): Lighting Handbook. IES, New York.
IHVE (1970): Guide. IHVE, London.
Imre, L.—Bitai, A.—Horváth, Cs.—Bánhidi, L. (1987a): Thermal analysis of human body-clothing-environment system. In: R. W. Lewis et al. (eds.): Numerical Methods in Thermal Problems. Vol. 5. Pineridge Press, Swaansea, pp. 657—668.
Imre, L.—Bitai, A.—Horváth, Cs.—Pammer, Z.—Bánhidi, L. (1988): Thermal analysis of human body-clothing-environment system. Int. J. Numer. Meth. in Eng. **25,** 357—371.
Imre, L.—Horváth, Cs.—Szentgyörgyi, S.—Bánhidi, L. (1987b): Thermal analysis of human body-clothing-environment system. Proc. of V. Int. Conf., Montreal. Vol. V. Part 1, pp. 657—668.
Indoor Air '84, Stockholm, 1984: Vol. 2. Radon, Passive Smoking, Particulates and Housing Epidemiology. Vol. 3. Sensory and Hyperactivity Reactions to Sick Buildings. Vol. 5. Buildings, Ventilation and Thermal Comfort. Vol. 6. Evaluations and Conclusions for Health Sciences and Technology. Swedish Council Building Research, Stockholm.
Indoor Air '87, Berlin (West) (1987): Vol. 2. Environmental Tobacco Smoke, Multicomponent Studies Radon, Sick Buildings, Odours and Irritants, Hyper reactivities and Allergies.
ISES (1985): A napenergia hasznosítás kilátásai Magyarországon. ISES Magyar Tagozata tanulmánya, Budapest.
ISO 7730 (1984): Moderate thermal environments. International Standards Organization, Geneva.
Israel, H. (1957): Atmosphärische Elektrizität. Verlag Geest—Pontig. K. G., Leipzig.
Jensen, K. P.: Energy conservation and human comfort. Presented at the Int. School of Energetics, 2nd Course: Energy Demand an Use, Erice, Italy.
Jesch L. (1982): A napenergia aktív hasznosítása. ÉTI különkiadvány, No. 82. ÉTI, Budapest.
Jokl, M. C. (1986): A new „COMECON" standard for thermal comfort within residential and civic buildings. Int. J. Biometeorologie **30,** 77—90.
Jokl, M. V. (1989a): An introduction to the theory of NON-uniformity of hygrothermal consistitution of the environment. Int. J. Biometeorology **33,** 209—214.
Jokl, M.—Rohles, F. H. (1987): Improving occupant well-being with ionized air. Indoor Air '87. Vol. 2. pp. 135—137.
Jokl, M. V. (1989b): Microenvironment. Charles Thomas Publisher, Springfield, Illinois.
Jones, B. W. (1988): User interactive microclimate control. A new frontier: environments for innovation. Int. Symp. on Advanced Comfort Systems for the Work Env. RPI, Ransellear, pp. 222—229.
Jui Sheng Hsieh (1986): Solar Energy Engineering. Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
Kaucsek Gy.—Simon P. (1981): Üzemi körülmények között végzett pszicho-fiziológiai vizsgálatok néhány módszertani tapasztalata. Magyar Pszichiológiai Társaság V. Konferencia, Budapest, pp. 18—25.

KÉRDŐ, I.—SVÁB, F. (1973): Ionconditioning. Medicor News 73/1. pp. 68—73.
KERSLAKE, D. M. (1972): The Stress of Hot Environments. Cambridge Universits Press, Cambridge, England.
KISS R. (szerk.) (1980a): Légtechnikai adatok. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
KOK, R.—LEWIS, M. I.—MEESE, G. B.—WYON, D. P. (1982): Effects of moderate cold and heat stress on factory workers in Southern Africa. 3. Skill and performance in the heat. S. African J. Science **78,** 306—314.
KOLLMAR, A. (1971): Strahlungsheizung und -Kühlung bei Klimaanlagen. Haustechnische Rundschau, Heft 9. p. 230.
KOLLMAR, A.—LIESE, B. (1957): Die Strahlungsheizung. R. Oldenburg, München.
KOSZTOLÁNYI B. (1974): Helyszíni hőérzeti vizsgálatok szellőztetett iskolában. ÉTI Tanulmány, Budapest.
KRAFT, G.—ELSNER, H. (1973): Lehrbuch der Heizung-Lüftungs- und Klimatechnik. Verlag Th. Steinkopf, Dresden.
KREIDER, J. F.—KREITH, F. (1981): Solar Energy Handbook. McGraw-Hill, New York.
KRONER, W. M. (1989): Intelligent buildings: towards a responsive/interactive form of architecture. CIB '89, Paris, Theme I, Vol. I, pp. 601—610.
KRÖLING, P. (1987): Untersuchungen zum „Building Illness" Syndrom in klimatisierten Gebäuden. Gesundheits-Ingenieur **108,** 121—130.
KRUMBEIN, W.—SCHÖNBORN-KRUNBEIN, C. (1987): Biogene Bauschäden. Anamnese, Diagnose und Therapie in Bautenschutz und Denkmalpflege. Bauteschutz Bausanierung, Köln. No. 3. pp. 110—117.
KRUSCHE, P.—ALTHAUS, M.—GABRIEL, D. (1982): Ökologischern Bauen. Bauverlag GmbH., Berlin.
LANGDON, F. J.—LAUDON, A. G. (1970): Discomfort in schools from overheating in summer. JIHVE **37,** 265—279.
LANGKILDE, G. (1977): Thermal Comfort for People of High Age. INSERM **75,** 187—194.
LANGKILDE, G.—ALEXANDERSEN, K.—WYON, D. P.—FANGER, P. O. (1973a): Mental performance during slight cool or warm discomfort. Arch. Sci. Physiol. **27,** 511—518.
LAURIDSEN, J.—MUHAXHERI, M.—CLAUSEN, G. H.—FANGER, P. O. (1987): Ventilation and background odor in offices. Indoor Air '87, Berlin (West). Vol. 2, pp. 640—644.
LEBRUN, J. C.—LECARPENTIER, D. (1972): Mannequin thermorégulé. École Nationale Superieure des Arts et Industries, Strasbourg.
LEWIS, M. I.—MEESE, G. B.—KOK, R.—WENTZEL, J. D.—WYON, D. P. (1973): Effects of moderate cold and heat stress on factory workers in Southern Africa 4, skin temperature, oral temperature heart rate and comfort vote. S. African J. Science **79,** 28—37.
LÖFBERG, H. A.—LÖFSTEDT, B.—NILSSON, I.—WYON, D. P. (1976): Combined temperature and lighting effects on the performance of repetitive tasks with differing visual content. CIE Publication No 36, Wien.
LOUDON, A. G. (1970): Summertime temperatures in buildings without air-conditioning. JIHVE **37,** 280—292.
LUNDHOL, M.—LAURELL, G. (1984): Microorganisms related to demaged buildings containing self-leveling cement. Indoor Air '84, Vol. 3, Stockholm. pp. 263—267.
LUSK, G.: (1928): The Science of Nutrition. Philadelphia Press, Philadelphia.
MACFAYDEN, D. J. (1989): Smart house: an improved system for home energy distribution control and communications. CIB '89, Paris. Theme I. Vol. I, pp. 611—619.
MACSKÁSY Á. (1952): Központi fűtés I—II. Egyetemi jegyzet. Tankönyvkiadó, Budapest.
MACSKÁSY Á. (1964): Nagycsarnokok sugárzó fűtése. (Akadémiai doktori disszertáció) Budapest.
MACSKÁSY Á. (1972): Központi fűtés I. Tankönyvkiadó, Budapest.
MACSKÁSY Á. (1978): Központi fűtés II. Tankönyvkiadó, Budapest.
MACSKÁSY Á.—BÁNHIDI L. (1985): Sugárzó fűtések. Akadémiai Kiadó, Budapest.
MACSKÁSY Á.—MOLNÁR Z. (1972): Sugárzó fűtések. Egyetemi jegyzet. Tankönyvkiadó, Budapest.
MADSEN, T. L.—SOEBRICH, E.—POPIOLEK, Z. (1990): Measurement of draught sensation by a new skin element. CIB Proc. Sick Building Syndrome—Assessment Method. No. 99. pp. 22—28, Oslo.
MAKARA GY. (1980): Energiamegtakarítás és komfort a sugárzó fűtéssel kombinált hideg levegős szellőztetésnél. CLIMA 2000, Budapest.
MÁTRAI GY. (1989): Munkavédelmi műszaki zsebkönyv, II. kötet. Népszava, Budapest.

McCullogh, E. A.—Jones, B. W. (1985): A Comprehensive Data Base for Estimating Clothing Insulation. ASHRAE Trans. **91,** pp. 493—505.
Mayer, E. (1985): Untersuchungen von Zugerscheinungen mit Hilfe physikalischer Messmethoden. Gesundheits-Ingenieur **106,** 2, 65—73.
Mayer, E. (1987): Physical causes for draft: some new findings. ASHRAE Trans. **93,** pp. 540—548.
Mayer, E. (1988a): Assessment of draught by an artificial skin. CIB Proc. Sick Building Syndrome — Assessment Method. No. 99. pp. 29—39.
Mayer, E. (1988b): Significance of skin temperature for cold sensation. CIB W77 Symp. on Indoor Climate, Gävle.
McCarthy, S.—Colome, S.—Spengler, J. (1984). Indoor and outdoor aerosols: A multivariate approach to source identification. Indoor Air '84. Vol. 2, pp. 195—200.
McIntyre, D. A. (1974): The thermal radiation field. Buildings Science **9,** 247—262.
McIntyre, D. A. (1976): Overhead radiation and comfort. Building Services Engineer 44, 226—232.
McIntyre, D. A. (1978a): Draught on the face. ECRC/No. 1119, Electricity Council Research Centre, Capenhurst, Chester.
McIntyre, D. A. (1978b): Preferred air speeds for comfort in warm conditions. ASHRAE Trans. **84,** 264—277.
McIntyre, D. A. (1980): Indoor Climate. Applied Science Publishers Ltd., London.
McIntyre, D. A.—Griffiths, I. D: (1974): Sensitivity and discomfort associated which overhead thermal radiation. ECR No. 751, Electricity Council Research Centre, Capenhurst, Ceiter.
McNall, P. E.—Ryan, E.—Joax, J. (1968): Seasonal Variation on Comfort Condition for College-age Persons in the Middle West. ASHRAE Trans. **74.**
McNall, P. E.—Joax, J.—Rohles, F. H.—Nevins, R. G.—Springer, W. (1967): Thermal comfort (thermally neutral) conditions for three levels of activity, ASHRAE Trans. **73,** 1.
McNall, P. E.—Biddison, R. E. (1970): Thermal and comfort sensations of sedentary persons exposed to asymmetric radiant field. ASHRAE Trans. **76,** 123—134.
Mecheels, J.—Umbach, H. (1979): Bekleidungsphysiologische Untersuchungen von Overalls. Untersuchung 79/W 8820 Hohenstein.
Meese, G. B.—Kok, R.—Lewis, M. I.—Wyon, D. P. (1982): Effects of moderate cold and heat stress on factory workers in Southern Africa. 4. Skill and performance in the cold. S. African J. Science **78,** 189—197.
Meinander, H. (1988): Clothing Physiological Measurements on Winter Workwear Materials with a Sweathing Cylinder. J. Test. Inst. No. 4.
Melikov, A.—Hanzawa, H.—Fanger, P. O. (1988): Airflow characteristics in the occupied zone of heated spaces without mechanical ventilation. ASHRAE Trans. **94,** 52—70.
Menyhárt J. (1967): Klímaberendezések. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
Menyhárt J. (1975): Szellőzéstechnika. Tankönyvkiadó, Budapest.
Menyhárt J. (1977): Az épületgépészet kézikönyve. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
Mihejev, M. A. (1963): A hőátadás gyakorlati számításának alapjai. 3. kiadás. Tankönyvkiadó, Budapest.
Milborn, G. (1978): Zur Bauphysik für Sonnenhäuser. Sonnenenergie 3.3.13.
Miller, P. L. (1977): Room air diffusion systems design techniques: The air diffusion performance index. ASHRAE Journal 37—40.
Miller, P. P.—Nevins, R. G. (1969): Room air distribution with an air distributing ceiling. Part 2. ASHRAE Trans. **75,** 118.
Missenard, A. (1957): Mise au point des échanges thermiques entre le corps humain et l'ambience; coefficient de charge thermique dans les ambiances chaudes. Ind. Thermiques 1957. **3,** 735—752.
Missenard, A. (1959): Le chauffage et le refraichissement par rayonnement. Eyrolles, Paris.
Molnár, L.: (1984) The hungarian residential energy use model and its stability. 6th Int. Cong. of Cybernetics and Systems, Paris.
Molnár, L. (1985): Interactive thermal desigh program packet of family houses. CIB '85 Congress, Washington.
Morey, O.—Rundus, R. (1984): HVAC system operational parameters affect airborne fungal levels in occupied spaces. Indoor Air '84, Stockholm. Vol. 3, pp. 247—251.

Moschandreas, D. (1984): Formaldehyde: Sources, methods of analysis exposure and health effects. Indoor Air '84, Stockholm. Vol. 6, pp. 15—19.
MSZH (1980, 1985): MSZ—04—140/1—4. Épületek és épület határoló szerkezetek hőtechnikai méretezése.
MSZH (1987): MSZ—04—140/3—87. Épületek és épület-határoló szerkezetek hőtechnikai méretezése.
Munson, D. M. (1981): The effectiveness of selecting clothing for comfort in the 18.6 °C environment. ASHRAE Trans. **87,** 577—592.
Muratov, M. M. (1969): K voproszu o normirovanyii temperaturu vozduha gruppovüh pomescsenij detszkih szadov. Gig. i. Szan. (Moszkva) **34,** 6, 49.
Müller, I. (1985): The effect of wall reflectation on human thermal comfort. CIB W17—77 Seminar, Budapest.
Naour, E. (1985): Le radon dans les habitations, un constat. Promoclim, E, Paris No. 6. pp. 345—354.
Nemcsics A. (1979): Színtan-színdinamika. Tankönyvkiadó, Budapest.
Nero, A. V. (1984): Radon in dwellings: Exposure and risk analysis. Indoor Air '84, Stockholm. Vol. 6. pp. 19—22.
Nielsen, M.—Pedersen, L. (1952): Studies on the heat loss by radiation and convection from the clothed human body. Acta Physiol. Scand. **27,** 272.
Nishi, Y.—Ibamoto, K. I. (1969): Model skin temperature. An index of thermal sensation in cold, warm and humid environments. ASHRAE Trans. **75,** II, 94.
Nishi, Y.—Gonzales, R. R.—Gagge, A. P. (1975): Direct measurement of clothing heat transfer properties during sensible and insensible heat exchange with thermal environment. ASHRAE Trans. **81,** 183.
Nishi, Y.—Gonzales, R. R.—Nevins, R. G.—Gagge, A. P. (1976): Field measurement of clothing thermal insulation. ASHRAE Trans. **82,** 248.
Novák E. (1990): Lakások gombaszennyezettségének egészségügyi vonatkozásai. Lakás és egészség c. cikk keretében. Épületgépészet **XXXIX,** 120—124.
Novák, J.—Bíró, Gy.—Sváb, F. (1969): Potential application of aero-ioniser to prevent infekcions in Hospitals. Medicor News, 1969/4, 39—45.
Novák, J.—Bíró, Gy.—Sváb, F. (1975): Experiences about air disinfection by negative aeroions. Medicor News, 1975/1, 21—33.
Nuszbaum, D. H. (1953): Gigienicseszkoje obosznova nie rezsima übecsnüh zaniafij skolnikov. Izvesztija. APN. Moszkva.
Nuszbaum, D. H.—Alekszandrova, L. M. (1959): O rezsime dnja i csebnoj nagruzke ucsaszikszja v cujazi c novüm ucsebnüm planom. Rezsim dnja defeji podrosztkov. APN, Moszkva.
Nyerges T. (1970): Ipari szellőzés és portalanítás. Tankönyvkiadó, Budapest.
Olesen, B. W. (1977): Thermal comfort requirement for floors occupied by people with bare feet. ASHRAE Trans. **83,** 41—57.
Olesen, B. W.—Fanger, P. O. (1973): The skin temperature distribution for resting man in comfort. Arch. Sci. Physiol. **27,** A385—A393.
Olesen, B. W.—Jensen, P. (1979): Energy consumption in a room heated by different methods. CIB Symp. on Energy Conservation in the Built Environment, Copenhagen. CIB Proc. pp. 19—30.
Olesen, B. W. (1984): How many sites are necessary to estimate a mean skin temperature. Thermo Physiology. Raven Press, New York, pp. 33—38.
Olesen, B. W. (1986): Eine experimentelle Untersuchung des Energieeinsatzes bei Radiatorheizung und Fussbodenheizung unter dynamischen Betriebsbedingungen. Proc. of the 8th Int. Velta-Congress, St. Christoph, Tirol.
Olesen, B. W. (1987): A new Nordic Standard for measuring the thermal characteristics of clothing. Arbete och hälse, Solna/Stockholm, No. 12.
Olesen, S.—Fanger, P. O. (1971): Can Man be Adapted to Prefer a Lower Ambient Temperature? Polyteknisk Forlag, Copenhagen. Vol. I, pp. 27—40.
Olesen, S.—Fanger, P. O.—Jensen, P. B.—Nielsen, O. J. (1972): Comfort limits for man exposed to asymmetric thermal radiation. CIB W45 Symp. on Thermal Comfort and Moderate Heat Stress Building, London. Különkiadvány.
O' Sullivan, P. E. (1988): Modern Architectural Design for Healthy Buildings and Occupant. Healthy Buildings '88. Stockholm. Vol. 1. pp. 15—17.

PALMER, J. D. (1976): Introduction to Biological Rhytmus. Academic Press, New York.
PALMES, E. D.—PARK, C. R. (1947): Thermal regulation during early acclimatization to work in a hot dry environment. Rept. 2.—17—1, US Army Medical Dept. Field Research Lab., Fort Knox, Kentucky.
PANZHAUSER, E.—REINDL, W.—FAIL, A. (1987): Advisory model formaldehyde. Indoor Air '87, Berlin (West), Vol. 2, pp. 288—298.
PECOLO, C. (1962): The effect of Thermal Environment on Learning. Iowa Center for Research on School Administration, University of Iowa, Iowa City, IA.
PEDERSEN, L. (1973): The Thermoregulation of Man. H. C. Oersted Institute, University of Copenhagen, Copenhagen.
PEPLER, R. D. (1971a): The Thermal Comfort of Teachers in Climate controlled and Non-Climate Controlled Schools. ASHRAE Research Report, No. 2194, RP—91, pp. 43—50.
PEPLER, R. D. (1971b): Variations in students'test performances and in classroom temperatures in climate controlled and non-climate controlled schools. Research Report, No. 2193 RP—91.
PEPLER, R. D.—WARNER, R. E. (1974): Temperature and learning: an experimental study. ASHRAE Trans. **74,** 211—219.
PETTENKOFER, M. V. (1958): Über den Luftwechsel in Wohngebäuden. München.
RAILLET, H. (1973): Ionisation et Conditionement d'Air. Chaud—Froid—Plombierie No. 325, 326.
RABER, B. F.—HUTCHINSON, F. W. (1947): Panel Heating and Cooling Analysis. Wiley, New York.
OMFB (1984): A megváltozott energiahelyzet hatása a klímaberendezések beépítésének gazdaságosságára. Elemző tanulmány (1—8301 Et). OMFB, Budapest.
RAMANATHAN, N. L. (1964): A new weighting system for mean surface temperature of the human body. J. Appl. Physiol. **19,** 531—533.
RAMKUMAR, V.—BENNETT, C. A. (1979): How big is dark? Proc. of the Human Factor Soc. Annual. 23rd Meeting, Boston.
RAMSEY, D. J.—KWON, Y. G. (1989): Simplified decision rules for predicting performance loss in heat. Ergonomics, Special Issue.
RAPP, G. (1970): Convective Mass Transfer and the Coefficient Evaporative Heat Loss from the Human Skin. In Physiological and Behavioral Temperature Regulation, chapter 2. Eds J. D. Hardy, A. P. Gagge and J. A. J. Stolwijk; Charles C. Thomas, Springfield, IL.
RECKNAGEL, H.—SRENGER, E. (1974): Taschenbuch für Heizung- und Klimatechnik. R. Oldenbourg, München, Wien.
REINDERS, H. (1961): Wärmeaustausch durch Strahlung. VDI Verlag, Düsseldorf.
REINDERS, H. (1969): Mensch und Klima. VDI Verlag, Düsseldorf.
RENSING, L. (1973): Biologische Rhytmen und Regulation. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
RÉSZEGH Cs. (1978): Könnyűszerkezetes oktatási és nevelési épületek megfelelő mikroklímájának gazdaságos biztosítása. ÉTI Tudományos Közlemények 86. sz. Budapest.
RÉSZEGH Cs. (1980): A szellemi teljesítmény és a hőérzet meghatározása adiabatikus nedvesítés esetén. ÉTI Kutatási Jelentés, Budapest.
RÉSZEGH, Cs.: Thermal comfort in light weight structure buildings. Europrefab '82, Budapest. ÉTI különkiadvány.
RÉSZEGH Cs. (1984): Könnyűszerkezetes oktatási és nevelési épületek mikroklímája. ÉTK, Budapest.
RIETSCHEL, H.—RAISS, W. (1964): Fűtés és légtechnika. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
RIETSCHEL, H.—RAISS, W. (1968): Heiz- und Klimatechnik 15. neubearbeitet Auflage c. W. Raiss. Springer-Verlag, Berlin.
RING G. (1977): Épületek és épület határoló szerkezetek felületi felmelegedésének vizsgálata. Kandidátusi értekezés, Budapest.
ROBERTSHAW, D. (1981): Man in extreme environments, problems of the newborn and elderly. Bioengineering Thermal Physiology and Comfort. Elsevier, New York.
ROBERTSON, I. D.—REID, D. D. (1952): Standards for the basal metabolism of normal people in Britain. Lancet, 262, pp. 940—943.
ROHLES, F. H. (1969): Preference for the thermal environment by the elderly. Human factors **11,** 37—41.
ROHLES, F. H. (1978): Comfort and the man environment system. Clothing and Energy Resources Workshop. Michigan State University, East Lansing.

ROHLES, F. H. (1983): New directions in comfort research. ASHRAE Trans. **89,** 634—646.
ROHLES, F. H.—MILLIKIN, G. A. (1981): A scaling procedure for environmental research. Proc. of the 25th Annual Meeting of the Human Factors Society, Rochester, NY, pp. 472—476.
ROHLES, F. H.—BENNETT, C. A., MILLIKIN, G. A. (1981a): The effects of lighting, color and room decor on thermal comfort. ASHRAE Trans. **87,** 511—527.
ROHLES, F. H.—KONZ, S. A.—MCCULLOGH, E. A.—MILLIKIN, G. A. (1981b): A scaling procedure for evaluating the comfort characteristics of protective clothing. Proc. of the Int. Conference on Protective Clothing, Stockholm, Sweden, pp. 133—140.
ROSENKRANZ, B. (1985): Raumluftqualität in Aufenhaltsraumen. Heizung—Lüftung—Haustechnik, **36,** 445—449.
RUBNER, M. (1896): Archiv für Hyg. 1896. 27.
RUBNER, M.—LEWASCHEV, B. (1897): Ibid 1897. 29.
RUDEJKO, V. A. (1965): Vljanie temperaturu vozduha zilisca na termoreguljaciju u ljudej preklonnogi vozrasta. Gig. i. Szan. **30**/2, 25—28.
RUDEJKO, V. A. (1968): Ekszperimentalnüe isszledovanyija po gigieniszcseszkomu normirovaniju mikroklimata v zsiliscsah dlja lic pozsiligo i sztarcseszkogo vozraszta. Doktori értekezés (1988) Leningrad.
RUOTSALAINEN, R.—SEPPÄNEN, O. (1988): The performance of ventilation in residental buildings. CIB W. 77 Symp. on Indoor Climate, Gävle.
RYAKNÉ FÉSÜS I.—FRISS M. (1988): Lakóterek mikroklímájában szereplő mikroorganizmusok és a környezet kapcsolata. ÉTI Jelentés, tsz.: 12026. ÉTI, Budapest.
SARGENT, F.—BROWN, W. K.—PESSA, A. T.—WALIGORA, J.—WEINMAN, K. P. (1972): Observation in dehydration and eccrine sweating. Contained in ref. GIVONI (1969).
SCHALKOORT, T. (1987): Sick building syndrome. Bevonerslachten, mogelijke oorzaken en oplossingen. Z. Klimaatbeheersing, no. 3. 73—80.
SCHMIDT, F. (1984): Passive smoking as a real risk to health. In Berglund, B., Lindvall, T, Sundell, J. (Eds.), Indoor Air. Vol. 2. Radon, Passive smoking, particulates and housing epidemology. Stockholm: Swedish Council for Building Research. D17, 1984. pp. 303—308.
SCHNEIDER, A. (1985): Baubiologie in Frage+Antwort. Inst. für Baubiologie+Oekologie, Neubeuern.
SCHNEIDER, T. (1984): Man-made mineral fibers (MMMF) and other fibers in the air and in settled dust. In Berglund, B., Lindvall, T., Sundell, J. (Eds.) Indoor Air. Vol. 2. Radon, passive smoking, particulates and housing epidemology. Stockholm: Swedish Council for Building Research, D17. 1984. pp. 183—188.
SCHRADER, G.—MANUWALD, O.—VÖLKSCH, G. (1988): Erhebung über die Bekleidung von Vorschulkindern im Winter. Arztl. Jugendkunde. No. 69, pp. 82—89.
SCHRADER, G.—BISCHOF, W.—HORN, H. (1983): Mentale Leistungen unter varierten Raumklimabedingungen. Stadt- und Gebäudetechnik **37,** 212—214.
SEBESTYÉN GY. (1972): Könnyűszerkezetes építés. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
SEBESTYÉN GY. (1989): Egészséges és „beteg" épületek. Magyar Építőipar 1989. 12. sz. pp. 540—544.
SEIFERT, B. (1984): Characterization of indoor pollution and sources. Indoor Air 84, Stockholm, Vol. 6. pp. 11—15.
SEPPÄNEN, O. A. (1987): Ventilation and indoor air quality. Indoor Air '87, Berlin. Vol. 2, pp. 152—156.
SCHEENA, W. (1987): Sick buildings. Architects Journal (London) **20,** No. 185.
SHERMANN, J. A. (1946): Chem. of Food and Nutration. New York.
SKLOVER, A. M. (1961): Tyeploperedácsa pri periodicseszkih tyeplovüh vozgyejsztvijah. Goszenergoizdat, Moszkva.
SODERSTORM, J. F.—DUBOIS, E. F. (1931): Arch. Int. Med. **VI,** 19.
SOMOGYI A.—SIMON T. (1987): A fűtési energiamegtakarítás új lehetőségei. ÉTI Tanulmány, Budapest.
SOMOGYI A.—BÁNHIDI L.—FABÓ L. (1985): Hideg külső falak hőérzeti kompenzálási lehetőségei a szigetelőképesség növelése nélkül. ÉTI Tanulmány, tsz.: 11054. ÉTI, Budapest.
SPRAGUE, C. H.—MCNALL, P. E. (1970): The effects of fluctuating temperature and relative humidity on the thermal sensation (thermal comfort) of sedentary subjects. ASHRAE Trans. **76,** 146—156.
MSH (1987): Statisztikai Évkönyv. Budapest.
STEPHEN, A. (1987): More diagnosis for sick buildings. Building Service **9,** 7, 23—24.
STEVENS, J. C.—STEVENS, S. S. (1969): The dynamics of subjective warm and cold. Contained in ref. GIVONI (1969).

Stolwijk, J. A.—Hardy, J. D. (1965): Skin and subcutaneous temperature changes during exposure to intense thermal radiation. J. Appl. Physiol. 20, 1006—1013.
Stolwijk, J. A.—Hardy, J. D. (1966): Partional calorimetric studies of response of man to thermal transients. J. Appl. Physiol. **21,** 967.
Stuart, F.—Curris, H. A. (1964): Climate Controlled and Non Climate Controlled Schools. An Evaluative Study, Pinellas Country Board of Public Instruction, Clearwater, Florida.
Sugawara, F.—Yoshizawa, S. (1984): Size distribution of airborne fungal and bacterial particles in Japanese buildings. Indoor Air '84, Vol. 3, Stockholm. pp. 241—246.
Sulman, F. G. (1976): Health, Weather and Climate. Karger, Basel.
Sváb, F. (1976): Ionisatori per use medica. Tecnica Ospodaliera. 1976/12. pp. 40—46.
Sváb F. (1986): Épületek ionklímája — ionklíma vizsgálatok. (előadás) Magyar—Osztrák Szeminárium, Ráckeve, 1985. Lakóépületek belső terének élettani követelményei. ÉTI Kiadvány, Budapest.
Sváb F. (1987): A levegőionizáció komfort kérdései. ÉTI Tanulmány, Budapest.
Szabó Gy. (1973): Könnyűszerkezetes épületek hőterhelésének számítása. BME Továbbképző Intézete, Budapest.
Szabó Gy. (1974): Üvegezések és árnyékoló szerkezetek naptényezője. Épületgépészet **XXIII,** 56.
Szabó Gy. (1982): Ablakszerkezetek energetikai méretezése. ÉTK, Budapest.
Szabó Gy. (1986): Adatok a napenergia passzív hasznosításának méretezéséhez. ÉTK, Budapest.
Szokolay, S. V. (1975): Solar Energy and Building. The Architectural Press, London.
Szomik, V. I. (1971): Nekotonue pokazateli termoregulacii u sdorovuh detej rannego i doskolnogo vozrasztov. Gig. i. Szan. (Moszkva) **36**/2, 37—38.
Tárkányi Zs.—Szabó Gy. (1969): Napsugárzási adatok az építőipari tervezés számára. ÉTI, Budapest.
Teichner, W. H. (1958): Assessment of mean body surface temperature. J. Appl. Physiol. 12, 169—176.
Teranteva, G. V.—Ivanova, O. G.—Ronzsina, M. P. (1979): Utossnenie zonü teplovogo komforta dlja gruppovüh pomescsenij detszkih doskolnüh ucsrezsdenij. Gig. i. Szan. (Moszkva) **44**/11, 35—28.
Thorshauge, J. (1982): Air velocity fluctuations in the occupied zone of ventilated spaces. ASHRAE Trans. **88,** 753—764.
Tömöry T. (1970): Épületek hűtési- és fűtési energiaigényét meghatározó meteorológiai jellemzők és azok együttes előfordulása valószínűségi jellemzői. ÉTI Tanulmány, Budapest.
Tömöry T. (1976): Az energiatakarékos változó légmennyiségű légkondicionáló rendszer. ÉTI Kutatási Jelentés 553. sz. ÉTI, Budapest.
Tömöry T. (1980): A napenergia közvetlen hasznosítása. Épületgépészeti Technika **IX X,** 28.
Tschegg, E.—Heindl, W.—Sigmund, A. (1984): Grundzüge der Bauphysik. Springer-Verlag, Wien, New York.
TTI (1979): Határoló szerkezetek hőtechnikai jellemzői. TTI Tervezési Segédlet, Budapest.
Várfalvi J. (1989): Hőhíd katalógus. ÉPFI Gépterv, Budapest.
Vernon, H. M. (1932): Indust. Hyg. **14,** 95.
Vernon, H. M. (1936). Accidents and Their Prevention. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
Vernon, H. M.—Warner, G. G. (1932): J. Hyg. (Cambridge) **30,** 431.
Viteles, M. S.—Smith, K. R. (1946): An experimental investigation of the effect of change in atmospheric conditions and noise upon performance. ASHVE Trans. **52,** 167—192.
Vöight, E. D.—Engel, P.—Klein, H. (1967): Int. Z. Physiol. Arbeitsphysiol **16,**
Völgyes I. (1960): Infravörös sugárzó fűtés. Jegyzet. Mérnök Továbbképző Intézet, Budapest.
Völgyes I. (1989): Fűtéstechnikai adatok. 2. Átdolgozott kiadás. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
Völksch, G. (1977): Analyse des raumklimatischen Inzustandes in einer Neubauschule. Forschungsbericht, Institut für Allgemeine Hygiene der MAE, Erfurt.
Wäänänen, M.—Veijalainen, K. (1971): The measuring of the warmness of floors and floorings. The State Institute for Techn. Research, Finland.
Weber, A. (1984): Environmental tabacco smoke exposure: Acute effects, acceptance level, protective measures. Indoor Air '84, Vol. 2, Stockholm. pp. 297—301.
Wenzel, H. G.—Müller, E. A. (1967): Untersuchung der Behaglichkeit des Raumklimas bei Deckenheizung. Int. Z. Physiol. Arbeitsphysiol. **16,** 335—355.
Werner, J. (1980): The concept of regulation for human body temperature. J. Therm. Biology 75—82.
Winslow, C. E.—Harrington, L. P. (1949): Temperature and human life. Princeton Univ. Press, Princeton.

WINSLOW, C. E:—HARRINGTON, L. P.—GAGGE, A. P. (1940): Heat exchange and regulation in radiant environments above and below air temperature. Amer. J. Physiol. **131,** 79.
WYNDHAM, C. H.—STRYDOM, N. B.—MORRISON, J. F.—WILLIAMS, C. G.—BREDELL, G. A.—PETER, J. (1966): Fatigue of the sweat gland response. J. Appl. Physiol. **21,** 1966. 107—110.
WYON, D. P. (1969): The Effects of Moderate Heat Stress on the Mental Performance of Children. National Swedish Building Research. Documents No. 8.
WYON, D. P. (1974): The effects of moderate heat stress on typewriting performance. Ergonomics **17,** 309—318.
WYON, D. P. (1977): Human response to cyclic changes in the thermal environment. Les Éditions de l'INSERM 75, pp. 153—162.
WYON, D. P. (1980): Thermal environment: physiological basis, permissible range of air temperature, surface temperature, air velocity; combined effects. Energy conservation in Building and Community Systems. International Energy Agency Handbook. Annex 3B, Ch. 2.
WYON, D. P. (1983): Termiskt inneklimat och manniskors prestationsformaga. Norsk VVS—Teknisk Förenings Arsmöte, Trondheim, Norsk VVS, 8. 593—597.
WYON, D. P. (1984): Behavorial evidence for the interaction of environmental parameters in buildings. In: Combined Effects of Environmental Factors. Ed. O. MANNINEN. International Society for Complex Environmental Studies (ISCES), Tampere, Finland, pp. 73—85.
WYON, D. P. (1988a): Thermal manikin evaluation of the micro-climate in the driver's seat of a city bus in summer. Paper to Journée Spécialisée „Comfort thermique dans lés véhicules de transport". INRETS, Lyon-Bron. (Re-analisis of data, préparation of report, participation in meeting.)
WYON, D. P. (1988b): The use of thermal manikins in environmental ergonomics. Invited keynote paper to 3rd International Environmental Ergonomics Conference, Helsinki. Scand. J. Work, Environment and Health.
WYON, D. P.—HOLMBERG, I. (1972): Systematic observation of classroom behaviour during moderate heat stress. Bulletin from School of Education, No. 37, Malmö.
WYON, D. P.—HOLMBERG, I. (1974): Mérsékelt hőstresszhatás vizsgálata iskolai tantermekben. Épületgépészet 1974/2. XXIII. 64—69.
WYON, D. P.—ANDERSEN, I.—LUNDQUIST, G. R. (1970): The effects of moderate heat stress on mental performance. Scand. J. Work, Environment and Health, **5,** 352—361.
WYON, D. P.—ASGEIRSDOTTIR, T.—JENSEN, K. P.—FANGER, P. O. (1973). Archives des Sci. Physiol. **27,** 441—458.
WYON, D. P.—FANGER, P. O.—OLESEN, B. W.—PEDERSEN, C. (1975): The mental performance of subjects clothed for comfort at two different air temperatures. Ergonomics **18,** 359—374.
WYON, D. P.—HYGGE, S.—LOFBERG, H. A. (1982): Interpersonal differences in environmental effects upon performance and behaviour: a review. CIB W77 Symp. on Persons not people, Chester, UK.
WYON, D. P.—KOK, R.—LEWIS, M. I.—MEESE, G. B. (1978): Combined noise and heat stress effects on human performance. Byggeforsknigsinstitut, Copenhagen, PP. 857—881.
WYON, D. P.—KOK, R.—LEWIS, M. I.—MEESE, G. B. (1982): Effects of moderate cold and heat stress on factory workers in Southern Africa. 1. Introduction to a series of full scale simulation studies. S. African J. Science **78,** 184—189.
WYON, D. P.—TENNSTEDT, J. C.—LARSSON, S. (1987): Assessment and optimization of vehicle climate using the Voltman thermal manikin system. „New Methods in Applied Ergonomics". Taylor and Francis, London, pp. 153—158.
YAGLOU, C. P.—MILLER, W. E. (1925): Effective temperature with clothing. ASHVE Trans. **31,** 89—99.
YAGLOU, C. P.—RILEY, F. C.—COGGINS, D. T. (1936): Ventilating requirements. ASHVE Trans. **42,** 133—162.
ZINGG, M. (1988): A possibility to calculate the indoor concentration of substances. Healthy Buildings, '88, Stockholm. Vol. 3, pp. 651—653.
ZÖLD, A. (1974): Iszledovanyije, obeszpecsenyija zadannovo tyeplovo rezsima adanyij sztabiliziurujscsimi szisztyemami mikroklimata. Kandidátusi értekezés, Moszkva.
ZÖLD A.—HANT L.—SOLYMOSI L-NÉ—VÁRFALVI J. (1990): Határoló szerkezetek állagvédelmi ellenőrzése. BME Jegyzet, Budapest.
ZÖLD A.—VÁRFALVI J. (1989): Épületszerkezetek hőtechnikai méretezése. BME Jegyzet, Budapest.

Jelölések

a	abszorbciós tényező
a	elnyelt (abszorbeált) hányad
a	hőfokvezetési tényező [m^2/s]
a_b	bőr hőelnyelési aránya [%]
A	ablak + keret homlokfelülete [m^2]
A	Kata-érték
A_{ke}	ablakkeret felülete [m^2]
A_n	nedves Kata-érték
A_q	hőfluxus-ingadozás amplitúdója
A_{sz}	száraz Kata-érték
A_t	hőmérséklet-ingadozás amplitúdója
$A_ü$	üvegezett felület [m^2]
A	felületi hőmérséklet-ingadozás amplitúdója
b	hőelnyelési tényező [$W/(m^2K)$]
b_H	hőhíd szélessége
b_p	padló hőelnyelési tényezője [$W/(m^2K)$]
B	beruházási költség
B	Bourdon-teszt
B	kisugárzás [W/m^2s)]
Br	Bradtke-szám
c	az alkalmazott építőanyag átlagos radioizotóp-koncentrációja [Bq/kg]
c	vízgőz koncentrációja a levegőben [g/m^3]
c_b	a távozó, tehát a belső levegőben lévő vízgőz koncentrációja [g/m^3]
c_{b0}	koncentráció az üzemidő kezdetén
c_f	felhőzetfajtától függő tényező
c_k	bejövő, tehát a külső levegőben lévő vízgőz koncentrációja [g/m^3]
c_l	levegő fajhője
$c_{üsz}$	üzemszünetben létrejövő vízgőz-koncentráció [g/m^3]
C	konvekcióval leadott hőmennyiség [W]
C_{res}	tüdőbe érkező levegő felmelegítésére szolgáló hő [W/m^2]

C_s	fekete test sugárzási együtthatója [W/(m^{2}K^4)]
C_{12}	két test közötti kölcsönös sugárzási együttható [W/(m^{2}K^4)]
d_H	hőhíd mélysége
d_o	épületrész vastagsága
D	hőtehetetlenségi tényező
D_v	fluktuációk szórása
e	egyidejűségi tényező
e	radonkibocsátási tényező
E	párolgással leadott hőmennyiség [W]
E_b	bőr párolgásos hőveszteség [W/m^2]
E_β	β szög alatt kisugárzott energia [W/m^2]
E_d, E_{diff}	diffúziós hőleadás [W/m^2]
E_{max}	evaporatív hőleadás maximuma [W/m^2]
E_n	a normális irányába kisugárzott energia [W/m^2]
E_{re}, E_{res}	kilégzés párolgásos hőveszteség [W/m^2]
E_s	sugárzással leadott hőmennyiség [W/m^2]
E_{sw}	izzadással leadott hőmennyiség [W/m^2]
E_t	a megvilágítás igényszintje [lux]
EHT_i	testrészenkénti felülettel súlyozott egyenértékű hőmérséklet
EHT_{tot}	testfelülettel súlyozott egyenértékű hőmérséklet
ET	effektív hőmérséklet
ET^*	új effektív hőmérséklet
f	frekvencia
f	keretarány
f_{cs}	ruházati felületi tényező
f_E	tervezett felületi tényező
f_{eff}	effektív felületi tényező
F	felület [m^2]
F_{Du}	Du Bois-felület [m^2]
F_{cl}	ruházat hőtechnikai sajátosságára utaló tényező
F_{cle}	ruházat effektív hőtechnikai tényezője
F_{eff}	effektív besugárzott testfelület [m^2]
F_k	külső felület [m^2]
F_{pcl}	permeabilitási hatásfok
F_r	gömb felületének egységnyi része
F_{rsw}	izzadsággal borított testfelület [m^2]
F_{Ec}	az emberi test konvekciós hőcserében résztvevő felülete [m^2]
F_{Es}	az emberi test sugárzásos hőcserében résztvevő felülete [m^2]
F_p	padló felülete [m^2]
g	nehézségi gyorsulás, ill. gravitációs állandó
G	anyagfelhasználás 1 m^3 épülettérfogathoz [kg/m^3]

G	egyén tömege [kg]
G	összes szennyezőforrás erőssége
Gr	Grasshof-szám
h	fajlagos felületi hőstabilitás [W/(m^{2}K)]
h	magasság
h	óránkénti légcsereszám
h	Planck-féle hatáskvantum
h_{be}	a belépő levegő enthalpiája
h_t	a távozó levegő enthalpiája
H	belső hőszükséglet [W]
H	hőstabilitás [W/K]
HR	szívverések száma percenként
i	interkaláris tényező
i	képzetes egység
I	index
$I_{átl}$	átlagos napsütés-intenzitás
I_{cl}	ruházat hőszigetelő képessége [m^2 °C/W] [clo]
I_{cle}	ruházat effektív hőszigetelő képessége [m^2 °C/W] [clo]
I_{cli}	ruhadarabok valóságos szigetelési értéke [m^2 °C/W] [clo]
I_{diff}	szórt sugárzás intenzitása
I_{dir}	direkt napsugárzás intenzitása
$I_{földi}$	földről visszavert sugárzás intenzitása
I_h	horizontális irányban reflektált napsugárzás [W/m^2]
I_l	levegő hőszigetelő képessége [m^2 °C/W]
I_{max}	maximális intenzitás [W]
I_n	normális irányban reflektált napsugárzás [W/m^2]
I_r	reflektált napsugárzás [W/m^2]
I_s	sugárzásintenzitás [W]
I_{SRG}	egyrétegű üvegezésen átjövő napsugárzás energiaáram-sűrűsége [m^3/m^2]
k	fényhasznosítás [lm/W]
k	hőátbocsátási tényező [W/(m^{2}K)]
k	konstans
k_{abl}	ablak hőátbocsátási tényezője [W/(m^{2}K)]
k_e	egyenértékű hőátbocsátási tényező [W/(m^{2}K)]
k_{fal}	falszerkezet hőátbocsátási tényezője [W/(m^{2}K)]
k_{ke}	ablakkeret hőátbocsátási tényezője [W/(m^{2}K)]
k_r	eredő hőátbocsátási tényező [W/(m^{2}K)]
$k_ü$	üveg hőátbocsátási tényezője [W/(m^{2}K)]
K	hőátadás a bőr felületéről a ruházat külső felületére [W/(m^{2}K)]
$\dot{K}$	keletkező szennyezőanyag mennyisége
K	konstans
K_a	állandó költség
(K)EH	korrigált effektív hőmérséklet [°C]

l	távolság [m]
L	egyén magassága [m]
L	kilégzés száraz hőveszteségе [W/m^2]
m_{be}	szellőzőlevegővel behozott nedvesség mennyisége [g/h]
$\dot{m}_{sz}$	szellőzőlevegő tömegárama [kg/h]
m_t	szellőzőlevegővel távozó nedvesség mennyisége [g/h]
$m_{vö}$	össz-nedvességterhelés [kg/h]
M	metabolikus hőfejlődés [W]
M	hőfokmodulus [K]
n	légcsereszám
n	az égbolt átlagosan felhővel takart hányada
$N_á$	árnyékolás naptényezője
$N_á$	árnyékolási arány
Nu	Nusselt-szám
$N_ü$	üvegezési arány
$N_ü$	üvegszerkezet naptényezője
p	visszaverődési tényező
p_{bt}	bőr hőmérsékletének megfelelő telített gőznyomás [kPa]
p_{lt}	a levegő hőmérsékletének megfelelő telített gőznyomás [kPa]
p_{vg}	a levegőben lévő vízgőz parciális nyomása
P	kamat
P	Pauli-teszt
P	villamos motorok teljesítménye [W]
Pr	Prantl-szám
P_{tot}	fűtőteljesítmény testfelülettel súlyozott átlaga [W]
PD	Percentage Dissatisfied = huzatot várhatóan érzékelők aránya vagy elégedetlenségi arány
PED	Percentage Effective Dissatisfied = huzatot effektíve érzékelők százalékos aránya
PMV	Predicted Mean Votes = hőérzettel kapcsolatban várható szubjektív szavazati érték
PPD	Predicted Percentage of Dissatisfied = hőkörnyezettel várhatóan elégedetlenek százalékos aránya
q_c	fajlagos konventív hőleadás [W/m^2]
q_f	fajlagos filtrációs hőveszteség [W/m^2]
q_{ke}	keretszerkezeten átáramló fajlagos hőmennyiség [W/m^2]
q_l	elpárologtatott nedvesség látens hője 36 °C bőrhőmérsékleten [W/g]
q_m	fajlagos metabolikus hő [W/m^2]
q_{mb}	alapanyagcsere
q_N	napsugárzás okozta hőterhelés [W/m^2]
q_s	felület és környezete közötti sugárzásos hőcsere

q_s	napsugárzásból (a tájolás függvényében) származó fajlagos hőnyereség [W/m^2]
q_t	fajlagos transzmissziós hőveszteség
$q_ü$	üvegszerkezeten átáramló fajlagos hőmennyiség [W/m^2]
$q_{ün}$	üvegszerkezeten a nap hatására átáramló fajlagos hőmennyiség [W/m^2]
q_v	falban végbemenő hővezetés [W/m^2]
Q	hőmennyiség [W]
Q_{abl}	ablakon keresztüljövő hőenergia-áram [W]
Q_b	belső transzmissziós energiaáram [W]
Q_c	konvektív hőenergia-áram [W]
Q_f	filtrációs hőszükséglet [W]
$Q_{gép}$	gépekből származó hőenergia-áram [W]
Q_k	külső transzmissziós hőenergia-áram [W]
Q_{ke}	ablakkereten keresztüljövő hőenergia-áram [W]
Q_l	a helyiség világításából származó hőnyereség [W]
Q_{max}	maximális hőigény [W]
$Q_ö$	össz-hőterhelés [W]
Q_p	pulzáló hőterhelés [W]
Q_s	sugárzásból és napsugárzásból származó energiaáram [W]
Q_t	helyiség teljes hőterhelése [W]
Q_{tech}	technológiából származó hőnyereség [W]
Q_{tr}	transzmissziós hőveszteség [W]
$Q_ü$	üvegen keresztüljövő hőenergia-áram [W]
$Q_{üns}$	üvegen napsugárzás hatására keresztüljövő hőenergia-áram [W]
Q_v	szellőzésből származó hőterhelés [W]
Q_w	emberi test hőtárolása [W]
r	környezet reflektáló képessége
r	visszavert hányad
r_b	bőr hőreflektációjának aránya
R	vízgőzállandó [0,4615 kJ/(kgK)]
R	sugárzási vektor
R_d	páradiffúziós ellenállás [m^2 s Pa/kg]
Re	Reynolds-szám
R_o	hőhídmentes szerkezet hővezetési ellenállása [m^{2}K/W]
R_v	szerkezetre jellemző hővezetési ellenállás [m^{2}K/W]
R_v	ruházat teljes hővezetési ellenállása [m^{2}K/W]
RQ	a kilégzett széndioxid (V_{CO_2}) és belégzett oxigén (V_{O_2}) aránya
RT	Raven-teszt
RY	Rybakov-teszt
S	sugárzásos hőleadás [W]
t	átbocsátott hányad
t	beruházási költségek és próbaüzem közötti időtartam [év]

t	hőmérséklet [°C]
t_a	ambiens hőmérséklet [°C]
t_{abl}	ablakhőmérséklet [°C]
t_b	bőrhőmérséklet [°C]
t_{bc}	bőrhőmérséklet eltérése a diagram értékétől [°C]
t_{bs}	közepes sugárzási hőmérséklet eltérése a levegő hőmérsékletétől [°C]
t_{cl}	ruházat közepes hőmérséklete [°C]
t_{dp}	harmatponti hőmérséklet [°C]
t_{ekv}	ekvivalens hőmérséklet [°C]
t_{eq}	ekvivalens hőmérséklet [°C]
t_E	ember átlagos felületi hőmérséklete [°C]
t_{er}	érzékelt hőmérséklet [°C]
t_F	felület hőmérséklete [°C]
t_{fg}	polírozott gömb hőmérséklete [°C]
t_g	gömbhőmérséklet [°C]
t_h	szubjektív hidegérzet hőmérséklet [°C]
t_{ho}	homlokhőmérséklet [°C]
t_H	hőhídhőmérséklet [°C]
t_k, t_{Fkb}	külső határoló szerkezet belső felületi hőmérséklete méretezett állapotban [°C]
t_{ks}	közepes sugárzási hőmérséklet [°C]
t_{lb}	belső (helyiség) levegő hőmérséklete [°C]
t_{lbe}	levegő belépési hőmérséklete [°C]
$t_{légf}$	légfűtéssel befúvott levegő hőmérséklete [°C]
t_{lk}	külső levegő hőmérséklete [°C]
t_m	szubjektív melegérzet hőmérséklet [°C]
t_{max}	maximális léghőmérséklet [°C]
t_N	napléghőmérséklet [°C]
t_{ng}	nedves gömbhőmérséklet [°C]
t_o	operatív hőmérséklet [°C]
t_{par}	parapet-hőmérséklet [°C]
t_{pr}	sík sugárzási hőmérséklet [°C]
t_R	eredő hőmérséklet [°C]
t_{re}, t_{rec}	maghőmérséklet [°C]
t_{szg}	száraz gömbhőmérséklet [°C]
t_t	talaj hőmérséklete [°C]
t_{tv}	talajvíz hőmérséklete [°C]
t_w	eredő hőmérséklet [°C]
T	abszolút hőmérséklet [K]
T_b	bőrhőmérséklet [K]
T_e	emberi test átlaghőmérséklete [K]
T_g	gömb sugárzási hőmérséklet [K]
$T_{g\,st\,op}$	minimálisan optimális gömbhőmérséklet [K]
T_{ks}	közepes sugárzási hőmérséklet [K]
T_{ps}	sík sugárzási hőmérséklet [K]
T_R	eredő hőmérséklet [K]
$T_{s\,eff\,opt}$	effektív sugárzási hőmérséklet [K]
T_u	turbulenciaintenzitás [%]
T_v	vektor sugárzási hőmérséklet [K]

u	felületi hőelnyelési tényező [W/(m^{2}K)]
v	légsebesség [m/s]
v_f	séta sebessége [m/s]
v_{tw}	járószalag sebessége [m/s]
V	belélegzett levegő mennyisége [l/min]
V_{CO_2}	szén-dioxid mennyisége [l/min]
$\dot{V}_l$	levegő térfogatárama [m^3/h]
$V_{légf}$	légfűtéshez használt légmennyiség [m^3/h]
V_{O_2}	oxigén mennyisége [l/min]
$\dot{V}_r$	egységnyi réshosszra vonatkozó levegő térfogatárama [m^3/h]
$\dot{V}_{sz}$	szellőzőlevegő térfogatárama [m^3/h]
w	nedvességfejlődés [g/h]
w_{rsw}	szabályozott izzadás okozta nedvességfejlődés [g/h]
W	helyiség hőtároló képessége [W/(m^{2}K)]
W	külső mechanikai munka [W]
W	páramennyiség [kg]
x_b	a belső levegő abszolút nedvességtartalma [g/m^3] [kg/kg]
x_{be}	a belépő levegő nedvességtartalma [g/m^3]
x_k	a külső levegő abszolút nedvességtartalma [g/m^3] [kg/kg]
x_t	a távozó levegő nedvességtartalma [g/m^3]
Y	határoló felületek hőelnyelési tényezője [W/(m^{2}K)]
Y	helyiség hőelnyelési tényezője [W/(m^{2}K)]
Y	várható hőérzet
z	lehűlési idő
Z	szerkezet időállandója
α	annuitás
α_b	belső oldali hőátadási tényező [W/(m^{2}K)]
α_c	konvekciós hőátadási tényező [W/(m^{2}K)]
α_k	külső oldali hőátadási tényező [W/(m^{2}K)]
α_s	sugárzásos hőátadási tényező [W/(m^{2}K)]
α_v	a légsebességtől függő hőátadási tényező [mcal/(cm^{2}s)]
β	anyagátadási tényező [kg/(m^{2}s Pa)]
β_m	tömeg okozta hőcsillapítás
β_R	hőátbocsátási ellenállás okozta hőcsillapítás

δ	rétegvastagság [m]
Δ	a helyiség burkoló felületén lejátszódó hőátadásra jellemző szám
Δt_{pr}	sugárzási aszimmetria
ε	relatív emisszióképesség
ε	ruházattal borított test külső felületének emittálóképessége
ε_E	emberre vonatkoztatott emittálási tényező
η	hatásfok
ϑ	túlhőmérséklet [°C]
ϑ_0	kezdeti túlhőmérséklet [°C]
ϑ_b	belső falfelület várható téli legalacsonyabb hőmérséklete [°C]
Θ_{Fb}	saját léptékben mért hőmérséklet [°C]
Θ_{dp}	saját léptékben mért harmatponti hőmérséklet [°C]
$\varkappa_j$	a j-edik határoló szerkezet hőátbocsátási tényezője [W/(m^{2}K)]
λ	hővezetési tényező [W/(m°C)]
λ	hullámhossz [m]
λ_{cle}	ruházat effektív hővezetési tényezője [W/(m°C)]
λ_H	hőhíd hővezetési tényezője [W/(m°C)]
λ_t	talaj hővezetési tényezője [W/(m°C)]
μ	sugárzási aszimmetriára jellemző érték
ξ	korrekciós tényező (épületfizika)
ϱ	sűrűség [kg/m3]
ϱ_{lb}	belső levegő sűrűsége [kg/m3]
ϱ_{lbe}	belépő levegő sűrűsége [kg/m3]
ϱ_{lk}	külső levegő sűrűsége [kg/m3]
σ	Stefan—Boltzmann-állandó [W/(m^{2}K)]
τ	időtartam
τ_0	periódusidő
τ_p	pulzás időintervalluma

φ	besugárzási tényező
φ	a levegő relatív nedvességtartalma
φ_{EF_i}	besugárzási tényező a test súlypontjába helyezett függőleges felület-elem és az *i*-edik határoló szerkezet között
Φ	közepes besugárzási tényező
Φ_{EF_i}	ember és *i*-edik felület közötti közepes besugárzási tényező
ω_i	munkagép hatásfoka
Ω	térszög

Tárgymutató

ablak 273, 308, 383, 389, 391, 396, 400, 407, 414, 451, 453
abszolút fekete test 73
abszorbeált hő 259
abszorpció 283
abszorpciós tényező 248
adaptációs idő 337, 350, 354
adiabatikus hűtés 430, 436
ajtó 451
akklimatizáció 346
aktivitási szint 396—407, 462
akusztikai komfort 234
akusztikai tényezők 25, 471
alapanyagcsere 28, 345
alaphőveszteség 305, 313
alapparaméter 352
alaprajz 452
alfa-részecskék 202
alsó izzadási határ 156
alulfűtés 387
alumíniumpanel 308, 391
ambient hőmérséklet 46, 363
annuitás 467
antropogén ökoszisztéma 24
antropológiai adatok 410
anyagátadási tényező 285
anyagcsere 28
ASHRAE komfortterület 154, 156
ASHRAE módszer 154
ASHRAE skála 27
aszimmetria 396
aszimmetrikus sugárzás 170, 174, 177, 188, 197, 308, 313, 351, 389, 398

állagmegóvás 455
állandó költség 467
állapotváltozás 301
árnyékolás 260, 428, 437, 464
árnyékolás naptényezője 460
árnyékoló szerkezet 318
átlaghőmérséklet 384
átlagos bőrhőmérséklet 353
átmeneti időszak 372

barometrikus nyomás 156
Bedford-skála 27
befúvás 408, 445
befúvó rendszer 294
belső felület 304
belső felületi hőátadási tényező 373
belső határoló szerkezet 280
belső hőforrás 304, 387
belső hőterhelés 163, 284, 372
belső levegő hőmérséklete 392, 399, 430
belső mikroklíma 303, 304, 385, 427
belsőtéri hőegyensúly 305
belső transzmissziós energiaáram 113
bekeveréses rendszer 294
beruházás 318
beruházási költség 467
besugárzási tényező 83—85, 87—109, 117, 177—180, 395
betanulási időszak 355
beteg épület 182, 199, 220—225, 246
béta-részecskék 202
bioritmus 337, 358, 416
biztonsági tényezők 25
bokamagasság 164
bölcsőde 161
bőrfelület közepes hőmérséklete 51
bőrhőmérséklet 48—54, 350, 352, 354
bőr izzadásos hővesztesége 142, 156
bőr párolgásos hővesztesége 65—66, 142
burkoló felületek 85, 134
bútor 201, 311

Chrenko-skála 381
cirkulációs idő 363
cirkulációs hatás 21
clo érték 67—71, 194, 346, 400, 439
CO_2-koncentráció 216
collage ages 344

családi ház 346
csillapítás 303
csillapítási tényező 303
csírák 217
csoportviselkedés 25
csövek 22

decipol mértékegység 206
depressziós szellőzés 295
diákszálló 382
diffúziós hőveszteség 65
dinamikus fizikai munka 38
direkt napsugárzás 260
disztributív figyelemvizsgálat 355, 413, 439
dohányzás 200, 205, 449
Du Bois-felület 30

ecosystems complex 22
EEG 359
effektív besugárzott felületi tényező 96
effektív ekvivalens hőmérséklet 132
effektív hőmérséklet 36, 130, 167, 396
effektív hőmérséklet diagramok 130, 154, 158
egészséges épület 209
egészségügyi tényezők 25
egyedi szellőzés 296
egyenértékű hőmérséklet 138, 396
egyetemisták 355
egyidejűségi tényező 284
egységnyi réshossz 259
EKG 359
ekvivalens hőmérséklet 126
elektroklimatizálás 215
elektromágneses erőtér 212
elektromágneses hullámok 212
elektromágneses sugárzás 22, 326
elektromos erőterek 169, 200, 211, 213
elektrosztatikus festőtér 212
elektrosztatikus terek 212
elégedetlenségi faktor 312, 340, 375, 384
elégedetlenségi százalék 209
elővizsgálat 355, 410, 438
elszívó berendezés 296, 452, 465
emberi hőkomfort 419, 432
emberi követelményértékek 369, 390, 417, 446, 477
emberi test felülete 311
emberi test hőcseréje 45
emberi test hőegyensúlya 45, 141, 312, 340, 369, 388
emberi test hőleadása 26, 308, 396, 398, 416
emberi test hőszabályozása 26
emberi test hőtermelése 26, 28—30, 142
emberi tevékenység 22
emisszió 21, 248
energetika 169, 234, 306, 461, 470
energiaáram-sűrűség 260
energiaegyenleg 29
energiaérték 30
energiafelhasználás 243, 302, 333, 362, 369, 417, 477
energiaforgalom 30, 385
energiafogyasztás 199, 243, 302, 316, 388, 446, 461
energiagazdálkodás 331, 384, 388, 470
energiaköltség 467
energiamegtakarítás 318, 337—339, 363, 481
energiaszükséglet 29
energia-visszanyerő 465
eredő hőátbocsátási tényező 162
eredő hőmérséklet 48, 167, 354, 372, 395
ergonómia 335, 474
etnikai adottság 340, 346
evaporatív hőleadás 65, 195
expozíciós idő 350

égbolt 371
éleslátás 360
élőalanyos vizsgálatok 341—361, 389, 407, 414
építési anyagok 22, 202, 224
építőipar 196
épület 302
épületgépészeti berendezés 163, 333, 388
épületek hűtése 322
épület mélysége 452
épületek rezgése 25
épületek tömege 245
épületfizika 223, 455
épülethatároló szerkezetek 245, 465, 469
épületparaméterek 22
érdes testek 78
érzetskála 412, 439
érzett effektív hőmérséklet 396—407
érzékelt hőmérséklet 120
észlelt hőmérséklet 396—407, 416
éves hőigény 468
éves összes költség 468

fajhő 303
fajlagos felületi hőstabilitás 253

fajlagos filtrációs hőveszteség 272
fajlagos fűtési költség 467
fajlagos hőstabilitás 269
fajlagos nedvességterhelés 459
fajlagos radioaktivitás 202
fajlagos tároló tömeg 163
fajlagos teljes hőterhelés 241
faktoranalízis 361
falak hőszigetelő képessége 380
falfűtés 391, 393—407
falsarok 458
falszerkezet 162, 383, 406, 461
Fanger-módszer 95, 141, 479
fáziskésés 342
fejmagasság 164
fekete test sugárzása 73, 78
fekete test sugárzási együtthatója 75
felhőzet 249
felületi hőelnyelési tényező 253, 304
félklíma-berendezés 297
„félmeleg" padló 161, 254
fényhasznosítás 239
fényhatás 21
filtráció 307, 452
filtrációs hőszükséglet 113, 116, 243, 293, 452, 454
filtrációs légforgalom 286, 293, 387, 451, 454
fizikai dolgozók 355
fizikai paraméterek 388
fizikai szabályozás 59
fizikai teljesítőképesség 341, 365
fizikai terhelés 351, 445, 472
fiziológiai állapot 410
fiziológiai információterhelés 38
fiziológiai paraméter 38, 352, 383
fiziológiai teszt 353
fluktuáló 184
foglalkozási ciklus 361
folyamatos szellőzés 298, 449
folyamatos üzemvitel 301
formaldehid 200
forrásmentes rendszer 263
földrajzi megkötöttség 417
földről visszavert sugárzás 260
frekvenciaspektrum 212
frisslevegős rendszer 294, 300
frisslevegő-mennyiség 448, 464
függöny 283, 305—313
fülledtségi görbék 124
funkcionális követelmény 388
fűtés 223, 319, 388, 451
fűtési energia 318
fűtési határhőmérséklet 372
fűtési hőszükséglet 113, 306
fűtési időszak 164, 371
fűtési teljesítmény 265, 386
fűtési üzemmód 314, 316
fűtési üzemszünet 304
fűtő rendszer 22, 387
fűtőtest 390, 405

gamma-részecskék 202
gazdasági tényezők 25, 344
gépészeti berendezések 22
gépi elszívás 291
gépi hűtés 426, 431
gombaszennyezettség 225
gombásodás 225—227
gömbhőmérséklet 124, 127, 166, 310
gravitációs felhajtóerő 286, 371, 452
gravitációs levegőforgalom 290
gravitációs nyomás 291
gravitációs szellőzés 293
gráf 451

gyaloglás 28

Hajdú-lapradiátor 390, 393, 407
harmatponti hőmérséklet 227, 456
határ-léghőmérséklet 118
határoló szerkezetek 161, 174, 243, 246, 302, 374, 382, 392
hatótényező 39
hálózsák 191
házgyár 387
healthy building 220
helyi diszkomforttényezők 169, 335
helyi hőérzet 175
helyi hőérzet-diszkomfortértékek 175, 307, 336, 366, 416
helyiség magassága 315
helyiség szellőztetése 298
helyszíni mérések 308, 382
hibrid megoldás 318
hideg környezet 367
„hideg" padló 254
hidroionizátor 220
higiéniai tényezők 25
homlokhőmérséklet 55
homlokzat 455
homlokzati üvegezési arány 372
hőáram 267, 305, 313
hőáram-ingadozás amplitúdója 269
hőáramvektor 263
hőátadási tényező 57, 264, 284
hőátbocsátás 246

hőátbocsátási ellenállás 303
hőátbocsátási tényező 113, 249, 389, 391, 402
hőcserefolyamat 169
hőcserélő ablak 318
hőcserélők 329
hőcsere-szabályozás 59
hőegyensúly 45, 245, 302
hőegyensúlyi egyenletek 142, 151, 154, 265
hőelnyelő üvegek 279
hőelnyelési tényező 252, 303, 419
hőérzet 21, 163, 304, 307, 316, 337, 341, 381, 388, 396, 402, 410, 436, 445, 468, 477—482
hőérzeti ellenőrzés 162, 351, 365
hőérzeti határértékek 340, 351
hőérzeti kompenzációs érték 184, 237
hőérzeti korrekciós értékek 117
hőérzeti követelményértékek 161, 164, 348
hőérzeti mérőlap 412
hőérzeti mérőszám 123
hőérzeti skála 21, 362
hőfluxus 171
hőfogyasztás 468
hőfokcsillapítási tényező 252
hőfokmodulus 253
hőfokvezetési tényező 263
hőhatás 21, 302
hőhíd 254—256, 273
hőkarakterisztika 267, 372
hőkomfort 420, 426
hőmérleg 247
hőmérséklet-differencia 172
hőmérséklet-ingadozás 303, 363
hőmérsékleti tényező 264
hőnyereség 302
hőreakció 57
hőstabilitás 253
hősugárzás 170
hőszabályozó izzadás 65
hőszabályozó képesség 410
hőszigetelés 306, 316, 336, 369, 388, 396, 402
hőszigetelő üvegezés 306
hőszivattyú 320
hőtárolás 250, 267, 328
hőtechnikai adatok 382
hőtehetetlenség 252, 418
hőtehetetlenségi tényező 252
hőterhelés 243, 273, 302
hőveszteség 302, 389
hővezetés 246, 264
hővezetési ellenállás 249, 303
hővezetési tényező 250
HSI index 167
humáncentrikusság 331, 388, 417
humán igény 462
huzatérzés 170, 186
huzathatás 170, 183, 366, 411, 480, 482
hűtés 223, 319, 323, 426, 481
hűtési időszak 165
hűtővízáramkör 309
hygrotermikus paraméterek 165
hyperthermia 29, 60
hypoglykaemia 29, 61

időállandó 268, 386
időjárás 382
index (bőr) 354
indukciós befúvófej 465
infiltráció 308, 446
információs technológia 476
instacioner folyamatok 266
instacioner hőhatás 245, 262
integrált felületi bőrhőmérséklet 353
intelligens épület 233
intenzív aktivitás 144
interdiszciplináris 333
interfész 475
interkaláris tényező 467
ionforrások 2, 13
ionizáció 210, 471, 474
ionkondicionálás 216
ionok 200
ipari épületek 161, 425, 461, 465, 479
iroda 161, 313, 425, 461, 469, 479
irodai munka 352, 367
irritációk 221
irritációs küszöbérték 205
iskolai épületek 425, 436, 469
iskolás gyerekek 366, 436, 472
ITS index 168
izommunka 28, 60
izzadás 42, 284
izzadásos hőleadás 65, 195
izzadásos hőszabályozás 157

javított effektív hőmérséklet 132
javított operatív hőmérséklet 126
járműipar 196
járulékos megterhelés 38

kamat 467
kapilláris kondenzáció 225, 230
karbantartási költség 467
Kata-érték 133—136
Kata-termometria 132
kellemes hőérzet 21, 163, 375, 384

keretarány 260
keringtetett levegős rendszer 294
kényelmi görbék 128
kémiai szabályozás 59
kényszeráramlás 247
kétrétegű függöny 312
kiegyenlített szellőzés 295, 465
kifáradásgörbe 360
kilégzés respirációs hőveszteségе 65, 142
kilégzés száraz hőveszteségе 142
Kirchoff-törvény 78
kisugárzás 64, 248
klímaberendezés 297, 341, 426, 436
klímafelvétel 410
klimatikus terhelés 40
kockázat 387
kognitív szféra 475
kollektor 318, 326
kombinált hatás 471
komfortdiagramok 144—154, 341, 363, 372, 374, 384, 396, 420
komfortegyenletek 142, 343, 351, 384
komfortvizsgálatok 349, 416
komfortviszony 196, 463
komfortzóna 40
komplex diagramok 139
komplex hatás 337, 470
koncentrálóképesség-csökkenés 221, 301
konvekció 42, 142, 171, 246, 312, 378, 384, 389, 414, 445
konvektív fűtés 406
konvektív hőátadási tényező 57—58, 119, 156
konvektor 315
koronakisülés 214, 220
kórterem 161
ködtelenítő berendezés 297
kölcsönös sugárzási együttható 86, 264, 311
könnyű munka 29, 156
könnyű öltözet 144
könnyűszerkezetes épületek 342, 387, 418, 422, 426—435, 465
környezeti tényezők 245
követelményérték 203
„kövér" ház 453
közepes aktivitás 144, 156, 184, 420
közepes munka 29, 375
közepes öltözet 144
közepes sugárzási hőmérséklet 26, 46, 64, 171, 177, 311, 334, 347, 363, 366, 372, 376, 384, 395, 423, 462, 479
középület 114, 181, 436, 478—483
középmagas épület 384
közérzet 25, 215, 337, 388, 428, 470
központi szellőzés 296
közvetlen hatások 22
különleges tényezők 25
külső árnyékoló szerkezet 281
külső fal 310, 402
külsőfalpanel-fűtés 390, 397—406
külső határoló szerkezet 304, 373, 391, 399
külső környezet 22
külső levegő-hőmérséklet 381, 392
külső mechanikai munka 30
külső mechanikai munka hatásfoka 31
külső transzmissziós energiaszám 113

laboratóriumi vizsgálatok 308, 349
lakás 307, 313, 343, 352, 375, 381, 399, 452, 469, 479
lakáspenészesedés 225
lakóépület 114, 181, 436, 461, 468
lakóhelyiség 114, 161
Lambert-törvények 76, 82
lamináris áramlás 184
látás 25
lecsapódás 460
lehűlő felület 304
lehűlési időszak 386
letargia 221
levegőben lévő vízgőz parciális nyomása 141, 457
levegő fajhője 270
levegő koncentrációja 299
levegő minőség 223
levegő összetétele 22
levegő relatív nedvességtartalma 26, 194, 313, 334, 376, 407, 456, 462
levegő sebessége 26, 141, 194, 313, 334, 366, 376, 462, 482
levegő sűrűsége 270, 366, 451
levegő szennyeződése 169, 199, 206, 369, 446, 470
levegőforgalom 199, 287, 369, 446, 461, 470
levegő-hőmérséklet 26, 171, 312, 334, 363, 366, 372, 376, 407, 425, 462, 472
levegőhőmérséklet-profil 389
levegőionizáció 169, 213
levegő-térfogatáram 301
légáramlás 25, 404, 414
légáteresztés 259, 309
légcsatorna 293, 408
légcsere 307, 457
légcsereszám 224, 300, 430
légfűtés 297, 390, 407—416
léghőmérséklet-megoszlás 315
léghőmérsékletre méretezés 112
léghűtő berendezés 297
légköri ionok 214, 338
légnedvesítő berendezés 297
légtechnikai paraméterek 21

légzésbiológia 449
légzéskatalizátor 216, 218—220
légzésszám 360

maghőmérséklet 48, 61, 352
manikin 191—199
maximális oxigénfogyasztás 28
maximális párolgásos hőveszteség 65
mediterrán környezet 417
megbízhatósági szint 386
megengedhető hőmérséklet 340, 436, 470
megvilágítás erőssége 472
megvilágítás igényszintje 239
meleg környezet 366, 444
„meleg" padló 254
mesterséges bőr 189
mesterséges megvilágítás 26, 234, 239, 284, 428, 471
mesterséges szellőzés 243, 293, 426, 430
metabolikus hő 30, 334
metabolikus hőfejlődés 31, 119, 376, 420
metabolizmus 30
met érték 31, 376
meteorológiai statisztika 229
meteorológiai tényezők 26, 233, 302, 382, 385, 410, 451, 454, 468
metodika 349
mérési alany 351
mérési metodika 382
méretezési nomogrammok 88—92
mérsékelt égöv 417
mikroaeroszol 217
mikroklíma 331, 340, 371, 417, 436
mikroklímás mutatószámok 119
mikroorganizmusok 205, 225
modellezés 21, 169, 199
módosított hőmérséklet 236
monoton 184
munka intenzitása 360
munkahelyi komplex terhelés 36
munka minősége 360
munkavégző képesség 365
műanyagfeldolgozó üzem 466
műanyag lakkok 201
műember 191—199, 391, 396, 398, 410, 414

nagy aktivitás 184, 420
napenergia-hasznosítás 317
napház 198
napsugárzás 246, 273, 278, 302, 371, 471
napsugárzás energiaárama 113
napsugárzás hatása 305, 417
napsugárzást átbocsátó szerkezetek 258
napsugárzás-terhelés 387
napsugárzás-védelem 444
naptényező 419
nedves hőcsere 65—67
nedvesség 25
nedvességfejlődés 228, 231
nedvességmérleg 228
nedvességtartalom 301, 451
nedvességterhelés 284, 301, 449
nehéz munka 29
nehéz öltözet 144
neutrális hőérzet 26, 175, 188
nylonfüggöny 309

nyálkahártya-irritáció 201
nyári állapot 305, 366, 417, 436
nyári időszak 165, 364
nyári ruházat 420
nyílászáró szerkezet 307, 451
nyitott lépcsőház 290
nyomáseloszlás 287
nyomásgradiens 213
nyomásviszonyok 295
nyugalmi állapot 144, 159, 184, 375, 420, 445, 477, 480

oldalfal 391
olf mértékegység 206
on-off szabályozás 191
operatív hőmérséklet 47, 164
optimális gömbhőmérséklet 166
optimális hőérzet 382
optimum 331, 362, 369, 384, 417, 468, 470, 479
óránkénti légcsere 204
óvoda 161
oxigénfogyasztás 28

padló 254, 409
padlófűtés 164, 390, 397
padlók hőelnyelése 161
padló hőmérséklete 351
padlók méretezése 254
panelos épület 308, 380, 384, 387, 389
parapet 309, 391, 399, 407
passzív dohányzás 205
passzív napenergia-hasznosítás 302, 317
Pauli-teszt 439
páradiffúziós ellenállás 253
páradiffúziós tényező 253
páralecsapódás 182, 455
páratartalom 411

párolgás 44, 284, 389
PD érték 186, 207
PED érték 188
penészesedés 199, 225, 232, 446
penészgombák 206
periodikusan változó hőhatás 243, 267
periódusidő 270
perspiráció insensibilis 42, 195
perspiráció sensibilis 42
PHF érték 189
Planck-törvény 74
PMV érték 150, 164, 336, 362, 375, 395, 404, 416, 421
ponyvanapernyő 283
potenciálgradiens 211
P_4SR index 167
PPD érték 150, 164, 336, 362, 374, 384, 404, 416, 420, 479
pszichológiai állapot 410, 475
pszichológiai teszt 352
pulzáló hőhatás 243, 270
pulzáló hőterhelés 316
pulzusszám 411

Radal-fűtőtest 390, 393—407
radiátor 315, 389
radon 200, 222
radonkoncentráció 203
radioaktív ionizátor 218
radioaktív sugárzás 202
radioizotóp-koncentráció 204
reakcióidő 359, 413, 443
redőny 283, 305, 307
reflektáló képesség 336, 389
reflex ingerlékenység 360
relatív fűtőteljesítmény 478
relatív hőigény 306, 478
relatív légsebesség 31, 374, 425
relatív nedvességtartalom 144, 160, 227, 313, 363, 383, 447, 457
rezgés hatása 20
rezultáns hőmérséklet 126
rétegvastagság 264
rugalmas fűtőberendezés 316
ruházat 191, 310, 384, 419, 437, 480
ruházat hőszigetelő képessége 26, 67, 156, 159, 184, 334, 345, 366, 376, 396, 400, 410, 462
ruházati ipar 196
ruházat közepes hőmérséklete 48, 376
Rybakov-teszt 439

saját lépték 457
saját léptékben mért hőmérséklet 230
saját sugárzás 81
sarokfal 311
sarokszoba 385, 391, 394
sebességfluktuáció 185
sebességprofil 188
semleges időszak 419
semleges zóna 288, 452
sick building 182, 199, 220—225, 446
síkbeli sugárzási hőmérséklet 172
„sovány" ház 453
spektrális megoszlás 55
stacioner állapot 304, 385
stacioner viszonyok 303
standard személy 206
statisztikai szignifikanciaértékek 211
Stefan—Boltzmann-törvény 75
stresszhatás 352, 361
sugárhatás 21
sugárzás 42, 171, 316, 389, 445
sugárzási együttható 75, 82, 248
sugárzási hőmérséklet 165
sugárzásos hőátadási tényező 110
sugárzásos hőcsere 62—65, 80—87, 142, 246
sugárzási hőmérséklet-aszimmetria 165, 174, 198
sugárzó fűtések 170, 315, 342, 389, 406
sugárzó fűtőtest 174, 182

szabad áramlás 247
szaghatás 21, 200, 206
szaglás 25
szagszennyezés 210
szakaszos szellőzés 298, 449
szakaszos üzemvitel 301, 316, 346
számítógépes eljárás 451, 475
száraz hőcsere 62—65, 285
száraz rezultáns hőmérséklet 126
szelektív sugárzás 77
szellemi munka 36, 355, 410, 426, 436, 438, 472
szellemi teljesítőképesség 341, 365, 428, 444
szellőzési légforgalom 298, 461
szellőzési üzem 300, 445
szellőzési üzemszünet 300
szellőzőkürtő 290, 451
szellőzőlevegő 301, 408
szellőzőlevegő térfogatárama 298
szellőztetett ablak 318
szellőztetett határoló szerkezetek 257
szellőztetett helyiség 185
szellőztetett ülés 198
szellőztetés 163, 228, 239, 294, 414, 468
szellőztető rendszer 409, 414, 426
szenzomotoros szféra 475
szerkezet időállandója 252

szennyezőanyag-koncentráció 299, 448
szélárnyék 454
szél hatása 286, 291, 305, 451
szélsebesség 248, 371
szélsőségesen hideg napok 371
szélsőségesen meleg időszak 419
szignifikancia 438, 440
szigetelés 314, 482
szilárd testek sugárzása 79
szimuláció 308, 361, 391, 438
színdinamika 235, 338, 471
színezet 234
színérzet 234
színhatás 21, 25, 234, 472, 474
színház 161
színinger 413
szoftver ergonómia 476
szoláris hőnyereség 239
szórt napsugárzás 260
szögtényező 100
sztereogömb-hőmérséklet 167
szubjektív hidegérzet 49
szubjektív hőérzet 26, 151, 234, 334, 341, 349, 351, 365, 380, 383, 413, 416, 444
szubjektív kapcsolat 24
szubjektív melegérzet 49
szubjektív panaszok 416
szürke testek sugárzása 77

talaj 22, 162, 201, 223, 254
talajvíz hőmérséklete 254
tapintás 25
tájolás 245, 261, 372, 428, 431, 444
tárolt hő 318
távfűtés 346, 382, 384
technológia 462
telítettség (szín) 235
teljes klímaberendezés 297
teljes párolgásos hőveszteség 65
természetes megvilágítás 26, 234, 239, 428, 471
természetes radioaktivitás 201
természetes szellőzés 293, 301, 426, 436, 464
termikus müember 169, 191—199
termográfia 439
termosztatikus radiátorszerep 318
termoventilátor 465
termovízió 49
területi sűrűség 309
tervezett felületi tényező 98
testmagasság 30, 411
testsúly 30, 411
teszt 355, 367, 439
téli állapot 164, 305, 417, 447, 477
téli hőkomfort 388
térerősség 212
térhatás 21
típustevékenységek 34
torlónyomás 291
toxikus hatás 21
többrétegű nyílászáró 259
többszintes épület 287, 291
tömeg 303
tömeg okozta csillapítás 303
tömör határoló szerkezetek 246, 306
transzmissziós hőveszteség 239, 272, 305
transzmissziós hőforgalom 307
transzmissziós hőkarakterisztika 265, 304
tranziens problémák 266
tremométer 367, 439
Trombe-fal 318
túlhőmérséklet 252, 271
túlnyomásos szellőzés 295
turbulencia 184
turbulenciaintenzitás 186, 189
turbulens áramlás 185, 259

ugrásfüggvény szerinti hőhatás 243, 267
új effektív hőmérséklet 140
uniformizált egyenruha 196, 310
uralkodó szélirány 245
utóvizsgálat 438
UV fényforrás 214
UV sugárzás 214

ülő irodai munka 160
üvegezés 260, 306, 419
üvegezési arány 117, 261, 272, 373, 419, 428
üvegezett szerkezet 117, 260
üvegszerkezet napténye zője 260
üzemeltetés 455
üzemszünet 301
üzemszüneti hőveszteség 317

valóságos testek sugárzása 77
válaszfal 387
várható hőérzet 151
vektor sugárzási hőmérséklet 172, 177
vektorok összeadása 173
velencei redőny 282
vertikális léghőmérséklet 164
vezetés 42
végfal 391
vibráció 474
világítás 472

világítási terhelés 387
világítástechnika 471
villamos energia 468
visszakeverés 468
visszavert sugárzás 81
vízgőz-koncentráció 229
vizuális komfort 169, 234
vizuális környezet 478
vízzel elárasztott szerkezetek 258
vizsgálati alany 351
vizsgálati expozíciós idő 358

WBGT index 126
Wien-törvény 75

zajhatás 21, 338, 472
zárt lépcsőház 290
zárt tér 21, 294


Bibliotheca Academiae Scientiarum
MAGYAR
TUDOMÁNYOS
AKADEMIA
KÖNYVTÁRA
Hungaricae

A kiadásért felelős az Akadémiai Kiadó és Nyomda Vállalat igazgatója
A nyomdai munkálatokat az Akadémiai Kiadó és Nyomda Vállalat végezte
Felelős vezető: Zöld Ferenc
Budapest, 1994
Nyomdai táskaszám: 21825
Felelős szerkesztő: Szente László — Műszaki szerkesztő: Merkly László
A kötésterv Gerhes Gábor munkája
Kiadványszám: I/150
Megjelent: 46,47 (A/5) ív terjedelemben

Az emberek többsége életének 70—80%-át zárt terekben, épületekben tölti. Jogos elvárás tehát az épületekkel szemben, hogy azok egyrészt a különböző munkák végzéséhez, másrészt a pihenéshez, szórakozáshoz biztosítsák az optimális emberi feltételeket. E feltételek megteremtése komplex műszaki feladat, amelyet elsősorban az építészeknek, épületgépészeknek kell megoldaniuk. A feladatok megoldásának egyik alapvetően fontos és figyelembe veendő eleme a gazdaságosság, azon belül is az energiatakarékosság.

A könyv ezen interdiszciplináris tématerület legfontosabb feladatait, jelenlegi helyzetét, eredményeit foglalja össze oly módon, hogy az abban foglaltak a tervezési, beruházási, kivitelezési és üzemeltetési fázisban megfelelő támpontokat nyújtsanak a témával foglalkozóknak. A könyv a tématerületet 20 fejezetben tárgyalja, a következő fő csoportosításban:

— az ember és a környezet kapcsolatának elméleti alapjai,
— az épületek hőtechnikai tulajdonságai és az energiafelhasználás,
— a zárt terek optimumra méretezésének elvi kérdései,
— az emberi követelményértékek és az energiafelhasználás optimumra méretezése a gyakorlatban.

Az első részben az ember és környezete közötti objektív és szubjektív kapcsolatok, energia- és hőcserefolyamatok és azok számítástechnikai eszköztára, méretezési módszerei, valamint a legújabb komforteredmények kaptak helyet. A második rész a határoló szerkezetekkel, a különböző hőhatásokkal, hőterhelési problémakörökkel, az épületek légforgalmával és energiafelhasználásával foglalkozik. A harmadik rész az épületeken belüli mikroklíma-méretezés helyzetét, a hőérzetileg megengedhető határértékek elvét, az emberi követelményértékek és az energiafelhasználás optimumának elvi kérdéseit taglalja. Az utolsó rész az előző témacsoport gyakorlati megvalósítási lehetőségeit, feltételeit foglalja össze, külön a téli és külön a nyári állapotokra, a légforgalom szerepének, a komplex hatásoknak és a várható gazdasági kihatásoknak tükrében.

A könyv bőséges ábraanyaggal és a forrásmunkák megjelölésével hazai vonatkozásban hézagpótló művet jelent, hiszen az ember, az épületek és az energiafelhasználás kérdéskörének ilyen jellegű megközelítése hazánkban kevéssé ismert, nemzetközi szinten viszont általános. A könyv tartalma alkalmas arra, hogy az új szemléletmódot megismertesse, melyben első helyen áll az ember, de adott gazdasági környezetének, lehetőségeinek figyelembevétele csak komplexen, azon belül is a legfontosabb tényezők mérlegelésével lehetséges. Ugyanakkor a gyakorlati megvalósítás lehetőségeire is útmutatást, gyakorlati példákat nyújt.

Feldolgozása, nyelvezete olyan, hogy az építészek, épületgépészek mellett mindazok részére hasznos szakkönyvek tekinthető, akik az ember és az energiagazdálkodás kérdésével, annak összefüggésével kívánnak foglalkozni, legyenek azok egyetemi, főiskolai vagy akár technikumi végzettségűek.

Ára: 715,– Ft 10% áfával

696650

BÁNHIDI LÁSZLÓ

EMBER • ÉPÜLET • ENERGIA