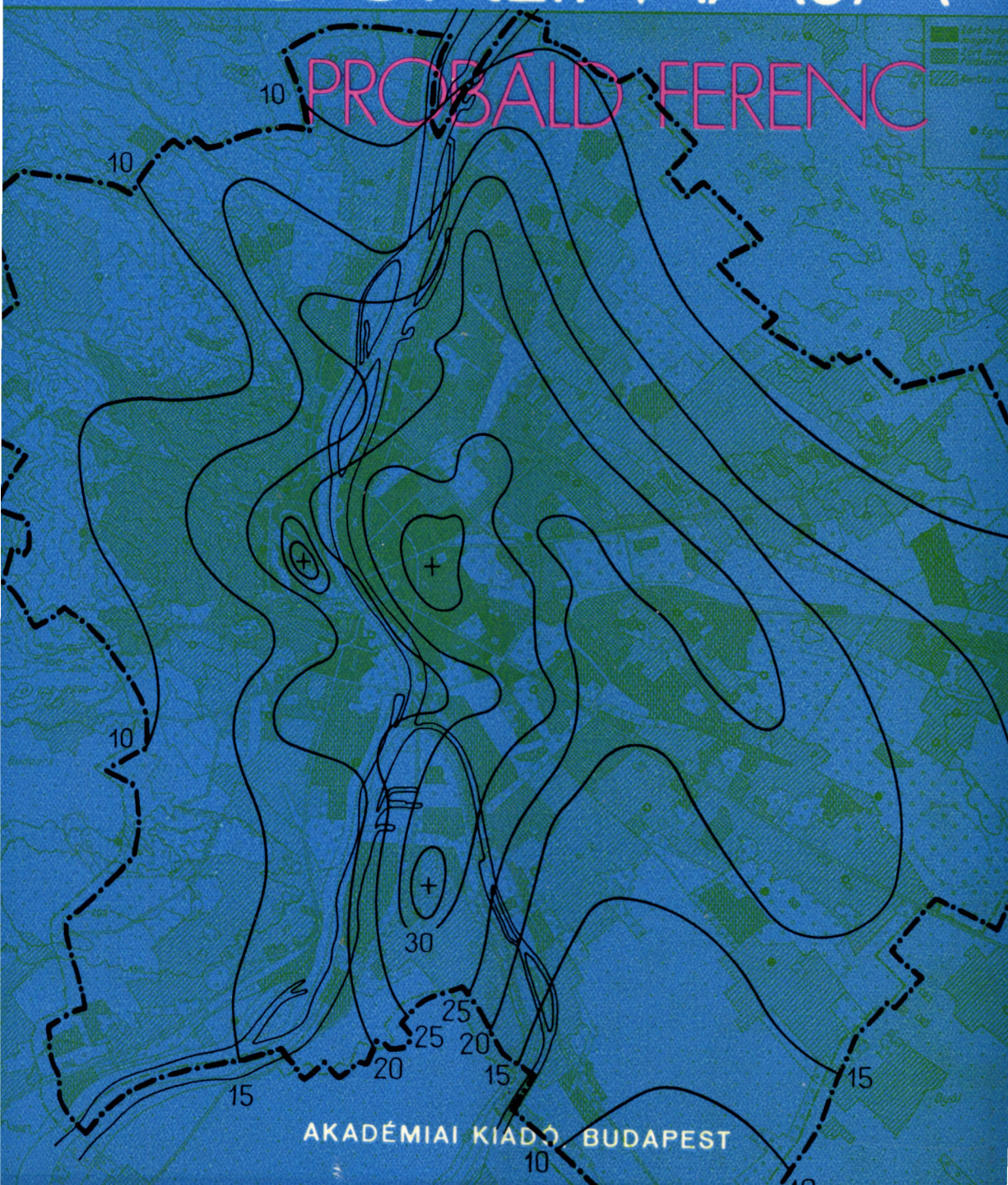


BUDAPEST VÁROSKLÍMÁJA

PROBÁLD FERENC



AKADÉMIAI KIADÓ BUDAPEST

PROBÁLD FERENC
BUDAPEST
VÁROSKLÍMÁJA

A könyv átfogó képet ad fővárosunk sajátos, természetes környezetétől sok tekintetben eltérő mezoklímájáról.

A könyv első részében a szerző Budapest példáján az éghajlati energia- és anyagforgalom részletes vizsgálatával tisztázza a sajátos városklíma létrejöttének fizikai alapjait. Ezután a legfontosabb éghajlati elemek (sugárzásviszonyok, hőmérséklet, csapadék, szél stb.) budapesti területi eloszlásáról és időbeni alakulásáról kap részletes képet az olvasó. Külön fejezet foglalkozik a főváros levegőszennyezésének kérdésével. Végül a szerző jellemzi az eltérő domborzat, levegőminőség, beépítés hatására Budapesten kialakult mezoklímakörzeteket, és megmutatja, hogy azok eltérő vonásait miként veheti figyelembe az ésszerű városfejlesztés.

A munkát bőséges klimatológiai adatközlés és bibliográfia zárja.



AKADÉMIAI KIADÓ
BUDAPEST

BUDAPEST VÁROSKLÍMÁJA

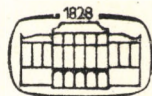
„A városépítés technikája tervezve és helyesbítve csak akkor tudja majd a makroklíma adott keretei között a legkedvezőbb éghajlati feltételeket biztosítani a városnak, ha elegendő számú részfeldolgozást rendelkezünk, melyek a városklíma tényezőinek bonyolult funkcionális összefüggését mennyiségileg is feltárják. Olyan hozzájárulás ez a népgazdaság és népegészségügy fejlesztéséhez, melyet várunk és elvárunk a klimatológiától.”

H. EMONDS (1954)

BUDAPEST VÁROSKLÍMÁJA

ÍRTA

PROBÁLD FERENC



AKADÉMIAI KIADÓ · BUDAPEST 1974

ISBN 963 05 0163 5

© Akadémiai Kiadó, Budapest. 1974. Dr. Probáld Ferenc

Printed in Hungary

TARTALOM

I. Bevezetés	7
1. Éghajlat és település kölcsönhatása	7
2. A városklíma	9
3. Budapest éghajlatának kutatása	11
II. Budapest városklímájának energia-háztartási alapjai	13
1. Az energia-háztartás mint a városklíma alapja	13
2. A sugárzási egyenleg összetevői	15
A) A rövidhullámú össz sugárzás és a vele összefüggő éghajlati elemek	16
a) Felhőzet és napfénytartam	16
b) A légkör homályossága	20
c) Össz-(globál-)sugárzás	22
d) Az ultraibolya sugárzás	25
e) A megvilágítás erőssége	26
B) Az albedó és a visszavert sugárzás	27
C) A hosszuhullámú kisugárzás	30
D) A hosszuhullámú visszasugárzás	32
E) Az összesített sugárzási mérleg	35
3. Az elpárolgás és a hóolvadás energiaigénye	35
4. A felszín alatti anyagréteg hóforgalma	36
5. A városi energiaforrásokból felszabaduló hő	36
6. A felszín és a levegő közötti turbulens hőcsere energiaforgalma	40
7. Energia- és anyagforgalom összefüggése	40
III. Az éghajlati elemek értékeinek területi eloszlása Budapesten	43
1. A hőmérséklet	43
A) A városi hősziget általános jellemvonásai	43
B) A havi és évi középhőmérséklet területi eloszlása Budapesten ...	44
C) A városi hőmérsékleti többlet napi és évi járása	52
D) A hőmérsékleti különbségek néhány helyi vonása	65
E) A városi hősziget és az időjárási tényezők kapcsolata	70
F) Különbségek a hőmérsékleti szélsőségek küszöbértékeinek gyakori- ságában	73
2. A szél	75
A) A város hatása a szélviszonyokra	75

B) A városi szélrendszer kialakulása Budapesten	76
3. A csapadék	78
A) A város hatása a csapadékra	78
B) A csapadék területi eloszlása Budapesten	79
C) Budapest hóviszonyai	86
4. A légnedvesség	89
5. A látástávolság és a köd	91
A) A város hatása a vízszintes látástávolságra	91
B) A nagyvárosi jelleg tükröződése Budapest ködviszonyaiban	94
IV. A nagyvárosi levegőszennyeződés Budapesten	98
1. A levegőszennyeződés mint éghajlati elem	98
2. A levegőszennyeződés térbeli eloszlása	98
A) A kén-szennyeződés térbeli eloszlása	99
B) Az ülepedő porszennyeződés területi eloszlása	104
C) Egyéb szennyező anyagok	105
3. A levegőszennyeződés időbeli alakulása	108
V. Éghajlati típusok Budapest területén	111
1. Az éghajlati körzetbeosztás alapelvei	111
2. Mesterséges alapú (antropogén) mezoklímatípusok	114
A) Jellegzetes városi mezoklíma	114
B) Mérsékelt kifejlődésű városi mezoklíma	115
3. Természetes alapú éghajlati típusok	116
A) Átmeneti mezoklimák	116
a) Városi hatástól enyhén módosított síksági mezoklíma	116
b) Városi hatástól enyhén módosított hegységi mezoklíma	117
c) Vízfelszín felett kialakult átmeneti mezoklíma	117
B) A természetes síksági klíma	117
C) Természetes dombosági és alacsony hegységi éghajlat	117
D) Középhegységi éghajlat	118
E) Dunai mezoklíma	118
4. A városklíma-kutatás feladatai	119
Irodalom	121
Függelék: A budapesti éghajlatkutató állomáshálózat 1910–1970 között	

I. BEVEZETÉS

„Köztudott, hogy a nagyvárosok éghajlata nem természetes, hanem mű-klíma... A városklímák kutatójának elsőrendű figyelmet kell fordítania a város által bizonyos mértékig átalakított, befolyásolt városi atmoszféra speciális tulajdonságainak kiderítésére... Általában elérkezettnek látszik az idő a városéghajlati vizsgálatok intézményes és céltudatos megszervezésére.”

BULLA B. (1958)

I. ÉGHAJLAT ÉS TELEPÜLÉS KÖLCSÖNHATÁSA

Századunkban az emberiség lélekszámának gyors növekedése és a társadalom gazdasági tevékenységének ugrásszerű fokozódása következtében a természeti környezet egyre nagyobb mértékű — jórészt tudatos, részben azonban nem szándékos, sokszor káros — átformálásának vagyunk tanúi. A tudomány — s a földrajztudomány különösképpen — mind nagyobb érdeklődéssel fordul e jelenség tanulmányozása felé, ami világszerte időszzerű, sürgető feladatként jelentkezik. Mivel általában a települések — mint lakó- és munkahely térbeli együttesei —, elsősorban pedig a városok az emberiség tevékenységi gócai, nyilvánvaló, hogy a természeti környezet leggyökeresebb — valamennyi geoszféra kiterjedő — megváltoztatásával itt találkozunk.

Település és éghajlat között nem pusztán egyirányú kapcsolat, hanem kölcsönhatás áll fenn, amely — s ez célkitűzésünk körülhatárolása szempontjából lényeges — több szinten, különböző módon nyilvánul meg.

a) *Település és makroklíma* sokszor bonyolult áttételeken át megnyilvánuló kölcsönhatásában az utóbbi jelenti az állandóbb, s ezért aktívabb oldalt. Az éghajlatnak a gazdasági életre — főként a mezőgazdaságra — gyakorolt hatásával magyarázható a népesség világméretű eloszlása — s ezzel a települések, illetve a településhálózat kifejlődése —, valamint az éghajlati típusok között megnyilvánuló kapcsolat, amit részletesen STASZEWSKI (1957, 1961) és HAMBLOCH (1966) népességföldrajzi vizsgálataiból ismerünk. Ugyancsak jellegzetes különbségeket mutat a városok és a városlakók számának makroklímaterületek szerinti megoszlása (HADER 1968). A települések helyének megválasztásában régóta szerepet játszanak, sőt az ipari telephely kijelölésében is mérlegelendők a makroklíma bizonyos vonásai (GRUNDKE 1955). A városok szerkezete és az optimális környezetet biztosító hajlék kialakítása a hagyományos és a modern építészetben egyaránt a makroklíma feltételeihez való ésszerű alkalmazkodást követeli meg (AUJESZKY 1946, 1947, EGLI 1951, PERÉNYI 1963, MENDÖL 1963, OLGYAY 1967 stb.).

A kölcsönhatás másik oldala: a települések — és a bennük összpontosuló gazdasági aktivitás — hatása a makroklímára; ez kevésbé szembetűnő. A legfontosabb számba jöhető tényező valószínűleg a gazdasági élet különféle területein eltűzelt energiahordozókból felszabaduló szén-dioxid.

PLASS (1956) számításai szerint ez a szén-dioxid-mennyiség már az 50-es évek derekán évente elérte a levegő meglévő szén-dioxid-készletének 0,3%-

át. BOLIN és KEELING 1958–64 között a hawaii Mauna Loa obszervatóriumban a levegő CO_2 -tartalmának évi 0,72 ppm-mel (= 0,25%-kal) való növekedését mérésekkel is megállapította. A levegő CO_2 -tartalmának megkétszereződése — ami két évszázadon belül várható — PLASS (1956) szerint 2,5 °C-os hőmérséklet-növekedést idéz elő. A kérdéssel újabban foglalkozó szerzők a vízgőz és a szén-dioxid elnyelési sávjainak átfedését és a beeső sugárzásra gyakorolt hatást is figyelembe véve revideálták PLASS számításait; GEBHARDT (1967) szerint a levegő szén-dioxid-tartalmának megkétszereződése nyomán 1,2 °C, MANABE (1971) szerint 2 °C hőmérséklet emelkedésre lehet számítani. A légkör szén-dioxid-tartalma a jelenlegi 320 ppm-ről 2000-ig 380 ppm-re nő, ami BUDYKO (1972) szerint kb. 0,5 °C-kal növeli a felszín közelében a hőmérsékletet.

A szén-dioxid-kibocsátáson kívül a lebegő aeroszokok nagy területre kiterjedő hatásával is számolni kell, különösen a jelentős iparvidékeken (pl. Szilézia, Ruhr-vidék, Black Country, Donyec-medence). A városok terjeszkedésével a sajátos városi felszín és az abból eredő éghajlati hatások szintén elérhetik a makroklima területi nagyságrendjét (pl. „Megalopolisz” az Egyesült Államok észak-atlanti partvidékén, a hollandiai Randstad, a Ruhr-vidéki és a sziléziai konurbáció). Végül a gazdasági tevékenység során főként ásványi energiahordozókból — voltaképpen fosszilis napenergiából — felszabadított hő közvetlen makroklimatikus hatása sem zárható ki, mivel e hőmennyiség az utóbbi évtizedben évente kb. 5,5 százalékkal nőtt, és a közeljövőben is nyilván mértani haladvány szerint fog tovább emelkedni. E hőmennyiségek nagyságrendjét érzékelteti, hogy számításaink szerint hazánkban 1970-ben mesterséges forrásokból 0,2 kcal/cm² energia jutott a légkörbe, ami a felszínre érkező össz sugárzási energia 0,2%-a. KRAUJALIS (1971) Lengyelországra ugyanilyen értéket kapott eredményül. Jelenleg az egész földfelszínre vonatkoztatva csak 0,01 kcal/cm² antropogén eredetű többletenergia szabadul fel, egy évszázad múltán azonban ez az érték elérheti a kcal/cm² év nagyságrendet, és az ebből eredő kb. 1 °C-os hőmérséklet-emelkedés — az éghajlat instabilitását figyelembe véve — számottevő klímaváltozás elindítója lehet (BUDYKO 1972).

b) *Település és mezoklima kölcsönhatásában* az előbbi a meghatározó tényező, a városklíma specifikus jellegének alapja. A település helyének domborzatából és a település jellegéből, belső szerkezetéből eredő mezoklimatikus különbségek azonban bizonyos határok között vissza is hatnak a település funkcionális tagolódásának alakulására, illetve alakítására. Feladatunkból, Budapest városklímájának vizsgálatából következik, hogy részletesen az éghajlat és a település — pontosabban: a város — mezoklimaszinten jelentkező kölcsönhatásával kell foglalkoznunk; e szinten pedig a kölcsönhatás fő oldalát a városnak az éghajlatra gyakorolt befolyása jelenti.

c) A teljesség kedvéért megjegyezzük, hogy *település és mikroklima* közötti kölcsönhatásról igazában nem beszélhetünk, mivel az előbbi az utóbbit teljes mértékben meghatározza.

2. A VÁROSKLÍMA

A városklíma sajátos antropogén mezoklíma: a szabadban, de a makroklímánál kisebb légtérben megnyilvánuló, embermagasságban (is) érvényesülő, helyi (városi) hatásoktól különlegessé tett éghajlat, mely a tágabb környezet makroklímájához képest jelentékeny eltéréseket mutat.

A városklímának mezoklímaként való értelmezése a szakirodalomban általánosnak mondható (KRATZER 1956, GEIGER 1961, BACSÓ 1959, 1967, OKOLOWICZ 1961). Egyes szerzők (SZAPOZSNYIKOVA 1950, BÖER 1959, BERÉNYI 1967) a mezoklíma megjelöléssel azonos értelemben a helyi klíma elnevezést is használják.

A mezoklíma-terület kiterjedése BÖER (1959) szerint egy-egy irányban 10 m – 10 km között lehet. Megítélésünk szerint az alsó határ ebben a fel fogásban túl alacsony. Logikusabb OKOLOWICZ (1961) álláspontja, aki szerint a mezoklímatérség nagyságrendileg egy-egy önálló geográfiai egységnek felel meg. Ez összhangban van BACSÓ (1967) értelmezésével is, aki a km³-ben, illetve sok km³-ben kifejezhető légtér különleges éghajlatát tekinti mezoklímának, míg az ennél kisebb légterek sajátos klímáját a mikroklíma körébe utalja.

A városklímán – mint minden mezoklímán – uralkodik az adott terület makroklímája; annak megismerése tehát a városklíma-kutatás előfeltétele. Egy-egy város közigazgatási területe feletti légtéren belül a domborzatnak és településszerkezetnek megfelelően több eltérő mezoklímatérség is kialakulhat, s ezeken belül számtalan mikroklímatérség különíthető el (pl. egy-egy utca, tér, udvar, háztető felett). A városi mezoklíma sajátásaiban részben e mikroklímák közös, jellemző vonásai tükröződnek vissza.

Makro-, mezo- és mikroklíma nemcsak térbeli kiterjedésüket tekintve, hanem időbeliségük szerint is különböznek egymástól. A makroklíma viszonylagos állandóságával szemben a mikroklíma rendkívül változékony, és úgyszólván egyik napról a másikra megváltoztatható. A mezoklíma e vonatkozásban is közbülső helyzetet foglal el; a városklíma megváltozása a település funkcionális és szerkezeti fejlődését követi, s ez a változás a makroklímáénál lényegesen gyorsabb. Éppen ezért a makroklímakutatásban megszokott hosszú észlelési sorozatok elemzése – még ha azok rendelkezésre állnak is – a mezoklimatikus különbségek feltárásában nem célravezető. Véleményünk szerint egy-másfél évtizedre tehető az az időtartam, amelynek során a mezoklimatikus különbségek még keveset változnak, viszont az észlelési anyag e különbségek megállapításához – melyek az alapértékeknél jóval kisebb szóródást mutatnak – már elégséges alapot jelent.

A fentiekből következik, hogy egy-egy város éghajlata – eltérő mód-szerekkel – makro-, mezo- és mikro-szinten is tanulmányozható; de a városklimatológia legsajátosabb feladata, alapvető célja a mezoklíma felderítése.

A városklíma-kutatás viszonylag nem nagy múltra tekinthet vissza: az első ilyen tárgyú – London éghajlatával foglalkozó – mű a múlt század elején jelent meg Angliában (HOWARD 1818–20), ahol az ipari forradalom nyomán az urbanizációs problémák legkorábban jelentkeztek, s ébresztették fel a tudományos vizsgálat igényét. A városiasodás világszerte roha-

mosan gyorsuló folyamatát követve ez az igény mind szélesebb körben jelentkezett, és így sokasodtak a városklíma-kutatás eredményei is. Jellemző, hogy P. A. KRATZER (1956) nagy összefoglaló műve, melyben a városi mezoklíma vizsgálatának sajátos módszereit és a különböző városokban végzett kutatások eredményeit összegezte, irodalomjegyzékében a teljesség igénye nélkül is már 533 tanulmányt sorakoztathatott fel.

1800-ban az emberiségnek csupán 1,3%-a élt nagyvárosokban; jelenleg viszont a Föld népességének több mint 20%-a lakik 100 ezer főnél népesebb városokban, tehát olyan településekben, melyeknek méretüknél fogva is jelentékeny éghajlati hatásuk lehet. Az emberiség mind nagyobb részének élete zajlik városi környezetben, s ez a tény indokolja a törekvést a város klimatikus sajátosságainak mind alaposabb megismerésére és a tudományos ismereteknek a településtervezés, a település-egészségügy terén való tudatos alkalmazására. Az utóbbi évtizedben a városklíma-kutatások nagy lendülettel folytatódtak; a téma jelentőségét mutatja, hogy a WMO (Meteorológiai Világszervezet) által kiemelt, időszerű kutatási feladatok közé tartozik. A WMO szervezésében 1968 októberében Brüsszelben nemzetközi szimpóziumra került sor, mely a városklíma vizsgálatában tevékenykedő kutatók új eredményeit összegezve, egyúttal a megoldandó tudományos feladatokat s a kutatás további fő irányait is kijelölte.

A tudomány mind sokoldalúbb differenciálódásának s egyszersmind integrálódásának korában egy-egy kutatási részterület tudományrendszer-tani helyét nem könnyű — s egyértelműen nem is mindig lehet — meghatározni. A brüsszeli szimpózium is megmutatta: nemcsak a város problémái általában — az urbanisztika kérdéskomplexuma —, hanem a városklíma-kutatások is számos tudományág között képeznek érintkezési felületet, és sokféle szakterület művelőit foglalkoztatják. A városklíma tanulmányozása több szempontból beleillik a földrajz hagyományosan kialakult vizsgálódási körébe: az éghajlat és a település kölcsönhatása a természet és a társadalom kapcsolatának sajátos esete; e kapcsolat egyik oldala — az emberi tevékenységnek a geoszféra folyamataira gyakorolt hatása — a természeti földrajz, másik oldala pedig — a természeti környezet hatása, illetve visszahatása — a gazdasági földrajz kérdésfelvetései között régóta szerepel. Egy sajátos tájtípus — műtáj — belső összefüggéseinek egy részét tanulmányozó klimatológia részdiszciplínaként ugyancsak kijelölhető a városklimatológia helye a földrajztudományok rendszerében. Így egyáltalán nem meglepő, hogy a világ különböző országaiban számos geográfus foglalkozik a városklímával, s az ilyen tárgyú tudományos közlemények számottevő része földrajzi folyóiratokban lát napvilágot. A földrajz sajátos szempontjainak, kérdésfelvetésének megfelelően folytatott alapkutatáson túl a geográfia talán leginkább a városklíma-vizsgálatokban érdekelt számos tudományág eredményei szintézisének megalkotásával hivatott hozzájárulni a városok klimatikus sajátosságainak mind behatóbb megismeréséhez. Hazánkban e téren kétségkívül Budapest városklímájának megismerése jelenti a legsokrétűbb, egyben gyakorlati s elméleti szempontból legfontosabb feladatot.

3. BUDAPEST ÉGHAJLATÁNAK KUTATÁSA

Budán a rendszeres műszeres meteorológiai megfigyelések már csaknem két évszázada, 1779-ben megkezdődtek; fővárosunk akkor az első nemzetközi észlelőhálózat legkeletibb láncszeme volt. Az éghajlatkutató állomások száma és észlelési profilja a múlt század végétől fokozatosan bővült; jelenleg Budapesten 6 éghajlatkutató állomás működik; a csapadékmérő állomások száma meghaladja az 50-et. A könyv végén található függelékben összeállítottuk azon állomások jegyzékét, melyekről több éves éghajlati észlelési anyag áll rendelkezésre, s azt is feltüntettük, mely esztendők anyaga hiányos, illetve hiánytalan. A táblázatból kitűnik, hogy számos állomás rövidebb-hosszabb idő után beszüntette működését, és az is sajnálatos, hogy a voltaképpeni belváros területéről csak újabban rendelkezünk néhány évi észlelési sorozattal, mely azonban 1970-ben szintén megszakadt.

Az észlelések anyagának feldolgozása és ezzel a főváros éghajlatának megismerése a klimatológia általános fejlődésével párhuzamosan haladt előre. A Budapest éghajlatával foglalkozó első összefoglaló műveknek (DORNER 1845–50, KURLÄNDER 1879) ma már csak történeti érdekességük van. Az egyre gyarapodó ismeretek szintjének megfelelő, az alapvető vonásokat felvázoló éghajlati fejezetet találunk a Budapestről írott két régebbi földrajzi monográfiában is (PRINZ 1913, HALTENBERGER 1942). Az első nagyszabású monográfia Budapest éghajlatáról, mely már hosszú észlelési sorozatra és egész sor klimatológiai részfeldolgozásra támaszkodott, a Budapesti Központi Gyógy- és Üdülőhelyi Bizottság Rheuma- és Fürdőkutató Intézetének kiadványaként RÉTHLY ANTAL tollából 1947-ben jelent meg. E mű Budapest makroklímájának megismerésében mérföldkövet jelent, és — nem utolsósorban az igen bőséges adatközlés folytán — mindmáig nélkülözhetetlen forrásmunka. Egy évtized múltán, 1958-ban BACSÓ NÁNDOR újabb átfogó szintézist alkotott Budapest és környéke éghajlatáról; ez a „Budapest természeti képe” című nagy földrajzi monográfia keretébe illeszkedett.

RÉTHLY és BACSÓ úttörő munkái — bár számos utalást tartalmaztak a főváros területén belül mutatkozó éghajlati különbségekre is — a kérdést alapjában a makroklíma nézőpontjából és vizsgálati módszereivel közelítették meg. Nem a mezométerű helyi különbségeket, nem a városi éghajlat *sajátos*, a környezettől eltérő vonásait állították érdeklődésük homlokterébe, hanem főként egy, általánosan jellemzőnek tekintett állomás hosszú észlelési sorozatának alapos és sokoldalú feldolgozására támaszkodva rajzolták meg a főváros éghajlati képét. Ezzel megteremtették az alapot a további, aprólékosabb különbségeket vizsgáló városklíma-kutatások számára.

Az elmúlt évtizedben Budapesten is korábban nem tapasztalt gyors ütemben fejlődött a városklíma-kutatás, és rendkívül sok, különböző részterületeket érintő új tudományos eredmény látott napvilágot a szakfolyóiratok hasábjain. Egyszerűsödött a megfigyelések köré: különösen a sugárzásmérések és a levegőszennyeződésmérések mutattak ugrásszerű fejlődést, szolgáltatottak új adatokat. Ennek nyomán időszerűvé vált a Budapest éghajlatáról újabb mérési adatok és elszórt közlemények formájában

felgyülemlett ismeretek összefoglalása. E szintézis keretében — figyelembe véve a Budapest éghajlatáról korábban megjelent átfogó művek tartalmát — az alábbi új feladatok is felmerültek.

- a) A sajátos városklíma energia-háztartási alapjainak feltárása (ez ideig egyetlen nagyvárosi mezoklíma esetében sem megoldott probléma).
- b) Több budapesti állomás adatainak összehasonlító vizsgálata útján a fontosabb éghajlati elemek értékei területi eloszlásának megállapítása, és a város valamint természetes környezete között jelentkező mezoklimatikus különbségek részletes feltárása.
- c) A főváros területén megtalálható mezoklíma-körzetek kijelölése és jellemzése.
- d) A város klimatikus jellegében rendkívül fontos szerepet játszó levegőszennyeződés területi eloszlásának és időbeli alakulásának az éghajlati összkép keretébe való beillesztése.
- e) A Budapest éghajlatában mutatkozó területi különbségek értékelése a településfejlesztés kívánatos iránya szempontjából.

Jelen munkánk kísérlet a felsorolt feladatoknak egy bizonyos — az objektív és szubjektív lehetőségek által megszabott — szinten való megoldására. Ennek során a városi mezoklimatikus különbségeket állítjuk vizsgálódásunk homlokterébe. A korábbi művekből kirajzolódott makroklimatikus kép felelevenítése, újbóli bemutatása ezúttal nem lehet célunk; e kép egyébként is legfeljebb itt-ott finomítható, bővíthető olyan éghajlati elemek esetében, ahol ezt új mérési anyag teszi lehetővé. Általában kirekesztjük vizsgálódásunk köréből a számtalan különböző városi mikroklimát, következésképpen nem térünk ki a légkör azon jellemzőinek tanulmányozására (pl. zajsztint, egyes levegőszennyeződések, a szél számos saját-sága), melyeknek területi eloszlásában mezoklimatikus léptékű egyöntetűség nem ismerhető fel.

II. BUDAPEST VÁROSKLÍMÁJÁNAK ENERGIA-HÁZTARTÁSI ALAPJAI

„Bár a város hőmérsékleti viszonyaival sok tanulmány foglalkozik, mégis hátra van még a feladat, hogy — akár csak viszonylagos értékek erejéig is — mennyiségileg feltárjuk azt a hőháztartási mechanizmust, mely a város hőtöbbletét előidézi.”

T. J. CHANDLER (1970)

„Az éjszakai minimumhőmérséklet megnövekedését gyakran a városi aeroszokok hosszúhullámú sugárzás-gyengítő hatásának tulajdonítják. Azonban a hosszúhullámú sugárzási mérleg városi módosulásáról egyelőre semmiféle megbízható adatunk sincs.”

M. E. BERLJAND (1970)

„Sajnálatos, hogy mostanáig a különböző természetes és mesterséges hőháztartási összetevők relatív nagyságát egyetlen városra vonatkozóan sem állapították meg, és a városi felszín teljes hőháztartási mérlegét nem ismerjük.”

W. BACH (1970)

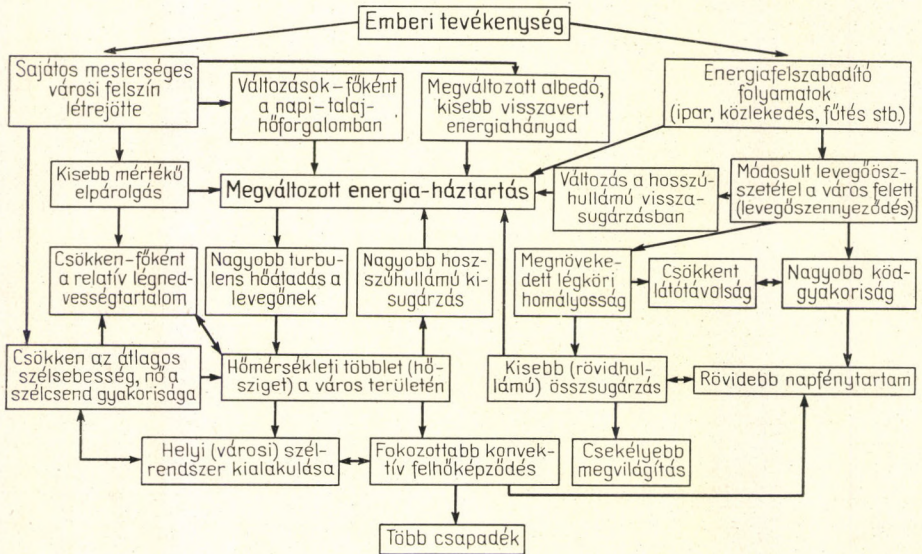
1. AZ ENERGIA-HÁZTARTÁS MINT A VÁROSKLÍMA ALAPJA

A világ különböző városaiban végzett kutatások megmutatták, hogy a városok területén szinte valamennyi éghajlati elem értékei módosulnak. Különösen jellemző a városokra a természetes környezetnél magasabb hőmérséklet, a városi „hősziget” kibontakozása. Míg azonban a városklíma jelenségeit igen sok helyen észlelték és leírták, létrejöttének mechanizmusával, fizikai okainak felderítésével a legutóbbi időkig vajmi keveset foglalkoztak, és e vonatkozásban a feltételezett hőháztartási hatótényezők pusztán kvalitatív felsorolása maradt általános. KRATZER (1956) összefoglaló művében a városi légkörnek a szennyeződés miatt fokozott üvegházhatását emeli ki, s emellett jelentős szerepet tulajdonít a városi felszínt alkotó anyagok fizikai tulajdonságainak, a párologtatásra fordított hőmennyiség csökkenésének, valamint a gazdasági tevékenység és a fűtés révén felszabaduló energiának.

A városklímával újabban foglalkozó szerzők általában ugyanezeket a tényezőket sorakoztatják fel, viszonylagos jelentőségük megítélésében azonban — mennyiségi adatok híján — igen eltérő nézeteket vallanak. Az utóbbi években több példát találunk a városi felszín energia-házartási összetevőinek kvantitatív tanulmányozására is, ezek azonban csak *egyes komponensekre* terjednek ki (pl. YAMAMOTO 1958, GARNETT és BACH 1965, DMITRIJEV és BESSZONOV 1969, GOLUBOVA 1969), vagy *rövid* — néhány órányi vagy napnyi — *mérési időszakra* korlátozódnak (pl. TERJUNG 1970, BACH 1970), esetleg *önkéntesen egyszerűsített* s ráadásul csak az év bizonyos napjaira alkalmazott modellekkel kísérleteznek (pl. MYRUP 1969). Márpedig

a városklíma — és általában minden helyi hatásoktól különlegessé tett mezoklíma — létrejötte csak az energia-háztartási alapok ismeretében értelmezhető; a városklíma esetében a probléma érdekességét s egyben bonyolultságát csak fokozza, hogy az energiaforgalom módosításában nemcsak a felszín, hanem a légkör helyi módosulása is közrejátszik.

A sajátos városklíma kialakulása bonyolult kölcsönhatásokon nyugvó mechanizmusának fontosabb összefüggéseit az 1. ábrán foglaltuk össze. Mint látható, a városklíma kialakulásának folyamatában a kiindulópontot



1. ábra. A városklíma kialakulásának modellje

az embernek a város területén összpontosuló termelő tevékenysége jelenti, mely bonyolult, beépített városi felszínt hoz létre, másrészt a felszabadított energián és a levegő szennyezésén keresztül befolyásolja az éghajlatot. A városklíma létrejöttének mechanizmusában központi helyet foglal el a megváltozott energiaforgalom, amely — közvetlenül vagy közvetve — a legtöbb éghajlati elem módosulásának, mindenek előtt a magasabb hőmérséklet, a városi „hősziget” kialakulásának alapja.

A budapesti városklíma energia-háztartási hátterének tisztázását megkönnyíti, hogy hazánk légterének általánosan jellemző éghajlati energiaforgalmáról már részletes számított adatokkal rendelkezünk (BACSÓ 1959), melyeket összehasonlítási alapul felhasználhatunk. Támaszkodhatunk ezen kívül az Országos Meteorológiai Szolgálat munkája keretében végzett sugárzásmérésekre, melyek 1964 óta az ország több pontján — így Pest-lőrincen — a sugárzási egyenleg összetevőinek meghatározására is kiterjedtek.

A városi felszín energia-háztartásának vizsgálatában elsősorban nem a Budapestre jellemző makroklimatikus átlagértékek meghatározása, hanem

a város és a természetes* környezet között mutatkozó eltérés megállapítása a célunk. A felszín energiaforgalmának valamennyi összetevőjében természetesen a városon belül is mutatkoznak eltérések. A továbbiakban városi felszínen mindig Budapest több szintes, zárt beépítéssel jellemezhető, tipikusan városi belterületét értjük, és a mikroklimatikus különbségekkel nem törődve e terület átlagos energia-háztartási viszonyait hasonlítjuk össze a környező természetes felszínnek ugyancsak átlagos viszonyaival.

Kiindulási pontunk a *felszíni energiaegyenlet*, amely azt fejezi ki, hogy hosszabb időtartam leforgása után sem a városi, sem a természetes felszínen energiafelhalmozódás vagy energiavesztés nincs.

Természetes felszínre:

$$S + P_1 + T_1 + L_1 = P_2 + H + T_2 + L_2, \quad (1)$$

ahol S a felszín sugárzási egyenlege, P_1 a felszíni kondenzációból származó (elhanyagolható) hőmennyiség, T_1 a talajból, L_1 a levegőből származó hő; P_2 az elpárolgás, H a hóolvadás, T_2 a talajrétegek, L_2 pedig a felszínnel érintkező légáramlatok által a felszíntől felvett hőmennyiség. Az egyenletet a levegővel folytatott turbulens hőcsere ($L_2 - L_1 = L$) kifejezése céljából átrendezve, P_1 elhagyásával, $(T_2 - T_1)$ -re a T jelölést bevezetve az alábbi összefüggést kapjuk:

$$L = S - P - H - T. \quad (2)$$

A városi felszín energiaforgalmában a sajátos városi energiaforrások (ipari, közlekedési és fűtési üzemanyagfelhasználás, biológiai hő) is szerepet játszanak (E_v), s így ott a (2) összefüggés a következőképpen módosul:

$$L_v = S_v - P_v - H_v - T_v + E_v. \quad (3)$$

A budapesti városi és a környező természetes felszín energiamérlegének különbsége:

$$L_v - L = (S_v - S) + (P - P_v) + (H - H_v) + (T - T_v) + E_v. \quad (4)$$

A továbbiakban a (4) egyenlet valamennyi tagjának értékét *havi bontásban* határozzuk meg.

2. A SUGÁRZÁSI EGYENLEG ÖSSZETEVŐI

A vízszintes felszín sugárzási energiaforgalmát a következő egyenlet írja le:

$$S = R_{s\downarrow} - R_{s\uparrow} + R_{l\downarrow} - R_{l\uparrow}, \quad (5)$$

ahol $R_{s\downarrow}$ a felszínre érkező közvetlen és szórt napsugárzás összege, $R_{s\uparrow} = a \cdot R_{s\downarrow}$ a felszínről visszavert rövidhullámú sugárzás (a az albedót jelenti), $R_{l\downarrow}$ a felszínnek a légköri hosszuhullámú visszasugárzásból szár-

* Nyilvánvaló, hogy Budapest környékén csak viszonylagos értelemben beszélhetünk természetes felszínről, jelezve azt, hogy olyan területről van szó, melyet az emberi tevékenység kevésbé radikálisan formált át, mint a város területét.

mazó energiabevétele, $R_l \uparrow$ pedig a felszín hosszuhullámú sugárzási energia-vesztése. $R_s \downarrow - R_s \uparrow$ a felszín rövidhullámú sugárzási egyenlegét, $R_l \downarrow - R_l \uparrow$ pedig a hosszuhullámú sugárzási egyenlegét adja; a kettőnek az algebrai összege S , a teljes sugárzási egyenleg. A továbbiakban a sugárzási egyenleg összetevőinek alakulását külön-külön vizsgáljuk meg a város hatás mértékének megállapítása végett.

A felszínre érkező *rövidhullámú össz sugárzás* (globálsugárzás) a közvetlen (direkt) napsugárzásból és a szórt égboltsugárzásból tevődik össze. A két komponens közül az előbbit a város felett a megnövekedett felhőzet, illetve a csökkent napfénytartam, valamint a szennyezett légkör kisebb sugárzás átbocsátó képessége — nagyobb fokú homályossága — mérsékli. Mielőtt az össz sugárzás alakulását megvizsgálánk, röviden az arra ható említett tényezőkkel is foglalkoznunk kell.

A) A rövidhullámú össz sugárzás és a vele összefüggő éghajlati elemek

a) Felhőzet és napfénytartam

A városok felett a felhőzet bizonyos fokú megnövekedését a városban termelődő kondenzációs magvak hatása, valamint a városi hőszigetnek a labilis hőmérsékleti rétegződés szempontjából kedvező, a konvektív felhőképződést elősegítő hatása idézheti elő. A felhőzet megnövekedése azonban általában nem olyan mértékű, hogy a szubjektív vizuális észlelési módszerrel megbízhatóan ki lehetne mutatni.

Ezzel magyarázhatók azok az ellentmondásos eredmények, amelyekről KRATZER (1956) számol be: München, Hannover és Köln esetében a felhőzet nagyobb, Nürnberg és több más város esetében azonban kisebbnek tűnik, mint az illető városok környékén. Budapesten RÉTHLY (1938) a város fejlődésével párhuzamosan vizsgálta a felhőzet növekedését, és arra a megfigyelés eredményre jutott, hogy az 1861–80 és 1910–38 időszakok között a borult napok száma évi 72,4-ről 113,3-ra nőtt, a derült napoké pedig 69,5-ről 51,2-re csökkent. A későbbi kutatások (ZÁCH 1960) azonban megmutatták, hogy a látszólagos változás jórészt az észlelési módszerek tökéletesedésével, tehát az észlelési sorozat ahomogenitásával magyarázható, és így a részben levegőszennyeződésre visszavezethető városi borultságnövekedés jóval kisebb mértékű (1–2%-ra tehető). ZÁCH hangsúlyozza, hogy a levegőszennyeződésnek — más éghajlati elemekhez képest — a felhőzetre csupán csekély hatása van.

A napfénytartam szoros összefüggésben van a felhőzettel, s mivel megbízhatóbban mérhető, a városi hatás megállapítására jobb támpontot nyújt.

KRATZER (1956) müncheni városi és városkörnyéki állomások adatai alapján úgy találta, hogy a város főleg nyáron, a déli, kora délutáni órákban, gomolyfelhőképződés idején kap kevesebb napsütést.

A legtöbb városban azonban a sugárzásban amúgyis szegény téli időszakra jut a legnagyobb viszonylagos napfénytartam-hiány. POKROVSKAJA (1957) szerint Leningrád évente 120–160 órával kap kevesebb napsütést, mint környezete; a hiány februárban a legnagyobb arányú, amikor a város-

ban 37 órás, környékén viszont 45–50 órás átlagos napfénytartamot mérnek. Az igen tiszta levegőjű Moszkvában az egyetem (MGÜ) és a várostól távolabb, délnyugatra fekvő Nyebolszin-állomás nyáron csaknem azonos napfénytartamot mér, míg a városi állomás vesztesége a téli félévben 4–6%-os, évi átlagban pedig 27 óra, azaz kevesebb mint 2% (DMITRIJEV és BESSZONOV, 1969). Londonban (CHANDLER 1965) az 1921–50 évek adatai alapján megállapítható, hogy a külső elővárosok öve évi 94,7, a belső, alacsonyabb fekvésű külvárosoké 149,8, a városközpont pedig 268,9 órával (kb. 17%-kal) kapott kevesebb napsütést, mint a vidék. Decemberben és januárban a belvárosban a napfénytartam a vidéki érték felét sem érte el. Az 1956. évi levegőtisztasági törvény (Clean Air Act) nyomán azonban az 1958–67 évtizedben a londoni belvárosban a napfénytartam a legkevesbé napfényes három hónapban (nov.–jan.) kb. 50%-kal nőtt az 1931–60-as átlaghoz képest (JENKINS 1970). A londoni példa mutatja a pozitív és negatív emberi beavatkozás jelentős hatóságát a városi mezoklíma alakításában.

Budapesten három helyről (Kitaibel Pál utca, Szabadság-hegyi Csillagda, pestlőrinci obszervatórium) áll rendelkezésre hosszabb napfénytartam-mérési sorozat. A három állomáson az 1956–65 évtizedben mért napfénytartamot régebbi dolgozatainkban (PROBÁLD 1965, 1967) hasonlítottuk össze. Jelen munkánkban megismételtük a vizsgálatot másfél évtizedre (1955–69) terjedő, hosszabb adatsorral (1. táblázat); az eredmény megerősítette korábbi következtetéseinket.

1. táblázat

Az átlagos napfénytartam Budapest három észlelőhelyén (óra)

A = Pestlőrinc, B = Kitaibel Pál u. C = Szabadság-hegy

Hónap	A	B	B–A	Eltérés A %-ában	C	C–A	Eltérés A %-ában	C–B
Jan.	58,3	55,1	–3,2	–5,5	79,9	21,6	37,2	24,8
Febr.	81,0	77,5	–3,5	–4,3	92,9	11,9	14,7	15,4
Márc.	131,7	129,0	–2,7	–2,1	131,4	–0,3	–0,2	–2,4
Ápr.	188,0	188,4	0,4	0,2	191,7	3,7	2,0	3,3
Máj.	230,2	243,1	12,9	5,6	236,3	6,1	2,7	–6,8
Jún.	259,8	260,1	0,3	0,1	254,9	–4,9	–1,8	–5,2
Júl.	285,3	289,8	4,5	1,6	283,8	–1,5	–0,5	–6,0
Aug.	265,8	267,2	1,4	0,5	268,0	2,2	0,8	0,8
Szept.	214,4	214,5	0,1	0,0	212,8	–1,6	–0,7	–1,7
Okt.	168,1	162,6	–5,5	–3,3	173,0	4,9	2,9	10,4
Nov.	59,1	53,8	–5,3	–9,0	67,9	8,8	14,9	14,1
Dec.	43,2	41,3	–1,9	–4,4	58,3	15,1	35,0	17,0
Év	1984,9	1982,4	–2,5	–0,1	2050,9	66,0	3,3	68,5

Az állomások horizontkorlátozásában mutatkozó eltérés esetleges hatását kiküszöbölendő, az összehasonlítást a napkelte utáni és napnyugta előtti órákzök figyelmen kívül hagyásával is elvégeztük, az így nyert kép azonban lényegében nem különbözött az előbbtől.

2. táblázat

A napfénytartam eltérése a Kitaibel Pál utca és Pestlőrinc között (óra)

(1955–69)

Hónap	Órako							
	4–5	5–6	6–7	7–8	8–9	9–10	10–11	11–12
Jan.					0,0	–0,1	0,2	0,0
Febr.				–0,1	–0,3	0,1	0,0	–0,6
Márc.			–0,3	–0,9	–0,7	–0,3	0,3	–0,6
Ápr.		0,2	–0,2	0,6	0,6	0,8	0,0	0,3
Máj.	0,1	0,6	1,1	1,4	0,9	0,7	1,0	0,0
Jún.	0,1	1,2	0,6	0,7	0,4	0,2	–0,3	–0,6
Júl.	0,0	0,8	0,9	0,5	0,2	0,2	0,0	–0,2
Aug.	–0,1	0,4	0,8	1,2	0,4	0,6	–0,1	–0,4
Szept.		–0,1	0,6	–0,3	0,3	0,5	0,1	0,4
Okt.			–0,1	–0,7	–1,1	–0,5	0,1	0,2
Nov.				0,1	0,0	–0,4	–0,8	–0,1
Dec.					0,3	0,2	0,0	0,0

A Kitaibel Pál utca és Pestlőrinc adatainak összehasonlításából kitűnik, hogy — jöllehet a két állomáson az évi átlagos napfénytartam alig különbözik — a városi állomás a téli félév során összesen 22 órával (= 4,1%-kal) kevesebb napsütésben részesül; a százalékos eltérés novemberben a legnagyobb. A nyári félév során viszont, amikor a levegőszennyeződés számottevően nem befolyásolja a napfénytartamot, a budai városi állomáson a napfényes órák száma kissé magasabb. Ennek oka valószínűleg az — mint arra a felhőzet vizsgálata kapcsán már ZÁCH (1960) rámutatott —, hogy a Budai-hegység közvetlen előtere az ott érvényesülő csekély fönhatás következtében derültebb.

A szabadság-hegyi állomást télen a másik két észlelőhellyel — különösen a Kitaibel Pál utcaival — szemben jóval bőségesebb napfénytartam jellemzi. A többlet Pestlőrinchez viszonyítva novembertől februárig meghaladja a 10%-ot, januárban pedig a 20%-ot is. A nyári hónapokban a hegyvidék kevesebb napsütést kap, a csekély hiány azonban, mint megállapítottuk, csak látszólagos; oka észlelési hibában rejlik.

Az egyes észlelő állomások átlagos *napfénytartamát órako*kre bontva is összehasonlítottuk a különbség napi menetének megállapítása céljából. A Kitaibel Pál u.—Pestlőrinc állomáspár napfénytartamának eltérése (2. táblázat) csak kevés órako

zben haladja meg a havi egy órát. A téli hónapokban a városi állomást egész napon át napfénytartamhiány jellemzi, ez azonban délután nagyobb arányú, mint délelőtt. Bár nyáron — mint láttuk — a Kitaibel Pál utca több napsütést élvez, ez nem vonatkozik a déli órákra; ilyenkor Pestlőrinc kap kissé több napsütést. — Ebben minden bizonnyal a városnak a gomolyfelhő-képződésre gyakorolt serkentő hatása nyilvánul meg.

A Szabadság-hegy télen egész napon át több napfényt kap, mint a két másik állomás; a különbség déltájban a legkisebb, reggel és délután nagyobb. A nyári félév hónapjaiban itt megmutatkozó napfénytartam-hiány

12-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	Összesen	
								óra	%
-0,3	-0,9	-1,0	-1,0	-0,1				-3,2	-5,5
-0,5	0,0	-0,3	-0,8	-1,0				-3,5	-4,3
-0,6	0,2	0,4	0,0	-0,3	0,1			-2,7	-2,1
-0,2	-0,9	-0,1	0,2	0,3	-0,3	-0,9		0,4	0,2
0,6	0,7	1,0	1,3	1,3	1,3	1,2	-0,3	12,9	5,6
-1,0	-0,3	-0,2	0,5	0,5	0,1	-0,5	-1,1	0,3	0,1
-0,2	0,6	0,6	1,0	0,3	0,7	-0,4	-0,5	4,5	1,6
-0,4	0,0	0,3	0,1	0,2	0,1	-1,7		1,4	0,5
0,1	-0,5	0,0	-0,2	-0,6	-0,4	0,2		0,1	0,0
-0,1	0,1	-0,7	-1,0	-1,4	-0,3			-5,5	-3,3
-0,6	-0,6	-0,8	-1,7	-0,4				-5,3	-9,0
-0,5	-0,6	-0,7	-0,6					-1,9	-4,4

szinte kizárólag a hegyi állomás regisztrátumának kora reggeli (5^h–7^h) szakaszában jelentkeznek; hajnali 4^h és 5^h között viszont nyoma sincs. Ez arra vallott, hogy a különbség valamely szisztematikus hiba következménye lehet. Helyszíni szemlénk alkalmával valóban megállapítottuk, hogy az ok a napfénytartammérő elhelyezése; a műszert ugyanis a szélíró oszlopa a kérdéses időben beárnyékolja, és a regisztrátumban kb. negyed-órára tehető kiesést okoz. E hiba számításba vétele után a hegyi állomás napfénytartama nyáron nem különbözne a városi állomásétól, az évi összeg pedig 20–25 órával magasabb lenne.

Érdekes összehasonlítani a Kitaibel Pál utca és a Szabadság-hegy napfénytartama között mutatkozó eltérést a korábbi, hosszabb sorozat alapján számítható eltéréssel (3. táblázat).

3. táblázat

Napfénytartam a Szabadság-hegyen és a Kitaibel Pál utcában (óra)

	Év		Nyári félév (IV–IX)		Téli félév (X–III)	
	1901–50	1955–69	1901–50	1955–69	1901–50	1955–69
	Szabadság-hegy	2024	2051	1449	1448	575	603
Kitaibel Pál u.	1988	1982	1469	1463	519	519
Eltérés	36	69	-20	-15	56	84

Az 1901–50 időszakra megadott törzsértékekhez (Magyarország Égh. Atlasza, Adattár) képest az utóbbi másfél évtizedben a különbség csaknem kétszeresére nőtt a két állomás között, és a növekedés szinte teljes egészében a téli félévre jut. Önként kínálkozó magyarázatot ad a jelenségre a levegőszennyeződés megnövekedése.

A városi hatást jól mutatja a napsütés nélküli napok számának alakulása is a három budapesti állomáson (4. táblázat).

4. táblázat

A napsütés nélküli napok száma Budapesten
(1955–69)

Észlelőhely	Év	Nyári félév (IV–IX)	Téli félév (X–III)
Pestlőrinc	69,2	8,1	61,1
Kitaibel Pál u.	71,3	6,7	64,6
Szabadság-hegy	66,0	7,8	58,2

Említést érdemel még, hogy GAJZÁGÓ (1969) az 1966–68. évi téli hónapok adatait értékelve, jó összefüggést talált Pestlőrinc és a Kitaibel Pál utca napfénytartamának eltérése és a szélirány között. A budai városi állomás délkeleti szektorból fújó és változó irányú szelek idején jóval kevesebb, az északnyugati szektorból (tehát a belvárossal ellentétes irányból) fújó szelek idején lényegesen, 23%-kal több napsütést kapott, mint Pestlőrinc, ahol a városhatás éppen ellenkező módon kapcsolódik a szélirányokhoz.

GAJZÁGÓ bevonta vizsgálataiba a Madách téren 1965 után működtetett napfénytartammérőt is, és azt állapította meg, hogy ez — a horizontkorlátozás korrekciója után is — évi 12%-os (240 órányi) napfénytartam hiányt mutat mind Pestlőrinchez, mind a közeli Kitaibel Pál utcához képest; egyúttal megpróbálta e nagy különbséget magyarázni. Megítélésünk szerint ily nagy különbség mással, mint — talán a regisztrátum kiértékelésével kapcsolatos — szisztematikus hibával nem magyarázható. Erre vall a két városi állomás csekély távolsága is, aminek folytán a felhőzeti kép nagymértékben nem térhet el, továbbá az egyidejű globálsugárzási értékek csaknem azonos — sőt inkább csekély ellentétes irányú eltérésről tanúskodó — jellege a két állomáson, és végül az, hogy az évi menetén kívül a különbség napi menetére is kiterjedő összehasonlító vizsgálatunk szerint a különbség az egyes órákzök között meglehetősen egyenletesen oszlik meg.

b) A légműködés homályossága

A városokban nemcsak a napsütés időtartama csökken, hanem a szennyezett légműködés nagyobb fokú homályossága is gyengíti a közvetlen napsugárzást; e hatás többféle mutató — így a homályossági tényező — tükrében vizsgálható. Az egész spektrumra vonatkozó úgynevezett régi Linke-féle homályossági tényező a valódi szennyezett légműködés és az abszolút tiszta, száraz légműködés extinkciós koefficiensének hányadosa, amely közelítően azt fejezi ki, hogy hány egymásra helyezett abszolút tiszta és száraz légműködés idézné elő ugyanazt a sugárzásgyengítést, mint az adott időpontban a valósgatos atmoszféra.

E homályossági tényező napi és évi járásának megállapítására régebben feldolgoztuk a Nemzetközi Geofizikai Év során Pestlőrincen folytatott sugázmérésekből származó 1957–58. évi adatokat (BARTA és PROBÁLD 1961). Más városok adataival összehasonlítva (5. táblázat) a homályossági tényező pestlőrinci értékei igen nagyoknak mutatkoznak, és így nagyfokú levegőszennyeződésről tanúskodnak annak ellenére, hogy olyan városperemi állomásról van szó, mely csak az északnyugati szektorból fújó szelek idején tükrözi Budapest hatását. Feltűnő az is, hogy az évi menet igen kiegyenlített, mivel a levegőszennyeződés főként télen növeli meg a homályossági tényező ilyenkor különben kisebb értékeit.

5. táblázat

A régi Linke-féle homályossági tényező évszakonkénti átlagértékei különböző városokban

Város, szerző	Tél	Tavaszi	Nyár	Ősz	Év
Pestlőrinc (BARTA és PROBÁLD 1961)	4,0	4,3	4,6	4,0	4,2
London-Kew (GEORGII 1970)	4,1	4,9	5,1	4,5	4,6
Helsinki (GEORGII 1970)	2,2	2,9	3,2	2,4	2,7
Aachen (FOITZIK és HINZPETER 1958)	3,1	3,8	4,0	3,5	3,6
Párizs (FOITZIK és HINZPETER 1958)	3,2	4,2	4,7	3,8	4,0
Tokió (YAMAMOTO 1958)	.	.	.	.	4,3
Osaka (YAMAMOTO 1958)	.	.	.	.	4,5

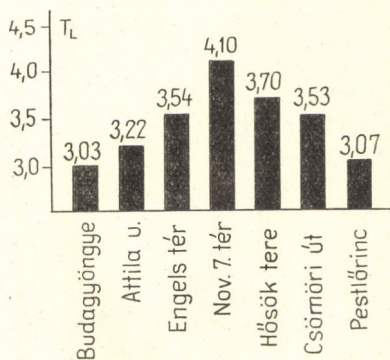
TÁRKÁNYI (1962) a homályossági tényező sokoldalú vizsgálatának keretében kimutatta, hogy Pestlőrincen a délutáni órákban — amikor a napfény a főváros szennyezett levegőjén át érkezik — nagyobb értékek mutatkoznak. Kimutatta azt is, hogy a 300 méteres szinten a belváros felől fújó szelek megnövelik a homályossági tényezőt.

A főváros belterületéről, ahol a légkör homályossága nyilván jóval nagyobb, sajnálatos módon nincsenek a közvetlen sugárzásról és a homályossági tényezőről képet adó mérési adataink. MOLNÁR J. (1965) egyetemi hallgató szakdolgozati munkája során az ELTE Múzeum-körüti épületén 1964. májusában 10 alkalommal végzett közvetlen sugázméréseket Michelson—Marten rendszerű aktinométerrel. Ezek az egyidejűleg végzett pestlőrinci mérések eredményeivel összevetve, szignifikánsan különböző, 1,2 egységgel magasabb homályossági tényező értéket adtak eredményül; messzemenő következtetések levonására azonban nyilván nem alkalmasak.

A homályossági tényező területi eloszlásának mérőutakkal való térképezése következtetni enged arra, hogyan változik helyről helyre a városi levegőszennyeződés hatása különböző időjárási helyzetekben. Ilyen mérőutakat első ízben és nagy alaposággal Bécsben végeztek (STEINHAUSER 1934, STEINHAUSER et al. 1957—59).

1965. december 1-én közép-európai idő szerint 12 ó 48 p és 13 ó 41 p között a homályossági tényező budapesti területi eloszlásának megállapítása céljából mérőutat tettünk Michelson—Marten rendszerű aktinométerrel.

Bár a jelzett időben 4–5 m/s sebességű délnyugati szél fújt, a homályossági tényező értékei jól mutatták a városhatást. A legmagasabb értéket a városközponttól ÉK-re a November 7. téren találtuk, s az több mint egy egységgel túlta felül a tiszta levegőjű peremterületeken észlelt értéket (2. ábra). Sajnos, tudomásunk szerint ez volt eddig az egyetlen sugárzásmérő út a fővárosban, melynek más időjárási helyzetekben való megismétlésére szándékunk ellenére nem nyílt lehetőségünk.



2. ábra. A homályossági tényező értékei Budapesten az 1965. dec. 1-én végzett mérőút alapján

Szűrőkkel végzett sugárzásmérések alapján határozható meg a *Schüeppe-féle B homályossági együttható*, melynek értéke a függőleges légoszlopban levő $0,1 \mu < r < 1,0 \mu$ sugarú aeroszol részecskék számával egyenesen arányos. ZEMPLÉNYINÉ (1963) vizsgálataiból kitűnik, hogy Pestlőrincen a 300 m-es szinten az északnyugati (városi) szektorból fújó szelek idején az összes esetek átlagában kb. 50%-kal, a tiszta, sarkvidéki eredetű légtömegek esetében pedig kb. 70%-kal növekszik meg a Schüeppe-féle homályossági együttható, illetve a függőleges légoszlopban foglalt lebegő aeroszol részecskék száma.

c) Össz-(globál)-sugárzás

Az eddig felsorolt tényezők eredményeképpen a városok kevesebb *közvetlen* sugárzási energiát kapnak környezetüknél. A közvetlen napsugárzásban mutatkozó hiányt GEORGH (1970) általában 10–20%-ra becsüli, míg a *szórt* sugárzásban megnyilvánuló városhatásról csupán annyit jegyez meg, hogy az ennél kisebb mértékű. Moszkvában — melynek sugárzási energiaforgalmát valamennyi nagyváros közül a legrészletesebben tanulmányozták — a városközpont évi átlagban 7–10%-kal kevesebb közvetlen sugárzást, viszont kb. 7%-kal több szórt sugárzást kap, mint a távolabbi környék. Így az *összsugárzás* energiahozamában a város szélfeleli oldala és a környezet között nincs különbség, a központi és keleti negyedek vesztesége pedig nem több 5%-nál.

GOLUBOVA (1969) szerint Kemerovóban ugyancsak a közvetlen nap-sugárzás csökkenését és az égboltsugárzás növekedését észlelték a levegőszennyeződés hatására. Leningrádban viszont az őszsugárzás mindkét eleme egész éven át — különösen télen — csökkent értékeket mutat.

Budapest belterületéről nem rendelkezünk olyan észlelési anyaggal, melyből a városnak a szórt és közvetlen napsugárzásra gyakorolt hatását külön-külön meg lehetne állapítani. Az energia-háztartás szempontjából lényeges *összsugárzásról* azonban már részletesebb információk állnak rendelkezésre.

Fővárosunkban 1936 végétől a Kitaibel Pál utcában (tszf. 130 m) és a szabadság-hegyi Csillagdában (tszf. 474 m) kezdődtek rendszeres sugárzásmérések Robitzsch-piranográfal. A Kitaibel Pál utcai folyamatos észlelési sorozatot, mely világviszonylatban is a leghosszabbak közé tartozik, TAKÁCS (1960, 1965) szigorú kritikai vizsgálatnak vetette alá, és homogenitását megfelelő korrekciók elvégzésével helyreállította. A szabadság-hegyi mérési sorozat folyamatossága azonban több ízben — legutóbb 1965—67 között — hosszabb időre megszakadt.

K. PATAKI M. (1962) a szabadság-hegyi és a Kitaibel Pál utcai mérések 1937—39. és 1959—61. évi összehasonlítható adatsorának elemzésével kimutatta, hogy a két időszak között a városi állomás sugárzási hiánya számottevően megnövekedett, és a különbség napi menete kiegyenlítettebbé vált. A két állomáson mért őszsugárzás között különösen a téli hónapokban, inverziós hőmérsékleti eloszlás esetén nagy az eltérés. Mindez a levegőszennyeződés hatását, illetve annak megnövekedését mutatja.

A szabadság-hegyi és a Kitaibel Pál utcai észlelőhely 1961—64. évi sugárzási adatainak összevetését régebbi munkánk (PROBÁLD 1966) alapján a 6. táblázatban mutatjuk be (az adatokat kerekítettük).

Ha a Kitaibel Pál utcában mért őszsugárzást a 6. táblázattól eltérően a szabadság-hegyi értékekhez viszonyítjuk, az évi összegben 15%, a három téli hónap folyamán 34%-os eltérést kapunk. [Ugyanez az eltérés K. PATAKI M. (1962) szerint 1937/39-ben csak 12, illetve 19% volt.] A táblázat adatai jól tükrözik a város és a Budai-hegység eltérő sugárzáséghajlatát, de a közel 150 m-es szintkülönbség miatt ez a különbség nem tulajdonítható teljes egészében a városi levegőszennyeződésnek. A városi hatás mértékének megállapítására megfelelőbb alapot nyújt belterületi állomások és Pestlőrinc mérési adatainak összehasonlítása.

A főváros szívében, a Madách téren 1966 óta működik Robitzsch-piranográf. A pestlőrinci és a Madách téri, valamint a Kitaibel Pál utcai párhuzamos észlelési sorozat egybevetéséből (7. táblázat) kitűnik, hogy a két városi állomás sugárzásvesztésege — figyelembe véve a műszerrel elérhető pontosságot — nagyjából megegyezik, és évi menete is azonos jellegű.

A két városi észlelőhely közül a Kitaibel Pál utcai jóval hosszabb, a pestlőrincivel 1955 óta párhuzamos sugárzási adatsorral rendelkezik, és 1965-ig terjedő része TAKÁCS (1965) kritikai értékelése szerint „klimatológiaiilag homogén és annyira megbízható, amennyire egyáltalán lehetséges”. Budapest belterülete sugárzási viszonyainak jellemzéséhez ezért a Kitaibel Pál utcai állomás adatait vettük alapul.

A pestlőrinci obszervatóriumban, mely a sugárzásmérő műszerek hitelesítésének hazai központja, a sugárzásmérési anyag összegyűjtése és feldol-

6. táblázat

Az összbesugárzás értékei (kcal/cm²) a Kitaibel Pál utcában és a Szabadság-hegyen (1961–64)

A = Kitaibel Pál u., B = Szabadság-hegy, C = 100 B/A (%)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Év
A	1,8	3,1	6,1	10,1	12,8	14,1	14,6	12,6	9,4	5,4	2,2	1,4	93,6
B	3,0	4,3	7,5	11,7	15,4	15,7	16,3	13,9	10,2	6,4	2,7	2,3	109,4
C	172,5	137,9	123,2	115,9	119,9	111,3	111,7	110,4	108,1	118,4	124,2	162,5	116,9

7. táblázat

A teljes besugárzás átlagos havi és évi középértékei Budapesten (kcal/cm²)*

Észlelőhely	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Év
Pestlőrinc (1955–68)	2,6	4,1	7,7	11,3	14,2	15,3	15,5	13,6	10,0	6,5	2,6	1,9	105,3
Kitaibel u. (1955–68)	2,0	3,4	7,0	10,2	13,2	14,4	14,8	12,9	9,7	5,8	2,0	1,6	97,0
Eltérés %	-23,4	-18,5	-9,2	-10,1	-7,0	-5,5	-4,1	-4,8	-2,4	-11,7	-22,7	-17,8	-7,9
Pestlőrinc (1966–68)	2,7	4,2	8,2	10,9	14,7	15,7	15,9	13,3	9,3	7,0	2,8	2,0	106,7
Madách tér (1966–68)	2,3	3,5	7,9	10,4	13,8	15,3	15,2	12,2	8,8	6,0	2,3	1,7	99,4
Eltérés (%)	-14,4	-15,6	-4,0	-3,7	-6,2	-2,4	-4,6	-7,9	-5,7	-15,2	-18,5	-14,3	-6,7

* A további tizedesjegyeket a táblázatból elhagytuk, mivel az adatok elérhető pontossága így jobban kifejezésre jut. A százalékszámításban és a további műveletekben azonban az elhagyott tizedesjegyeket is figyelembe vettük.

gozása nyilvánvalóan szintén a legnagyobb gondossággal történt. Az ottani sugárzási viszonyok azonban nem mindig reprezentálják a városon kívüli természetes viszonyokat.

A széliránynak a sugárzásmérő állomások adataiban való visszatükröződésére már K. PATAKI M. (1962) rámutatott; GAJZÁGÓ (1968) az 1966–68. évek november, december, január és február hónapjainakösszugesugárzási anyagát elemezve megállapította, hogy az északnyugati szektorból fújó szelek idején — de csakis ebben az esetben — a Kitaibel Pál utca és a Madách tér is több besugárzást kap, mint Pestlőrinc, amely ilyenkor a szennyezett városi levegő hatása alatt áll. A városi állomásokon az északeleti és délkeleti szektorból, tehát a városközpont, illetve az ipari övezet felől fújó szelekkel jár együtt a legnagyobb sugárzásvesztés; ez a Kitaibel Pál utcai állomáson Pestlőrinchez viszonyítva meghaladja a 30%-ot; a Madách téren valamivel kevesebb.

A pestlőrinci sugárzási adatokban tükröződő városhatás mértékének felbecsülésére a szélregisztrátum alapján különválasztottuk az 1966–68. évek azon napjait, amikor Pestlőrincen túlnyomóan város felőli (W, WNW, NW, NNW, N) légáramlás uralkodott. E napokon a Pestlőrincen mértösszugesugárzás a fűtési idényben (november—március) átlagosan 8%-kal maradt el a Kitaibel Pál utcai értéktől, míg a nyári hónapokban nem találunk kimutatható eltérést.* Az említett napok relatív gyakoriságát (33%) figyelembe véve, a téli időszak pestlőrinciösszugesugárzási értékeit 3%-kal növeltük. E helyesbített értékek megítélésünk szerint kielégítő pontossággal reprezentálják a városi hatástól független, természetes éghajlati viszonyokat (8. táblázat).

A város tehát az egész év folyamán kevesebb sugárzást élvez, mint természetes környezete. Viszonylag legnagyobb (20% feletti) a hiány novembertől februárig, amikor a fűtési idény és az időjárási feltételek leginkább kedveznek a levegőszennyeződés felhalmozódásának. A városi levegőszennyeződés azonban nem minden hullámhossz-tartományban csökkenti ugyanolyan mértékben a besugárzást. Bioklimatológiai szempontból különös érdekldésre tart számot az ultraibolya és a látható fény tartományában jelentkező városhatás.

d) Az ultraibolya sugárzás

Régebbi kutatások nyomán eltérő állásfoglalások láttak napvilágot arról, vajon a szennyezett városi légkör az ultraibolya sugárzást ugyanolyan vagy nagyobb mértékben gyengíti, mint azösszugesugárzást (KRATZER 1956). Az eltérések oka a makroklimatikus adottságok és a különböző szerzők által alkalmazott mérési módszerek különbözőségében keresendő. Említést érdemel, hogy Leicesterben télen átlagosan 25% (vasárnaponként azonban csak 20%), nyáron 3%-os sugárzásvesztéséget állapítottak meg az UV-

* Vizsgálatunkban célunknak megfelelőbben, GAJZÁGÓtól eltérő módon határoltuk el a szélirányszektorokat.

3. táblázat

A teljes besugárzás értékei a városban ($R_{sv\uparrow}$) és a városon kívül ($R_{2\uparrow}$) (kcal/cm²)

	I	II	III	IV	V
$R_{sv\downarrow}$	2,0	3,4	7,0	10,2	13,2
$R_{s\downarrow}$	2,7	4,3	7,9	11,3	14,2
$R_{sv\downarrow} - R_{s\downarrow}$	-0,7	-0,9	-0,9	-1,1	-1,0
Eltérés $R_{s\downarrow}$ %-ában	-25,7	-21,0	-11,9	-10,1	-7,0

tartományban a belváros és a vidék között (SHEPPARD 1958). Moszkvában az egyetem (MGU) és a városkörnyéki Nyebolszin állomás között délben a közvetlen ultraibolya sugárzásban nyáron átlagosan 10%, télen több mint 20%, évi középértékben pedig 14% eltérést mutattak ki; ez nagyobb mértékű, mint a teljes napsugárzás-különbség (DMITRIJEV és BESSZONOV 1969). LANDSBERG (1970) az amerikai nagyvárosokban nyáron kb. 5%-ra, télen kb. 30%-ra becsüli az ultraibolya sugárzásvesztéséget.

Budapesten a város több pontján a háztetőszinten 1965. március 1-től 1966. október 31-ig, tehát mindössze 20 hónapos időszakon át folytak ultraibolya sugárzásmérések kvarcüveg színszűrő alatt 24 órára exponált oxálsav-uranil-nitrát fotométeroldattal (GAJZÁGÓ 1967). A mérések napi integrálértékeket adtak relatív egységekben. Az eredmények azt mutatták, hogy télen a Kitaibel Pál utcában 27%, a Madách téren 23%, a Nagyvárad téren 19%-os a veszteség az UV hullámhossz-tartományban Pestlőrinchez viszonyítva. (A Kitaibel Pál utca sugárzásvesztése a horizontkorlátozás figyelembe vétele után kb. 5%-kal kisebbnek adódik.) A többi évszakban nincs számottevő eltérés az egyes állomások között, évi összegben (1965. március—1966. február) pedig a városi állomásokra kb. 3–5%-kal kevesebb UV-sugárzás jut. A csökkenés mértéke tehát nem sokban különbözik az össz sugárzásától, és a szélirány hatását is hasonlóképpen tükrözi.

e) A megvilágítás erőssége

A megvilágítás erősségéről — ami a rövidhullámú össz sugárzás látható hullámhossz-tartományba eső részének függvénye — a mérési módszerek fejlődésével csak újabban — az ötvenes évektől — indult meg a rendszeres adatgyűjtés; ennek gyakorlati jelentősége az energiaellátás, a közvilágítás szempontjából van.

Budapesten 1965-ben kezdtek fényelemes megvilágításmérővel rendszeres észleléseket végezni; a célok között szerepelt a megvilágítás erősségére gyakorolt városi hatás kimutatása is. Az e témakörből megjelent első publikáció (POPOVICSNÉ 1967) a téli félévben a belvárosban és Pestlőrincen észlelhető megvilágítás közötti különbséget tárgyalja. Mivel azonban a belvárosi észlelőhelyen (a Fővárosi Tanács udvarán) a horizontkorlátozás igen számottevő, a közölt adatok számszerűen csak e hely mikroklímájára jellemzők, nem általánosságban a városi mezoklimára.

VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Év
14,4	14,8	12,9	9,7	5,8	2,0	1,6	97,0
15,2	15,5	13,6	9,9	6,5	2,7	2,0	105,8
-0,8	-0,7	-0,7	-0,2	-0,7	-0,7	-0,4	-8,8
-5,5	-4,1	-4,8	-2,4	-11,7	-25,0	-20,3	-8,4

A pestlőrinci észlelések alapján a felhőfajták és a megvilágítás erőssége között összefüggés állapítható meg. A cirrusok a megvilágítást egyáltalán nem mérséklék; a legerősebb csökkenés St, Sc, Ns felhőzetnél (átlagosan 58%) és köd esetén (62%) észlelhető.

1967 óta a Madách téren a háztetőszinten is folytak — napjában egyszer — megvilágításmérések. WALKOVSKY (1971) 250 megfelelően kiválasztott egyidejű észlelés alapján megállapította, hogy a belvárosban nyáron kb. 4%-kal, télen (ide számítva novemberet is) átlagosan kb. 32%-kal gyengébb a megvilágítás, mint Pestlőrincen. Az erősebb szél hatására kimutathatóan csökken a városi levegőszennyeződés, és ezzel a két állomás megvilágítása közötti különbség. Az össz sugárzás azonos értékeihez a belvárosban kisebb luxértékek tartoznak, tehát a látható tartományban a sugárzásvesztés fokozottan megnyilvánul.

B) Az albedó és a visszavert sugárzás

A teljes besugárzás visszaverődő hányadának nagysága a felszín albedójától függ. A város a maga tagoltságánál és eltérő anyagánál fogva másként veri vissza a beérkező sugárzást, mint a természetes felszín.

A városi felszín albedójának meghatározását KASZTROV (1940) elméleti úton kísérte meg. Szerinte a város albedója 30—45%-kal kisebb, mint a felszín egyes összetevői (falak, utak, háztetők) albedójának középértéke, és ez az arány a napmagassággal csekély mértékben változik. Megállapításai arra az esetre vonatkoznak, amikor a városi felszín említett három alkotóelemének albedója csak kevéssé különbözik, és a házak, utak méreteinek arányaira bizonyos megszorító feltételek érvényesek. KASZTROV a város albedójáról nem közölt számszerű adatokat.

Az újabban repülőgépről végzett szórványos albedómérések eredményei (9. táblázat) az egyes városok különböző beépítettsége, és a műszerek, valamint a mérési körülmények eltérése miatt nem adnak számunkra biztos támpontot.

Energiaháztartási vizsgálataink keretében új módon igyekeztünk meghatározni a Budapestéhez hasonló városi felszín albedóját. Az ELTE Meteorológiai Tanszékének erdőhátpusztai obszervatóriumában eredeti építőanyagokból (bazalt útburkoló kiskockakő, városi szennyeződésnek kitett, használt tetőcserép, téglá, semleges színű vakolóanyag) mintegy

9. táblázat

Városi felszín albedója különböző szerzők szerint

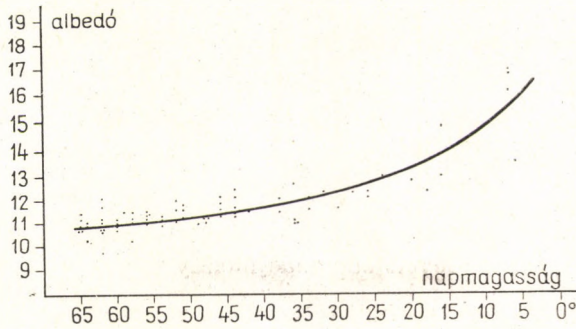
Forrás, évszám	Albedó	Az észlelési körülményekre vonatkozó megjegyzések
SMITHSONIAN Met. Tables (1951)	0,10	—
ROBINSON (1959)	0,12	London, napmagasság 51°
ROBINSON (1959)	0,11	Southend on Sea, borult idő
BARRY és CHAMBERS (1966a)	0,14	Portsmouth, 15 mérés átlaga
BARRY és CHAMBERS (1966b)	0,17	65 angliai mérés alapján; különböző mértékű felhőzet, napmagasság 27° — 55° között
OGUNTOYINBO (1970)	0,12	Ibadan, napmagasság 60° — 83° között

20 m² területű, kör alakú városmodellt építettünk fel (3. ábra). A zárt, tömbös beépítésben elrendezett modellházak arányai kb. háromszintes épületeknek feleltek meg. Az utcák tájolása a városmodell egyes szektoraiban más-más volt, hogy valamennyi fő égtájnak megfelelő irány előforduljon. Az albedóméréseket a városmodell három különböző pontja felett, a talajszintnél 150, a háztetőszintnél 110 cm-rel magasabban elhelyezett Janisevskij-féle piranométerrel végeztük az 1969. évi június—szeptember hónapokban, derült és különböző mértékben felhős napokon, különböző napmagasságok mellett. A csaknem száz, különböző időpontból származó mérési eredmény (4. ábra) alapján megállapítható, hogy a tagolt városi felszín albedója kisebb, mint az egyes összetevők albedójának középértéke. Az adatok aránylag csekély szóródása arra vall, hogy a közvetlen és diffúz sugárzás visszaverődésének mértéke közt nincs jelentékeny különbség.

A továbbiakban DOBOSI (1961, 1967) nyomán az albedót a felszínről visszavert és a felszínre érkező globálsugárzás havi összege hányadosának tekintjük. (Ez a konkrét mérési adatokból megfelelően súlyozott közepe-



3. ábra. Az erdőhátpusztai városmodell



4. ábra. A városi felszín albedójának változása a napmagassággal

léssel származtatható.) Mivel méréseink tanúsága szerint (4. ábra) nagy napmagasság idején az albedó a napállástól függően csak kismértékben változik, a nyári félévben egységes értékkel (0,12) számolhatunk. Októbertől márciusig a város albedója az alacsonyabb napállás miatt kissé nagyobb lehet; e hónapokban azonban a hótakaró hatását is figyelembe kell venni.

A városi felszín elemei közül az utakat csak igen rövid ideig, a falakat pedig soha nem borítja hó. A háztetőket lejtésük miatt fedi rövidebb ideig a hótakaró. A gyors elszennyeződés miatt a városi hó visszaverő képessége igen erősen romlik, tehát a hótakaró korát okvetlenül számításba kell venni.

A különböző korú hófelszínnek előfordulásának gyakoriságát a Kitaibel Pál utcai állomás 1960/61–1969/70. évi észleléseinek feldolgozásával állapítottuk meg (10. táblázat). A hótakarós napokra a város albedóját a következő egyszerűsítő feltételek alapján becsültük: *a*) a hótakaró a város visszaverő felszínének csupán felét borítja; *b*) a friss hófelszín a beeső sugárzás 75%-át, a másnapos hófelszín (amelyre 24 órán belül a legkisebb észlelhető hó csapadék sem hullott) 60%-át, régebbi hófelszín 40%-át veri vissza; *c*) a város albedója az utak, falak és háztetők albedó-középértékének 80%-a.

10. táblázat

Különböző korú hófelszínnek előfordulása (nap) (Bp. Kitaibel Pál u. 1960/61–1969/70)

Hófelszín kora (nap)	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	Összesen
November	9	3	2	2									16
December	70	23	14	6	3	3	3	1	1				124
Január	82	29	19	15	14	10	6	2	2	2	1	1	183
Február	56	13	9	4	3	2	0	2	1				90
Március	29	4	1	1	1	1	1	1	1	1			41
Összesen:	246	72	45	28	21	16	10	6	5	3	1	1	454

Az így nyert városi albedóértékekhez összehasonlítás céljából BORHIDI és DOBOSI (1967) albedóértékeiről állapítottuk meg a Pest környékén elterülő természetes felszínnek közepes sugárzásvisszaverő képességét minden hónapra vonatkozóan (11. táblázat).

A városklíma-kutatásban eddig kellő figyelemre nem méltatott körülmény, hogy a városi felszín albedója csaknem egész éven át jóval kisebb, mint a természetes környezeté. (Kivétel március és november hónap, amikor a természetes felszínen a csupasz, nedves talaj igen alacsony albedója érvényesül.) A város jól tagolt felszíne viszonylag kevés sugárzást ver vissza, éppen ezért az elnyelt sugárzás mennyiségét tekintve nyáron kedvezőbb helyzetben van, mint a vidék; a többi évszakban — különösen télen — viszont csak kevéssel marad el a természetes környezet mögött. *A csekélyebb albedó tehát a besugárzásban mutatkozó hiányt túlnyomó részben ellensúlyozza* (12. táblázat).

C) A hosszúhullámú kisugárzás

A felszín hosszúhullámú kisugárzása a Stefan—Boltzmann-törvény értelmében:

$$R_l \uparrow = \varepsilon \sigma T^4, \quad (1)$$

ahol T a kisugárzó felszín kelvinben mért hőmérséklete, σ konstans, ε pedig az anyagi minőségtől függő együttható, mely a felszín emisszióképességét fejezi ki. A természetes felszín, valamint a városban előforduló különböző építőanyagok emisszióképessége ($\varepsilon = 0,95$) egyaránt közel áll az abszolút fekete testéhez (OLGYAY 1967). A kisugárzásban jelentkező eltérés így a hőmérsékleti különbségre vezethető vissza. Ismeretes (CHANDLER 1962, TAKAHASHI 1964) a városi hőmérsékleti többlet szoros kapcsolata a *beépítés sűrűségével*, ezért a Pestlőrincen és a Madách téren mért hőmérsékletet a város, illetve a természetes környezet viszonyaira jellemzőnek tekinthetjük. Mivel vizsgálataink során megállapítottuk, hogy a terminus-középertékek a város hőtöbbletének jellemzésére nem alkalmasak, ezúttal a termográf regisztrátumok alapján meghatározott valódi napi közepet vettük alapul (13. táblázat).

Ismeretes azonban, hogy a hőmérőházikóban mért hőmérséklet nem mindig felel meg a kisugárzó felszín hőmérsékletének. A Pestlőrincen száraz füves felszín felett mért kisugárzott energiamennyiség napi összegei és a hőmérőházikóban észlelt napi középhőmérséklet között ZEMPLÉNYINÉ és MAJOR GY. állapított meg tapasztalati összefüggést. Az általuk szerkesztett nomogramból kitűnik, hogy a kisugárzás főként a 10°C -nál magasabb középhőmérsékletű napokon tér el a Stefan—Boltzmann-törvénnyel a léghőmérséklet alapján számított értéktől, mivel ilyenkor az aktív felszín a besugárzás hatására melegebb a levegőnél.

Számításainkban a városi felszín kisugárzásának többletét a Stefan—Boltzmann-törvényből kiindulva határoztuk meg, és az említett nomogram alapján — csekély korrekció formájában — azt is figyelembe vettük, hogy

11. táblázat

Az albedó értékei Budapesten (a_p) és környékén (a)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Év
a_p	0,24	0,20	0,16	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,15	0,22	0,13
a	0,46	0,30	0,11	0,15	0,16	0,21	0,18	0,18	0,18	0,15	0,11	0,30	0,18

12. táblázat

A felszínen elnyelt sugárzás értékei Budapesten (A) és környékén (B) (kcal/cm²)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Év
A	1,5	2,7	5,9	8,9	11,7	12,7	13,1	11,4	8,5	5,0	1,7	1,2	84,3
B	1,5	3,0	7,1	9,6	12,0	12,1	12,7	11,1	8,1	5,5	2,4	1,4	86,5
A—B	-0,03	-0,3	-1,2	-0,7	-0,3	+0,6	+0,4	+0,3	+0,4	-0,5	-0,7	-0,2	-2,2
Különbség B %-ában	-1,9	-9,4	-17,0	-7,0	-2,5	+5,3	+2,8	+2,3	+4,8	-9,6	-28,2	-12,2	-2,6

13. táblázat

A havi és évi középhőmérséklet különbsége a Madách tér és Pestlőrinc között (1965—69; °C)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Év
1,6	1,3	1,1	0,9	1,1	1,0	1,3	1,1	1,1	1,1	1,1	1,4	1,2

14. táblázat

A hosszúhullámú kisugárzás Budapesten ($R_{lv\uparrow}$) és környékén ($R_{l\uparrow}$) (kcal/cm²)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Év
$R_{lv\uparrow}$	19,8	18,4	21,9	22,7	25,4	26,1	27,5	26,9	24,4	23,4	21,0	20,4	277,9
$R_{l\uparrow}$	19,4	18,0	21,5	22,4	24,9	25,7	26,9	26,4	24,0	23,0	20,6	20,0	272,8
$R_{lv\uparrow} - R_{l\uparrow}$	0,4	0,4	0,4	0,3	0,5	0,4	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	5,1
Különbség $R_{l\uparrow}$ %-ában	2,2	2,0	1,7	1,4	1,9	1,7	2,2	1,9	1,9	1,8	1,8	2,2	1,9

a léghőmérséklet és a kisugárzás közötti kapcsolatot kifejező regressziós görbe a felszín túlmelegedése miatt magasabb hőmérsékleteken meredekebben emelkedik, mint az (1) egyenlet alapján várható lenne, tehát adott hőmérsékleti különbséghez nagyobb kisugárzási különbség tartozik. A városi és a természetes felszín hőmérsékleti különbségét a levegő hőmérsékletében mutatkozó különbséggel (13. táblázat) jellemeztük, vagyis a kétféle felszínnek a levegőhöz viszonyított túlmelegedését egyenlő mértékűnek tételeztük fel. Megítélésünk szerint a túlmelegedés esetleges eltéréseinek hatása a havi és évi energiaforgalom szempontjából nem lehet számottevő.

Épületek különböző tájolású sötét és világos színű felületeinek hőmérsékletéről OLGYAY (1967) közöl érdekes számított adatokat, melyek New York éghajlati adottságai között július 21-re vonatkoznak. Ha feltételezzük, hogy a városi felszínből vízszintes és függőleges elemek egyenlően részesednek, és az utóbbiak között a különböző égtájba tekintők egyenlő arányban vannak képviselve, akkor a túlmelegedés napi középértéke — attól függően, hogy világos vagy sötét felszínről van szó — mintegy 3,5–5,0 °C-nak adódik. Azonos napi közepes léghőmérséklet esetén a száraz füves felszín túlmelegedésére ZEMPLÉNYINÉ és MAJOR GY. nomogramjából 2,4 °C-os értéket kaptunk. Ha figyelembe vesszük, hogy OLGYAY adatai teljesen derült, sugárzási típusú napra vonatkoznak, a nomogram viszont átlagos időjárású napok adatait reprezentálja, továbbá hogy OLGYAY szabadon álló felületekkel számolt, vagyis a házak egymásra gyakorolt árnyékoló hatása nem tükröződik adataiban, akkor mindez igazolni látszik feltevésünket, hogy a kétféle felszín túlmelegedése a napi, s még inkább a havi középértékekben nyáron, a legerősebb besugárzás időszakában sem tér el számottevően. A kérdést megnyugtatóan a repülőgépről végzett rendszeres sugárzásmérésekkel lehetne lezárni; e módszer szórványos alkalmazása eddig csak egyedi példákat adott, melyekből a városi aktív felszín túlmelegedésének napi és havi középértékére még semmiféle következtetést nem lehet levonni.

Mivel a város egész éven át melegebb a környezeténél, hosszúhullámú kisugárzására is nagyobb értékeket kapunk. Budapest környezetében a kisugárzást a BACSÓ (1959) által közölt adatokkal jellemezzük; ehhez az általunk számított növekményt hozzáadva megkapjuk a városi felszín hosszúhullámú kisugárzását (14. táblázat).

D) A hosszúhullámú visszasugárzás

A városklíma kialakulásával foglalkozó szinte valamennyi fontosabb munka nagy jelentőséget tulajdonít a felszín effektív kisugárzását csökkentő ún. üvegház-hatásnak, vagyis annak, hogy a városi atmoszféra — elsősorban az aeroszolszennyeződés révén — fokozza a légköri hosszúhullámú visszasugárzást. Annál meglepőbb azonban, milyen szegény a szakirodalom a városi felszín hosszúhullámú sugárzási energiaforgalmát mennyiségileg vizsgáló tanulmányokban; a hosszúhullámú egyenleg összetevői — így a légköri visszasugárzás — módosulásának mértékéről úgyszólván semmiféle adattal nem rendelkezünk.

ROBINSON (1950) Kew-ben (London) folytatott mérései során a hosszúhullámú visszasugárzást nagyobbnak találta, mint a szén-dioxid és a vízgőz sugárzása alapján várható érték. A 0–10% között váltakozó többletet ROBINSON részben az aeroszolk hatásának tulajdonította. YAMAMOTO (1958) a homályossági tényezőtől kiindulva elméleti alapon próbálta megállapítani, mennyivel növelik a visszasugárzást az aeroszolk az igen szennyezett levegőjű Osakában; munkája azonban jóformán ismeretlen, és a szakirodalomban visszhang nélkül maradt.

Munkánk során az 1964 óta az ország több pontján — így Pestlőrincen és Kecskeméten — Schultze-féle egyenlegmérővel folytatott mérések eredményeire támaszkodva kíséreltük meg kimutatni a városhatást a hosszúhullámú visszasugárzásban. Erre az a tény ad lehetőséget, hogy az északnyugati szektorból fújó szelek idején Pestlőrinc adatai jelentős mértékben a főváros szennyezett levegőjének hatását türozik.

MÉSZÁROS és MÉSZÁROSNÉ (1965) kimutatta, hogy Pestlőrincen az $r > 0,1 \mu$ sugarú aeroszolk tömegkoncentrációja a fűtési időnyben a város felől fújó szél esetén kb. 5-szöröse a háttérre jellemző értéknek; ez megfelel a sűrűn beépített városcentrum peremén — a Nagyvárad téren — észlelhető átlagos koncentrációnak. A $0,1 \mu < r < 1,0 \mu$ sugarú aeroszolk szempontjából — mint arra ZEMPLÉNYINÉ (1963) a Schüepp-féle homályossági együttható vizsgálatával kapcsolatban rámutatott — a város felől fújó szél esetén kialakuló helyzetet úgy tekinthetjük, mintha Pestlőrinc felett a nagyváros szennyezett levegője helyezkedne el.

A Pestlőrincen mért hosszúhullámú visszasugárzási értékek szélirányok szerinti szétválasztása a városhatás mértékére önmagában mégsem enged következtetni, mert a különböző szélirányokkal különböző légtömegek és felhőzeti viszonyok járnak együtt. Ezért feldolgozásunkba bekapcsoltuk egy olyan, viszonylag közeli állomás — Kecskemét — adatait, ahol semmilyen szélirány esetén sem számíthatunk valamelyest is számottevő városi hatásra. (Kecskeméten az ipari levegőszennyeződés elhanyagolható, és a várostól mintegy 5 km-re levő észlelőhely nyugati horizontján a város csak 30°-os szög alatt látszik.) Kiinduló feltevésünk szerint Pestlőrincen a hosszúhullámú visszasugárzás városi (W, WNW, NW, NNW, N) és nem városi szélirányok idején mért átlagértékeinek *aránya* a megfelelő kecskeméti értékek *arányával* egyeznie, ha városhatás nem jelentkeznék. Az arányok eltéréseiből tehát a városi hatás mértékére következtethetünk. Nyilvánvaló, hogy a levegőszennyeződés a visszasugárzásban főként a *fűtési időnyben* játszhat szerepet. Vizsgálatunkat ezért a november 1-től március 31-ig terjedő időszakra korlátoztuk.

A feldolgozás első lépéseként az 1964–68. évek észlelési anyagából kiválasztottuk, és a szélirányok szerint rendeztük azon 525 derült órákó visszacsugárzási értékeit, amikor *egyidejűleg* mindkét állomás teljes (egy, illetve a három téli hónapban legalább 0,9 óra) napfénytartamot regisztrált. Nagy bizonyossággal állíthatjuk, hogy ezekben az esetekben a két állomáson a felhőzeten kívül a légtömegfajták azonosságának feltétele is teljesült. Ezután a pestlőrinci adatok városi és nem-városi széliránycsoportjából meghatároztuk az egy órára jutó visszacsugárzás átlagértékét (R_{1B_1} , illetve R_{1B_2}). Az egyidejűleg mért kecskeméti adatokból ugyancsak középértéket

számítottunk (R_{IK_1} , illetve R_{IK_2}), majd az arányosság módszerével következtettünk a hosszúhullámú viaszugárzás Pestlőrincen városi szél esetén várható középértékére (R'_{IB_1}).

Ha városhatás nincs, akkor kiinduló feltevésünk ($R_{IB_1}/R_{IB_2} = R_{IK_1}/R_{IK_2}$) értelmében $R_{IB_2} \cdot R_{IK_1}/R_{IK_2} = R'_{IB_1} = R_{IB_1}$. Módszerünk nem tette szükségessé a két különböző műszerrel mért adatok összevetését, az egyes óráértékek meglehetősen nagy véletlen hibáját (vö. MAJOR—ZEMPLÉNYINÉ 1968) pedig a felhasznált adatok nagy száma volt hivatott ellensúlyozni.

Pestlőrincen a derült óráközökre, városi szélirány esetére 222 adatból meghatározott viaszugárzási középérték $R_{IB_1} = 21,14$ gcal/cm² óra, a számított várható érték $R'_{IB_1} = 20,83$ gcal/cm² óra, a kettő között a különbség mindössze 1,5%. A t-próba szerint a $P = 5\%$ valószínűségi szinten legalább 0,54 gcal/cm² óra (= 2,5%) lenne szignifikáns különbségnek tekinthető. Az a tény, hogy a légkör hosszúhullámú viaszugárzásának Pestlőrincen városi szélirány idején mért középértéke és a kiinduló feltevésünk értelmében a kecskeméti arányok alapján számított várható értéke között nincs szignifikáns eltérés, és a két széliránycsoporthoz tartozó pestlőrinci és kecskeméti viaszugárzási középérték-arány jól megegyezik, arra mutat, hogy a városi levegőszennyeződés e sugárzási komponens alakulását nem befolyásolja számottevően.

Felhős és borult időben az aeroszoloknak a viaszugárzásban nyilvánvalóan még jóval csekélyebb szerepet tulajdoníthatunk. Erre vall azon vizsgálatunk eredménye is, amikor a két állomás *valamennyi adatával* — mintegy 21 000 adattal — végeztük el a pestlőrinci szélirányok szerint való szétválasztást és az egyes csoportokban a középérték megállapítását. E vizsgálatról természetesen csupán némi támpontot remélhettünk a városhatás jelentőségének megbecsülésére, hiszen itt — a derült óráközökkel ellentétben — a felhőzetben eltérések fordulhattak elő a két állomás között, és ezek hatásának a hosszúhullámú viaszugárzásban is tükröződni kellett. Az a tény azonban, hogy a városi szelek idején Pestlőrincen az összes óráköz adataiból meghatározott viaszugárzási középérték a kecskeméti arányok alapján várható értéknél nem magasabbnak, hanem 1,3%-kal alacsonyabbnak adódott, megerősíti azt a következtetésünket, hogy az *üvegházhatás* — jóllehet bizonyos különleges időjárási feltételek között nem zárhatjuk ki — *a havi és évi viaszugárzási összegeket csupán elhanyagolható mértékben befolyásolja*, s így azt a város energia-háztartásában nem szükséges tekintetbe vennünk.

A hosszúhullámú viaszugárzás városi hatásra visszavezethető változásának mérése kívánatos lenne néhány éven át Budapest belterületén is egyenlegmérőt működtetni. Egyelőre a viaszugárzás megnövekedésének nagyságrendjét a fűtési idényre az alábbi megfontolások alapján becsülhetjük meg:

a) Budapesten a november—március időszakban 68% az átlagos felhőzet (M. o. Égh. Atlasza, Adattár), a felhőzetnek városi hatásra történő megnövekedése pedig — a napfénytartam-csökkenés (1. táblázat) alapján — az összes óráköz 1,4%-ára jellemző.

b) A derült óráközökben a hosszúhullámú viaszugárzás levegőszennyeződéssel magyarázható növekedése ismertett számításaink szerint 1,5%.

Ez egyébként jól egyezik YAMAMOTO (1958) eredményével, aki Osaka viszonyai között derült időre, évi átlagban a légköri visszasugárzás aeroszoloznak tulajdonítható többletére — merőben más módszerrel — nem egészen 1%-os értéket kapott.

c) Mivel a télen általában jellemző alacsony szintű felhőzet amúgyis abszolút fekete testként sugároz vissza (vö. BOLZ 1949, FLOHN 1970), a téli felhős időközökben a levegőszennyeződéstől a visszasugárzásnak úgyszólván semmiféle növekedését nem várhatjuk.

d) A pestlőrinci mérési anyag feldolgozása során megállapítottuk, hogy a felhőzet a hosszuhullámú visszasugárzást a derült órákzökhöz képest átlagosan 18%-kal fokozza. Ezzel a növekedéssel számolhatunk azokban az órákzökben is, amikor a felhőzet kialakulása városi hatásnak tekinthető (vö. a) pont).

Az a)–d) pontokban részletezett megfontolások alapján a fűtési idényben kb. 0,7%-ra tehető a hosszuhullámú visszasugárzás megnövekedése, az évi összegben pedig 0,3–0,4%-os változással számolhatunk. Az üvegházhatás energiaforgalmi kihatása tehát télen havonta 0,1 kcal/cm² nagyságrendű, az évi összegben pedig nem éri el az 1 kcal/cm²-t sem. Így nem követünk el nagy hibát, ha e hatást figyelmen kívül hagyva, mind a városi, mind a természetes felszínre vonatkozóan az Ångström-féle képlettel számított, DOBOSI (1957) és BACSÓ (1959) által közölt adatokkal jellemezzük a légkör hosszuhullámú visszasugárzását. Ezek az adatok egyébként a Pestlőrincen mért értékekkel jó egyezést mutatnak (15. táblázat).

E) Az összesített sugárzási mérleg

Mivel a városnak mind rövidhullámú, mind pedig hosszuhullámú sugárzási egyenlege negatív irányban tér el a természetes felszínétől, évi összesített sugárzási mérlege is kisebb nyereséggel zárul. A hiány valamennyi évszakra jellemző (16. táblázat).

3. AZ ELPÁROLGÁS ÉS A HÓOLVADÁS ENERGIAIGÉNYE

A felszín sugárzásból származó energiabevételének legfőbb fogyasztója éghajlatunkon az elpárolgás. A természetes és a városi felszín párologtató képessége alapvetően különbözik egymástól. A városban a csapadékvíz gyorsan lefolyik, a nedves talaj és a növényzet pedig igen szűk területre korlátozódik. Budapest öt belső kerületében (V., VI., VII., VIII., IX. kerület) a parkok, temetők az összes terület 7,5%-át foglalják el. Az útmenti fasorok és a házak között, udvarokban néhol fellelhető növényzet, illetve talajfelszín a párologtatás szempontjából legalább ugyanilyen területet képvisel. Csapadékos időjárás esetén a kövezeetről, valamint a háztetőkről is számolhatunk bizonyos mértékű elpárolgással. Az említett sűrűn lakott kerületekben az emberi szervezet által elpárolgott víz (naponta és fejenként kb. 1 liter) négyzetméterenként évi 7,3 liternek, a természetes felszínről elpárolgó vízmennyiség 1,5%-ának felel meg. Az eddi-

giek, valamint irodalmi adatok (MYRUP 1969) figyelembevételével a város belterületén az elpárolgást a természetes felszínről történő elpárolgás 25%-ára, illetve a három téli hónapban a hótakaró hatásával számolva 50%-ára becsüljük. Az elpárolgásra fordított hőmennyiségek havi középértékét a természetes felszínre vonatkozóan BACSÓ (1959) művéből vettük át (17. táblázat).

A *hóolvadáskor* a felszínről elvont hőmennyiség szerepe mind az évi, mind a havi energiamérlegekben jelentéktelen. A budapesti havazásokról készült tanulmány alapján BACSÓ (1959) által közölt adatokat a városi és városkörnyéki viszonyokra egyaránt alkalmazhatjuk, mert a lehulló hőmennyiség feltételezhető csekély különbsége az energiamérlegben csak teljesen elhanyagolható eltérést okozhat (17. táblázat).

4. A FELSZÍN ALATTI ANYAGRÉTEG HŐFORGALMA

A városi és a természetes felszín eltérő hőtani tulajdonságainak számos kutató nagy jelentőséget tulajdonít a városklíma kialakulásában. KAWAMURA (1965) adatai szerint a különféle építőanyagok hőkapacitása 20—30%-kal, hővezető képessége 1,5—2-szer nagyobb a talajénál. Ennek, valamint az épületek nagy felületének következtében a városban a terület-egységre jutó napi hőforgalom jelentősen felülmúlja a természetes talajfelszín hőforgalmát, és ez kétségkívül kifejezésre is jut a hőmérséklet napi járásában. Az évi energiaforgalomban azonban korántsem számolhatunk ilyen jelentékeny eltérésekkel. Az évi hőmérsékletváltozás BACSÓ (1959) szerint kb. 20 méter, WAGNER (1967) szikes talajon végzett mérései szerint 13 méter mélységig terjed. Megítélésünk szerint a Budapestre jellemző viszonylag alacsony házakkal való beépítés esetén az évi hőforgalomban tevékeny réteg teljes hőkapacitása a természetes értéktől csak kevéssé tér el. Az épületek tömegét ugyanis az alapincézés hatása jórészt ellensúlyozza. Figyelembe kell venni azt is, hogy az épületek belső hőmérsékletét mesterségesen közel állandó szinten tartják, ezért az évi hőforgalomban azok tömegének csak kis hányada vehet részt. A felszín alatti anyagréteg hőforgalmában mutatkozó esetleges eltérések amúgyis alig módosítanak az energiamérleget, mert abban az említett összetevő *igen alárendelt szerepet játszik*. Így itt is mind a városra, mind környezetére vonatkozóan elfogadhatjuk BACSÓ (1959) adatait (18. táblázat).

5. A VÁROSI ENERGIAFORRÁSOKBÓL FELSZABADULÓ HŐ

A városklíma kialakításában jelentékeny szerep jut annak a tekintélyes energiamennyiségnek, mely az ember *gazdasági tevékenysége* révén szabadul fel a városokban. A városi energiaforrásokból származó hő külön számbavételét egyrészt az indokolja, hogy e hőmennyiségnek a természetes felszín hőháztartásában nincs megfelelője, másrészt pedig az, hogy igen különböző utakon — esetleg többszörösen átalakulva — jut el végső soron a város légterébe, ahol klimatikus hatását kifejti.

15. táblázat

A felszín által elnyelt hosszúhullámú légköri visszasugárzás havi összegei (kcal/cm²)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Év
$R_{l\downarrow}, R_{l\theta\downarrow}$	16,6	14,8	17,7	18,2	20,4	21,5	22,7	22,0	19,4	19,2	17,8	17,7	228,0

16. táblázat

A felszín sugárzási mérlege Budapesten (S_v) és környékén (S) (kcal/cm²)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Év
S_v	-1,7	-0,9	1,7	4,4	6,7	8,1	8,3	6,5	3,5	0,8	-1,5	-1,5	34,4
S	-1,3	-0,2	3,3	5,4	7,5	7,9	8,5	6,7	3,5	1,7	-0,4	-0,9	41,7
$S_v - S$	-0,4	-0,7	-1,6	-1,0	-0,8	+0,2	-0,2	-0,2	0,0	-0,9	-1,1	-0,6	-7,3

17. táblázat

A párolgásra (P) és hóolvadásra (H) fordított hőmennyiség Budapesten és a város természetes környezetében (kcal/cm²)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Év
P	0,6	0,9	2,1	2,7	3,6	4,2	5,4	4,2	3,0	1,8	0,9	0,6	30,0
P_θ	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,0	0,8	0,5	0,2	0,3	8,0
$P - P_\theta$	0,3	0,5	1,6	2,0	2,7	3,1	4,1	3,2	2,2	1,3	0,7	0,3	22,0
H, H_θ	0,1	0,1	0,1	—	—	—	—	—	—	—	0,1	0,1	0,5

18. táblázat

A felszín energiaforgalmából a felszín alatti anyagréteg energiataralmának megváltoztatására fordított rész (kcal/cm²)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Év
T, T_θ	-0,4	-0,4	-0,2	0,0	+0,3	+0,4	+0,4	+0,4	+0,2	0,0	-0,3	-0,4	0,0

A városokban eltüzelt energiahordozók éghajlati hatására London példáján már HOWARD (1820), majd EATON (1877) rámutatott. A kérdés első részletes vizsgálata és a városi energiáknak a természetes hőháztartás összetevőivel való nagyságrendi összehasonlítása W. SCHMIDT (1917) nevéhez fűződik. Újabb, hasonlóan beható elemzésre azonban a legutóbbi évtizedig egyetlen város esetében sem került sor, és például KRATZER (1956), bár a városklíma e tényezőjének jelentőségét hangsúlyozta, jobbra csak hézagos felvételen alapuló és évtizedekkel elavult adatokra hivatkozhatott. A legújabb, nagy lélegzetű városklíma-monográfiák (például POKROVSKAJA 1957, STEINHAUSER et al. 1958–59., ERIKSEN 1964, CHANDLER 1965, DMITRIJEV és BESSZONOV 1969), a tárgyalt városok klímájának energia-háztartási alapjait igen hézagosan — csak egyes összetevőket érintve — világítják meg, és a sajátos városi energiaforrások kvantitatív vizsgálatának teljes hiánya jellemző rájuk, bár azok éghajlati szerepét a kutatók túlnyomó többsége nem tagadja (vö. ARAKAWA 1968). A feltűnő jelenség oka valószínűleg az, hogy a városi energiefelzabáló folyamatok vizsgálata bonyolult, szerteágazó feladat, mely a szokásos klimatológiai módszerektől merőben eltérő gazdaságföldrajzi adatgyűjtést igényel.

Az utóbbi idők városklimatológiai szakirodalmában elsőként vetettük fel korábbi munkáinkban (PROBÁLD 1963, 1965) a városi energiefelzabáló folyamatok kvantitatív vizsgálatának jelentőségét, és egyúttal az 1960. évi adatok alapján Budapest beépített területének cm^2 -ére átszámítva is közöltük a különböző energiahordozókból származó havi és évi hőmennyiségeket. Részben e munkánktól ösztönözve végezte el KRAUJALIS (1971) Lengyelország valamennyi városára a mesterséges eredetű hőmennyiségek meghatározását és területi eloszlásának térképezését, ami a Lengyelország éghajlati energia-háztartásának teljes feltárására irányuló munka keretébe illeszkedik. A legutóbbi évek angolszász szakirodalmában szintén felbukkantak a kérdéssel részletes adatfeldolgozás alapján foglalkozó közlemények (GARNETT és BACH 1965, BACH 1970).

A gazdasági élet fejlődése folytán az eltüzelt fűtőanyagok mennyisége — és ezzel a városklímára gyakorolt hatása — igen gyorsan növekszik.

19. táblázat

A főváros energiahordozó-felhasználásának szerkezeti átalakulása (10^{12} kcal)

Fogyasztók	Energiahordozók					Összesen
	Gáz	Folyékony	Koksz	Fa	Szénbrikett	
Kommunális int. és lakások	1,25	0,55	0,41	0,50	3,99	6,70
Ipar	1,65	3,30	0,60	0,07	8,78	14,40
Egyéb (erőművek stb.)	0,50	0,97	0,45	0,40	7,58	9,90
Közlekedés	—	2,10	—	—	0,90	3,00
1965-ben összesen	3,40	6,92	1,46	0,97	21,25	34,00
Kommunális int. és lakások	6,52	0,55	0,42	0,50	0,16	8,15
Ipar	12,29	3,60	0,60	0,07	1,44	18,00
Egyéb (erőművek stb.)	8,19	2,55	0,64	0,40	1,77	13,55
Közlekedés	—	5,30	—	—	—	5,30
1980-ban összesen (terv)	27,00	12,00	1,66	0,97	3,37	45,00

Budapesten a különböző energiahordozók felhasználásának alakulását GULÁCSY és MÓRIK (1963) a levegőszennyeződésben várható következmények szempontjából vizsgálta, megadva a főváros energiafogyasztásának 1960. évi valóságos és 1970. évi tervezési adatait. Utóbbiaknak az összes energiamennyiséget illető realitását igazolták a Fővárosi Tanács által Budapest távlati fejlesztési tervével kapcsolatban közzétett újabb adatok (19. táblázat). Ezek az országos hálózatból származó, de Budapesten elfogyasztott több mint 3 md kwó elektromos áramot nem tartalmazzák; számításainkban azonban ezt is figyelembe vettük.

A fenti források alapján megállapítható, hogy 1960 és 1970 között Budapest energiafelhasználása több mint másfélszeresére növekedett. 1970-ben a főváros területén gazdasági (ipari és közlekedési) célra $32,9 \cdot 10^{12}$, fűtési célra pedig $7,4 \cdot 10^{12}$ kcal-nak megfelelő energiahordozó felhasználásával számolhatunk.* Összehasonlításként: a 11,4 millió lakosú New York energiafogyasztása a 60-as évek közepén $280 \cdot 10^{12}$ kcal (BORNSTEIN 1968), az 1,3 millió lakosú Varsóé pedig 1970-ben $16 \cdot 10^{12}$ kcal (KRAUJALIS 1971).

A sűrűn lakott városban nem elhanyagolható az emberi szervezet anyagcsere-folyamatai során termelődő *biológiai hő* sem. Fejenként kb. 3000 kcal napi ételmiszerfogyasztásból kiindulva, és a víz elpárologtatására fordított napi 600 kcal hőmennyiséget leszámítva, a főváros 2 millió lakosa által a környezetnek átadott biológiai hőre $1,75 \cdot 10^{12}$ kcal/év értéket kapunk.

Mivel ezúttal nem a közigazgatási határok által közrefogott egész terület, hanem a belső városrész (V., VI., VII., VIII., IX. kerület) hőháztartási viszonyait vizsgáljuk, a fenti adatokat is erre a területre kell átszámítanunk. A gazdasági – főként ipari – célra felhasznált energiamennyiséget az említett területek üzemének munkáslétszáma, a fűtési és a biológiai hőt pedig a lakosság szám alapján vonatkoztattuk vizsgálati területünkre; ez a főváros területének 5%-át ($26,6 \text{ km}^2$) képviseli, s annak lakosságából 27%-kal (Budapest Statisztikai Évkönyve, 1970), ipari munkáslétszámából (BENCZE 1963) 18,2%-kal részesedik. A fűtésből származó hőmennyiséget a BACSÓ (1960) által $20/10^\circ\text{C}$ kikötéssel számított *hőfokhid* arányában osztottuk meg az egyes hónapok között. Az 1 cm^2 -re számított havi és évi kalóriaértékekből (20. táblázat) kitűnik, hogy a *városi energiaforrások szerepe a sűrűn beépített városrészek hőháztartásában különösen számottevő.*

20. táblázat

A városi energiaforrásokból származó hőmennyiség Budapest belső területén (kcal/cm²)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Év
E_v	3,7	3,4	3,1	2,3	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,4	3,2	3,6	31,7

* A Budapesten felhasznált energiahordozók fűtőértékét PINTÉR és HOLLÓ (1968) adatai alapján vettük számításba. A tökéletlen égésből eredő veszteség háztartási tüzelőberendezésekben 4–12% (vö. KASZÓ et al. 1962), az ipari célokra felhasznált szilárd energiahordozóknál kb. 5% (vö. KRAUJALIS 1971), a folyékonyknál és gázneműeknél pedig teljesen elhanyagolható. Mivel így a tökéletlen égésből származó veszteség kisebb, mint az energiafelhasználás egy év alatt bekövetkező növekedése, külön figyelembevételét nem tartjuk szükségesnek.

6. A FELSZÍN ÉS A LEVEGŐ KÖZÖTTI TURBULENS HŐCSERE ENERGIAFORGALMA

Miután az 1. pontban a (2) és (3) egyenlet jobb oldalán álló valamennyi hőháztartási komponens értékét ismerjük, módunkban áll meghatározni a felszín és a levegő között végbemenő turbulens hőcsere energiaforgalmát is. A természetes felszín a nyári félévben hőt ad át a levegőnek, a téli félévben pedig hőt vesz fel a levegőből. A városi felszín és a levegő hőforgalma viszont az előbbi számára minden hónapban veszteséggel, az utóbbi számára pedig nyereséggel zárul; *a város tehát a turbulens hőcsere révén egész éven át fokozottan melegíti a felette elhelyezkedő légrétegeket* (21. táblázat).

A város egységnyi területéről az év folyamán több mint ötször nagyobb hőmennyiség kerül a levegőbe, mint a környező természetes felszín megfelelő területéről. A turbulens hőforgalom eltéréseinek maximuma nyáron, másodmaximuma januárban mutatkozik; a két csúcserték más-más okokra vezethető vissza. A város a levegőnek átadott többlethőre nyáron főként az elpárolgás hiányából, télen pedig a városi energiaforrásokból tesz szert (22. táblázat).

Budapest városi felszíne és a természetes környezet hőháztartási összetevőinek eltérését a 22. táblázatban foglaltuk össze. Látható, hogy a különbségek, melyek a levegővel folytatott turbulens hőcsere értékeiben csúcsosodnak, főként a párolgásra fordított hőmennyiség eltéréseiből és a városi energiaforrások hatásából erednek. A sugárzási mérleg eltérése kismértékű, pedig egyes összetevőit — mint láttuk — számottevően befolyásolja a város jelenléte. Az üvegházhatást és — évi szinten — a felszínalkotó anyag hőtani tulajdonságait vizsgálódásunk eredményeképpen ki- rekeszthetjük a városklíma kialakításában lényeges szerepet játszó hőháztartási tényezők köréből.

7. ENERGIA- ÉS ANYAGFORGALOM ÖSSZEFÜGGÉSE

A városi és a természetes felszín energiaforgalmának nagyfokú eltérése, illetőleg a levegőnek átadott jelentékeny többlethő azért nem okoz nagyobb eltérést a léghőmérsékletben, mert az energiaforgalom módosulása viszonylag kis területre korlátozódik, s így a vízszintes és függőleges *légmozgások* elszállítják a helyi többlethőt.* Szélsendes időjárásakor — mint arra még visszatérünk — az ilyenkor intenzívebbé váló városi hősziget maga is elő-

* A városi többlethő elszállításában elméletileg számításba jöhet egy másik anyagforgalmi tényező, a víz szerepe is. Feltételezhető ugyanis, hogy a vizsgált városi területet elhagyó (a Dunába ömlő) szennyvíz hőmérséklete magasabb, mint az e területre belépő vízvezetéki vizé. A Budapest által fogyasztott évi 250 millió m³ víz 1 °C-kal való felmelegedése a főváros teljes közigazgatási területének (525 km²) egy négyzetcentiméteréről 0,048 kcal/év hőmennyiséget vonna el. Még ha a víz 4–5 °C-os felmelegedését tételezzük is fel, az ez úton távozó hőmennyiség a fővárosnak az energiaforgalom szempontjából általunk vizsgált belső kerületeiben akkor is legfeljebb az 1 kcal/cm² év, illetve 0,1 kcal/cm² hónap nagyságrendet közelítheti meg, és így mindenképpen eltérül a levegőnek átadott hő mellett.

21. táblázat

A turbulens hőcsere során a levegőnek átadott (+), illetve a felszín által a levegőből felvett (-) hőmennyiség a városban (L_v) és környezetében (L) (kcal/cm²)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Év
L_v	2,0	2,4	4,4	6,0	7,5	8,6	9,6	7,1	4,5	2,7	1,7	2,1	57,6
L	-1,6	-0,8	1,3	2,7	3,6	3,3	2,7	2,1	0,3	-0,1	-1,1	-1,2	11,2
L_v-L	3,6	3,2	3,1	3,3	3,9	5,3	5,9	5,0	4,2	2,8	2,8	3,3	46,4

22. táblázat

A városi és természetes felszín energia-háztartásának eltérései (kcal/cm²)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Év
S_v-S	-0,4	-0,7	-1,6	-1,0	-0,8	0,2	-0,2	-0,2	0,0	-0,9	-1,1	-0,6	-7,3
E_v	3,7	3,4	3,1	2,3	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,4	3,2	3,6	31,7
$P-P_v$	0,3	0,5	1,6	2,0	2,7	3,1	4,1	3,2	2,2	1,3	0,7	0,3	22,0
L_v-L	3,6	3,2	3,1	3,3	3,9	5,3	5,9	5,0	4,2	2,8	2,8	3,3	46,4

idéz olyan helyi szélrendszert, mely a hőmérsékleti különbségek éleződésének határt szab. Általában azonban nem e sajátosan mezoklimatikus szélrendszer, hanem a *makroklima légáramlási viszonyai* azok, melyeknek napi és évi járása az energiaforgalom változásával együtt a város és környezete között kialakuló hőmérsékleti eltérés mértékét megszabja.

A Budapesten észlelt évi átlagos szélesebbségből (kb. 3 m/sec), valamint a fővárosnak az energiaforgalom szempontjából vizsgált sűrűn beépített része átmérőjéből (kb. 6 km) kiszámítható, hogy a város felszínközeli légtérében a levegő évente kb. 16 000-szer cserélődik ki. A levegőnek átadott többlethő ilyen körülmények között átlagosan kb. 80–85 m vastag ságú légréteg hőmérsékletének 1,2 °C-kal való emeléséhez elegendő.

Ez összhangban van SEKIGUTI (1970) megállapításával, amely szerint a városi hősziget magassága a város nagyságától függően kb. 3–5-szörösen múlja felül a házak átlagos magasságát (Tokióban például 100–150 m, New Yorkban kb. 300 m, angol városokban 50–150 m magasságban észlelték a hőmérséklet kiegyenlítődését).

Budapesten a belváros feletti hőmérséklet vertikális eloszlásáról nincsenek adataink, s így az energiaforgalom évi alakulását a levegő hőmérsékletének alakulásával közvetlenül nem hozhatjuk párhuzamba. Az a tény, hogy Budapesten a városi hőmérsékleti többlet fő csúcserőteke télen — a turbulens hőcsere révén a levegőbe jutó többlethő másodmaximuma idején — jelentkezik, véleményünk szerint azzal magyarázható, hogy nyáron a konvektív átkeveredés jóval vastagabb rétegre terjed ki, másrészt az átlagos szélesebbség kissé felülmúlja a téli értékeket; emiatt a város hőhatása nyáron nagyobb levegőtömegben oszlik el. Az energia- és anyagforgalom együttes hatásával magyarázható, hogy az európai városok egy részében (például London, Lyon, Bonn) nyáron, más helyeken (például München, Budapest, számos észak- és kelet-európai város) télen mutatkozik a legnagyobb eltérés a város és környékének hőmérséklete között, néhol pedig (például Bécs, Kiel) a hőmérsékleti különbség alig mutat évi menetet (KRATZER 1956, CHANDLER 1965, 1970).

III. AZ ÉGHAJLATI ELEMÉK ÉRTÉKEINEK TERÜLETI ELOSZLÁSA BUDAPESTEN

*„Fejtegetéseink során a nagyvárost hol vulkánhoz,
hol kisebb sivataghoz vagy erdőséghez hasonlítottuk;
klímatis hatásai mindezekkel a természetes tájjelemek-
kel mutatnak közös vonásokat.”*

P. A. KRATZER (1956)

I. A HŐMÉRÉSKLET

A) A városi hősziget általános jellemvonásai

A városi és a természetes felszín energia-háztartásának egymástól való eltérése azt eredményezi, hogy a városokban magasabb a hőmérséklet, mint környékükön. A jelenséget mérésekkel először Londonban állapították meg (HOWARD 1820), majd — különösen az utóbbi évtizedekben — sok városban igen behatóan tanulmányozták. Sűrű városi észlelőhálózat mérési eredményeinek feldolgozásán kívül a W. SCHMIDT (1930) által kezdeményezett mérőutak is hasznos információkat szolgáltatottak számos város hőszigetének alakulásáról különféle időjárási helyzetekben. Különböző városok mezoklimatikus hőmérsékleti sajátosságainak vizsgálatából több általánosan jellemző vonás rajzolódott ki; ezeket röviden az alábbiakban foglalhatjuk össze:

a) A nagyvárosok évi középhőmérséklete általában 0,5—1,0 °C-kal magasabb, mint a környezetüké (LANDSBERG 1970). A különbség évi menete helyről-helyre igen különböző. A hőmérséklet napi menetében a legnagyobb eltérés az éjszakai órákban, a legkisebb a délelőtti folyamán állapítható meg. A reggeli és délelőtti órákban a város hidegebb is lehet, mint vidéke.

b) A hőmérsékleti viszonyok legszorosabb összefüggésben vannak a lakóház-sűrűséggel; ennek megfelelően a hőszigetet határoló izotermák a beépített terület peremén sűrűsödnek, míg a város belsejében a horizontális hőmérsékleti gradiens értéke ismét kicsiny (CHANDLER 1962, 1967; ARAKAWA 1968). Japán városokban kimutatták, hogy 10%-kal sűrűbb beépítésnek csendes, derült időben 0,2—0,4 °C hőmérsékletnövekedés felel meg (TAKAHASHI 1964). Az észlelőhelyet körülvevő 500 m sugarú terület beépítettsége és az éjszakai hősziget intenzitása közötti szoros összefüggést CHANDLER (1970) szerint 0,9-nél nagyobb korrelációs együttható jellemzi. A hősziget magassága — mint arra már utaltunk — az épületek magasságával mutat kapcsolatot. A közvetlen város feletti légtérre — mint azt pl. a tokiói TV-toronyban 250 m magasságig folytatott mérések (ARAKAWA és TSUTSUMI 1967) mutatták — a függőleges hőmérsékleti gradiens magas értéke és az intenzív átkeveredés jellemző.

c) A városok nagysága és a hősziget intenzitása közötti kapcsolatot szintén sokan vizsgálták. DUCKWORTH és SANDBERG (1954) három különböző nagyságú kaliforniai város hőmérsékleti viszonyainak tanulmányozása alapján megállapította, hogy bár a kisebb városok peremén a vízszintes

irányú hőmérsékleti gradiens értéke magasabb, hőszigetük területe és a hőmérsékleti különbség mértéke elmarad a nagyvárosokétól. Kimutatható az is (OKE és HANELL, 1970), hogy a nagyobb lélekszámú és területű városok hőszigete csak nagyobb szélesebbég hatására szűnik meg.

A városok növekedésével tehát fokozódnia kell a helyi hőmérsékleti többletnek is. FUKUI (1964) szerint Tokió lakossága 1900 és 1940 között 1,5 millióról 6,78 millióra nőtt; az évi középhőmérséklet 1°C -kal lett magasabb, míg a lassan fejlődő vidéki városoké alig $0,1-0,2^{\circ}\text{C}$ -kal emelkedett. FUKUI arra az eredményre jut, hogy a városok hőmérsékleti többlete kb. lélekszámuk négyzetgyökével arányosan fokozódik. (Szerintünk az energia- és anyagforgalommal való összefüggés alapján logikusabbnak látszik a városok átmérője és hőmérséklete közötti arányosságról beszélni.) Párizsban DETTWILLER (1970) vizsgálatai szerint mind a város légtérének, mind a mély talajszinteknek a hőmérséklete az utóbbi 70–80 évben több mint 1°C -os olyan növekedést mutat, mely vidéki észlelőhelyeken nem állapítható meg. Hosszú észlelési sorozatok vizsgálatából számos más város esetében is hasonló következtetések adódtak (KRATZER 1956; KAYANE 1964 stb.). Érdekes, hogy újabban DRONIA (1967) éppen e tényre alapozva kísérlete meg kétségbe vonni a századunk közepéig észlelt világméretű felmelegedés realitását, miután a városi és nem városi állomáspárok hosszú hőmérsékleti sorozatából kimutatta, hogy a hőmérséklet emelkedése általában csak a városokra jellemző.

d) A városok hőmérsékleti többlete és az időjárási tényezők kapcsolatáról ugyancsak sok részfeldolgozás látott napvilágot. A beépítés jellegével való szoros összefüggés az oka, hogy a hőmérséklet területi eloszlása általában azonos képet mutat, csupán a különbségek mértéke változik lényegesen (pl. STEINHAUSER et al. 1957–59). A széliránynak megfelelően a hősziget központja kisebb-nagyobb mértékben eltolódhat (pl. KAWAMURA 1964). A hőmérsékleti különbség és az összes számbajöhető időjárási elem közötti kvantitatív összefüggést Uppsalában SUNDBORG (1951), Bonnban EMONDS (1954) vizsgálta nagy részletességgel. A város és környéke közötti hőmérsékleti különbséget az erősebb szél és a felhőzet csökkenti; hazánkban ezt BERÉNYI (1930, 1948) Debrecen példáján igazolta.

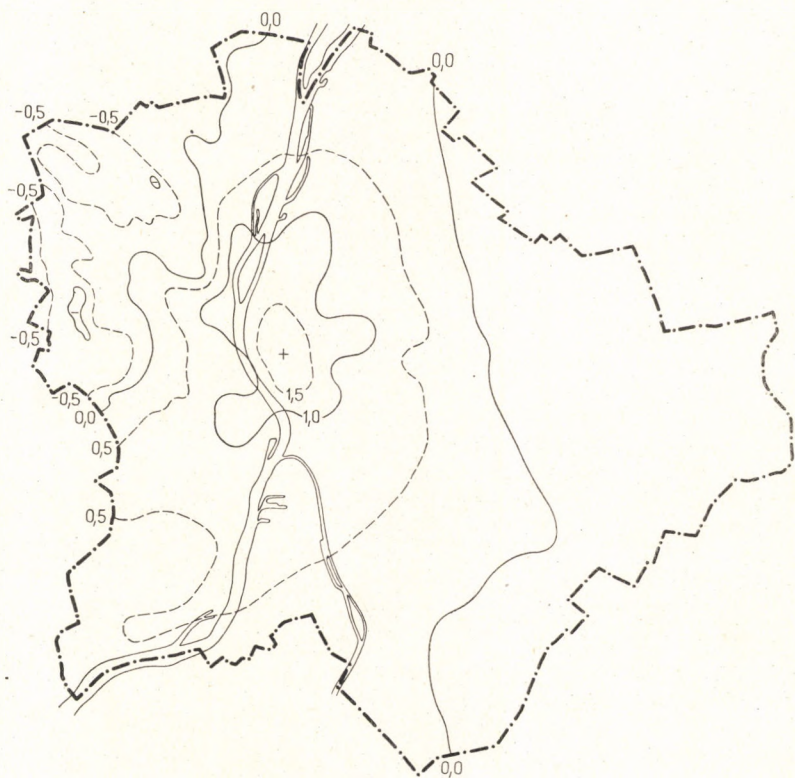
B) A havi és évi középhőmérséklet területi eloszlása Budapesten

Budapesten a hőmérséklet területi eloszlásának képét a domborzat, és a beépítés jellegével szoros kapcsolatban álló városi hősziget szabja meg. Mindkét tényező hatása hónapról hónapra is változásokat mutat; erre vonatkozóan már RÉTHLY (1947) művében találunk példát, aki a Fő utca és Kőbánya havi középhőmérsékletének összehasonlításával mutatta meg, hogy a város melegítő hatása *télen* erősebb, a Krisztinaváros és a Szabadság-hegy adatainak tükrében pedig a hőmérsékletnek a magassággal való csökkenését, illetve annak évi járását világította meg. BACSÓ (1958) Budapest éghajlatával foglalkozó művében térképeket közölt a januári és júliusi hőmérséklet-eloszlásról fővárosunk területén; e térképeken mindkét említett tényező hatása jól kirajzolódik. A térképek szerkesztésének alapjául

szolgáló állomásokra, illetve mérési időszakra vonatkozóan a műben nincs utalás.

A térképes ábrázolás mind a hőmérsékleti különbségek jellegének, mind azok alakulásának szemléltetésére igen alkalmas eszköz. Az 5–17. ábrákon minden egyes hónapra és az egész évre vonatkozóan bemutatjuk az átlagos középhőmérséklet eloszlásának képét fővárosunk területén. A térképsorozat szerkesztésének alapjául a Budapesten működő, illetve működött 17 észlelő-állomás adatai szolgáltak; valamennyi állomás adatait egységesen az 1954-től 1968-ig terjedő másfél évtizedes időszakra vonatkoztattuk (23. táblázat).

Az izotermák vonalának kijelölésekor figyelembe vettük a domborzat, illetve a tengerszint feletti magasság szerepét, és a kialakuló képet a méretarány szabta keretek között finomítottuk azoknak a mérőutakból és saját méréseinkből származó adatoknak az ismeretében, melyekre a városi hőmérsékleti különbség napi menetével kapcsolatban térünk ki részletesebben. Mivel célunk a hőmérséklet területi különbségeinek bemutatása oly módon, hogy a domborzat és a város hatásának havonkénti változásai összehasonlítható formában rajzolódjanak ki, a térképeken a mindkét



5. ábra. A januári középhőmérséklet területi eloszlása Budapesten (1954–68). Pestlőrincen áthaladó izoterma, $t_0 = -2,5\text{ }^\circ\text{C}$

23. táblázat

Az átlagos havi középhőmérséklet budapesti állomásokon (1954–68; a 7, 14 és 21 órai észlelési terminusok alapján)

Állomás	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Év
Kitaibel Pál u.	-1,5	0,8	5,7	11,8	16,4	20,3	21,6	21,0	17,2	11,7	6,1	1,5	11,0
Pestlőrinc	-2,5	0,0	4,9	11,3	16,0	20,0	21,3	20,6	16,9	11,4	5,5	0,8	10,5
Madách tér	-1,0	1,3	6,0	12,1	16,9	20,8	22,2	21,4	18,0	12,5	6,6	2,1	11,6
Szabadság-hegy	-3,5	-1,5	3,0	9,2	13,7	17,6	19,1	18,6	15,3	10,1	3,7	-0,8	8,7
Nagytétény	-2,1	0,2	5,1	11,4	16,2	20,2	21,3	20,7	17,0	11,4	5,7	1,1	10,7
Soroksár	-2,4	0,1	4,9	11,4	16,1	20,2	21,4	20,8	16,9	11,3	5,7	0,8	10,6
Csepel-Királyerdő	-2,3	-0,2	5,1	11,6	16,3	20,2	21,4	21,0	17,0	11,4	5,6	0,8	10,6
Pestimre	-2,6	0,0	5,0	11,5	16,3	20,3	21,4	20,7	16,6	11,1	5,5	0,8	10,5
Posta (Népstadion út)	-1,5	0,9	5,7	11,9	16,8	20,8	22,0	21,3	17,6	11,9	6,3	1,6	11,3
Rákospalota	-2,2	0,0	4,9	11,3	15,9	19,9	21,2	20,3	16,5	10,9	5,5	0,8	10,4
Margitsziget	-1,6	0,2	5,2	11,1	15,6	19,2	20,5	19,8	16,3	11,1	5,8	1,1	10,4
Herman Ottó u.	-1,8	0,2	5,2	11,3	15,7	19,7	20,8	20,4	16,6	11,2	5,8	1,1	10,5
Ady-liget	-3,1	-0,7	3,9	10,1	14,8	18,6	20,0	19,3	15,6	10,4	4,4	0,0	9,5
Pesthidégekút	-3,1	-0,8	4,0	10,2	14,8	18,6	19,8	19,2	15,5	10,3	4,7	0,0	9,4
Budaörs-Kamaraerdő	-1,9	0,3	5,1	11,2	16,0	19,8	21,1	20,6	17,0	11,8	5,7	0,9	10,6
Gellérthegy													
(Kertészeti Fi.)	-1,5	0,8	5,8	12,0	16,6	20,5	21,9	21,4	17,7	12,2	6,1	0,8	11,2
Krisztinaváros*	-2,2	0,0	4,8	11,2	16,2	20,1	21,4	20,4	16,3	10,5	5,3	0,6	10,4

* Nem szabványos felállítású állomás.

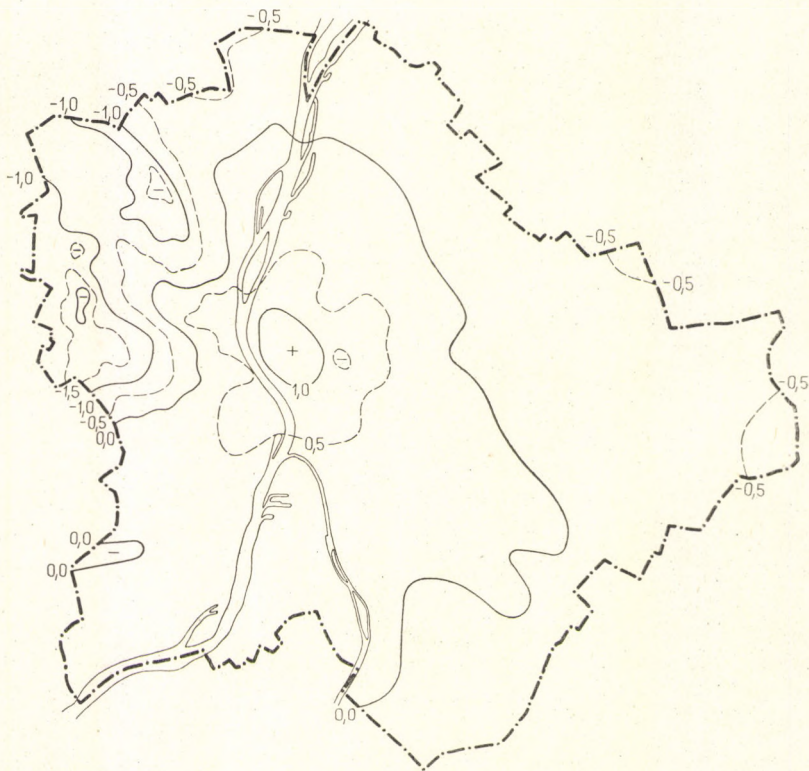


6. ábra. A februári középhőmérséklet területi eloszlása Budapesten (1954–68).
A Pestlőrincen áthaladó izoterma, $t_0 = 0,0\text{ }^{\circ}\text{C}$

tényező szempontjából „semlegesnek” tekinthető pestlőrinci obszervatórium adataitól való eltérések izotermáit tüntettük fel. Így egy-egy görbe futásának változása valamennyi térképen végigkövethető.

Az 1954–68. időszakból a következő állomások adatait használtuk fel: Kitaibel Pál utca, Szabadság-hegy, Krisztinavárosi Vízmű, Nagytétény, Budaörs-Kamaraerdő, Pestlőrinc, Pestimre, Soroksár, Rákospalota, Posta Járműtelep (Népstadion út), Főv. Tanács (Madách tér), Gellérthegy (Kertészeti Főiskola), Szőlészeti Kutató Intézet (Herman Ottó u.), Peshidegkút, Ady-liget. Az alapperióduson kívül eső mérési sorozat felhasználásához csak kivételesen folyamodtunk, mivel hosszabb idő alatt a városi hőmérsékleti különbségekben kisebb-nagyobb változás állhat be. Szükségből felhasználtuk a Margitsziget (1933–42) és Csepel-Királyerdő (1939–43) régebbi időszakból származó adatait, illetve ezeknek a Kitaibel Pál utcához vonatkoztatott különbségét, melyben jelentékeny változás nem feltételezhető.

Egy – másfél évtizedes időszak alapján az átlagos hőmérsékleti különbségek kisebb szóródásuk miatt a főváros határai között még viszonylag távol-



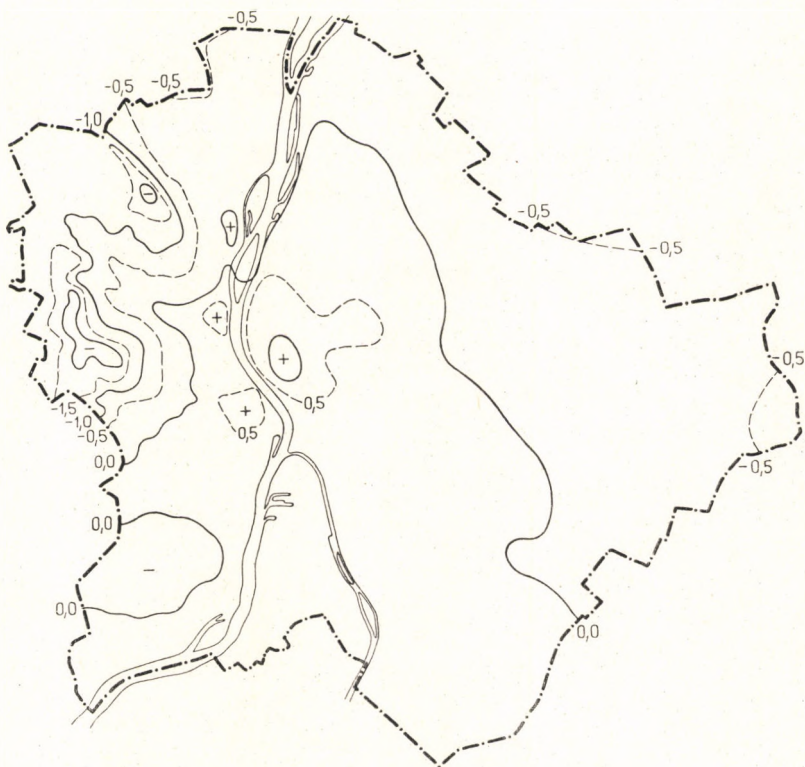
7. ábra. A márciusi középhőmérséklet területi eloszlása Budapesten (1954–68).
A Pestlőrincen áthaladó izoterma, $t_0 = 4,9\text{ °C}$

eső állomások esetében is kielégítő pontossággal megállapíthatók. Ezt két állomáspár 1954–69. évekből származó január és július havi középhőmérsékletének statisztikai vizsgálata is megerősíti (24. táblázat). A konfidenciahatárok eltérése a középértéktől $P = 10\%$ szinten még a legnagyobb szórás mutató esetben sem több $\pm 0,17\text{ °C}$ -nál.

24. táblázat

Hőmérsékleti különbségek középértéke (\bar{X})
és a középértékek hibaszórása ($S_{\bar{X}}$); (°C)

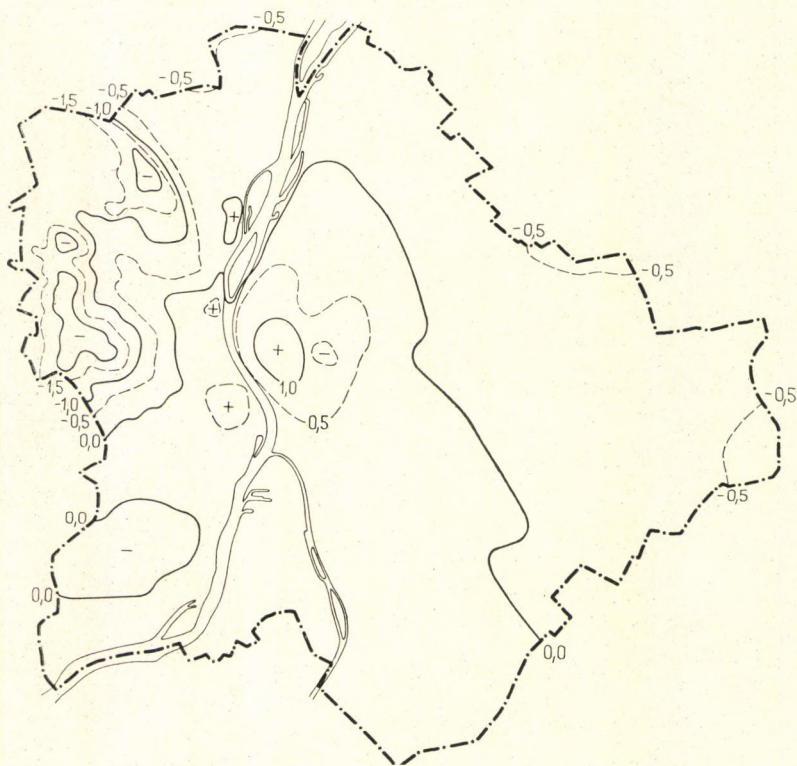
	Nagytétény—Pestlőrinc		Kitaibel Pál u.—Pestlőrinc	
	jan.	júl.	jan.	júl.
\bar{X}	0,37	0,02	1,07	0,30
$S_{\bar{X}}$	0,006	0,063	0,097	0,005



8. ábra. Az áprilisi középhőmérséklet területi eloszlása Budapesten (1954–68).
A Pestlőrincen áthaladó izoterma, $t_0 = 11,3\text{ °C}$

A területi különbségeket híven reprezentáló 1954–68. évi hőmérsékleti adatsorok előállításában nehézséget jelentett, hogy 1966 óta egyes állomásokon más-más terminusok észleléseiből számítják a hőmérsékleti középértéket (Kitaibel Pál utca: 7, 14 és 21 óra, Pestlőrinc: 1, 7, 13, 19 óra, többi állomás: 7, 13, 19 óra). Egyes állomások adatait tehát az általánosan használt észlelési terminusokból nyert középértékekkel kellett helyettesíteni. A Madách téri állomás esetében, mivel annak egy év kivételével teljes észlelési sorozata az új, megváltozott észlelési terminusok alkalmazásának idejére esik, további korrekcióra volt szükség, melyet a városi hőtöbblet napi menetére vonatkozó később részletezendő vizsgálatunk alapján végeztünk el.

A térképsorozat jól mutatja, hogy a város belseje és a Pesti-síkság beépítetlen peremterületei között télen legnagyobb a hőmérsékleti különbség. A városi hősziget magja — mint azt különböző időpontokban végzett mérések is mutatták — a VIII. kerületben, a sűrűn beépített terület közepe táján helyezkedik el. A budai oldalon az izotermák főként a domborzat

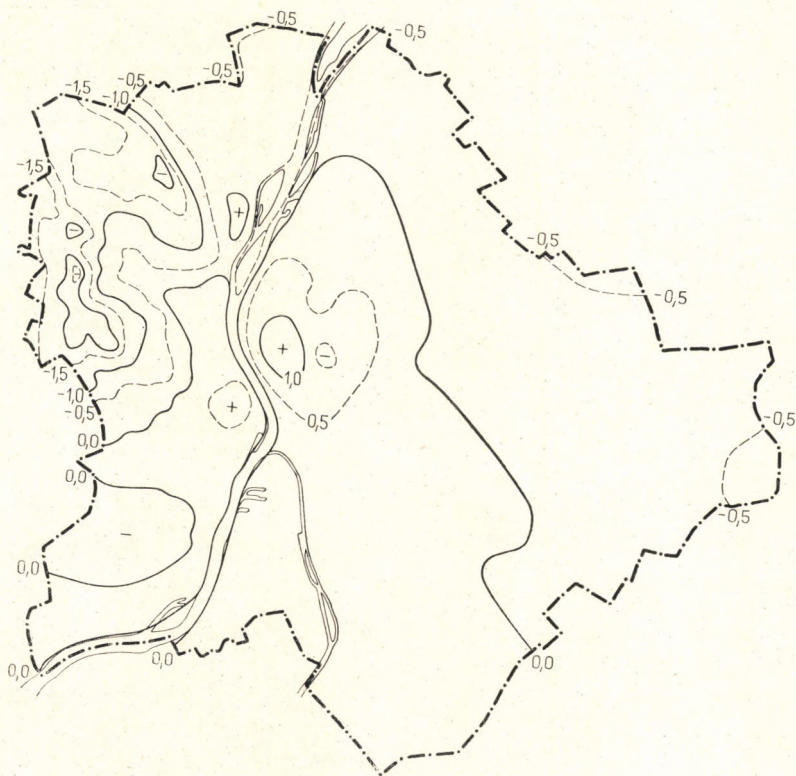


9. ábra. A májusi középhőmérséklet területi eloszlása Budapesten (1954–68).
A Pestlőrincen áthaladó izoterma, $t_0 = 16,0\text{ }^{\circ}\text{C}$

hatását tükrözik. A hőmérsékletnek a magassággal való változása az őszi hónapokban legkisebb; télen még mindig csekély, nyáron viszont legnagyobb a függőleges hőmérsékleti gradiens értéke. Az ősszel aránylag gyenge városi hatás szintén hozzájárul ahhoz, hogy ilyenkor legkisebb a különbség a város és a Budai-hegység hőmérsékleti viszonyai között. Az évi közepes hőmérséklet-ingadozás a város szívében és a hegyvidéken a legkisebb, természetesen más-más okból.

Január és július hónapokra megszerkesztettük a közepes napi minimum-hőmérsékletek területi eloszlásának térképét is (18–19. ábra). Az a tény, hogy ezek a térképek a város hatását még kifejezettebben tükrözik, utal arra, hogy a város és környéke közti hőmérsékleti különbségnek nemcsak évi, hanem napi járása is jelentékeny. A közepes minimum-hőmérséklet területi eloszlásában a Budai-hegység völgyeinek és a Pesthidegkúti-medencének erősebb éjszakai lehülése szintén megmutatkozik.

A főváros területén működő éghajlatkutató állomások száma sohasem volt elegendő ahhoz, hogy egy-egy időpontra vonatkozóan is megbízható



10. ábra. A júniusi középhőmérséklet területi eloszlása Budapesten (1954–68).
A Pestlőrincen áthaladó izoterma, $t_0 = 20,0\text{ }^\circ\text{C}$

képet rajzolhassunk a hőmérséklet eloszlásáról, és így az éghajlati törvényszerűségek érvényesülését különböző időjárású napok egyedi példáin vizsgálhassuk. Kísérletképpen a 20. ábrán bemutatjuk egy jellegzetesen anticiklonális időjárású hideg téli napon, 1966. január 21-én reggel 7 órakor a fővárosi állomásokon mért hőmérsékletet; akkor a szélcsendes derült éjszakán a 25–30 cm vastag friss hótakaró erős kisugárzásának hatására igen erős volt a lehűlés, és a város és környéke között rendkívül nagy hőmérsékleti különbség bontakozott ki. Jellegzetes az inverziós hőmérséklet-eloszlás is: a Szabadság-hegy – a városi állomásokat nem számítva – valamennyi alacsonyabban fekvő észlelőhelynél melegebb volt. A térképen feltüntetett adatok az izotermák kihúzásához nem elegendőek; ehhez több ponton vett mérés vagy mérőutak adhattak volna alapot. A 21. ábrán már részletesebben módunkban áll bemutatni az 1966. július 19-én – egy tipikus nyári napon – 19 órakor észlelt hőmérséklet-eloszlást, mivel ekkor a város több pontján – mint arra még visszatérünk – hőmérséklet-méréseket végeztünk. Az éjszakai lehűlést megelőző esti állapotot tükröző hőmérséklet-eloszlás fő vonásaiban megegyezik a középértékek alapján kirajzolódó képpel.



11. ábra. A júliusi középhőmérséklet területi eloszlása Budapesten (1954–68).
A Pestlőrincen áthaladó izoterma, $t_0 = 21,3\text{ °C}$

C) A városi hőmérsékleti többlet napi és évi járása

A város és környéke között mutatkozó hőmérsékleti különbség mértéke, sőt évszakos változása is helyről helyre számottevő eltéréseket mutat: hat rá a város földrajzi helyzete, makroklimatikus jellege, településszerkezete; végül — jóllehet ez nyilván egészen más megítélés alá esik — az összehasonlítás alapjául szolgáló állomások elhelyezése is tükröződik az adatokban.

Budapest belvárosában — a Fővárosi Tanács épületének udvarán — 1964 őszen kezdődtek rendszeres meteorológiai észlelések; korábban nem volt olyan állomás, mely a főváros belterületének klimatikus viszonyait reprezentálhatta volna. (Sajnálatos módon 1970-ben a Fővárosi Tanács udvarán berendezett észlelőhely is megszűnt.) A belvárosi állomás és Pestlőrinc három évi (1965–67) észlelési anyaga alapján először (PROBÁLD 1969), az év nyole hónapjára vonatkozóan állapítottuk meg a városi hő-



12. ábra. Az augusztusi középhemérséklet területi eloszlása Budapesten (1954–68). A Pestlőrincen áthaladó izoterma, $t_0 = 20,6 \text{ }^\circ\text{C}$

mérsékleti többlet napi járását. Ennek ismerete többek között a mérőutak tervezése és adatainak értékelése, valamint a városklíma más jelenségeivel való összefüggés felderítése szempontjából lényeges; a levegőszennyeződés felhígulásával kapcsolatos diffúzióklimatológiai vizsgálatokhoz, a keveredési magasság meghatározásához szintén szükséges a városi hőtöbblet változásának ismerete. Ezúttal módunkban állt a feldolgozást a hiányzó tavaszi és őszi hónapok adataival kiegészíteni, és ennek alapján a város és környéke közötti hőmérsékleti különbségnek mind napi, mind évi járása részleteiben is kirajzolódott.

A három év termográf-regisztrátumának kiértékeléséből minden egyes hónap egy-egy órájáról kb. 90 adat állt rendelkezésre a feldolgozáshoz. (Néhány egy-két nap regisztrátuma hiányos volt, ezeket nem vettük figyelembe.) A pestlőrinci és a belvárosi adatok összevetéséből minden órára megállapítottuk a hőmérsékleti különbség értékét. Annak eldöntésére, hogy a kb. 90 adatból nyert különbség-középértékek mennyire közelítik meg a sokévi átlag várható értékeit, január és július 3–3 terminusának adataival elvégeztük a t -próbát (25. táblázat).



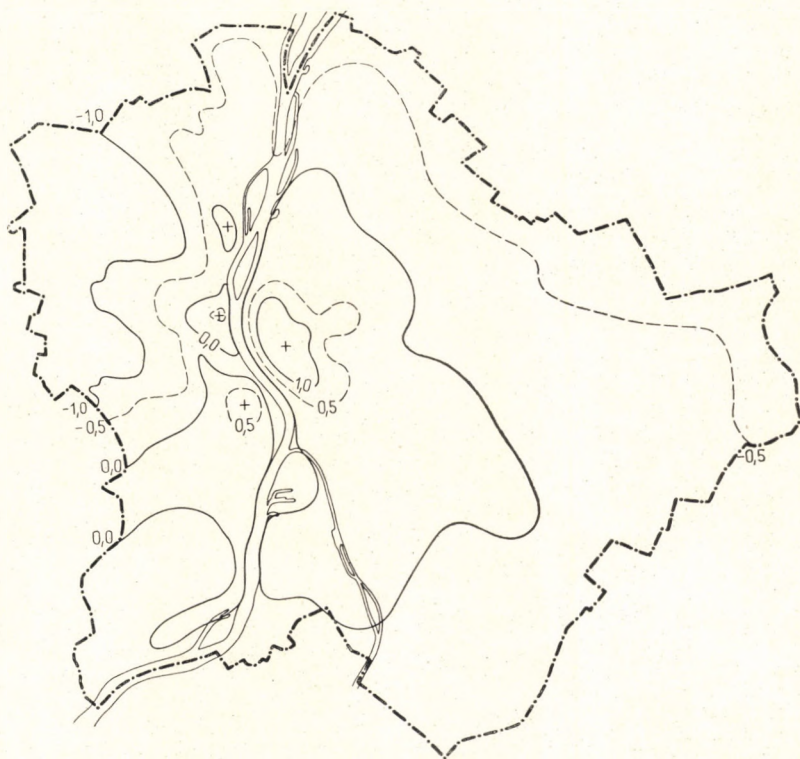
13. ábra. A szeptemberi középhőmérséklet területi eloszlása Budapesten (1954–68). A Pestlőrincen áthaladó izoterma, $t_0 = 16,9\text{ }^\circ\text{C}$

25. táblázat

A Madách tér és Pestlőrinc közötti hőmérsékleti különbség néhány statisztikai jellemzője

	Január			Július		
	7 ^h	14 ^h	21 ^h	7 ^h	14 ^h	21 ^h
A minta szórása ($^\circ\text{C}$)	1,51	0,87	0,96	1,14	1,15	1,09
Szabadságfok	88	89	87	92	92	92
Közéérték ($^\circ\text{C}$)	1,85	0,99	1,55	0,33	0,93	1,75
Konfidencia-intervallum határai $P = 10\%$ -ra ($^\circ\text{C}$)	$\pm 0,27$	$\pm 0,15$	$\pm 0,17$	$\pm 0,20$	$\pm 0,20$	$\pm 0,18$

Általában tehát a $P = 10\%$ valószínűségi szinten a három év adatai alapján teljesül az a követelmény, hogy a mintából nyert középértékünk legalább $\pm 0,2\text{ }^\circ\text{C}$ -ra közelítse meg a valódi középértéket. A napi menetben mutatkozó ennél kisebb kiugrásoknak is lehet azonban reális alapjuk, mint-hogy a napi menetet összetartozó értékekből képeztük, és így a szomszédos



14. ábra. Az októberi középhőmérséklet területi eloszlása Budapesten (1954–68). A Pestlőrincen áthaladó izoterma $t_0 = 11,4^\circ\text{C}$

órákra meghatározott középérték aligha foglalhat helyet a konfidencia-intervallum ellentétes határán.

A városi és városperemi állomás hőmérsékleti különbsége a nyári hónapokban (22. ábra) az éjszakai órákban a legnagyobb, átlagosan kb. 2°C . A különbség maximuma nem az esti, hanem inkább a hajnali, napkelte előtti órákban észlelhető. Napkelte után a hőmérsékleti különbség gyorsan csökken, és délelőtt $9^h - 10^h$ körül a városperemi állomás — melyet akadálytalanul ér a napsugárzás — néhány tizedfokkal melegebb, mint a városi észlelőhely, mely csak magasabb napállásnál kezd erősen felmelegedni. A déli órákban ismét megnő a különbség a város javára ($13^h - 15^h$ tájban újabb csúcserték), majd a késő délutáni órákban megint csökkenni kezd. Alkonyatig ugyanis a természetes nyílt térszín ismét kedvezőbb helyzetet élvez a besugárzás szempontjából.

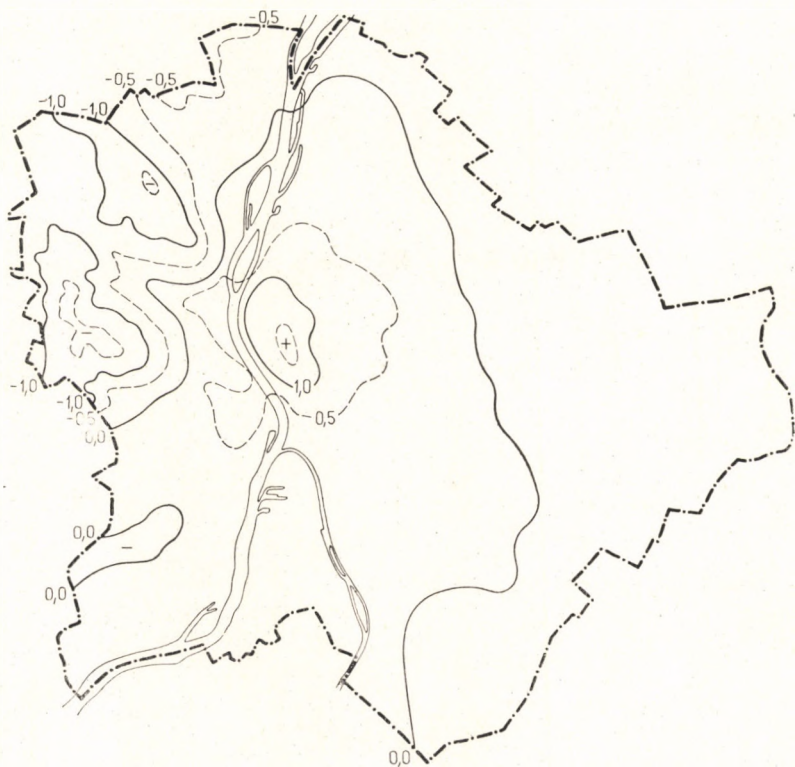
A napi menet vizsgálatát elvégeztük a három nyári hónap derült napjaira is (napfénytartam mindkét állomáson ≥ 10 óra). Ez a görbe (23. ábra) az ingadozás amplitúdóját tekintve nem tér el lényegesen az összes napok alapján számított értékektől, de a kora délelőtti minimum (9^h -kor a városi



15. ábra. A novemberi középhőmérséklet területi eloszlása Budapesten (1954–68). A Pestlőrincen áthaladó izoterma, $t_0 = 5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$

állomás csaknem $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal hidegebb), és a délután 18^{h} -kor jelentkező második minimum sokkal kifejezettebb. A minimumok jelentkezésének időpontjában bizonyára kifejezésre jutnak a Fővárosi Tanács udvarán elhelyezett észlelőhely sugárzási helyzetének egyedi sajátosságai is; ez az elhelyezés azonban elég tipikus ahhoz, hogy a vázolt napi menet alapvonásait általában jellemzőnek tekinthessük a sűrűn beépített városi térszínre.

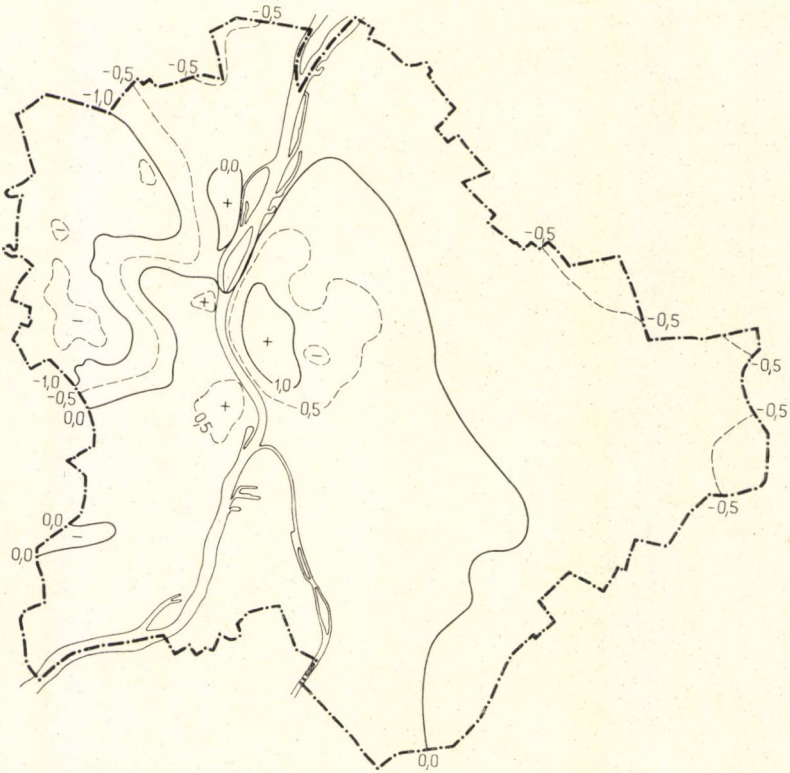
A téli hónapokban a hőmérsékleti különbség napi menete kiegyenlítettebb (24. ábra). Az éjszakai órákban $1,6\text{--}1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os különbség mutatkozik, de a belváros még a kora délután megállapítható minimum idején is melegebb a szabad peremterületeknél. (Decemberben átlagosan kb. $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, januárban $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, februárban $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a nap folyamán észlelhető legkisebb különbség.) A délutáni órákban a hőmérsékleti eltérés ismét fokozódik, majd éjszaka már csak kisebb ingadozásokat mutat. Érdekes, hogy télen közvetlenül a délelőtti gyors csökkenés küszöbén, reggel 8^{h} -kor kiugróan élesek a hőmérsékleti különbségek. E maximum mindhárom téli hónapban azonos időpontban jelentkezik, bár a napkelte időpontjában számottevő eltérés



16. ábra. A decemberi középhőmérséklet területi eloszlása Budapesten (1954–68). A Pestlőrincen áthaladó izoterma, $t_0 = 0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$

van közöttük. Lehet, hogy e jelenség a reggeli csúcsforgalom és a ráfűtés eredményét tükrözi. Figyelemre méltó, hogy egybeesik a levegőszennyező-dés GAJZÁGÓ (1964) által kimutatott és részben ugyancsak az említett okokra visszavezethető csúcsértékével. A reggeli maximum realizálásának megítélésében azonban óvatosságra int az a körülmény, hogy nem minden egyes hónap adatsorából mutatható ki határozottan, és az is, hogy az adatok szórása (25. táblázat) éppen ebben az időben a legnagyobb.

A három téli hónap összevont adatai alapján mód nyílt arra, hogy elkülönítve vizsgáljuk meg a derült (napfénytartam legalább az egyik állomáson ≥ 5 óra) és a borult (napsütést egyik állomás sem regisztrált) napokat is (25. ábra). Derült napokon a hőmérsékleti különbség csúcsértéke reggel 8^h-kor meghaladja a $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot, a minimum pedig 12^h-kor $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Borult időben a napi menet sokkal kiegyenlítettebb; a maximum reggel 8^h-kor $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, a minimum viszont délután 14^h-ra tolódik el, és a hőmérsékleti különbség akkor is megközelíti az $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot. Figyelemre méltó, hogy a derült napokat követő éjszakán a különbségi értékek télen is, nyáron is valamivel nagyobbak, mint a megelőző éjszaka azonos óráiban voltak.



17. ábra. Az évi középhőmérséklet területi eloszlása Budapesten 1954–68). A Pest-lőrincen áthaladó izoterma, $t_0 = 10,5\text{ }^\circ\text{C}$

A három téli hónapra, valamint novemberre és márciusra vonatkozóan azt is megvizsgáltuk, milyen gyakorisággal fordul elő az a rendhagyó hőmérsékleti eloszlás, amikor a belváros hidegebb a környező területeknél (26. táblázat). Egyes szerzők (POPOVICSNÉ és SZEPESI 1969, SZEPESI 1970) ugyanis a hőmérséklet ilyen inverz területi eloszlását a szmog előfeltételei közé sorolják.

26. táblázat

Az inverz hőmérsékleti eloszlású órák előfordulásának havi átlagos gyakorisága (A oszlop: $\Delta t \leq 2,0\text{ }^\circ\text{C}$; B oszlop: $\Delta t > 2,0\text{ }^\circ\text{C}$)

XI		XII		I		II		III	
A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
60	5,2	23	2,3	22	2,0	61	3,7	99	3,7



18. ábra. A közepes januári minimum-hőmérséklet területi eloszlása Budapesten (1954–68). A Pestlőrincen áthaladó izoterma, $t_0 = -5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$

A hőmérséklet inverz területi eloszlásával jellemezhető órák relatív gyakorisága igen kicsiny: decemberben és januárban mindössze kb. 3%, de márciusban sem több 14%-nál. Szélsőségesen nagy különbségek olyan melegadvekcións időjárási helyzetekben fordultak elő, melyeknek hatására a városperemi állomáson előbb következett be hirtelen hőmérséklet-emelkedés. Az inverz hőmérsékleti eloszlás télen déltájban, novemberben és márciusban késő délelőtt a leggyakoribb, amikor a város és környéke közötti hőmérsékleti különbség amúgyis a minimumát éri el.

A városi hőmérsékleti többlet vázolt napi járásának magyarázata természetesen csak a város feletti légtér energia- és anyagforgalmának ismeretében oldható meg. A városi légtérbe jutó többletenergia végső forrásai — az elpárolgás hiánya és a hófelszabadulással járó gazdasági aktivitás — alapján éppen ellenkező jellegű napi menetet várnánk, hiszen mindkét tényező hatása a nappali órákban tetőzik. Ezzel szemben a szélsébség és a konvektív légmozgások minimuma az éjszakai órákban kedvez a nagyobb hőmérsékleti különbségek kialakulásának. A napi menet jellegé-

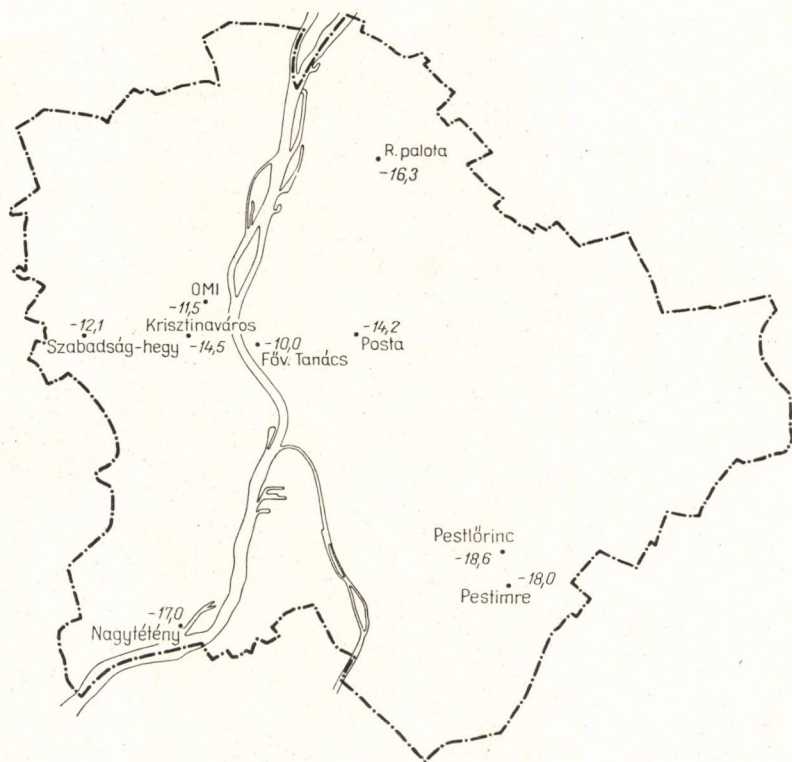


19. ábra. A közepes júliusi minimum-hőmérséklet területi eloszlása Budapesten (1954–68). A Pestlőrincen áthaladó izoterma, $t_0 = 15,4\text{ }^\circ\text{C}$

nek kialakításában azonban az említett ellentétesen ható tényezők mellett a városi felszín jellegének következményei játsszák a legfontosabb szerepet.

Korábban már utaltunk arra, hogy az építőanyagok hőkapacitása s hővezető képessége nagyobb mint a természetes talajé. E hőtani sajátságok folytán a város nehezebben melegszik, de a felszínről nappal több hő jut a mélybe, mint a természetes felszín megfelelő nagyságú részéről. A tárolt nagyobb mennyiségű hő éjszaka kerül leadásra, s akkor melegíti a város légtérét. A beépített felszín aktív rétegének nagyobb hőforgalma ilyen módon mérsékli a hőmérséklet napi ingadozását, és a hőmérsékleti szélsőértékek jelentkezésének időpontjában késést okoz; e két hatás szabja meg a város és környéke közötti hőmérsékleti eltérés napi menetét.

A városi felszín fizikai sajátságainak következményeit még fokozza nagyfokú tagoltsága, aminek folytán a város vízszintes területegységéhez ennél jóval nagyobb felület kapcsolódik. Nappal tehát a vízszintes területegységre számított nap- és égboltsugárzás nagyobb felületen oszlik meg (háztetők, falak, utak, udvarok stb.), így egységnyi felületre átlagosan

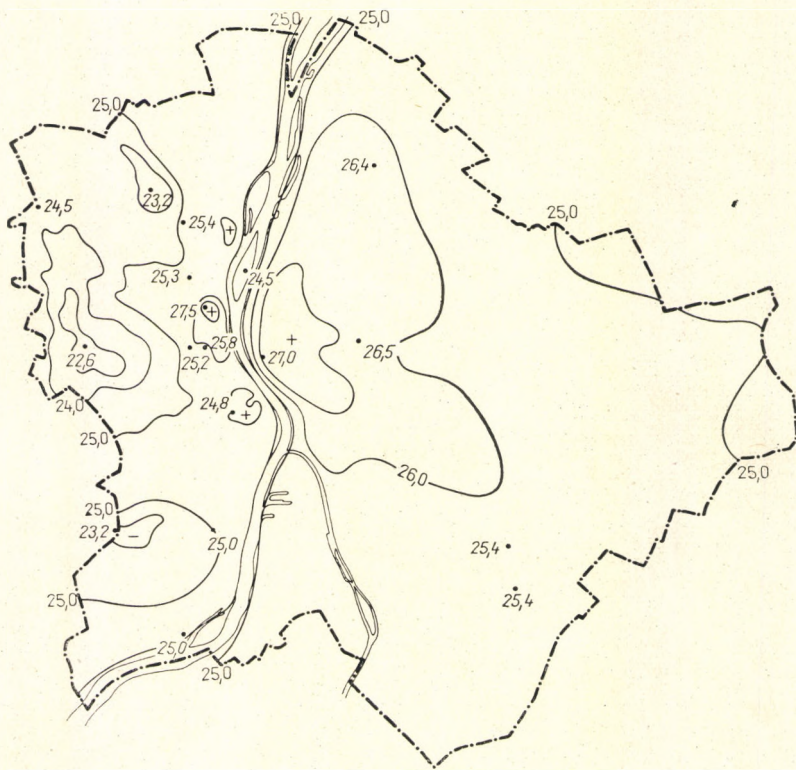


20. ábra. A hőmérséklet területi eloszlása Budapesten 1966. január 21-én reggel 7 órakor

kevesebb jut belőle; ez is közrejátszik a felmelegedés lassúbb ütemében. A kisugárzott energia ugyancsak nagyobb felületről származik, tehát az átlagos felületegységre* csekélyebb effektív kisugárzási energiaveszteség jut, s így az éjszakai lehűlés lassúbb lesz.

Az imént tárgyalt tényezők, illetve folyamatok révén a város egységnyi területe nyilvánvalóan sem évi, sem havi összegben nem tesz szert több energiára, mint a természetes felszín megfelelő területe, a város átlagosan is magasabb hőmérséklete tehát ezekkel nem indokolható. Lényeges szerepük van viszont a *hőmérséklet napi menetének kialakításában*; az éjszakai és a nappali órákban ellentétes előjellel megnyilvánuló hatásuk egy átlagos időjárású nap során gyakorlatilag kiegyenlítődik. Különbséget kell tehát tennünk a korábban tárgyalt, és a város hőmérsékleti többlete szempontjából elsődleges hőháztartási tényezők és azon másodlagos tényezők között,

* *Átlagos felületegységről* írunk, mert például egy lapos háztető helyzete mind a besugárzás, mind a kisugárzás szempontjából a természetes felszínéhez fogható, viszont egy szűk utca kövezetének egységnyi felülete a nagyfokú horizontkorlátozás miatt igen kevés sugárzási energiát kap, de ugyanez okból igen keveset is veszít.

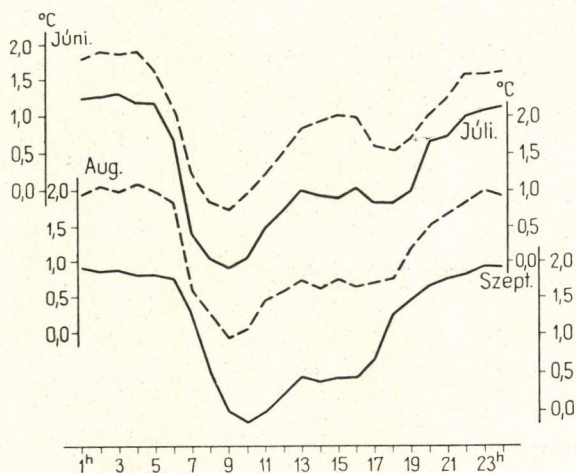


21. ábra. A hőmérséklet területi eloszlása Budapesten 1966. július 19-én 19 órakor

melyek a városi hőszigetnek csak az intenzitását módosítják a nap folyamán. (Utóbbiak: a megnövekedett felület és a felszínalkotó anyagok hőtani tulajdonságai.) Ez a különbségtéves a városklímával foglalkozó művekben eddig — az energiaforgalom részletes elemzése híján — nem történt meg.

Miután a városi hőtöbblet napi járását minden hónapra vonatkozóan megállapítottuk, a különbség évi menete is kirajzolódott; a legnagyobb különbségek télen, a legkisebbek április–június-ban mutatkoznak, míg júliusban gyengébb másodmaximum jelenik meg. A napi és évi menetet együttesen *izoplétákon* mutatjuk be (26. ábra).

A hőmérsékleti különbség évi járásáról a valódi napi és havi középértékekből alkotott kép jelentősen eltér a terminus-középértékek alapján kirajzolódó képtől. A téli fő maximum azonban a terminusközépekből számított adatokban is kétségtelen. Budapest esetében tehát semmiképp sem helytálló ERIKSEN (1964) okfejtése, aki a KRATZER (1956) által a városi hőmérsékleti többlet téli csúcsertékeire hozott példák bizonyító erejét tagadta, és a jelenséget azzal próbálta magyarázni, hogy az észlelési terminusok télen éppen a nagyobb, nyáron viszont a kisebb hőmérsékleti eltérés idejére esnek. Mindamellett kétségtelen, hogy a terminus-középértékek a nyári



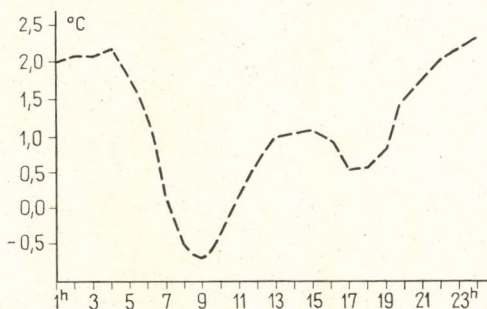
22. ábra. A Madách tér (Főv. Tanács) és Pestlőrinc hőmérsékleti különbségének napi menete a nyári hónapokban

hónapokban a valóságosnál lényegesen kisebbnek mutatják a hőmérsékleti különbségeket a város és környéke között. Ez világosan kiténik a 27. táblázatból, ahol a Madách tér (Fővárosi Tanács) és Pestlőrinc hőmérsékleti

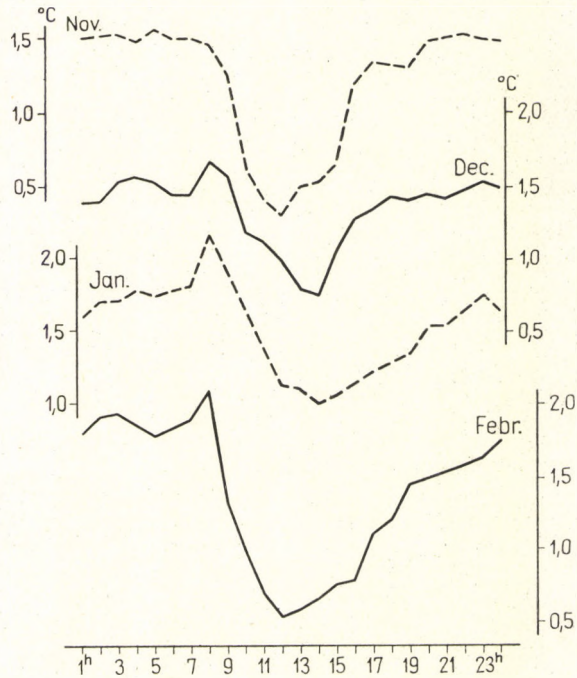
27. táblázat

A városi hőmérsékleti többlet évi járása a valódi középhőmérséklet (A), a régi (7h, 14h, 21h) (B) és az új (7h, 13h, 19h) (C) észlelési terminusokból nyert középhőmérséklet alapján (1965–67) (°C)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Év
A	1,52	1,36	1,01	0,95	1,06	0,98	1,28	1,17	1,09	1,08	1,23	1,36	1,17
B	1,46	1,34	1,04	0,88	0,91	0,91	1,01	0,96	1,10	1,16	1,21	1,23	1,09
C	1,42	1,29	0,95	0,73	0,64	0,56	0,78	0,84	1,02	1,12	1,12	1,24	0,98

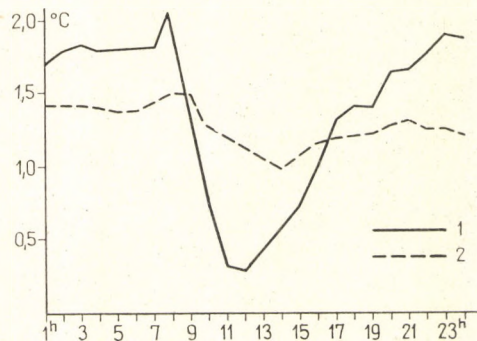


23. ábra. A Madách tér (Főv. Tanács) és Pestlőrinc hőmérsékleti különbségének napi menete nyáron, derült napokon

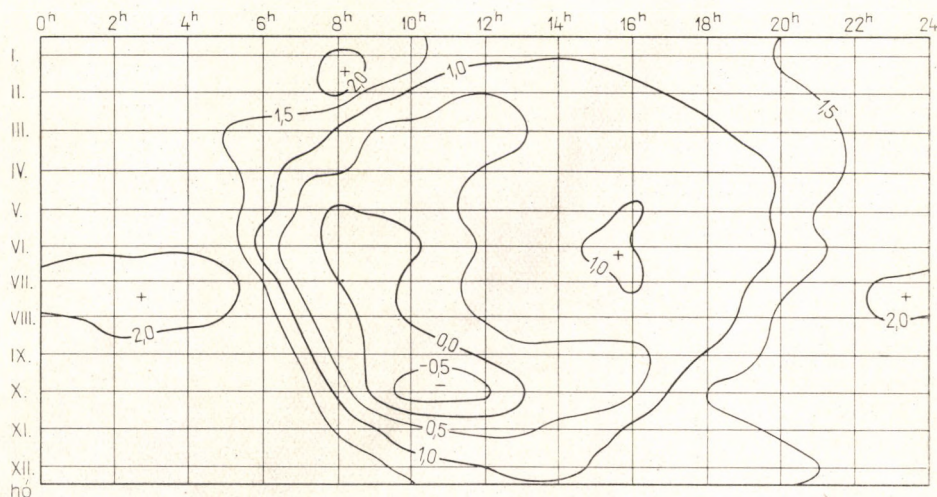


24. ábra. A Madách tér (Főv. Tanács) és Pestlőrinc hőmérsékleti különbségének napi menete a téli hónapokban

különbségének évi menetét háromféle középérték tükrében mutatjuk be. Vizsgálataink alapján megállapítható, hogy az új észlelési terminusokból nyert középértékek nem alkalmasak a város és környéke között fennálló hőmérsékleti különbség valóságához jellemzésére.



25. ábra. A Madách tér (Főv. Tanács) és Pestlőrinc hőmérsékleti különbségének napi menete télen, derült (1) és borult (2) napokon



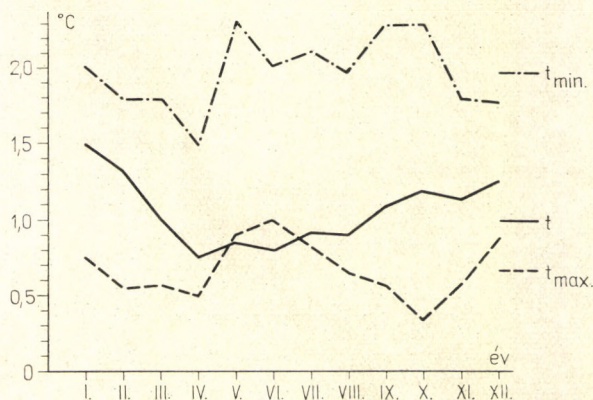
26. ábra. A város hőmérsékleti többletének (Madách tér—Pestlőrinc) izopletái

A főváros belterületén működő másik, Kitaibel Pál utcai állomás Pestlőrinchez viszonyított hőmérsékleti többlete évi átlagban csak kb. fele, a téli hónapokban azonban mintegy kétharmada a Madách térének. A budai állomás nyáron kevésbé reprezentálja a városi hőmérsékleti viszonyokat, feltehetően azért, mert a sűrűn beépített terület határához közel fekszik, s tágabb környezetében sok a növényzettel borított, párologtatás szempontjából természetes felszín. A két városi állomás hőmérsékleti többletének évi járását a régi észlelési terminusok alapján számított havi középhőmérsékletek, valamint a közepes maximum- és minimum-hőmérsékletek tükrében a 27. és a 28. ábrán mutatjuk be.

D) A hőmérsékleti különbségek néhány helyi vonása

A Madách tér és a Kitaibel Pál utca adatainak összehasonlítása mutatja, hogy a városklímára általánosan jellemző hőmérsékleti többletet az egyes állomások különböző mértékben tükrözik. A város területén mutatkozó finomabb klimatikus különbségek egyes vonásainak felderítésére Budapest kilenc pontján három nyári és három téli napon méréseket szerveztünk.

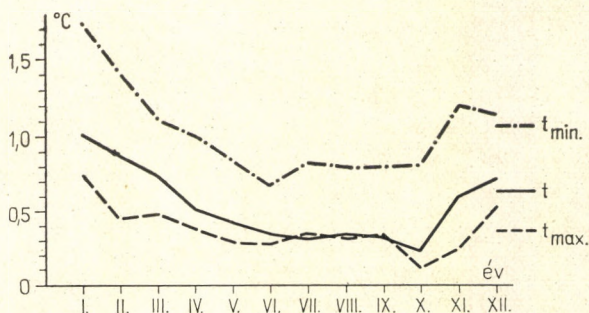
A mérőhelyeket úgy igyekeztünk kijelölni, hogy egy részük azonos tszf. magasságban fekvő, de különböző típusú felszíneket reprezentáljon (Vármegeye utca: szűk, DNY—ÉK irányú belvárosi utca közepe; Madách tér: a K-i járdasziget déli vége, tágas főútvonalon; Engels tér: kis belvárosi park nyílt része; Vérmező: nagyobb, völgyi fekvésű park ritkásan elszórt fákkal; Margitsziget: a rózsakertről délre tágas tisztás, nagy rendezett parkban), más részük pedig a domborzat és tszf. magasság hatását tükrözze (Budafoki temető 140 m, Gellérthegy, Ifjúsági Park 220 m, Vérhalom tér és Szépvölgyi út 210 m tszf. magasságban).



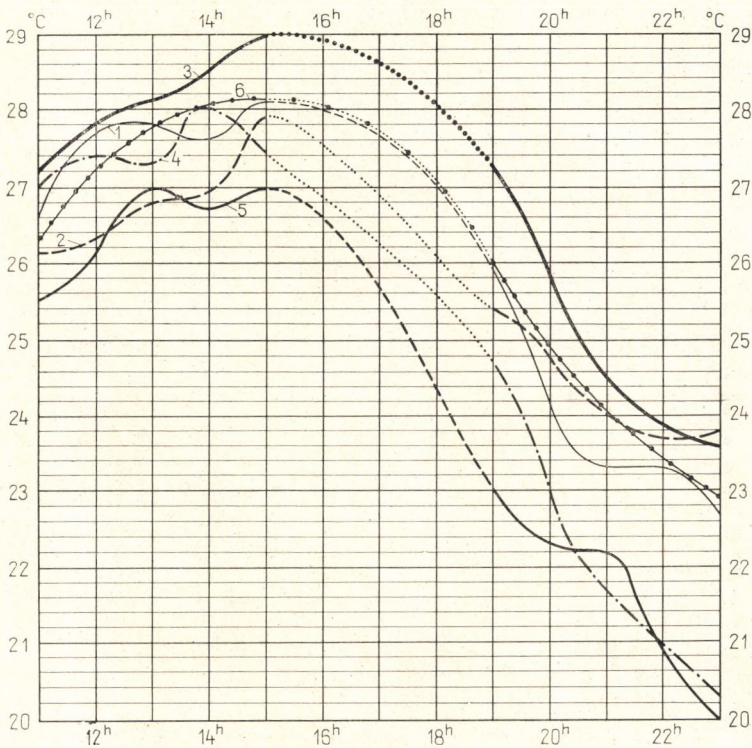
27. ábra. A Madách tér (Főv. Tanács) és Pestlőrinc évi hőmérsékleti különbségének járása (1965–68)

A mérések Assmann-féle szellőztetett hőmérőpárral a talaj felett 180 cm magasságban történtek. 1966. július 18-án délutántól július 21-én délutánig naponta tíz alkalommal került sor mérésekre, mégpedig helyi idő szerint 11, 12, 13, 14 és 15 órákor, valamint 19, 20, 21, 22 és 23 órákor. A két mérési időszak közül tehát a nappali a város és környéke között mutatkozó kisebb mértékű, az esti pedig a nagyobb mértékű hőmérsékleti különbség idejére esett. 1967. február 1-én ugyanezekben a pontokon 7, 13 és 19 órákor, február 2-án és 3-án azonban csak 13 és 19 órákor nyílt lehetőség a mérések megismétlésére.

1966. július 18-tól 21-ig hazánk időjárását az Alpok térségéből lassan északkelet felé áthelyeződő ciklon határozta meg. Magyarország a ciklon áramlási rendszerének melegszektorában foglalt helyet. A július 18-án és 19-én uralkodó enyhe délkeleties szelet 19-én délnyugatira, majd huszadikán észak-nyugatira forduló légáramlás váltotta fel. Az átlagos szélsebesség a Kitaibel Pál utcában 18-án 2,3; 19-én 1,7; 20-án 2,0 és 21-én



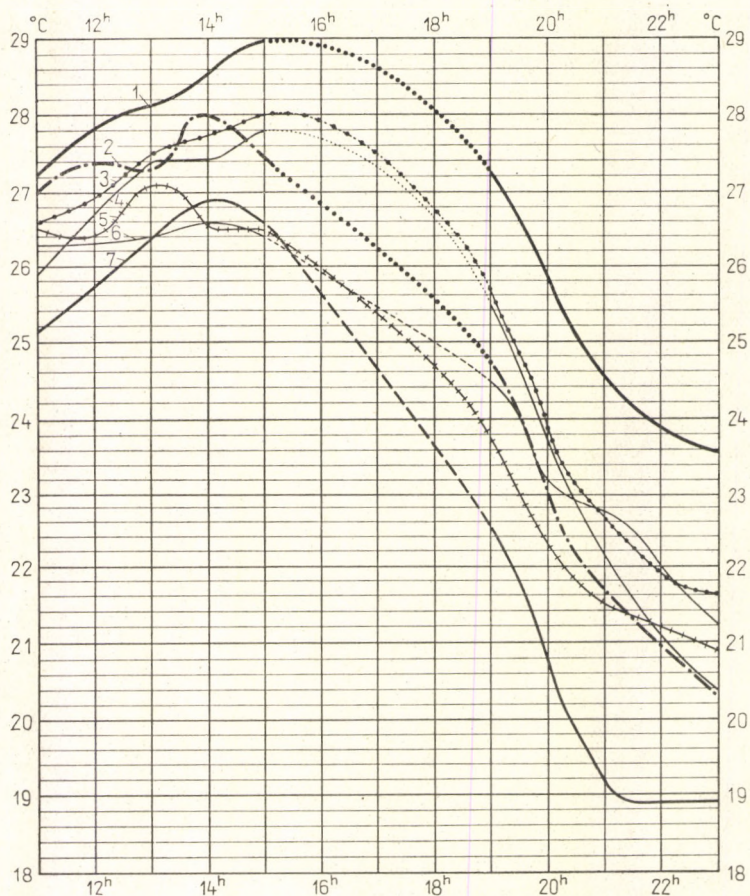
28. ábra. A Kitaibel Pál u. és Pestlőrinc hőmérsékleti különbségének évi járása (1954–68)



29. ábra. A hőmérséklet napi járása különböző budapesti mérőhelyeken (1966. július 18–21.)

1 = Engels tér, nyílt parkrész; 2 = Vármegeye u.; 3 = Madách tér, járdasziget;
4 = Vérmező, nyílt parkrész; 5 = Margitsziget, nagy tisztás; 6 = Főv. Tanács udvara

1,7 m/s volt, tehát nem ért el olyan értéket, hogy a mikroklimatikus különbségek kibontakozását megakadályozhatta volna. A mérési időszakban nappali felhőképződés volt, de a napfénytartam mind a négy napon elérte a 8–12 órát. Az ország területén délutánonként többfelé voltak záporok, Budapest belterületén azonban a mérések időszaka alatt nem hullott mérhető mennyiségű csapadék. A nappali hőmérsékleti csúcsertékek az első három napon 28–30 °C körül alakultak, július 24-én pedig, amikor a már hosszabb ideje itt tartózkodó szubtrópusi tengeri légtömeget mérsékeltevi tengeri légtömeg váltotta fel, mindössze 1–2 °C-kal mérséklődtek. A mérési időszak napjaiban az időjárás lefolyása a nyári napokra igen tipikus és annyira hasonló volt, hogy a három, azonos órából származó adat középértékével jellemezhetjük az azonos értelemben jelentkező helyi hőmérsékleti különbségeket. Ezáltal tompulnak azok a szabálytalan eltérések, melyek a felhőzet változása miatt a nappali észlelésekben néhol mutatkoznak.



30. ábra. A hőmérséklet napi járása különböző budapesti mérőhelyeken (1966. július 18–21.)

1 = Madách tér; 2 = Vérmező; 3 = Kitaibel Pál u.; 4 = Pestlőrinc Obsz.;
5 = Vérhalom tér; 6 = Gellérthegyi Ifjúsági park; 7 = Szépvölgyi út (völgytalpon)

A februári mérések mindhárom napján borult volt az idő. Délies, majd nyugatira forduló légáramlással enyhe óceáni légtömegek nyomultak az időszak elején hazánkat borító szárazföldi légtömeg helyébe, és 1-én még csak nyomokban okoztak ónos esőt, 2-án és 3-án azonban több mm-es esőt adtak. Az 1-én még meglévő vékony hótakaró 2-án és 3-án az erős felmelegedés hatására elolvadt. A három nap közül csak az első — amikor három terminusban került sor méréseinkre — adott értékes támpontot egy jellegzetes téli nap hőmérsékleti eloszlására.

A 29. ábrán a nagyjából egyenlő tszf. magasságban fekvő állomások hőmérsékletének napi járását mutatjuk be; a nyári mérések alapján erről az alábbi jellegzetes vonások állapíthatók meg:

a) A tágas terek, főútvonalak (Madách tér) nappal a város valamennyi része közül a legmelegebbek.

b) A szűk, keskeny utcák (Vármegye u.) az előbbieknél nappal $1-1,5^{\circ}\text{C}$ -kal hűvösebbek, a benapozás rövid időszakában (esetünkben $14-15^{\text{h}}$ között) azonban hőmérsékletük hirtelen emelkedik. A késő éjszakai óráktól hajnalig ezek az utcák a legmelegebbek, mert a nappal felvett hőt legtovább képesek megőrizni.

c) A kisebb parkosított terek (Engels tér) az aszfaltozott tereknél egész nap $0,5-1,0^{\circ}\text{C}$ -kal hűvösebbek, a szűk utcáknál azonban nappal melegebbek, mert a sugárzásnak jobban ki vannak téve. Felmelegedésük nyilvánvalóan függ attól, mennyire gondozottak, kapnak-e öntözést; a parkok karbantartása előfeltétele annak, hogy a kedvező mikroklímátikus hatásuk megmutatkozzon. Ez a hatás egyébként az érzet-hőmérséklet szempontjából sokkal jelentősebb, mint a léghőmérséklet különbsége mutatja. A parkokban ugyanis nem érvényesül az igen erősen felmelegedő falak és az útburkolat hőszugárzása, ami a város kőrengetegében az ember hőérzetét kellemetlenül fokozza.

d) A Fővárosi Tanács parkosított udvara a termográfregisztrátum alapján a városi mérőhelyek közül a hűvösebbekhez áll közelebb.

e) A Vérmező nappal a belvároshoz hasonlóan erősen felmelegszik, este azonban $3-4^{\circ}\text{C}$ -kal hidegebb. Ezt nyilván a *Hűvösvölgyben a város felé áramló*, a völgytalpon összegyűlő hideg levegő okozza.

f) A Margitsziget — jóllehet a mérés helye teljesen nyílt tisztáson volt — egész nap ($1,5-2^{\circ}\text{C}$ -kal), de különösen éjszaka ($3-4^{\circ}\text{C}$ -kal) hűvösebbnek mutatkozott a városnál. *A Margitsziget klímájának* — melyet a Duna víztömege és a Duna-völgy légáramlási viszonyai számottevően befolyásolnak — *egyedülállóan előnyös vonásai* vannak, melyek rendkívül alkalmassá teszik arra, hogy a városi kőtenger éghajlatát üdítően ellenpontozza. A második világháború előtt a Margitszigeten működött klímaállomás adatai is tükrözik, hogy a terület éghajlata nyáron számottevően különbözik a város többi részétől; az átmeneti évszakokban a különbség jóval kisebb, télen pedig teljesen elenyészik. Ezt jól követhetően szemléltetik az izotermák havi eloszlását ábrázoló térképeink.

A 30. ábra néhány budai mérőhelyünk hőmérsékletének napi menetét mutatja; összehasonlításként a Madách tér és Pestlőrinc adataiból nyert görbét is feltüntettük. Látható, hogy a budai oldal általában hűvösebb; ez a Kitaibel Pál utca termográfadataiból különösen az esti időszakban állapítható meg. Feltűnő, hogy a Vérmező völgye este hűvösebb a Gellért-hegynél is. A völgyekben összegyűlő hideg levegő hatása az azonos magasságban fekvő Vérhalom tér és Szépvölgyi út esti adatainak összehasonlításából is szembetűnő.

Február 1-i méréseink néhány érdekesebb adatát a 28. táblázat tartalmazza. Télen egész napon át a szűk belvárosi utcák a város legmelegebb részei. Feltűnő, hogy a Fővárosi Tanács tágas udvarán az Engels-térhez hasonló viszonylag alacsony hőmérsékletet regisztráltak; ez azzal magyarázható, hogy e két helyen az utcáktól eltérően még vékony, néhol foltokra bomló hótakaró feküdt. A Vérmező esti hőmérsékletében a hideg levegő összegyülemzése ezúttal is kifejeződik.

28. táblázat

Hőmérséklet 1967. február 1-én (°C)

	7 ^h	13 ^h	19 ^h	Napi közép
Főv. Tanács udvara	-3,3	-2,2	-1,0	-2,2
Engels tér	-3,8	-2,2	-1,4	-2,5
Madách tér	-3,0	-1,7	-0,8	-1,8
Kitaibel Pál u.	-3,5	-2,9	-1,6	-2,7
Vérmező	-4,1	-2,8	-2,4	-3,1
Gellérthegy	-4,8	-3,6	-2,1	-3,5
Pestlőrinc	-4,4	-3,0	-2,4	-3,3
Vérhalom tér	-4,4	-3,8	-2,6	-3,6
Szépvölgyi út	-4,7	-3,6	-2,6	-3,6
Hármashatárhegy	-7,2	-4,6	-4,4	-5,4
Vármegeye u.	-2,6	-1,2	-0,5	-1,4

A változatos domborzatú és beépítésű város területén megállapítható finomabb hőmérsékleti különbségek részletes felderítése megfelelően kijelölt tipikus helyeken hosszabb időszakot felölelő, több elemre kiterjedő észlelésekkel, illetve bizonyos időre telepített meteorológiai állomásokkal lenne megoldható.

E) A városi hősziget és az időjárás tényezők kapcsolata

A város és környéke között mutatkozó hőmérsékleti különbséget az időjárás is befolyásolja. Az időjárás különböző jellemzőinek hatását nemcsak prognosztikai szempontból, hanem azért is érdemes tanulmányozni, mert e hatások iránya és mértéke a városklíma kialakulásának mechanizmusába enged bepillantást.

A város hőmérsékleti többlete télen a legnagyobb; másrészt télen a Kitaibel Pál utcai állomás adatai — melyekből ilyen elemzésre alkalmas hosszabb idősor áll rendelkezésre — jól tükrözik a városklíma sajátosságait. Ezért tartottuk érdemesnek elsősorban azt vizsgálni (PROBÁLD 1966), hogy a *három téli hónapban* hogyan befolyásolja az időjárás jellege a hőmérsékleti különbség alakulását. Munkánk alapjául a Kitaibel Pál utcai és a pestlőrinci obszervatórium tíz esztendei (1954–63) adatsora szolgált.

Mindenekelőtt a napi középhőmérséklet és a minimum-hőmérséklet különbségének a téli hónapokra vonatkozó *gyakorisági eloszlását* állítottuk össze (29. táblázat). Mindkét eloszlás jellegzetes bal oldali aszimmetriát mutat: a modulus értéke a számtani átlagnál kisebb. Ennek megfelelően az átlagosnál nagyobb különbségek ritkábban lépnek fel, de az eltérések ebben az irányban erősebbek. A vizsgált tíz év során csupán egyetlen egyszer fordult elő, hogy Pestlőrinc napi középhőmérséklete több mint 1 °C-kal magasabb volt, mint a Kitaibel Pál utcáé. Ellenkező előjellel viszont 5 °C-nál nagyobb különbség is akadt, sőt a minimum-hőmérsékletek között egy ízben — 1954. január 9-én — 12,2 °C eltérés is volt.

A továbbiakban abból indultunk ki, hogy ha — amint azt hőháztartási vizsgálataink mutatták — a városi hőtöbblet fő forrása télen a fűtés, akkor hideg időjárás esetén a hőmérsékleti különbségnek fokozódnia kell. Ilyenkor ugyanis intenzívebbé válik a fűtés, másrészt pedig a hideg időszakokra jellemző időjárás kedvez a helyi hőhatás érvényesülésének.

Vizsgálataink során a különbségértékeket a Pestlőrincen észlelt hőmérséklet (t_1) szerint rendeztük, és minden intervallumban megállapítottuk a középértékek különbségét (Δt) (30. és 31. táblázat). Az adatok minden kétséget kizáróan azt mutatják, hogy 0°C alatt a hideg erősödésével a hőmérsékleti különbségek a város és környéke között fokozódnak. (Erre jellemző példa a 20. ábrán bemutatott hőmérsékleteloszlás.) 0°C feletti napi közép-

29. táblázat

A Kitaibel Pál u. és Pestlőrinc hőmérsékleti különbségének relatív gyakorisága (%) a téli hónapokban (1954—63)

Különbség ($^\circ\text{C}$)	Minimum-hőmérséklet	Napi közép-hőmérséklet
<0,0	4	3
0,0—0,9	36	58
1,0—1,9	34	30
2,0—2,9	15	6
3,0—3,9	6	2
4,0—4,9	2	1
5,0—5,9	1	.
6,0—6,9	1	.
$\geq 7,0$	1	.

hőmérsékleteknél a városi hőtöbblet alig változik; ilyenkor a fűtés intenzitásának csekély változása már nyilván háttérbe szorul a hőmérsékletre befolyással levő egyéb tényezők mellett.

A Pestlőrincen észlelt napi középhőmérséklet (t_1) és a hozzá tartozó átlagos városi hőmérsékleti többlet (Δt) között a téli hónapokban, fagypont alatti hőmérsékleteken megnyilvánuló empirikus összefüggés $y = a \cdot e^{bx}$ típusú függvénnyel igen jól közelíthető.

A regressziós görbe a Kitaibel Pál utca és Pestlőrinc vonatkozásában a napi közép-hőmérsékletek különbségére $\Delta t = 42,2 e^{-0,924(t_1+20)}$ a napi minimum-hőmérsékletek különbségére vonatkozóan pedig $\Delta t_{\min} = 34,2 e^{-0,39(t_{\min}+25)}$ alakban írható fel. Más városi és város környéki állomáspárok esetében a regressziós konstansok eltérő értéket vesznek fel, az összefüggés jellege azonban feltehetőleg ugyanilyen.

További érdekes kérdés, hogy a nagy hidegek idején rendszerint szélcsendes időjárás milyen szerepet játszik a város ilyenkor fokozott hőmérsékleti többletének létrejöttében. Ennek eldöntésére a Kitaibel Pál utcában mért napi közepes *szélsebesség szerint* rendeztük a két észlelőhely napi középhőmérséklete közötti különbség értékeit (32. táblázat).

30. táblázat

A pestlőrinci napi középhőmérséklet, valamint a Kitaibel Pál u. és Pestlőrinc közötti hőmérsékleti különbség összefüggése (°C)

\bar{t}_1	$\Delta\bar{t}$	\bar{t}_2	$\Delta\bar{t}$
-16,1-18,0	2,70	-4,1-6,0	1,11
-14,1-16,0	2,42	-2,1-4,0	0,94
-12,1-14,0	1,89	-0,1-2,0	0,78
-10,1-12,0	1,80	0,0-+1,9	0,70
-8,1-10,0	1,52	+2,0-3,9	0,77
-6,1- 8,0	1,35	+4,0-5,9	0,76
		> +6,0	0,79

31. táblázat

A pestlőrinci napi minimum-hőmérséklet (t_{\min}) és a minimum-hőmérséklet Kitaibel Pál u. - Pestlőrinc közötti különbségének (Δt_{\min}) összefüggése (°C)

t_{\min}	Δt_{\min}	t_{\min}	Δt_{\min}
< -20,0	5,54	-6,1-8,0	1,50
-16,1-20,0	4,34	-4,1-6,0	1,29
-14,1-16,0	2,97	-2,1-4,0	1,31
-12,1-14,0	2,54	-0,1-2,0	1,18
-10,1-12,0	2,02	0,0-+2,9	1,32
- 8,1-10,0	1,92	+3,0-5,9	1,58
		> +6,0	0,94

32. táblázat

A városi hőmérsékleti többlet és a szélsébség összefüggése (Kitaibel Pál u. - Pestlőrinc)

Szélsébség (m/s)	$\Delta\bar{t}$ (°C)	Szélsébség (m/s)	$\Delta\bar{t}$ (°C)
0-0,4	1,00	3,0-3,4	0,91
0,5-0,9	1,03	3,5-3,9	0,87
1,0-1,4	0,95	4,0-4,9	0,78
1,5-1,9	1,00	5,0-5,9	0,50
2,0-2,4	1,05	6,0-6,9	0,43
2,5-2,9	0,92	7,0-7,9	0,32
		8,0-8,9	0,22

Az eredmény azt a szakirodalomban eddig csak kevesek által (KAYANE 1964, SEKIGUTI 1970) hangoztatott nézetet támasztja alá, hogy a városklíma sajátosságainak kibontakozásához nem csupán szélsend idején vannak meg a feltételek; a város hőmérsékleti többletét csak 3 m/s-nél erősebb szelek csökkentik, a hőmérsékleti különbség teljes elmosásához pedig kb. 10 m/s sebességű szél szükséges. (Ez egyébként összhangban van OKE és HANELL

(1970) tapasztalati alapon nyugvó megállapításával, mely szerint a hőmérsékleti különbség megszüntetéséhez elegendő kritikus szélsősebesség $U = 3,4 \log P - 11,6$, ahol P a város lakosságának számát jelenti.) Ugyanez a kép alakult ki akkor is, amikor csupán egy hőmérsékleti intervallum (pl. $0,0 - 2,0$ °C) adatait rendeztük a szélsősebességek szerint, sőt ilyenkor a városi hőmérsékleti különbségben $2 - 3$ m/s-nál többé-kevésbé határozott maximum jelentkezett. A jelenség nyilvánvalóan összefügg avval, hogy a hőmérsékleti különbségek éleződése $2 - 3$ m/s sebességet elérő helyi szél kialakulásához teremti meg a feltételeket.

F) Különbségek a hőmérsékleti szélsőségek küszöbértékeinek gyakoriságában

A város hatása megnyilvánul a hőmérsékleti szélsőségek küszöbértékeinek gyakoriságában is: a hőségnapok és nyári napok száma nagyobb, a fagyos, téli és zord napok száma pedig kisebb, mint a város környékén (KÉBI et al. 1966). A 33. táblázatban közölt összeállítás a Kitaibel Pál utca, Pestlőrinc és a Szabadság-hegy 1956–65. évi adatai alapján készült. A három állomás közül a Kitaibel Pál utcai a küszöbértékek gyakorisága szempontjából is viszonylag mérsékeltén tükrözi a városi hatást. Különösen a meleg éjszakák, másodsorban pedig a nyári és hőségnapok gyakorisága lehet nagyobb a belvárosban; ott azonban nem működött olyan észlelő-állomás, mely legalább egy évtizedes adatsort szolgáltatott volna. A Szabadság-hegy adatait a Budai-hegység üdülőövezete éghajlati viszonyainak jellemzésére iktattuk a táblázatba (33. táblázat).

Míg az eddig említett különleges szélső hőmérsékletű napok gyakorisága, valamint a meleg időszakoknak a városban mutatkozó nagyobb, a hideg időszakoknak kisebb tartamgyakorisága bioklimatológiai szempontból

33. táblázat

Különleges szélső hőmérsékletű napok előfordulásának átlagos abszolút gyakorisági értékei (1956–65)

A = Kitaibel Pál utca, B = Pestlőrinc, C = Szabadság-hegy

	Állomás	I	II	III	IV	X	XI	XII	Év
Zord napok (min. ≤ 10 °C)	A	3	3	0,2				1	7
	B	6	5	0,3			0,1	1	12
	C	6	4	0,3			0,2	2	12
Téli napok (max. ≤ 0 °C)	A	10	7	1			1	6	25
	B	13	8	1			1	8	31
	C	16	10	3			2	12	43
Fagyos napok (min. ≤ 0 °C)	A	23	18	12	1		5	18	77
	B	27	22	15	1	1	8	22	96
	C	28	24	18	3	1	10	24	108

	Állomás	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Év
Nyári napok (max. $\geq 25^\circ\text{C}$)	A	2	6	17	20	21	9	1	76
	B	1	6	17	19	20	8	1	72
	C		2	8	12	12	4		38
Hőszénnapok (max. $\geq 30^\circ\text{C}$)	A		1	3	7	7	1		19
	B		1	3	7	6	1		18
	C			1	3	2			6
Forró napok (max. $\geq 35^\circ\text{C}$)	A			0,1	1	0,3			1
	B			0,1	0,4	0,3			1
	C			—	—	—			—
Meleg éjszakák (min. $\geq 20^\circ\text{C}$)	A		0,1	1	3	2			6
	B			1	2	1			4
	C			0,3	2	1			3

jelentős, addig a fűtési idény *hőfokhidjaiban** mutatkozó eltérésnek közvetlen *gazdasági kihatásai* is vannak. Budapestre (Kitaibel Pál u.) Bacsó N. (1960) közölte a fűtőberendezések tervezéséhez alapul szolgáló, az 1901—50 időszak adataiból $20^\circ/10^\circ$ kikötéssel meghatározott havi hőfokhidakat; a hőmérsékleti különbségek ismeretében megállapítottuk a hőfokhidat a belvárosra (Madách tér) és a városon kívüli területre is (Pestlőrinc) (34. táblázat).

34. táblázat

Három budapesti állomás havi és idény-hőfokhidjai (1901—50). Kikötés: $20^\circ/10^\circ$ (A = Kitaibel Pál u., B = Pestlőrinc, C = Madách tér) ($^\circ\text{C}$)

	X	XI	XII	I	II	III	IV	Összesen	Fűtési idény
A	133,2	447,0	585,9	651,0	534,8	434,0	84,8	2870,7	(X. 20—IV. 8.)
B	135,6	465,0	607,6	682,0	557,2	458,8	90,3	2996,5	(X. 20—IV. 11.)
C	63,6	432,0	564,2	632,4	520,8	424,7	40,8	2678,5	(X. 25—IV. 4.)

* 20°C a fűtendő helyiségek megkívánt belső hőmérséklete, 10°C a fűtési idény kezdetét és végét meghatározó külső napi középhőmérséklet.

Mivel a fűtésre felhasznált tüzelőmenyiség közelítőleg arányos a hőfokhiddal, Budapest évi fűtési energiafogyasztásából (vö. II. fej. 5. pont) kiszámítható, hogy 1°C hőfokhídra Budapesten mintegy $2,6 \cdot 10^9$ kcal-nak megfelelő fűtőanyagfelhasználás jut. Ha a főváros területén az átlagos hőfokhídnak a Kitaibel Pál utcai értéket tekintjük, akkor a természetes környezethez (Pestlőrinc) képest mutatkozó hőmérsékleti eltérés $327 \cdot 10^9$ kcal, illetve ennek megfelelő kb. 100 000 tonna 3300 kalóriás háztartási szén *megettakarítását* teszi lehetővé. A megettakarítás a valóságban még na-

* A hőfokhíd a fűtendő helyiségek kívánt hőmérséklete és a külső napi középhőmérséklet közötti különbség; a havi- és idény-hőfokhidak a napi hőfokhidak összegei.

gyobb is lehet, mert a szélsébség mérséklődése a beépített területen ugyancsak javítja a fűtés feltételeit. Még kedvezőbb a helyzet a belvárosban, ahol a fűtési idény rövidebb, és a hőfokhíd kisebb, mint az ország bármely más részén.

2. A SZÉL

A) A város hatása a szélviszonyokra

A városi felszín jellegzetes tagoltsága és a környezettől eltérő hőháztartása révén számottevően módosítja a szélviszonyokat. A városban a *szélsébség erősen csökken*; LANDSBERG (1956, 1970) szerint 10 m-es magasságban az évi átlagos szélsébség 20–30%-kal, a heves széllokések sebessége 10–20%-kal mérséklődik, a *szélsébsend* gyakorisága viszont 5–20%-kal növekszik. CHANDLER (1965) részletesen vizsgálta London belterülete és a város repülőtere szélviszonyainak eltérését, és úgy találta, hogy a városban csak az 5 m/s-nál nagyobb sebességű szelek veszítenek erejükből, míg az enyhe szelek a nagyobb függőleges átkeveredés folytán inkább erősödnek. A városok feletti *légáramlás erősebb turbulenciáját* számos más vizsgálat is igazolta (pl. GRAHAM 1968). A városi felszín nagyobb aerodinamikai érdekességének hatására a városi szél nemcsak sebességéből veszít, hanem egyúttal irányának a felszíni súrlódástól mentes geosztrófikus szél irányával bezárt szöge is megnövekszik, különösen stabilis rétegződés esetén.

A szélsébség csökkenésének mértékében a mikroklimatikus különbségek rendkívül nagyok. Az eltérő tájolású útvonalak és terek szélviszonyai merőben mások. A szélsébség mérséklődésének arányára némi támpontot adnak GAJZÁGÓ (1969) vizsgálatai, aki a József Attila-telep egyik toronyházának szélverte sarkán egy októberi napon 5 m/s, maximálisan pedig 6,6 m/s sebességű szelet mért, míg a közelben az OKI épületének tornyában elhelyezett széliró 7,8 m/s-os szelet regisztrált. A csökkenés tehát 20–40%-os, a szomszédos tágas útkeresztezésben azonban jóval nagyobb: 40–70%-os volt. Ugyancsak alkalmi szélmérések során az Engels téren azt tapasztalták, hogy a szélsébség a Madách téri magasépület tetején mért értéknek felét sem éri el, sőt a tér közepén, ahol a betorkolló huzatos utcák légáramlása szétterül és lelassul, a szélsébség csökkenése eléri a 80%-ot.

E néhány adat is mutatja, hogy a városklímára általánosan jellemző vonások fenti kvalitatív megállapításainkon aligha terjednek túl. Advektív légmozgásoktól kevésbé zavart, sugárzási típusú dőjárás helyzetekben azonban a városnak és környékének eltérő hőmérséklete sajátos helyi cirkulációt, *városi szélrendszert* hív életre, mely a városi mezoklíma leg-sajátosabb jelenségei közé számít.

BERG (1943) és GOLD (1956) számításaikban a nagyvárosok reális méretéből és hőtöbbletéből kiindulva, kb. 3 m/s-os városi szelet feltételeztek, ha a térségben csak a városi hőszigeteltől származó nyomási gradiens hatása érvényesül. DMITRIJEV (1969) számításai szerint 20 km sugarú nagyvárosban 1 °C hőmérsékleti többlet a város szívében 0,25 mb nyomáscsökkenést és a centrum felé konvergáló légáramlást hoz létre, melynek sugárirányú

sebessége 4—500 m magasságban éri el legnagyobb értékét (7 m/s); ugyanakkor a város belseje felett jelentékeny feláramlás mutatkozik.

A városi szélrendszer gyakorlati jelentősége abban rejlik, hogy egyébként szélcsendes időben is biztosítja a város feletti levegő cseréjét; ugyanakkor a város belseje felé irányuló légáramlás a levegőszennyeződésnek az ipari övezetből a belterületre való eljutásában is közrejátszik. A városi szélrendszer létét közeli állomások szélrózsáinak elemzésével több helyen kimutatták (KRATZER 1956). OKITA (1960) egy ízben az éjszaka képződött zúzmara lerakódásának irányából, más alkalommal (1965) kémények füstjének repülőgépről történő megfigyelésével állapította meg a városi szélrendszer kialakulását. DAVIDSON (1967) New Yorkban ballonok követésével, FINDLAY és HIRT (1969) Torontóban sűrű szélmérő hálózat adataival igazolták nagyterű légnyomási gradienstől mentes anticiklonális időjárási helyzetben a város belseje felé konvergáló helyi légkörzés létrejöttét.

B) A városi szélrendszer kialakulása Budapesten

Budapest légáramlási viszonyait a város környékének *domborzata* is jelentősen befolyásolja; a város által keltett helyi cirkuláció kimutatása tehát nagyobb nehézségekbe ütközik, mint síksági települések esetében. Ennek ellenére PÉCZELY (1962) beható vizsgálatai a Kitaibel Pál utca és Pestlőrinc 1955—58. évi szélregisztrátumának alapján a városi légkörzés kialakulásának bizonyítékain túl annak gyakoriságáról is értékes adatokat szolgáltatottak.

A két állomáson a különböző irányú szelek gyakorisága erősen eltérő képet mutat. A budai észlelőhelyen a WNW irányú szél, Pestlőrincen pedig az N irányú az uralkodó. A nyári hónapokban a budai oldalon még fokozottabb az északnyugati-nyugati szelek túlsúlya; ez PÉCZELY szerint a hegy-völgyi szélrendszer éjszakai ágának kifejlődésével kapcsolatos. Télen a pestlőrinci obszervatóriumban az ESE-SE szelek válnak uralkodóvá, nyáron pedig ezekre az irányokra a gyakorisági eloszlás másodmaximuma jut. Ebben a monori és gödöllői dombok terelő hatásán túl a városi cirkuláció hatása is minden bizonnyal közrejátszik.

A város felé, illetve a város felől fújó szelek relatív gyakorisága a két állomáson jellegzetes napi menetet mutat. A budai oldalon a város felé fújó nyugatias szelek az esti órákban jelentkeznek legnagyobb gyakorisággal; ebben közrejátszik a hegy-völgyi cirkuláció esti ága is, de az a tény, hogy egyidejűleg Pestlőrincen a délkeleties szelek gyakorisága mutat maximumot, kétségtelenné teszi a város belseje felé konvergáló városi légkörzés létét. A délkeleti negyedből fújó szelek délelőtti nagyobb gyakorisága, mely Pestlőrincen gyengébben, Budán erősebben mutatkozik, a hegy-völgyi cirkuláció nappali ágának felel meg.

A városi szélrendszer kialakulásának gyakorisága télen kisebb, nyáron és ősszel nagyobb. Szeptemberben és októberben átlagosan minden második napon, nyáron minden harmadik, télen minden negyedik-ötödik napon fordul elő legalább egy órán át a város belseje felé konvergáló légáramlás. Az évi menet kialakításában az anticiklonális időjárási helyzetek gyakori-

ságán kívül az is szerepet játszik, hogy bár a város átlagos hőtöbblete télen nagyobb, abszolút értelemben a legnagyobb eltérés nyáron az esti és éjszakai órákban van a város és környékének hőmérséklete között. A városi légkörzés kialakulásának *napi menetében* az este 20–22 óra tájban mutatkozó maximum, valamint a déltájban jelentkező fő- és 15–16 óra körül észlelhető másodminimum jól egybevághat a képpel, ami a városi hőmérsékleti többlet általunk megállapított napi menete alapján várható. A városi cirkuláció alsó ága a pilotszelmérések tanúsága szerint kb. 1000 m magasságig terjed; a város felé tartó szél átlagos sebessége Pestlőrincen a talajszinten 2,4 m/s; maximális intenzitását kb. 5–600 m magasságban éri el, ahol átlagos sebessége 3,6 m/s.

A város saját légkörzése és a hegy-völgyi szélrendszer egyaránt kedvezően hat a budai oldal éghajlatára; a két tényező összehatására — különösen az esti-éjszakai órákban — ide a Budai-hegység hűvös, tiszta levegője áramlik. A pesti városrész szempontjából egyik helyi légkörzés hatása sem mondható kedvezőnek; éjszaka ugyanis a keleti kerületekben a város belseje felé tartó légáramlás jut túlsúlyra, és így a hegy-völgyi szélrendszer éjszakai ágának befolyása — úgy látszik — már nem terjed odáig. Nappal a kétféle cirkuláció együttes hatása a pesti oldalon ismét a belváros felé tartó, az ipari övezetekből szennyezett levegőt hozó szelek nagyobb gyakoriságában nyilvánul meg. Bár a városi szélrendszer kialakulásának kimutatható gyakorisága nem nagy, jelentőségét némileg növeli, hogy a levegőszennyeződés felhalmozódása szempontjából a szélcsendes vagy egészen gyenge lamináris légáramlással jellemezhető időjárási helyzetek különösen veszélyesek.

A városi szélrendszer vizsgálata azt is megmutatta, milyen *számottevő területi különbségek* vannak Budapest szélviszonyaiban. E különbségek részletesebb tanulmányozása a régebben működő szélírókon (Kítaibel Pál u., Pestlőrinc, Szabadság-hegy, Férihegy, Budaörs) kívül újabbak felállítását is szükségessé tette (1964-ben: Madách tér, Gyáli út, 1967-ben: Állatkert, Citadella, Óbuda). A kimagasló épületeken elhelyezett újabb telepítésű műszerek 1965. évi regisztrátumának feldolgozása (GAJZÁGÓ 1967) alapján megállapítható, hogy a Budai-hegység felé közeledve az átlagos *szélsebesség* fokozatosan csökken: a Kítaibel Pál utcában kb. 30, a Madách téren 20, a Gyáli úton pedig 5%-kal kisebb, mint Pestlőrincen, és ezek az arányok az év folyamán meglehetősen állandók. A *szélcsendes órák* relatív gyakorisága az átlagos szélsebességgel azonos értelemben változik a Kítaibel Pál utca (1,2%) és Pestlőrinc (0,1%) között. A négy állomás *szélirózsáinak* összehasonlításából (i. m. 4. ábra) kitűnik, hogy a budai Kítaibel Pál utcában nemcsak a szélsebesség, hanem a szélirányok megoszlása is erősen a domborzat helyi hatását tükrözi. Az északnyugati szél kiemelkedő túlsúlya voltaképpen egyedül erre az állomásra jellemző, míg a Madách téren az *N szélirány* gyakorisága megközelíti, a Gyáli úton és Pestlőrincen pedig felül is múlja a NW szélirányét. A Gellérthegy szélárnyékhatásával magyarázható, hogy a Madách téren délnyugati szelek igen ritkán fordulnak elő. A gyakorisági eloszlás a Madách téren és a Gyáli úton az S—SE irányoknál, Pestlőrincen pedig az ESE—SE irányoknál erős második maximumot mutat. GAJZÁGÓ és munkatársai újabban elvégezték valamennyi budapesti állomás három évi regisztrátumának összehasonlító vizsgálatát is.

Ennek keretében többek között kimutatták, hogy a talajszél az irányítás nélküli időjárás helyzetekben a nap folyamán az óramutató járásával egyező körbefordulást végez; nappal az S, éjjel az N szélirány viszonylag gyakoribb.

3. A CSAPADÉK

A) A város hatása a csapadéokra

A város élete szempontjából a csapadék jelentősége aránylag csekély, bár a városi zöldterületek öntözővízigényének felméréséhez, valamint a csatornahálózat optimális megtervezéséhez szükség van a csapadék területi és időbeni eloszlásának ismeretére. A városnak a természetes csapadékeloszlásra gyakorolt módosító hatása viszont elsősorban elméleti szempontból érdekes probléma, mivel az ilyen tárgyú kutatások eredményei némi bepillantást engednek a csapadék keletkezésének mechanizmusába.

A város több úton-módon is befolyásolja a csapadékképződést. A városi hősziget a labilis légállapotnak kedvez, és a városi szélrendszer kialakulása feláramlással jár a város felett. A beépített terület akadályt jelent a légáramlások útjában, és azokat a térszíni kiemelkedésekhez hasonlóan emelkedésre kényszeríti. Végül, de nem utolsó sorban a városi levegőszennyeződés bőségesen szolgáltat kondenzációs magvakat a csapadékképződés folyamatához.

A városok csapadéknövelő hatására a szakirodalomban számos példát találunk (KRATZER 1956), melyek azonban az észlelési sorozat rövidege és a városközei vízfelszínnek vagy a domborzat hatása folytán nem mindig meggyőzőek; némely esetben a kísérleti céllal létesített sűrű csapadékmérő hálózat sem hozta meg a kívánt eredményt, a város hatás megbízható igazolását (LODGE 1961). A legtöbb új vizsgálat azonban megerősíti a városok elméleti megfontolások alapján várható csapadéknövelő hatásának feltételezését. POKROVSZKAJA (1957) szerint a leningrádi kikötőben a csapadék sokévi átlaga 518 mm, míg a város 565 mm, a keletebbre — tehát az uralkodó szél irányában — fekvő Lesznoj pedig 635 mm csapadékot kap. Moszkva 1955–64. évi csapadékeloszlásának elemzése (DMITRIJEV és BESSZONOV 1969) ugyancsak arról tanúskodik, hogy a városközponttól a lee-oldal felé húzódó sáv kapja a legtöbb csapadékot, télen kb. 50%-kal, nyáron 15%-kal többet, mint a város nyugati szomszédsága. CHANGNON (1970) szerint az Egyesült Államok négy közép-nyugati városában végzett vizsgálatok az évi csapadékösszegnek 5–10%-os, a zivataros napok számának pedig 13–21%-os növekedését mutatták ki. A Gary-i hatalmas kohászati kombináttól szélirányban kb. 50 km-re fekvő La Porte-ban a csapadék 31%-kal mutatkozott magasabbnak, a jégesők száma pedig 1951–65 között 3,5-szer volt több, mint a környező területen. A Gary—La Porte távolság megfelel annak a térbeli eltolódásnak, mely az átlagos felhőalap-magasság és szélsőbesség mellett az ipari komplexum levegőszennyeződésének hatásában várható volt. ASHWORTH (1929) Rochdale-ben, DETTWILLER (1970) Párizsban a csapadékmennyiségben heti ritmust állapított meg; a szombat-

vasárnapi minimum szintén a levegőszennyeződés hatására utal. Berlinben MALKOWSKI (1964, 1965) sokévi radarmegfigyelések alapján tanulmányozta a város hatását a zivatartevékenységre. Vizsgálatai szerint a város csapadék-keltő hatása csekély. A város befolyása csak bizonyos időjárási helyzetekben bontakozhat ki, mégpedig főleg az esti órákban, amikor a városi hősziget megteremtheti a labilitás és zivatarképzés feltételeit olyan esetekben is, mikor a város környékén a stabil légrétegződés már helyreállt.

B) A csapadék területi eloszlása Budapesten

Budapesten a csapadék területi eloszlása elsősorban a *domborzat* befolyását mutatja. A fővárosban és környékén 1932-től működött a területi különbségek vizsgálatára alkalmas sűrű csapadékmérő hálózat, amely azonban a második világháború idején megsemmisült. A csapadékmérések első két évéből származó adatok első feldolgozását (RÉTHLY, BERKES és KAKAS 1941) követte BERKES (1947) újabb tanulmánya, amely már az 1932–41. közötti tízéves időszak alapján, 70 állomás észlelési anyagára támaszkodva adott részletes képet Budapest csapadékviszonyairól. BERKES e munkájában — melyet KRATZER (1956) városklíma-monográfiája is idéz — rámutatott, hogy nyáron a pesti oldal viszonylag csapadékosabb, mert az erősen felmelegedő városi házrengeteg felett könnyebben alakul ki heves nyári zápor, felhőszakadás. A nyári félév százalékos részesedése az évi csapadékból éppen a város délkeleti részén — tehát az uralkodó szélirány szerinti leoldalán — mutatkozott a legnagyobb, ami a pesti oldalon észlelhető nagyobb zivatarhajlam fenti magyarázatát alátámasztotta.

A csapadékmérő hálózat újjáépítése a háborús pusztulás után hosszú ideig tartott, és a korábbihoz fogható sűrűségű állomáshálózat adatai csak 1956 óta állnak rendelkezésre. A másfél évtizedet (1956–70) felölelő adatsor lehetőséget adott arra, hogy megvizsgáljuk, vajon a csapadékeloszlás BERKES által leírt vonásai mennyire állandó jellemzői Budapest éghajlatának, milyen mértékben tükröződnek az újabb mérési időszak során.

Adatfeldolgozó munkánkba összesen 60, Budapesten vagy legközvetlenebb környékén elhelyezkedő állomást kapcsoltunk be; általában nem vetjük tehát számításba azokat az állomásokat, melyeknek mérési anyagából az 1956–70. időszakban több év hiányzott. A 35. táblázatban összesítettük azon 49 budapesti mérőhely átlagos havi és évi csapadékmennyiségét, melyek hiánytalan sorozatot szolgáltatottak, vagy anyagukat legfeljebb néhány hónapra terjedő és a szomszédos állomások adatai alapján elvégezhető kiegészítéssel teljessé lehetett tenni. A nyári (IV–IX. hónap) és téli félév (X–III. hónap), valamint az egész esztendő átlagos csapadékmennyiségének területi eloszlását a 31–33. ábrákon mutatjuk be. Megjegyezzük, hogy míg a BERKES által vizsgált tíz év (1932–41) egyik legcsapadékosabb évtizedünk volt, addig az 1956–70 időszak csapadékatlagai az 1901–50. évi törzserkékekhez igen közel állnak (pl. Kitaibel Pál u. 1901–50: 617 mm, 1956–70: 593 mm; Csillagda 1901–50: 666 mm, 1956–70: 692 mm), s ezért az eloszlás képét számszerűen is megfelelően adják vissza (35. táblázat).

35. táblázat

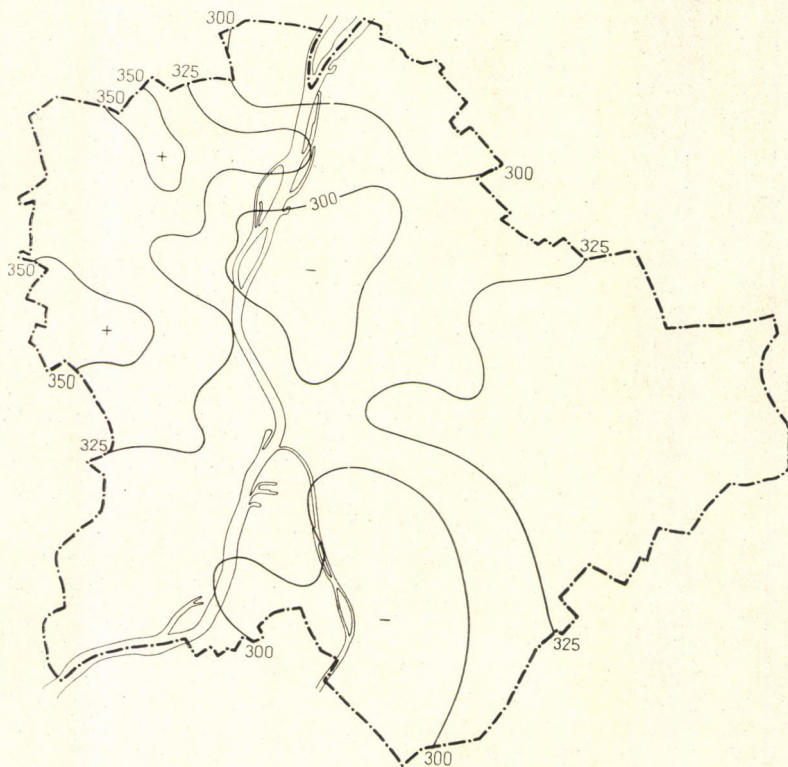
Havi és évi átlagos csapadékmennyiség budapesti állomásokon (mm; 1956–70)

Ny = a nyári félév (ápr.–szept.) csapadékának százalékaránya

Nes = az $R \geq 20$ mm csapadékú napok száma

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Év	Ny	Nes
Kitaibel P. u.	36	45	36	41	55	80	62	45	36	33	71	55	595	53,6	4,9
Szabadság-hegy	41	51	42	49	60	94	76	54	39	40	82	64	692	53,8	5,9
Diana út	41	49	39	46	57	93	72	44	40	39	79	63	662	53,0	5,8
Budakeszi út	39	49	43	48	55	81	69	47	38	37	81	60	647	52,2	5,1
Szépjuhászné	41	51	36	51	55	85	65	48	38	39	80	61	650	52,6	5,5
Pesthidegkút	41	47	36	51	56	84	59	47	40	38	79	60	638	53,0	5,3
Hűvösvölgy	41	51	36	50	54	84	58	47	39	38	76	58	632	52,6	5,4
Ferenc-hegy	37	48	35	45	54	78	61	45	33	34	75	56	601	52,6	5,0
Zsigmond-tér	32	41	31	39	50	77	58	43	32	33	66	52	554	53,9	4,5
Vörösvári út	36	45	34	40	49	84	57	45	35	35	70	54	584	53,1	4,6
Óbudai Gázgyár	36	46	35	43	53	82	65	51	47	37	75	59	629	54,2	5,5
Csillaghegy	36	42	33	40	48	72	57	45	35	35	70	55	568	52,3	4,0
Békásmegyér	35	42	32	39	45	72	56	44	36	34	66	55	555	52,5	4,0
Óbudai temető	41	50	35	48	54	81	61	51	40	40	83	64	648	51,9	5,4
Krisztinaváros	34	45	36	44	57	92	66	46	39	37	79	56	631	54,5	5,3
Gellérthegy, Sáne u.	33	42	31	37	46	73	59	49	36	35	67	54	562	53,4	5,1
Műgyetem	31	42	31	37	50	90	59	46	35	31	67	51	570	55,6	4,9
Kelenföld	34	45	34	41	56	87	60	48	36	34	73	53	601	54,5	4,9
Kelenföld kocsiszín	34	43	33	38	49	79	51	40	32	29	67	49	544	53,1	3,9
Kelenföld, szivattyútelep	32	43	31	38	49	83	58	46	33	31	67	51	562	54,5	4,5
Farkasrét, Eper u.	36	45	37	43	54	87	61	51	34	33	73	56	610	54,1	5,3
Budaörs-Kamaraerdő	31	42	31	38	52	80	61	47	34	33	69	54	572	54,6	4,4
Nagytétény	29	37	29	38	48	78	64	49	30	30	68	46	546	56,4	3,9
Káposztásmegyér	33	41	30	39	45	69	62	45	35	35	67	53	554	53,2	3,9
Újpest	34	42	31	39	49	77	62	49	36	35	70	55	579	53,9	4,9

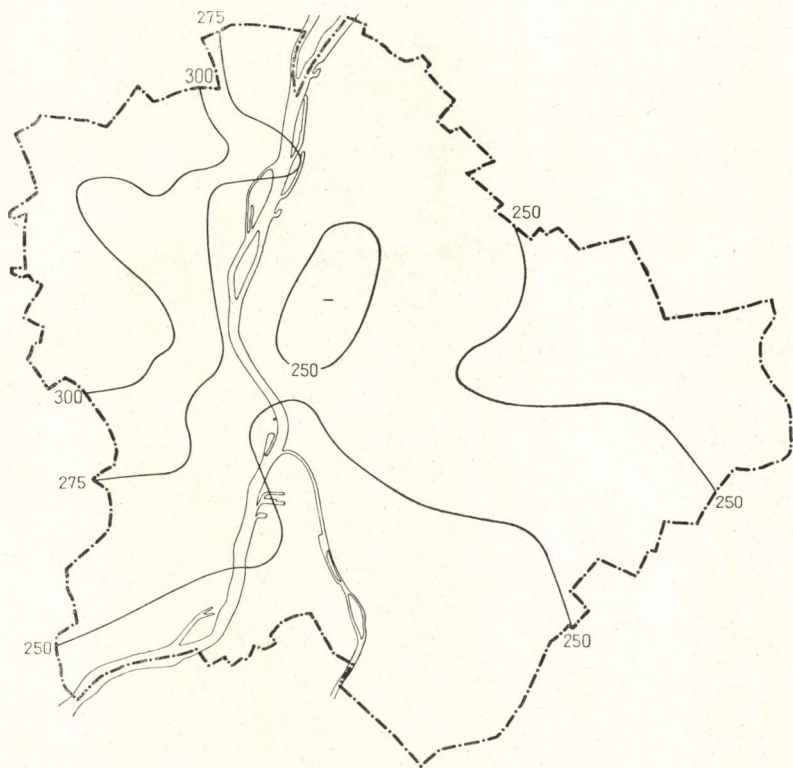
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Év	Ny	Ncs
Rákospalota	33	42	30	36	46	72	59	49	36	35	66	53	557	53,5	4,1
Vizafogó	33	43	30	40	47	74	58	44	33	34	68	50	554	53,3	4,3
Szónyi út	33	40	29	34	42	72	56	41	31	30	63	48	519	53,3	3,2
Egressy út	34	43	29	38	50	87	62	47	34	33	66	52	575	55,5	5,1
Kerepesi temető	30	40	31	37	46	83	57	41	32	31	65	48	541	54,6	4,3
Főv. Tanács	34	43	32	39	52	86	59	44	34	30	66	52	570	54,9	4,5
Egyetemi Növénykert	31	42	31	37	47	82	58	41	33	31	68	50	551	54,2	4,5
Ecseri út	32	38	30	38	47	86	63	45	36	36	68	51	570	55,3	4,5
Népliget	38	41	32	41	54	87	64	46	36	36	71	53	599	54,8	5,1
Kispest	33	40	30	37	47	77	62	43	33	31	66	50	549	54,4	4,6
Kőbánya-Vízmű	37	43	32	43	55	92	63	50	36	36	73	54	614	55,3	5,1
Kőbánya-Maglói út	32	40	27	41	52	88	58	48	35	34	69	48	572	56,3	4,3
Újköztemető	36	41	30	41	51	94	63	49	35	33	68	51	592	56,9	4,1
Rákosh. Ady u.	35	42	30	41	51	83	76	53	38	34	69	51	603	56,8	4,8
Rákosh. Csokonai u.	34	42	29	42	51	82	71	51	41	33	70	52	598	56,5	5,2
Rákosesaba	32	39	27	42	54	86	75	49	38	32	65	49	588	58,6	5,3
Sashalom	35	43	32	40	54	87	60	52	36	36	69	53	597	55,2	4,5
Árpádföld	31	38	28	40	50	77	66	54	37	36	64	49	570	56,8	4,1
Pestlőrinc Obsz.	28	36	26	37	48	75	67	43	35	32	65	45	537	56,7	4,0
Pestlőrinc	33	40	30	39	50	79	75	46	37	32	66	50	577	56,6	4,3
Pestimre	31	39	26	37	47	75	69	41	36	30	64	47	542	56,3	4,2
Csepel	33	40	30	35	52	78	62	45	33	31	66	49	554	55,0	4,4
Csepel-Szivattyútelep	30	39	29	36	45	74	62	48	32	30	66	47	538	55,1	4,1
Soroksári út	30	40	29	37	45	85	60	46	32	32	67	51	554	55,2	4,5



31. ábra. A csapadék (mm) területi eloszlása Budapesten a nyári félévben (1956–70)

Az évi csapadékösszeg területi eloszlásának (33. ábra) fő jellemvonása a csapadékosabb Budai-hegység és a szárazabb síksági területek ellentéte. A Budai-hegységen belül is a két kimagasló hegyesoport kapja a legtöbb csapadékot; köztük az Ördögárok völgye viszonylag szárazabb, míg az Óbudai-sík déli részén kissé csapadékosabb sáv nyúlik át Újpest irányába. A főváros déli felének esőárnyékban fekvő sík területei alkotják a legszárazabb övet. Külön száraz mag figyelhető meg Pest északi részén; az 1956–70. időszakban éppen ennek belsejében hullott a legkevesebb csapadék. Kelet felé, a Pesti-síkság lankásan emelkedő teraszain ismét jóval több a csapadék, s Kőbánya valamint Rákoshegy területén helyi csúcsértékek jelennek meg. Az évi csapadékeloszlás képének szinte valamennyi fontos vonása feltűnően egyező módon ugyanígy mutatkozik meg a nyári és a téli félév csapadékmennyiségének területi alakulásában is (31–32. ábra).

Az 1956–70. évek csapadékeloszlási térképét a BERKES (1947), valamint BACSÓ (1958) által szerkesztett térképekkel összevetve, a domborzat által megszabott fő vonásokban nagyfokú hasonlóság, a finomabb részletekben azonban számos eltérés állapítható meg; BERKES térképéhez képest na-



32. ábra. A csapadék (mm) területi eloszlása Budapesten a téli félévben (1956–70)

gyobbak az eltérések, aminek oka az lehet, hogy az általa vizsgált rendkívül csapadékos évtized a területi eloszlásban is sajátos vonásokkal járt. Mindamelllett Kőbánya déli részének csapadékosabb magja, vagy a Pest északi részén található szárazabb sáv mindkét térképen felismerhető; igaz, elhelyezkedésük, határaik nem fedik egymást pontosan.

BERKES (1947) példájára ugyancsak térképen ábrázoltuk a nyári félév (ápr. – szept.) csapadékának százalékos részesedését az évi összegtől, ami alkalmas a nyáron esőben viszonylag gazdagabb területek elhatárolására (34. ábra). Akárcsak a BERKES által vizsgált időszakban, ezúttal is a Pilis déli nyúlványain, Űröm és az Arany-hegy tájékán a legkisebb a nyári csapadék részaránya, viszont a Pesti-síkságon nem délkeleti, hanem inkább keleti irányban haladva figyelhető meg a legnagyobb mérvű növekedés. Valószínűleg a városnak a nyári záporok kialakulását serkentő hatása tükröződik vissza a nyáron aránylag csapadékosabb sáv Kőbánya és Zugló területét elfedő széles nyúlványában és szigetszerű belvárosi felbukkanásában; ez utóbbi BERKES térképén is kirajzolódik. Az a tény, hogy a nyári félév csapadékának részesedése az évi összegtől 51 és 59% között váltako-



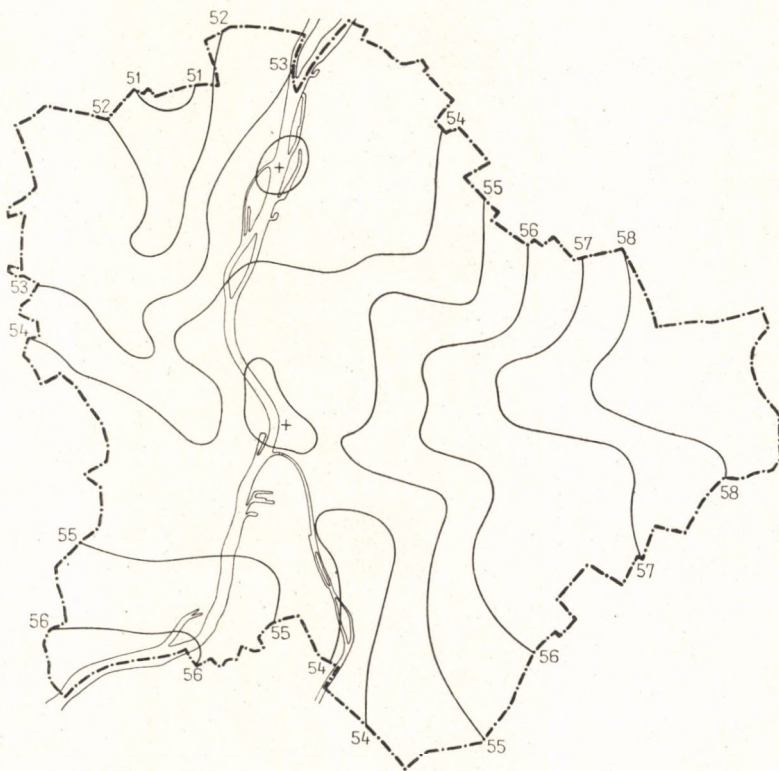
33. ábra. Az évi csapadék (mm) területi eloszlása Budapesten (1956—70)

zik, világosan mutatja a főváros területén észlelhető éghajlati különbségek mértékét.

A 20 mm-nél nagyobb csapadékú napok átlagos száma Pest egyes részein (Zugló és Józsefváros keleti részén, valamint Kőbányán) évente 5 felett van, és így megközelíti a csapadékosabb Budai-hegyvidék értékeit; ez az említett területeken a heves záporokra való nagyobb hajlamot látszik igazolni.

A nagy csapadékú napok számának havonkénti eloszlása szinte minden állomáson júniusi vagy júliusi fő maximumot, és novemberben második csúcserőteket mutat; márciusban viszont legritkább az ilyen napok előfordulása. Júniusban a budai oldalon, júliusban pedig a pesti oldalon gyakoribb a nagy mennyiségű csapadék (36. táblázat).

Az 1932—41. és 1956—70. időszakok csapadéktérképeinek egybevetése némi fényt derít arra, hogy az eloszlás mely vonásai tekinthetők viszonylag állandó szabályszerűségnek. A csapadék mint igen szeszélyes eloszlású éghajlati elem esetében megbízható kép alkotásához különösen fontos a megfelelő hosszúságú eredeti mérési sorozat; ez azonban egyelőre oly kevés állomásról áll rendelkezésre, hogy részletes eloszlási térkép szerkesztéséhez még nem ad elegendő alapot. A városnak — gyakorlati szempontból



34. ábra. A nyári félév csapadékmennyiségének százalékaránya az évi csapadékmennyiségből (1956–70)

bizonyosan nem számottevő — csapadékkeltő hatása csak a nyári és téli félév csapadékarányainak egyes vonásai alapján látszik kimutathatónak, vagy inkább valószínűsíthetőnek. A csapadékeloszlás fő meghatározója azonban a domborzat; a Budai-hegység nagy formáinak hatása a légáramlásra és a csapadékképződésre nyilvánvalóan kiterjed a Pesti-síkságra is, és a város sokkal csekélyebb hatása ettől nehezen különíthető el.

36. táblázat

A 20 mm-nél nagyobb csapadékú napok átlagos száma (1956–70)
(B = 23 budai állomás átlaga; P = 26 pesti állomás átlaga)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Év
B	0,04	0,29	0,02	0,21	0,33	1,07	0,83	0,50	0,28	0,27	0,77	0,22	4,93
P	0,02	0,25	0,03	0,18	0,33	0,94	0,87	0,50	0,23	0,29	0,66	0,14	4,44

C) Budapest hóviszonyai

A nagyváros hatását a havazásra először KASSNER (1917) vizsgálta Berlin példáján, s megállapította, hogy a város melegebb légterében gyakran havaseső vagy eső észlelhető olyankor is, amikor a környéken havazik. Münchenben és Nürnbergben viszont egy évtizedre terjedő észlelési anyag a havas napok számának csekély többletét mutatta a környező vidéki állomásokkal szemben; ennek okát KRATZER (1956) a város csapadékkeltő hatásában kereste. A lehullott hó sorsát a városi mezoklíma egyes vonásai ugyancsak különbözőképpen befolyásolják; míg a város sugárzásvesztése kedvez a hótakaró fennmaradásának, a hótöbblet és a hófelület gyors beszennyeződése gyorsítja az olvadást. A lehullott hó mennyiségére és a hótakaró élettartamára gyakorolt, végső soron igen csekély városi hatás megbízható igazolása azért is nehéz, mert a beépített területre jellemző szeszélyes légáramlási viszonyok a hófelhalmozódásban sok helyi különbséget idéznek elő. A város belterületén egyébként is alig akad olyan megfelelő nagyságú szabad térség, ahol a közlekedés és a hőeltakarítás a hótakaró élettartamát ne befolyásolná. A hó a város életében — elsősorban a közlekedésben — anyagi szempontból is számottevő szerepet játszó éghajlati elem.

Fővárosunk hóviszonyairól 13 állomás másfél évtizedes észlelési sorozata (1929/30—1943/44) alapján KÉRI (1955) adott először a területi különbségeket is bemutató éghajlati jellemzést. Az általa vizsgált állomások közül Pesterzsébet és a Gellérthegy (déli lejtő) a hótakarós napok száma (33,2, illetve 33,3) és a hótakaró átlagos vastagsága (5,6, illetve 5,8 cm) alapján egyaránt igen alacsony értékekkel tűnt ki, míg a pesti oldal egyetlen valóban városi mérőhelyén, az Egyetemi Növénykertben síksági fekvéséhez képest feltűnően sok (41,4) hótakarós napot észleltek, jóllehet az átlagos hóvastagság ott bizonyult a legcsekélyebbnek (5,2 cm). Budapest területén a budai hegyvidék és a város alacsonyabban fekvő részei között mutatkozik a legélesebb különbség a hóviszonyokban. Ezt a különbséget a Szabadság-hegy és a Kitaibel Pál utca adatainak tükrében PÉCZELY (1966) 32 évet (1930/31—1943/44 és 1946/47—1963/64) átfogó újabb keletű feldolgozása alapján a 37—40. táblázatok mutatják. A Szabadság-hegy hóviszonyainak részletes jellemzéséből ítélhető meg a Budai-hegység üdülőterületének a *téli sportokra* való alkalmassága. A Kitaibel Pál utca hóviszonyaiból a városi *hőeltakarítás* munkaigényének időbeni eloszlására vonhatók le hasznos következtetések. Különösen fontos mutató ebből a szempontból a lehullott hó mennyisége, ami a naponta keletkezett friss hótakarók vastag-

37. táblázat

A hótakarós napok átlagos száma

Észlelőhely	XI	XII	I	II	III	Összesen
Kitaibel Pál u.	1	7	16	11	3	38
Szabadság-hegy	2	12	21	16	8	59

38. táblázat

A hótakarós napok számának kvartilisei

Észlelőhely	Min.	75%	50%	25%	Max.
		valószínűséggel meghaladott érték			
Kitaibel Pál u. Szabadság-hegy	8	22	32	53	75
	13	44	62	69	111

39. táblázat

Az átlagos maximális hóvastagság (A) és a havonta előfordult legnagyobb hóvastagság (B) (cm)

Észlelőhely	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	Tél
A) Kitaibel Pál u. Szabadság-hegy	.	1	7	13	15	7	..	.	20
	.	4	12	21	26	15	1	.	35
B) Kitaibel Pál u. Szabadság-hegy	.	9	30	41	61	30	.	.	—
	4	40	36	61	99	68	14	11	—

40. táblázat

Az első (A) és utolsó (B) hótakarós nap dátumának kvartilisei

Észlelőhely	Legkorábbi dátum	A jelzett dátum előtti előfordulás valószínűsége			Legkésőbbi dátum
		25%	50%	75%	
A) Kitaibel Pál u. Szabadság-hegy	XI. 6.	XII. 1.	XII. 14.	I. 1.	I. 28.
	X. 7.	XI. 17.	XII. 3.	XII. 15.	I. 5.
B) Kitaibel Pál u. Szabadság-hegy	I. 12.	II. 11.	III. 1.	III. 11.	III. 30.
	II. 8.	III. 10.	III. 18.	III. 27.	V. 11.

ságának összegezésével határozható meg (41. és 42. táblázat*). Ez az adat megmutatja, hogy — a hó olvadásával, párolgásával és tömörülésével nem számolva — milyen vastag friss hóréteget kellene eltakarítani a főváros útjainak folyamatos tisztántartásához. A Kitaibel Pál utcában egy-egy télen lehulló, átlagosan 43,4 cm vastag rétegnek megfelelő hó mennyiséget alapul véve kiszámítható, hogy Budapest burkolt közútjainak 23 km²-es felületéről 10 millió m³ — hozzávetőleg 1 millió tonna — hó elhordására lenne szükség. Szerencsére e roppant munka jó részét a hótakaró természetes fogyása, majd elolvadása feleslegessé teszi.

* Az e táblázatok összeállításához alapul felhasznált kéziratot anyagi támogatásáért dr. PÉCZELY Györgyöt illeti köszönet.

41. táblázat

A lehullott hőmennyiség dekádonként (cm)
(A = Kitaibel Pál u.; B = Szabadság-hegy)

	X	XI			XII			I			II			III			IV	V	Tél
		1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.			
A	—	0,1	0,1	0,8	2,4	3,1	3,5	4,8	6,0	5,6	5,6	6,1	1,2	2,4	1,1	0,6	—	—	43,4
B	0,2	1,0	2,4	2,2	5,5	6,0	5,8	8,6	9,5	7,2	7,8	10,7	2,8	6,2	3,8	3,2	0,4	0,5	83,8

42. táblázat

A tél folyamán lehullott hőmennyiség kvartilisei

	Min.	75%	50%	25%	Max.
		valószínűséggel meghaladott érték (cm)			
Kitaibel Pál u.	11	25	41	55	98
Szabadság-hegy	27	60	85	99	155

4. A LÉGNEDVESSÉG

A városokban a természetes párologtató felszínek hiánya, valamint a hőmérsékleti többlet folytán a relatív légnedvesség kisebb, mint környékükön. Az abszolút légnedvesség-tartalom és a párányomás értékeiben a város legfeljebb csekély változást idéz elő.

KREMSEK (1908) több német városi és városkörnyéki állomás adatainak összehasonlítása alapján a relatív légnedvesség évi átlagában 4–6%, a párányomásban pedig 0,2–0,5 Hgmm eltérést talált. A különbség télen kisebb volt, sőt ekkor néhány városban a párányomás nagyobbak mutatkozott a vidéki értéknél. Meleg, derült napokon határozottan kibontakozott a különbség, míg esős, szeles időben — amikor a városi hősziget gyenge, és az elpárolgásnak a városban is van utánpótlása — elmosódnak az eltérések. CHANDLER (1965) London belvárosa és a város környéke között az 1946–56. időszakban a de. 9 órai párányomás évi középértékében mindössze 0,2 mb, a relatív légnedvességben 5% különbséget mutatott ki. Mindkét elem városi eltéréseinek évi menete meglehetősen szabálytalannak mutatkozott, mivel abban sokrétű éghajlati hatások eredménye tükröződik. CHANDLER mérőútjai során egyformán gyakran észlelt a városban a környéknél alacsonyabb és magasabb párányomás értékeket, míg a relatív légnedvességtartalmat a hősziget intenzitásának megfelelően alacsonyabbnak találta.

Budapesten a légnedvesség mértékszámában mutatkozó városi határról a Kitaibel Pál utca és Pestlőrinc szellőztetett hőmérőpár leolvasásából származó 1954–63. évi adatainak összehasonlítása tükrében a 43. táblázat nyújt tájékoztatást.

43. táblázat

A relatív légnedvesség (A) %-ban, illetve a párányomás (B) Hgmm-ben mért különbsége Pestlőrinc és a Kitaibel Pál utca között

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Év
A.	4,7	4,4	6,3	4,7	3,5	3,2	2,4	2,7	2,5	2,8	4,7	5,4	3,9
B.	0,0	0,0	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2

A két állomás közül a városi a légnedvesség mindkét mutatójának tükrében szárazabb, bár a különbség a párányomásban nem jelentős. A relatív légnedvesség eltéréseinek évi járása sajátos módon télen és kora tavasszal mutat maximumot, nyáron viszont kisebb a különbség. Véleményünk szerint — mint az a párányomás eltéréseinek csekély voltából is látszik — a város levegőjének kisebb relatív nedvességtartalma elsősorban a magasabb hőmérsékletre vezethető vissza, míg az elpárolgás hiánya a város levegőjének cserélődése miatt a légnedvesség-tartalmat kevésbé befolyásolja. Nagy vonalakban tehát a hőmérsékleti különbségeket követi a relatív légnedvesség eltérése is. A relatív légnedvesség-tartalom területi eloszlásának vizsgálata, finom különbségek kimutatására a fővárosi klímaállomások hálózatának sokévi adatsorai csak korlátozottan látszanak alkalmasnak, mivel

menet volt, melynek alaptendenciája azonban — a hőmérsékleti eltérés a legtöbb állomáson (így az 1964—70 között működött belvárosi állomáson is) nem szellőztetett, hanem szívófonatos hőmérőpár leolvasásából nyerték az adatokat, tehát az állomás elhelyezése által megszabott szél-, illetve szellőzési viszonyok esetleges hatását nem lehet teljesen kizárni. Fenti megfontolásaink alapján azonban bizonyosra vehető, hogy a relatív légnedvesség területi eloszlásának térképe az izotermatérképeknek megfelelő rajzolatú, az eltérések előjele azonban ellentétes.

1966. július 18—22. között Budapest több pontján — utcákon és parkok nyílt részein — végzett méréseink során úgy találtuk, hogy a szűk belvárosi utcák (Vármegye u.) levegője a legszárazabb, ezért ezek az utcák — melyek nappal amúgyis viszonylag hűvöseks — a hőérzet szempontjából kellemesebbek. Az Engels téri park nappal a Madách térnél 1%-kal, a Vármegye utcánál 3%-kal magasabb légnedvességet ért el, este pedig 3, illetve 6% volt a különbség. A Vérmezőn nappal 4, este 7—8%-kal, a Margitszigeten pedig nappal 5—6, este viszont 13—14%-kal mutatkozott magasabbnak a relatív légnedvesség. Este a Szépvölgyi út melletti, völgytalpi fekvésű mérőhely relatív nedvessége még a Margitszigetét is felülmúlta. (GAJZÁGÓ [1969] egyes mérőútjai alkalmával a napnyugtát követő órákban a Margitszigeten a belvárosinál 25—30%-kal, a Hűvösvölgyben és a hideg levegőt összegyűjtő Pesthidegkúti-medencében 40—50%-kal nagyobb relatív légnedvességet is mért.)

A három nyári nap déli (11—15 óra) és esti (19—23 óra) időszakában végzett méréseink eredményét a 15—15 adat középértékének tükrében egyes mérőhelyekre vonatkozóan a 44. táblázatban mutatjuk be. A párányomásban ugyanekkor csak *jelentéktelen* helyi különbségeket találtunk, melyek az azonos magasságban fekvő mérőhelyek esetében a relatív nedvesség eltéréseihez hasonló jellegűek voltak.

44. táblázat

A relatív légnedvesség értéke (%) néhány budapesti mérőhelyen (1966. júl. 18—22.)

	11—15 ^h	19—23 ^h	Közép
Madách tér	46,2	58,4	52,3
Vármegye utca	44,2	55,6	49,9
Engels tér	47,2	61,8	54,5
Vérmező	50,2	65,8	58,0
Gellérthegy	52,6	65,6	59,1
Szépvölgyi út	50,4	73,6	62,0
Margitsziget	51,6	72,0	61,8

A relatív nedvesség városi különbségének napi menetére az előbb ismertetett mérések eredményei is adnak némi támpontot. A napi menet pontosabb megállapítása céljából feldolgoztuk a Kitaibel Pál utca és Pestlőrinc 1960—66. évekből származó higrógráf-óraértékeit. Az eredmény minden hónapban meglehetősen szabálytalan, sok véletlenszerű kiugrást tartalmazó napi

tükörképének megfelelően — azt mutatta, hogy a nappali órákban kisebb, az éjszakai órákban nagyobb a relatív nedvességben a város és környéke között észlelhető különbség. A különbség napi járásának szabálytalansága és csekély amplitúdója azzal magyarázható, hogy a hőmérsékletkülönbség hatását a párányomás, illetve az abszolút légnedvesség-tartalom eltérése bizonyos fokig ellensúlyozza. Az utóbbi a városban nyilvánvalóan magasabb lehet, ha a hűvösebb környéken éjszakai harmat- vagy dérképződés mérsékli a páratartalmat, viszont a melegebb városban a levegő nem telített, és így a légnedvesség nem csapódik ki. Minden olyan éjszakán, amikor legalább a város környékén a harmatpontig hűl le a levegő, a város és környéke között a relatív légnedvesség-különbség csökken; ez pedig a hőmérsékleti különbséggel ellentétesen befolyásolja a légnedvesség városi eltéréseinek napi menetét.

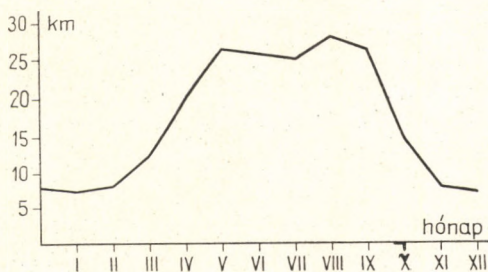
5. A LÁTÁSTÁVOLSÁG ÉS A KÖD

A) A város hatása a vízszintes látástávolságra

A vízszintes látástávolság fordítottan arányos a légköri aeroszol-tömeg-koncentrációval (NOLL, MUELLER és IMADA 1968). Ezt az összefüggést MÉSZÁROSNÉ (1964) Pestlőrincen végzett vizsgálatai is igazolták. A látástávolság tehát a városi levegőszennyeződés hatására csökken, és a változás mértéke közvetett mutatója az aeroszol-koncentráció változásának.

Budapest látástávolsági viszonyait a Kitaibel Pál utca és Pestlőrinc 1964—64. évi adatainak alapján vizsgáltuk részletesen (PROBÁLD 1965). A feldolgozás alapjául a 14 órás észlelési terminust választottuk, minthogy ilyenkor legkisebb az észlelési irány megválasztásából eredő hiba. A látástávolság évi menetében (35. ábra) májusban és augusztusban kettős maximum, januárban pedig minimum figyelhető meg. Nyáron a látástávolság 3—4-szerese a téli értéknek.

A három nyári és három téli hónapra vonatkozóan a látástávolságot mindkét állomáson *szélirányok szerinti* csoportosításban is megvizsgáltuk (45. táblázat). Nyáron a különböző szélirányokhoz tartozó közepes látástávolságok csak kevéssé különböznek, és a két állomás között nincs nagyobb



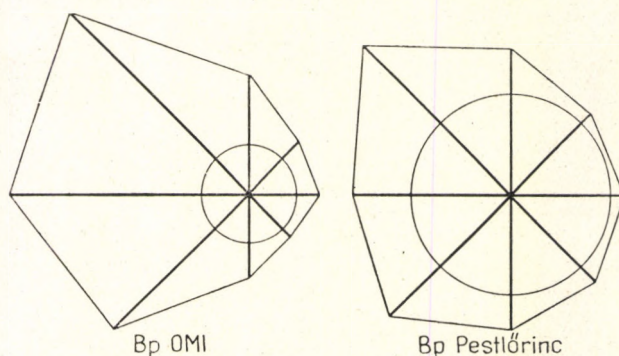
35. ábra. A vízszintes látástávolság évi járása Budapesten (1954—63)

45. táblázat

A látástávolsági jelzőszámok gyakorisága %-ban 14 órakor különböző szélirányok

Fokozat	Budapest, OMI (Kitaibel Pál u.)									
	December—Január—Február									
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	C	
0	—	—	1	—	1	—	—	—	—	—
1	1	2	4	4	1	2	—	—	—	5
2	3	5	13	11	4	2	—	—	—	14
3	12	19	19	11	15	2	1	2	—	38
4	23	28	23	26	28	7	4	6	—	24
5	17	18	22	22	15	14	11	11	—	5
6	25	18	9	20	25	35	30	25	—	9
7	17	10	7	6	9	31	45	41	—	5
8	1	—	2	—	2	7	9	15	—	—
9	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Közepes látástávolság (km)	6,1	3,8	3,8	3,4	4,6	10,1	12,5	13,6	—	2,2
Fokozat	Június—Július—Augusztus									
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	C	
	0—4	1	—	—	—	—	—	—	—	—
5	—	1	3	1	1	2	1	1	—	
6	7	9	15	6	9	5	3	4	22	
7	45	36	51	44	47	37	40	44	57	
8	40	45	28	44	41	54	51	46	14	
9	7	9	3	5	2	2	5	5	7	
Közepes látástávolság (km)	26,1	28,0	20,5	25,8	23,5	26,2	27,8	26,6	—	20,1

eltérés, mint amennyi a vizuális észlelési módszer bizonytalanságából adódhat. Télen viszont a széliránytól függően nagyok az eltérések. A nyugatias szelek mindkét állomáson eleve jobb látási viszonyokkal járnak együtt; e különbséget Budán fokozza, Pestlőrincen pedig mérsékli a városi levegőszennyeződés hatása (36. ábra).



36. ábra. A 14 órasi látástávolság télen különböző szélirányok és szélséend idején

esetén (1954—1963)

Fokozat	Budapest, Aerológiai Obsz. (Pestlőrinc)								
	December—Január—Február								
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	C
0	—	1	—	—	—	—	—	—	—
1	1	—	3	—	2	2	1	—	—
2	—	1	3	4	4	4	2	2	6
3	3	3	9	8	6	4	6	2	6
4	11	14	12	11	19	9	15	7	23
5	38	45	26	23	20	26	18	19	26
6	28	27	35	37	27	25	37	37	33
7	13	8	9	16	19	23	14	23	3
8	5	—	3	1	2	6	7	8	3
9	1	1	—	—	1	1	—	2	—
Közepes látás-távolság (km)	7,6	5,4	5,9	6,3	7,3	9,1	8,2	11,1	4,7
Fokozat	Június—Július—Augusztus								
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	C
	0—4	2	2	—	—	—	4	1	1	13
5	3	5	12	4	2	2	8	2	13
6	20	13	18	17	9	7	14	7	25
7	41	36	37	42	43	31	36	43	25
8	33	41	29	34	45	52	38	45	12
9	1	3	4	3	1	4	3	2	12
Közepes látás-távolság (km)	19,7	23,3	20,2	21,5	23,1	26,5	22,2	23,7	19,2

A két állomás látási viszonyaiban az egyértelműen a városi levegőszennyeződés hatására visszavezethető eltérést legvilágosabban a relatív értékek útján való összehasonlítás tükrözi (46. táblázat).

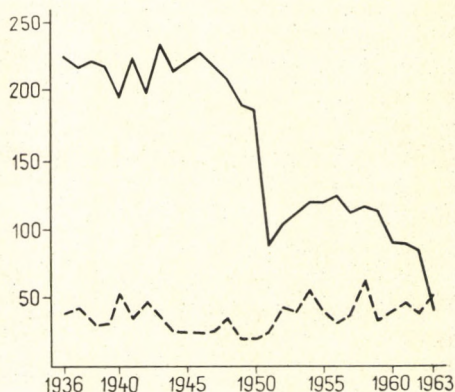
A nyugati szektorból, tehát a Budai-hegység felől fújó szelek idején a Kitaibel Pál utcában jobbák a látási viszonyok, mint Pestlőrincen, egyébként azonban — különösen délkeleti szél és szélcsend esetén — a városi állomáson a látástávolság messze elmarad a pestlőrinci értéktől.

Mivel a látástávolságot Budán már 1936 óta rendszeresen észlelik, megvizsgáltuk, vajon ki lehet-e mutatni a levegőszennyeződés fokozódásának

46. táblázat

A Kitaibel Pál utcában észlelt közepes látástávolság télen 14 órakor a pestlőrinci érték százalékában

Szélirány	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	C
Látástáv. %	80	70	64	54	63	111	152	123	27



37. ábra. A 2 km alatti (---) és 20 km feletti (—) látástávolság gyakoriságának változása 14 óraker, 1936–63 között Budán

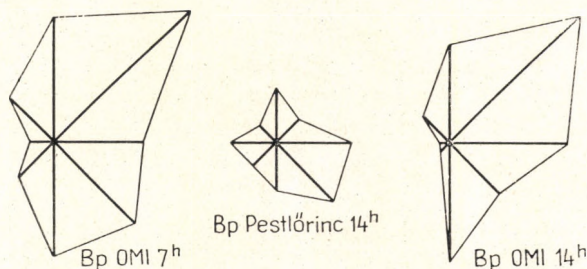
hatását a látástávolság csökkenésének tükrében. Az 1963-ig terjedő közel három évtizedes adatsorról tanúskodik, hogy a szélsőségesen rossz látási viszonyok gyakoriságában nem következett be lényeges változás (37. ábra). Az igen nagy látástávolság gyakoriságának hirtelen visszaesése 1950-től az észlelési módszer változására vezethető vissza. Az észlelési anyag tehát egyidejű észlelések összehasonlítását (pl. szélirányok szerinti bontásban) lehetővé teszi ugyan, de hosszabb idő alatt bekövetkező változások megbízható kimutatására nagyfokú ahomogenitása miatt nem alkalmas.

B) A nagyvárosi jelleg tükröződése Budapest ködviszonyaiban

A látástávolság szélsőségesen alacsony — 1 km-nél kisebb — értékének — a ködnek — a közlekedés biztonsága szempontjából van nagy gyakorlati jelentősége. A nagyvárosok légterének magasabb hőmérséklete és kisebb relatív nedvességtartalma nem kedvez a ködképződésnek, a gyengébb légáramlás és főként a levegőt szennyező higroszkópos anyagok hatására azonban a köd gyakorisága mégis nagyobb, mint a városok környékén. A ködös napok számának a városok terjeszkedéséhez és iparosodásához fűződő növekedéséről számos publikáció látott napvilágot (KRATZER 1956), melyek azonban az észlelési módszerek tökéletesedése folytán nem teljesen homogén adatsorra épültek, s ezért sokszor megbízhatatlan vagy éppen nyilvánvalóan irreális képet adtak (vö. KÉRI 1965). Újabb ismeretessé váltak olyan adatok is, melyek egyöntetű észlelések alapján igazolták a levegővédelmi intézkedések pozitív hatását a londoni belvárost sújtó hírhedt ködök gyakoriságának csökkenése példáján (BRAZELL 1964).

Az 1954–63. évi észlelésekre támaszkodó látástávolsági vizsgálatunkból kitűnt, hogy e tíz év során Pestlőrincen 105 esetben, a Kitaibel Pál utcában

viszont 183 alkalommal fordult elő köd a 14 órai észlelés időpontjában. Azokban az esetekben, amikor a két állomás közül csak Pestlőrincen észleltek ködöt, 52,2% volt a nyugati szektorból fújó szelek aránya, amikor viszont csak a Kitaibel Pál utcában volt köd, mindössze 4,6%-ban fordult elő a nyugati szektorból fújó szél, 95,4%-ban pedig a szennyezett levegőjú város felől érkezett a légáramlás. A *ködszélrózsák* (38. ábra) tanúsága szerint



38. ábra. Budapesti ködszélrózsák (1954—63)

a budai oldalon rendkívül ritkán fordul elő köd délnyugati, nyugati vagy északnyugati szél idején. A budai és a pestlőrinci, illetve ferihegyi ködszélrózsa nagyfokú eltérésében — melyre első ízben HILLE (1955) mutatott rá — a budai állomás sajátos orográfiai helyzetén kívül nyilvánvalóan nagy szerepet játszik a városi levegőszennyeződés hatása. Különösen feltűnő, hogy az északnyugati — tehát a város felől fújó — széllel milyen gyakran jár együtt Ferihegyen erős párásság, 1 és 2 km közötti látástávolság.

Mindezek a tények arra mutatnak, hogy a főváros hatással van a köd előfordulásának gyakoriságára. A hatás mértékének megállapítására KÉRI (1965) végzett beható vizsgálatot Budapest és Kalocsa 1901—60. évi köd-észlelési sorozatának összehasonlító elemzésével. E vizsgálat eredményei szerint Budapesten a közepes ködgyakoriság 48 nap. A téli gyakoriság az évnek 93%-a, Kalocsán viszont csak 84%-a, ami azt tükrözi, hogy a nyári félévben a városi hatások közül a köd kialakulását gátló, télen viszont a serkentő tényezők kerülnek túlsúlyba. A ködös napok száma a nagyvárosi jelleg fokozódása következtében 1910 és 1960 között mintegy 10%-kal emelkedett. Budapesten évente kb. 8-cal több ködös nap van, mint szabad területen; novemberre 1, decemberre és februárra 2—2, januárra 3, márciusra pedig kevesebb mint 1 nap jut a ködgyakoriság városi hatásra visszavezethető többletéből.

A köd valószínűsége ANTAL E. (1958) vizsgálatai szerint a gyenge délkeleties légáramlással járó anticiklonális időjárási helyzetekben (A, Ae, An), továbbá a délies áramlással járó mCw, és az általában meleg, nedves levegőt hozó, délnyugati—nyugati légmozgással jellemezhető As makroszinoptikus helyzetben a legnagyobb. Az utóbbi kivételével ugyanezek a makroszinoptikus helyzetek azok, melyek a levegőszennyeződés felhalmozódásához a legjobb feltételeket teremtik (PÉCZELY 1959). Az 1960—64. évi ferihegyi észlelések azt is megmutatták (VENTURA 1966), hogy a köd az esetek 94%-

ában az alsó 1000 m-es légrétegben jelentkező inverzió idején lép fel, ami szintén kedvez a levegő fokozott szennyeződésének. A városban a köd éppen ezért gyakran barnásfekete árnyalatú, csekély fényáteresztő képességű, és a szennyező anyagok jelenléte érzékszervileg is érezhető benne; szélsőséges esetben nappali sötétedéssel járó sűrű füstköd alakulhat ki.

A *sűrű füstköd* (szmog) viszonylag új jelenség fővárosunk éghajlatában; először 1958-ban észlelték, majd ezután öt év alatt (1958–62) 17 alkalommal jelentkezett (AUJESZKY 1962a, 1962b). Az egyik legnagyobb füstköd 1959. március 16-án borította fővárosunkat. A belvárosban de. 11 óraker színté éjszakai sötétség uralkodott, s a látástávolság nem érte el a 80 métert, míg ugyanakkor a külső Üllői úton 1 km-re, sőt Ferihegyen 2-km-re lehetett ellátni. A füstköd idején a korom koncentrációja a 4 mg/m^3 -t is meghaladta, s jóval magasabb volt, mint az 1952 decemberi hírhedt londoni füstköd-katasztrófa alkalmával észlelt csúcserték; a kén-dioxid-koncentráció viszont a londoni szint alatt maradt (GULÁCSY és MÓRIK 1963).

A füstköd előfordulásának megfigyelését és pontos rögzítését nehezíti, hogy a levegőszennyeződés felhalmozódása gyakran csak a város egyes részeire korlátozódik, és a bizonytalan légáramlásnak megfelelően változtatja helyét; a szennyezett levegő határvonala — mint azt 1965. január 28-án kora délután a Duna vonalában volt alkalmunk megfigyelni — olykor szembeötlően élesnek mutatkozik.

A füstköd rendszeres megfigyelését hátráltatja az is, hogy a jelenségnek nincs általánosan elfogadott egyértelmű definíciója. AUJESZKY (1962a) szerint a látástávolság erős romlása (köd) és a nappali sötétedés létrejötte, tehát a megvilágítás erősségének nagyfokú csökkenése a füstköd fő jellemzője. A nappali sötétedés az áramfogyasztás ugrásszerű növekedését és az energiaellátó hálózat szokatlan időben jelentkező csúcsterhelését idézi elő. Éppen ezért fontos a jelenség előrejelzése; ennek elveit AUJESZKY (1962c) a köd és a levegőszennyeződés felhalmozódásának prognóza alapján dolgozta ki, amennyiben a turbulens szél hiányát, a déli—délkeleti légáramlást, az inverziós légállapotot és a talaj menti légréteg elegendő páratartalmát jelölte meg előfeltételként.

Az 1967–70. években Pestlőrincen és a Madách téren egyidejűleg — 13 óraker — végzett megvilágításmérések alapján megvizsgáltuk azokat a füstködgyanus napokat, melyeken a belvárosban a vízszintes felületre jutó megvilágítás erőssége $1,5 \text{ klx}$ -nál kisebb, egyszersmind a pestlőrinci értékeknél lényegesen alacsonyabb volt. Úgy találtuk, hogy e nappali sötétedések idején a látástávolság legtöbbször 1–2 km között mozgott, tehát inkább az erős párásság, mintsem a köd volt jellemző. A köddel és nappali sötétedéssel is jellemezhető, a látástávolság valamint a megvilágítás erősségének bizonyos küszöbértékei alapján definiálható helyzeteket talán *sűrű füstköd* néven lenne célszerű megkülönböztetni azoktól az esetektől, melyek a levegőszennyeződés felhalmozódásának kritériumát — a továbbiakban ismertető definíciók alapját — kielégítik, de az említett extrém kísérő jelenségeket még nem idézik elő.

A füstköd (szmog) MÓRIK (1969) meghatározása szerint a levegőszennyeződés szélsőséges felhalmozódásával jellemezhető helyzet, amely „leginkább a ködhöz hasonló”, mivel egyik kísérőjelensége a látástávolság nagymértékű

csökkenése. A szmognak a szakirodalomból jól ismert két típusa: az oxidáló hatású vagy *fotokémiai szmog*, melyet az ózon felhalmozódása jellemez — ennek legismertebb előfordulási helye Los Angeles —, valamint a magas kén-dioxid-tartalma miatt *redukáló hatású szmog*, melynek sokat idézett példája London. A legtöbb európai iparvároshoz hasonlóan Budapestre is az utóbbi füstköd típus jellemző. Ez az alapja POPOVICSNÉ és SZEPESI (1969) álláspontjának, akik a különböző intenzitású szmogokat egyszerűen a *kén-dioxid-koncentráció* bizonyos határértékeinek túllépésével definiálták. Az így értelmezett füstköd gyakoriságának és előrejelzési lehetőségeinek vizsgálata azért nagy jelentőségű, mert ennek alapján oldható meg a levegőszennyeződés felhalmozódásának veszélye idején a különleges levegővédelmi intézkedések életbe léptetése, például a nagy szennyező forrásként szereplő erőművek időleges átállítása földgáztüzelésre.

POPOVICSNÉ és SZEPESI (1969), illetve SZEPESI (1970) a kén-dioxid-koncentráció alapján definiált különböző intenzitású szmogok előfordulási feltételeit a légköri stabilitás mértékének, a keveredési réteg reggeli és délutáni vastagságának, valamint a bel- és külterület hőmérsékleti különbségének alapján jellemezték. A füstködös órák gyakoriságának havi eloszlásáról SZEPESI (1970) által közölt kép alapján a szeptember—április időszakon belül októberben, majd szeptemberben fordulna elő a legtöbb szmogos óra, márciusban és januárban pedig a legkevesebb; az utóbbi két hónapot még az április is megelőzné. A szmogos órák ilyen eloszlása azonban a tapasztalatokkal és a levegőszennyeződés-mérések később részletezendő eredményeivel is nyilvánvalóan ellentétes, hiszen az átlagos kén-dioxid-koncentráció szempontjából például szeptember a legtisztább hónapok közé tartozik, és áprilisban vagy szeptemberben aligha lehet a valóságban az idézett tanulmány által megadott 180—210 füstködös órára számítani.

SZEPESI (1970) a szmog előfeltételei közé sorolja a hőmérséklet inverz területi eloszlását, midőn a belváros hidegebb a külterületnél, s ezért a helyi (városi) légkörzés nem alakulhat ki. Azonban az ilyen órák gyakorisága — amint azt korábban kimutattuk (25. táblázat) — lényegesen (például decemberben és januárban 8—10-szerte) kisebb, mint a szmogos órák SZEPESI által megadott gyakorisága. Az 1967—70. években a megvilágítás erőssége és a látástávolság alapján füstködgyanús napokon a hőmérséklet területi eloszlása vizsgálatunk szerint teljesen normális képet mutatott, sőt átlagon felüli városi hőtöbbletre is akadt példa. Véleményünk szerint tehát a *külterület hőmérsékleti többlete korántsem tekinthető a szmog szükségyszerű feltételének*, viszont a városi hősziget kifejlődése sem zárja ki a levegőszennyeződés felhalmozódását. A hősziget ugyanis nem okvetlen vezet a városi légkörzés kibontakozásához, az utóbbinak légtisztító hatását pedig — különösen, ha a cirkuláció csak az inverzió alatti rétegre korlátozódik, ami külföldi vizsgálatok (CHANDLER 1968) szerint igen gyakori — semmiképpen sem szabad túlbecsülni, kivált a Budapesthez hasonló, sok irányból ipartelepekkel övezett város esetében.

A füstköd — mint sajátos városi időjárási jelenség — a levegőszennyeződésnek köszönheti létét. Még sok tisztázandó problémát rejtő kérdés-komplexuma a városi légszennyeződés klimatológiai jellemzésének témaköréhez vezet át.

IV. A NAGYVÁROSI LEVEGŐSZENNYEZŐDÉS BUDAPESTEN

„Midőn minden más helyen tiszta és átlátszó a levegő, itt kénés felhő sötétíti el, melyen még az egész világra fényt árasztó Nap is alig képes áthatolni; és a fáradt vándor sok mérföld távolból előbb érzi szagáról a várost, mely felé igyekszik, mintsem megpillantaná azt.”

J. EVELYN: Fumifugium (1661)

„Minden nagyobb javítást szükségkép meg kell előzni valamely kellemetlen és nyugtalanító érzésnek, mivel csak ez bír rendszerint azon erők felébresztésére, melyek nélkül nem javíthatni.”

„Szükséges mindenekelőtt, hogy a városnak akár minemű földjei fákkal ültetessenek be, s ne fasorokkal, hanem úgyszólván erdőkkel. Ez által kirekesztetik némileg az idegen por; ami által majd könnyebben bírhatunk saját városi porainkkal.”

SZÉCHENYI I.: Pesti por és sár (1837)

1. A LEVEGŐSZENNYEZŐDÉS MINT ÉGHAJLATI ELEM

A városklíma sajátos vonásainak kialakításában jelentékeny szerepet játszik a levegő összetételének helyi módosulása (vö. 1. ábra), a vendéggázoknak és a légkör járulékos alkotórészeinek — aeroszoloznak valamint szennyező gázoknak — megváltozott mennyisége és részaránya, egy szóval a levegő szennyeződése. A légszennyeződés tehát a városi mezoklíma szempontjából fontos, ám a makroklíma vonatkozásában sem elhanyagolható éghajlati tényező.

A levegő szennyeződése ugyanakkor az éghajlat — mindenekelőtt a bioklíma — elemének is tekinthető, ami következik az éghajlatnak a tér egy meghatározott részében fellépő légköri jelenségek és folyamatok együtteseként való értelmezéséből. Ezt a felismerést tükrözi, hogy a korszerű városklíma-monográfiák (pl. STEINHAUSER, ECKEL és SAUBERER 1957—59, CHANDLER 1965, DMITRIJEV és BESSZONOV 1969) nagy súlyt helyeznek a városi levegőszennyeződés éghajlati jellemzésére.

A levegőszennyeződés az ipari forradalom óta vált általános jelentőségű problémává; épp ezért klimatikus hatásaival együtt először Angliában került a figyelem homlokterébe. Hazánk városaiban a múlt század második feléig még a porszennyeződés volt a legkellemetlenebb — ez ellen emelte fel szavát SZÉCHENYI is — majd a gyors ipari fejlődéssel párhuzamosan jelentkeztek a füst és az ipari szennyezőanyagok, felkeltve a tudományos vizsgálat és a védekezés igényét.

Budapesten az utcai por és a szén-dioxid mennyiségét mérésekkel FODOR J. (1879) vizsgálta elsőként. A levegőszennyeződés területi eloszlása, valamint annak a meteorológiai elemekkel és a településfejlesztéssel való kapcsolata korán felébresztette a geográfusok figyelmét is. Hazánkban az *ülepődő por* mennyiségének első, példamutatóan pontos mérésére id. LÓCZY LAJOS balatoni kutatásai folyamán 1897—98-ban került sor. Ugyanő a

Balaton környékének geológiájáról szóló művében már 1913-ban javasolta: „A meteorológiai megfigyelések keretébe kellene bevonni, és az egész országra kiterjeszteni a porterhelés mérését.” A fővárosi légszennyező források számbavételén és az egyes szélirányok gyakoriságán alapuló *első levegőszennyeződési térkép* megszerkesztése KOGUTOWICZ K. (1913) nevéhez fűződik. Módszere mai tudásunk fényében joggal bírálható, úttörő kezdeményezése azonban vitathatatlan. Sajnálatos, hogy munkája — úgy látszik — teljesen feledésbe merült: a hazai levegőszennyeződés kutatásának közel száz évét összefoglaló tanulmány (MÓRIK, 1970) sem emlékezik meg róla.

Századunk húszas éveiben a füst elleni küzdelem szükségessége mind nyilvánvalóbb kezdett lenni. 1929-től SCHEFF—DABIS (1930, 1932) valamint WALDBAUER (1935, 1938) mérései és nemzetközi tudományos fórumokon is elismert tanulmányai a levegőt szennyező számos anyagra (kén, kén-dioxid, szén-dioxid, szén-monoxid, korom) kiterjedtek, és az utóbbi évtized korszerű vizsgálataihoz jó összehasonlítási alapot teremtettek.

A Budapest levegőszennyeződéséről alkotott első, valóban részletes kép az OKI által az 1958—60. években 56 állandó mérőhelyen végzett folyamatos vizsgálatokból, valamint átgondoltan tervezett időszakos mérésekből bontakozott ki (MÓRIK 1961). 1963-tól az OKI állomáshálózatát a budapesti KÖJÁL vette át; 1968-ig csaknem 60 állomáson folytatták rendszeresen az ülepedő por- és összkén-méréseket (FEHÉR V. 1970). Azóta a KÖJÁL állandó mérőhelyeinek száma 34-re csökkent, viszont 8 helyen több szennyező anyagot felőlelő koncentrációmérések kezdődtek, a Tanács körúton pedig 1970-ben működésbe lépett az első folyamatos regisztrálásra alkalmas mérőállomás is.

Az elmúlt évtized mérései alapján Budapest légszennyeződésének fő vonásairól kirajzolódó kép természetesen korántsem terjed ki valamennyi szennyező anyagra. A legjellegzetesebb, úgynevezett indikátorszennyezők területi eloszlásában, időbeni változásaiban azonban visszatükröződnek a nagyvárosi levegőszennyeződés alapvető sajátosságai.

2. A LEVEGŐSZENNYEZŐDÉS TÉRBELI ELOSZLÁSA

A) A kénszennyeződés térbeli eloszlása

A levegőt szennyező gázok között toxikus és korrodáló hatásuknál fogva közegészségügyi és gazdasági szempontból egyaránt kiemelkedő szerepet játszanak a kénvegyületek, mindenekelőtt a *kén-dioxid*, melyet épp ezért a nagyvárosi levegőszennyeződés indikátorának tekint a szakirodalom (pl. MÓRIK 1967, FEHÉR V. 1970, ÁRVAI 1971). Jellemző inaikátoranyagként való számbavételét indokolja még, hogy *a*) kéntartalmú energiahordozók eltüzelésekor szabadul fel, tehát a legtöbb városi szennyező anyaghoz hasonlóan égéstermék, keletkezése ugyanakkor nem függ a tüzelés határfokától; *b*) a levegőnél kétszerre nehezebb gáz lévén, terjedése az aeroszolkéval bizonyos hasonlóságot mutat; *c*) élettartama a levegő vízgőz, illetve oxidáló anyag tartalmától függően több órától néhány napig terjed (GAJZÁGÓ 1964).

Budapest levegőjének kénvegyületekkel való szennyeződését már a 30-as években SCHEFF-DABIS és WALDBAUER is vizsgálta. A területi eloszlás megállapítására alkalmas állomáshálózat azonban csak 1958-tól működött az OKI kezelésében. 55 mérőhelyen havonta egy pillanatnyi mintavétel történt a kén-dioxid-koncentráció meghatározására; ezenkívül a Liesegang-féle módszerrel havonta egy 100 órás integrálérték formájában az összkén-szennyeződést is megállapították. Három év vizsgálati adataiból a kén-szennyeződés területi eloszlásának a főváros nagy részét érintő diffúz jellege és a fő szennyező gócok elhelyezkedése kibontakozott (MÓRIK 1961).

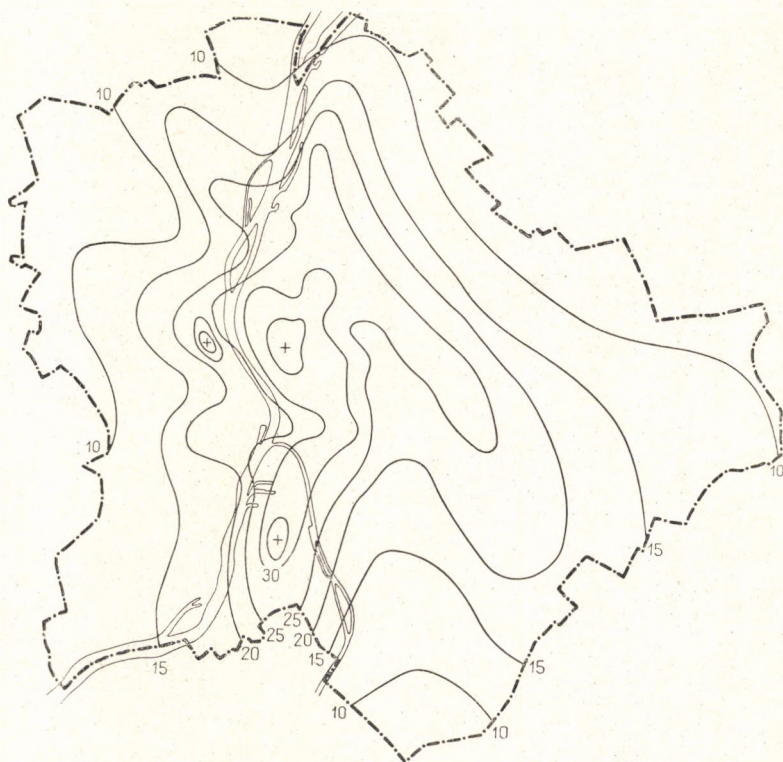
A Gellérthegyen a *függőleges eloszlás* megállapítására folytatott mérések megmutatták, hogy a hegytető szintjében, ahová távolabbról érkezik a szennyeződés, még magasabb a kén-dioxid-koncentráció, mint a hegy lábánál. Repülőgépes mérőutak tanúsága szerint a gáznemű szennyezők néhány száz méter magasságban gyakran újabb maximumot érnek el, és a szennyezett légtömeg felső határa a 2500–3000 métert is meghaladja (KELENFFY et al. 1967).

1963-tól 1968-ig a KÖJÁL 49 állomáson végzett havonta legalább egy — 100 órás időszakot átfogó — összkénmeghatározást (KÖJÁL, 1964–69). Bár egy-egy 100 órás időszak összkénszintjét nyilvánvalóan befolyásolja a mintavételi napok időjárása, az öt évi átlagok a területi eloszlásról és az évszakos változásról már kielégítő képet adnak.

A KÖJÁL által 49 mérőhelyen 1963 július–1968 június között végzett összkénszennyeződés mérésekből a fűtési időnyre (nov.—ápr.), a nem fűtési időszakra és az egész évre meghatározott átlagértékeket FEHÉR V. (1970) közölte. Az adatok felhasználásával megszerkesztettük az *összkénszennyeződés területi eloszlásának térképeit*. Csepelre vonatkozóan 1963–68. évi adatok hiányában az 1958–60. évi mérések eredményei alapján (MÓRIK 1961) egészítettük ki térképeinket.

A *fűtési időnyben* (39. ábra) a sűrűn lakott városmag területén a széntüzelésű háztartási fűtőberendezések üzemeltetése miatt nagyfokú a kén-dioxid-, illetve összkénszennyeződés. Az igen erősen szennyezett sáv a IX. kerületi vegyiüzemek környékén át Csepelig húzódik. A budai oldalon a Déli pályaudvar közvetlen környéke a legszennyezettebb góc. A Budai-hegység déli előterében a levegőszennyeződés szintjének bizonyos kiegyenlítődése figyelhető meg; a dél-délkeleti légáramlások ugyanis a hegység előterében szétterülve, szennyezett levegőt szállítanak a Budaörsi-medence felé, a délnyugatias szelek viszonylag tiszta levegőjét pedig Ferencváros irányába tereli a domborzat. A Solymári-völgybe a levegőszennyeződés viszonylag messzire behatol; ebben az óbudai ipartelepek légszennyező hatásán kívül a helyi téglagyárak is nyilván szerepet játszanak. A kénszennyeződés délkeleti irányban nyomul előre legtávolabb, jóval túl a város közigazgatási határain.

A *nyári félév* kénszennyeződésének területi eloszlása (40. ábra) úgyszólván teljesen az ipari eredetű emisszió, valamint a meteorológiai tényezők hatásának eredménye, mivel ilyenkor a fűtésből nem jut kén-dioxid a város légterébe. Épp ezért a legnagyobb mérvű kénszennyeződés nem a városmag, hanem a ferencvárosi, csepeli és angyalföldi ipari övezet területén figyelhető meg; kisebb helyi gócok az óbudai ipartelepek és a Déli-pályaudvar kör-



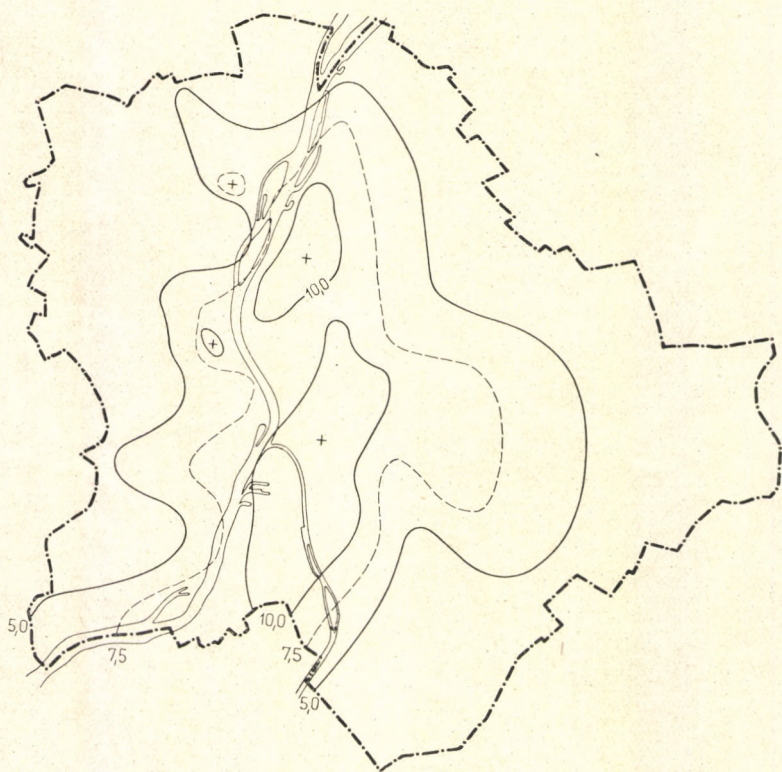
39. ábra. Az összkényszennyeződés területi eloszlása a fűtési időnyben (S mg/100 óra) (1963–68)

nyékén alakulnak ki. Mindamellett a város belterületének a környező gyár-
negyedekből származó viszonylag nagyfokú szennyezettsége azt mutatja,
hogy a helyi, fűtési eredetű emisszió felszámolása — pl. a gázfűtésre való
áttérés révén — önmagában nem oldhatja meg e sűrűn lakott városrész
levegőjének tisztaságát.

Az évi közepes kénszennyeződés eloszlásának (41. ábra) fő vonásait a téli
félév magasabb koncentrációértékei alakítják ki; a legszennyezettebb sáv a
belvárost, a külső Ferencvárost és Csepelt foglalja magába.

A Liesegang-módszerrel mért, S mg/100 óra mértékegységben megadott
összkényszennyeződés a koncentrációmérések adataival közvetlenül össze
nem hasonlítható relatív értékeket ad.

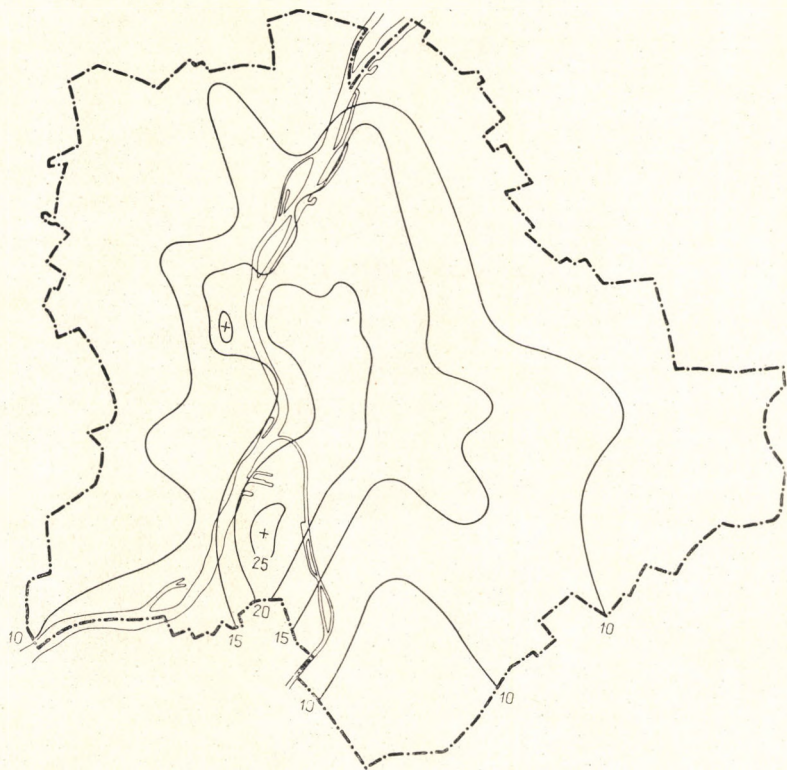
SZEPESI D. és munkatársai (1970) az 1968–69. években a főváros 8 pont-
ján hetente háromszor végzett kén-dioxid-koncentrációmérések és az egy-
idejű összkénmérések eredményéből szórásdiagramot szerkesztettek, majd
ennek alapján az 1963–68. évi összkén adatok átszámításával a fűtési időny-
re megrajzolták a kén-dioxid-alapterhelés területi eloszlását; ez természetsze-
rűleg úgyiszlóván pontosan fedi a 39. ábrán bemutatott térképünk vonásait. A



40. ábra. Az összkén-szennyeződés területi eloszlása a nyári félévben (máj.-okt.) (S mg/100 óra) (1963–68)

két legszennyezettebb területen — a VI. és VII. kerületben valamint Csepelen — az átlagos kén-dioxid-koncentráció $1,4 \text{ mg/m}^3$ felett van, a maximális kén-dioxid-koncentráció pedig ugyanezekben a góciókban meghaladja a $3,2 \text{ mg/m}^3$ -t. A $0,4 \text{ mg/m}^3$ -es átlagérték és az $1,6 \text{ mg/m}^3$ maximális koncentráció vonala a fűtési idényben a főváros területének legnagyobb részét körülöleli. Az említett kén-dioxid-alapterhelési térkép alapján megállapítottuk, hogy a fővárosban a kén-dioxid-koncentráció területi átlaga a fűtési idényben $0,6 \text{ mg/m}^3$, a kerületrészenként a lakosság számával (1960) súlyozott területi átlag viszont $0,9 \text{ mg/m}^3$ volt. A jelentékeny különbség arra vezethető vissza, hogy a sűrűn lakott területek szennyeződési szintje magasabb. A települések levegőtisztasági helyzetének felmérésére és összehasonlítására véleményünk szerint a lakosság számával súlyozott területi átlag lenne a legmegfelelőbb mutató; ezt Budapesten a mérőállomások adataiból képzett területi átlag jól megközelíti, mivel az OKI, illetve később a KÖJÁL állomáshálózata lényegében a főváros lakóterületeit képviselte.

Az 1958–60. évek során 56 állomáson végzett havonkénti mintavételekből meghatározott átlagos kén-dioxid-koncentráció a fűtési idényben $0,85$



41. ábra. Az évi közepes összkényszennyeződés területi eloszlása (S mg/100 óra) (1963–68)

mg/m³, az évi középérték pedig 0,68 mg/m³ volt (MÓRIK 1961), ami jól egyezik a fenti, 60-as évekből származó adatokkal. A főváros levegőjének e számokban tükröződő kén-dioxid-szennyeződése sokszorosan felülmúlta a védett területeken még megengedhető értéket (0,15 mg/m³), és más nagyvárosokkal összehasonlítva is rendkívül súlyos helyzetről tanúskodott (47. táblázat).

A budapesti levegő különösen nagyfokú kén-dioxid-szennyeződésének oka a tüzelésre, fűtésre használt hazai barnaszén 2,0–4,5%-os, illetve a fűtőolaj általában 1,0–2,8% között változó kéntartalma. Az elmúlt évtizedben évente kb. 250 000 tonna kén-dioxid került a főváros légterébe (GULÁCSY 1968). A Gyáli úton 1933-ban végzett mérésekkel összehasonlítva, 1958–60-ra kb. 40%-kal fokozódott az összkényszennyeződés. Az energia-hordozók felhasználási arányaiban a 60-as évek derekán elkezdődött gyökeres változástól, mindenekelőtt a földgáz térhódításától várható, hogy 1980-ra a levegőbe jutó kénmennyiség az 1965. évinek kb. 55%-ára csökken (BAKÁCS 1970). A KÖJÁL újabb mérési eredményei (az 1969–71. évek átlagos

47. táblázat

A kén-dioxid-szennyeződés mértéke néhány hazai és külföldi városban

Forrás	Hely	Mérési időszak	Évi közepes koncentráció (mg/m ³)
MÓRIK (1961)	Budapest, 56 állomás átlaga	1958—60	0,68
MÓRIK (1970)	Dunaújváros	1967	0,48
MÓRIK (1970)	Dorog	1954—59	0,70
MÓRIK (1970)	Debrecen	1964—65	0,13
MÓRIK (1970)	Tatabánya	1954—59	0,35
MÓRIK (1970)	Lábatlan	1954—59	0,35
DMITRIJEV és BESSZONOV (1969)	Moszkva, ipari terület	1957—63	0,31
DMITRIJEV és BESSZONOV (1969)	Moszkva, lakóterület	1957—63	0,26
MÓRIK (1967)	Leningrád	—	0,12
CHANDLER (1965)	London, belváros	1957—58	0,30
COIN (1970)	Párizs, 10 állomás átlaga	1957—68	0,20
SLADEK (1967)	Prága-Vinohrady	1963—64	0,14
ALTSHULLER (1970)	Chicago	több év átlaga	0,37
ALTSHULLER (1970)	New York City	több év átlaga	0,41
ALTSHULLER (1970)	Los Angeles	több év átlaga	0,05
ALTSHULLER (1970)	Washington	több év átlaga	0,13
FORTAK (1970)	Bremen, belváros	1962	0,10
GEORGH (1970)	Frankfurt/Main	—	0,15
GEORGH (1970)	Tiszta légkör (összehasonlításul)	—	0,003—0,03

SO₂-koncentrációja 0,27 mg/m³, a három téli félév átlaga 0,41 mg/m³ már tükrözik a helyzet lényeges, bár a kívánatostól még messze elmaradó javulását.

B) Az ülepedő porszennyeződés területi eloszlása

Az ülepedő por 5—100 μ átmérőjű részecskéket (hamu, pernye, korom, pollen, szélhordta por stb.) foglal magába. A KÖJÁL méréseiben alkalmazott szedimentációs eljárás főleg az 50 μ -nál nagyobb átmérőjű, tehát a toxikus hatás szempontjából közömbös, a szennyeződés mértékére azonban jellemző frakció felfogására alkalmas. A KÖJÁL 49 állomásának 1963—68. évi adatait (FEHÉR V. 1970), valamint Csepel területéről MÓRIK (1961) mérési eredményeit felhasználva szerkesztettük meg az ülepedő porszennyeződés területi eloszlását szemléltető térképünket (42. ábra).

Az ülepedő porszennyeződés részletes térképezéséhez a KÖJÁL állomáshálózata túlságosan ritka; egy-egy állomás mérési körzete ugyanis kisebb, mint az állomások egymástól mért távolsága, és a mért értékeket a szűkebb környezet szennyező forrásai erősen befolyásolják (POLGÁR 1971). Az eloszlás fő vonásainak szemléltetésére mégis alkalmasnak tartjuk az izo-vonalakkal történő ábrázolást, annak ellenére, hogy a valóságban két szomszédos görbe közé eső sáv porterhelése bizonyára nem teljes egészében jutna a megfelelő értékközbe.

Az ülepedő por összetétele jelentékeny évszakos változást mutat, az eloszlás képe és az ülepedő por mennyisége azonban a téli és nyári félévben alig különbözik. Az ülepedő porszennyeződés a kén-dioxid-immisziótól eltérően jóval szűkebb területre korlátozódik; a levegőminőségi norma értékét ($12,5 \text{ g/m}^2 \text{ hó} = 150 \text{ t/km}^2 \text{ év}$) Csepelen, Kelenföldön, Angyalföldön és Újpesten, valamint a külső Ferencváros, Óbuda és Kőbánya egyes szennyező gócai körül, meg a Déli pályaudvar szomszédságában haladja meg. Az állomáshálózati átlag külföldi városokkal összehasonlítva (MÓRIK 1967) aránylag kedvező képet mutat, és ugyanez állapítható meg a hazai településekkel való egybevetés (MÓRIK 1970) alapján is (48. táblázat).

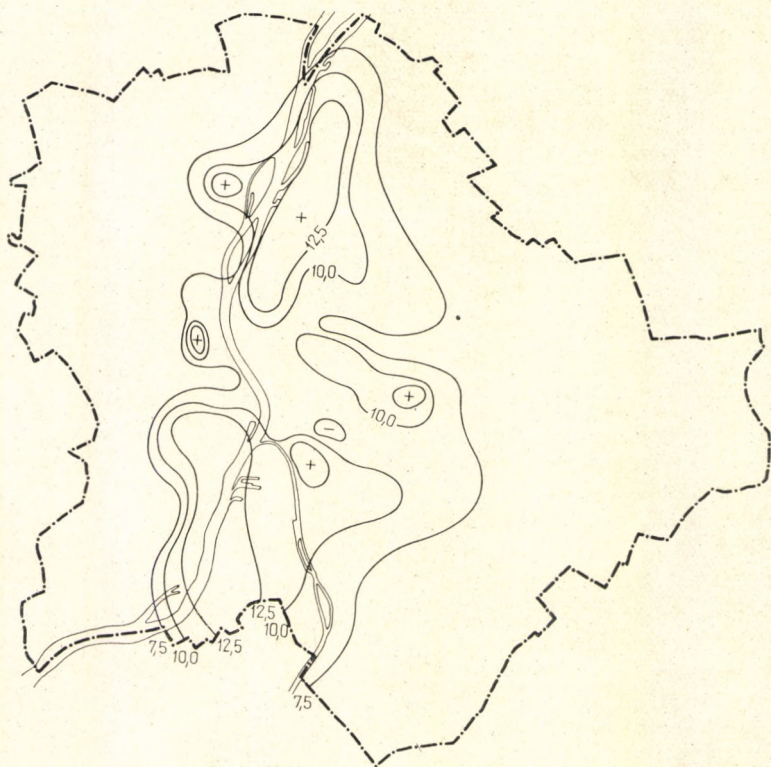
48. táblázat

Néhány hazai település ülepedő porszennyeződése

Hely	Mérési időszak	Szennyeződés ($\text{t/km}^2 \text{ év}$)
Budapest	1963—68	130
Miskolc	1958—62	396
Debrecen	1964—65	180
Pécs	1964—65	218
Győr	1961—66	140
Dunaújváros	1967	246
Várpalota	1967	678
Tatabánya	1954—59	368
Lábatlan	1954—59	350
Dorog	1954—59	380

C) Egyéb szennyező anyagok

A levegőt szennyező szilárd anyagok közül a *korom* bőségesen megtalálható Budapest levegőjében, ami főleg a tüzelőberendezések korszerűtlenségével magyarázható. Az OKI az 1958—60. években a főváros 11 pontján végzett folyamatos korom-méréseket. Ezek területi és évi átlagértéke ($1,11 \text{ mg/m}^3$) sokszorosán felülmúlta a megengedett koncentrációt ($0,10 \text{ mg/m}^3$), ami csak részben indokolható azzal, hogy a mérések Budapest legszennyezettebb részein történtek. A budapesti koromszennyeződés London-Kew 1932—52. évi átlagával ($0,14 \text{ mg/m}^3$, CHANDLER 1965), a moszkvai lakóterületeken 1957—63 között mért átlagos koncentrációval ($0,27 \text{ mg/m}^3$, DMITRIJEV és BESSZONOV, 1969), vagy 10 párizsi mérőhely 1957—68. évi átlagértékével ($0,13 \text{ mg/m}^3$, COIN 1970) összevetve egyaránt igen nagyoknak tűnik. A koromszennyeződés fokozódására utal, hogy a Gyáli úton az 1937. évi mérések átlagértékeit a két és fél évtized múltán megállapított közepes koncentráció kb. 50%-kal múlta felül (MÓRIK 1961). Az elmúlt évtizedben a legnagyobb fokú koromszennyeződéssel a főváros pályaudvarainak környéke tűnt ki, ahol azonban a vontatás nagyobb arányú villamosítása nyomán a



42. ábra. Az ülepedő portterhelés területi eloszlása (g/m^2 hó) (1963–68)

helyzet már a javulás jeleit mutatja. A koromban rejlő policiklikus szénhidrogének (pl. 3,4-benzpirén) mennyisége télen nagyobb, és szintén jelentős területi különbségeket mutat (KERTÉSZNÉ és MORLIN 1967, BAKÁCS 1970).

A KELENFFY, MÓRIK és VÁRKONYI (1967) által több alkalommal végzett mérőrepülések során Budapest légterében 200 és 1000 m magasság között átlagosan $0,19 \text{ mg/m}^3$, 1000 és 2000 m között viszont már csak $0,03 \text{ mg/m}^3$ korom volt kimutatható. Ugyancsak rohamosan csökken a magassággal a *lebegő por* átlagos számszerű koncentrációja is. Egyes szintekben viszont — a felhőalapon és inverziós rétegek alatt — az aeroszolok mennyisége megszorodik, és a város fölé boruló szennykupola gyakran réteges szerkezetet mutat. Az összcsiraszám csökkenése a magassággal 200 és 1000 m között csaknem lineáris, és a lebegő por megfogyatkozásánál is nagyobb arányú.

Budapest levegőjének *klórgáz-* és *kloridszennyeződésére* a kén-dioxid diffúz elterjedésével szemben inkább egyes góciókban mutatkozó kiugró értékek jellemzők (MÓRIK 1961). A szennyeződés fő forrásai a Határ út és Illatos út vegyi üzemei, egyes kőbányái, csepeli és kelenföldi gyártelepek, valamint az óbudai textilüzemek.

A szén-dioxid aránya a budapesti levegőben a fűtési idényben átlagosan 0,046 térfogatszázalékot, a többi hónapban 0,038 térfogatszázalékot ér el. A természetes érték kétszerese csak a pályaudvarok közvetlen környékén fordul elő (MÓRIK 1961).

A szén-monoxid benzinmotorok üresjárata során kerül nagyobb mennyiségben a levegőbe. Nagy helyi és időbeni különbségeket mutató előfordulása nagy forgalmú, rossz szellőzésű közlekedési csomópontokhoz kapcsolódik, s így egyelőre inkább csak egyes mikroklímaterekre jellemző.

Budapest légszennyeződése évtizedek óta — és még napjainkban is — főleg az iparból és a háztartási fűtésből származik; az előbbi a peremkerületekben, az utóbbi a belterületen van némi túlsúlyban. A főváros legnagyobb részét legsúlyosabban a korom- és kén-dioxid-szennyeződés érinti, és az évente 820 millió forint* becsülhető közvetlen anyagi kár is jórészt ezek hatásának tulajdonítható.

Míg pl. az Amerikai Egyesült Államokban a légtérbe jutó évi 123 millió tonna szennyező anyag több mint 60%-a a közlekedésből származik (BABCOCK 1970), Budapesten a közlekedés az elmúlt évtizedig inkább csak a pályaudvarok környékén rontotta a levegő minőségét. A főváros személygépkocsi állománya azonban a 70-es évek elején elérte a százezret, s ezzel a komoly szennyező források sorába lépett; a város sűrű beépítettsége és a forgalomban levő járművek nagy fajlagos emissziója miatt a közlekedésből származó egyes szennyező anyagok koncentrációja máris aggasztóan növekedett, s a jóval nagyobb autóparkkal rendelkező nyugat-európai, illetve amerikai városokéhoz hasonló szintet ért el. (A KÖJÁL mérései szerint a nitrogén-dioxid évi átlagos koncentrációja az 1969–71. években 0,14 mg/m³ volt, s a kőbányai állomáson 20 perces mintavétellel egy ízben 1,04 mg/m³ csúcserőértéket is észleltek.)

Míg a Diesel-motorok főleg nehéz szénhidrogénekkel, policiklikus vegyületekkel és korommal szennyezik a légkört, addig a benzinmotorokra a szénhidrogének, nitrogén-oxidok, szén-monoxid és ólomvegyületek kibocsátása jellemző. Ezek az anyagok a többi szennyeződéstől eltérően nem háztető-, illetve kéménymagasságban, hanem az utcák szintjén jutnak a légtérbe. Ez hozzájárul felhalmozódásukhoz, és a lazább városzerkezet kialakítását, az utcák jó átszellőzésének biztosítását fokozottan szükségessé teszi. A közlekedés az iparnál szétszórtabb, diffúz szennyező forrásként elsősorban a sűrűn lakott városrészekben jelentkezik, és így a jövőben nyilván tovább erősíti a laksűrűség és a levegő szennyeződési foka közötti szoros területi korrelációt, jóllehet a belváros levegőminőségét rontó egyéb tényezők (pl. fűtés, pályaudvarok) hatása gyengülőben van. A személygépkocsiénál sokszorta csekélyebb fajlagos üzemanyagfogyasztása és emissziója miatt is célszerű lenne a budapesti tömegközlekedés feltétlen elsőbbségét megőrizni, sőt erősíteni.

* Ebben a becsült összegben a főként a kénssav, illetve az abból keletkező kénsav által előidézett épületkárok 295 millió forinttal, a szobrok és műemlékek károsodása 30, a fémkorróziós károk 220, a pernye- és koromhullás miatt felmerülő költségek 30, az ipari gyártásban felmerülő károk 25, a növényi károk 20, a közvetlen egészségügyi károk 200 millió forinttal szerepelnek.

3. A LEVEGŐSZENNYEZŐDÉS IDŐBELI ALAKULÁSA

A legfontosabb indikátor-szennyezők mennyiségének évi változását a KÖJÁL 1963—68. évi vizsgálatait (FEHÉR V. 1970) alapján a 49. táblázatban mutatjuk be. Az adatok 49 mérőhely átlagát képviselik.

49. táblázat

Az ülepedő por- és összkénszennyeződés évi járása Budapesten (1963—1968)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Évi átlag
Ülepedő por (g/m ² hó)	13,2	14,5	15,3	9,4	9,9	9,5	9,2	9,7	9,0	8,6	10,4	9,1	10,7
Összkén (S mg/100 óra)	30,2	23,8	21,2	14,7	8,7	8,7	7,3	6,8	8,0	9,7	19,8	28,0	15,6

A táblázatból kitűnik, hogy az *ülepedő porszennyeződés* évi menete igen *kiegyenlített*. A legmagasabb érték márciusban észlelhető, amiben ekkor a fűtésből származó pernye, korom és a nagytömegű szélhordalék is közre játszik. A fűtési idény (nov.—ápr.) átlagértékei a töbi hónapokhoz viszonyítva 29%-kal magasabbak. Az 1967—68. évben gyűjtött ülepedő por részletesebb elemzése (POLGÁR 1971) megmutatta, hogy a fűtési idényben az ilyenkor főként koromból álló, vízben oldhatatlan szerves frakció részaránya 25%-ra növekszik, míg a nyári félévben csak 16%-ot ér el. A vízoldhatatlan szervesetlen alkotórészek mennyisége Angyalföldön, Kőbányán és a pályaudvarok környékén télen mutatkozik magasabbnak, ami arra utal, hogy e területeken a szálló pernye, hamu alkotja e frakció túlnyomó részét. Az oldékony szervesetlen anyagok magasabb részaránya a fűtési idényben (25%, szemben a nyári 12%-kal) az utak sózásának következménye lehet.

Az *összkén-szennyeződés* határozott évi menetet mutat januári maximummal. A fűtési idényben észlelt értékek a többi hónap átlagánál 2,8-szor magasabbak. Az évszakos különbség így jóval nagyobb, mint MÓRIK 1958—60. évi vizsgálata idején, ami az állomáshálózat különbségein és a mintavételi napok időjárásának eltérésein kívül talán az ipari emisszió részarányának csökkenésével magyarázható.

MÓRIK 1958—60. évi mérései szerint a fűtési idényben az átlagos összkén- és kén-dioxid-szennyeződés 63—65%-kal, a koromkoncentráció 81%-kal, a szén-dioxid mennyisége 24%-kal, a klórgáz- és kloridértékek pedig 61%-kal múlták felül a többi hónap átlagát.

A hét napjai közül mind a korom-, mind a kén-dioxid-koncentrációt tekintve vasárnap, majd szombaton legtisztább a levegő. Munkaszüneti napokon a 0,60 mg/m³-t meghaladó kén-dioxid-szennyeződés relatív gyakoriságát GAJZÁGÓ (1964) Pestlőrincen 0,27%-os szinten szignifikánsan alacsonyabbnak találta.

A város belterületének levegőjében nappal magasabb a por- és baktériumtartalom, mint éjszaka, a gáznemű szennyeződések napi menete viszont MÓRIK (1961) alkalmi vizsgálatait során eléggé egyenletesnek bizonyult.

A Pestlőrincen 1962-ben folytatott rendszeres kén-dioxid-regisztrálás eredményei azonban határozott kettős hullámú napi menetet tükröznek. A reggeli és esti csúcserték fellépésének időpontja az év folyamán változik: általában napkelte, illetve napnyugta után 2–3 órával észlelhető.

A szennyeződés nappali minimuma — mely nyáron elsődleges — a legnagyobb felmelegedés, a legerőteljesebb függőleges átkeveredés idején lép fel; a télen kifejezettebb hajnali minimum a legkisebb emisszió óráival esik egybe. A levegőszennyeződés reggeli és esti fokozódásában a fűtés és a csúcsforgalom szerepe bizonyára nem elhanyagolható, de az időpontok évszakos eltolódása a légállapot-változások döntő jelentőségére vall. A reggeli csúcserték kialakulásában közrejátszik az úgynevezett fumigation-effektus: a felmelegedés hatására az éjszaka kialakult talajinverzió megemelkedik, és az inverziós réteg alatt az intenzív átkeveredés a magasabb szinteken kibocsátott és egyes rétegekben felhalmozódott füstöt a talajközelség juttatja (GAJZÁGÓ 1964).

Míg a levegőszennyeződés szabályos heti ingadozása nyilvánvalóan csupán a kibocsátás (emisszió) mennyiségének eredménye, a napi és évi menet kialakításában fontos szerepet játszanak azok a *meteorológiai tényezők*, melyek a szennyeződés felhalmozódására hatással vannak. Ezek közül a függőleges légrétegződés és a szélviszonyok szerepe emelkedik ki.

A függőleges hőmérsékleti gradiens kapcsolata a levegőszennyeződéssel a tapasztalatok szerint oly szoros, hogy például Pestlőrincen e mutató, valamint az aeroszolkoncentráció havi középértékének évi menete csaknem pontosan tükörképei egymásnak (MÉSZÁROSNÉ 1964). Az alsó 300 méteres légréteg hőmérsékleti viszonyainak napi és évi alakulását stabilitási kategóriák elkülönítése céljából SZEPESI (1964, 1970) tanulmányozta részletesen. A szennyeződés felgyülemeléséhez a *hőmérsékleti inverziók* teremtenek kedvező feltételeket. Az 1960–64 között naponta 4 alkalommal végzett rádiószondás felszállások eredményei alapján a talajfelszín és a 3000 méteres szint közt észlelt inverziók klimatológiai jellemzése VENTURA (1965, 1966, 1968) tanulmányaiból ismeretes. Télen az inverziók gyakorisága kétszer nagyobb, mint nyáron, annak ellenére, hogy a talajinverziók előfordulásában nincs különbség. Az évi ingadozás az éjszakai és hajnali órákban kicsi, míg azonban nyáron az inverziók nappal jobbra feloszlanak, télen a déli-délutáni órákban is gyakran megmaradnak. Ezzel függ össze az inverzióknak télen jóval nagyobb tartamgyakorisága is; 24 óránál hosszabb inverziós periódus kizárólag októbertől áprilisig fordul elő. Minden évszakban a 100–400 méter vastag inverziók a leggyakoribbak, ám a 400, illetve 800 m-nél vastagabb inverziók gyakorisága télen jóval nagyobb, mint más évszakokban. A keleties szélirányok és a gyenge szelek az inverziók kialakulásának kedveznek, míg az erős, turbulens, nyugatias szelek idején ritkább az inverzió. Pestlőrincen a légszennyezettség havi középértéke és az inverziók száma között szoros összefüggés mutatható ki. Az átlagos aeroszolkoncentráció Pestlőrincen az inverziós réteg alsó határának 300 méteres emelkedésével párhuzamosan kb. negyedére csökken; a további emelkedés már csak kisebb változást eredményez (MÉSZÁROSNÉ 1964).

A szélsőségek növekedése ugyancsak nagy szerepet játszik a szennyeződés felhígításában, elosztatásában. A pestlőrinci vizsgálatok az aeroszolkon-

centráció és a kén-dioxid-koncentráció, valamint a szélesebbég közötti tapasztalati összefüggést is rögzítették. A gyors légmozgásnak a kén-dioxid-szennyeződést csökkentő hatása különösen inverziós légállapot esetén mutatkozott meg szembetűnően, amikor a függőleges felhígulás lehetősége korlátozott volt (GAJZÁGÓ 1964). Érdekes az aeroszolkoncentráció és a relatív légnedvesség szoros kapcsolata; különösen a telítettséghez közeli páratartalom idején figyelhető meg a szennyeződés fokozódása (MÉSZÁROSNE 1964).

A *szélirányok szerepéről* a pestlőrinci mérések természetesen azt mutatták, hogy a város felől — tehát az északnyugati szektorból — fújó szelek okozzák a legnagyobb fokú szennyeződést. Budapest belterületén azonban — mint arra már AUJESZKY (1932) rámutatott — a keleti-délkeleti lamináris légáramlatok légszennyező hatása veszélyes, minthogy ilyenkor a Budai-hegység előterében feltorlódik a gyárnegyedek felől érkező füstös-kormos levegő. PÉCZELY (1959) a légszennyeződés sugárzásgyengítő hatása alapján igazolta a keleti-délkeleti áramlással járó anticiklonális makroszinoptikus helyzetek (A, Ae, An), valamint a délies áramlású mCw helyzet kedvezőtlen hatását, míg az élénk, turbulens légmozgással járó ciklonális hátoldali és ciklon-centrum helyzetekben (mCc, cMc, C), valamint az észak-nyugati hidegfront átvonulását kísérő Aw makroszinoptikus helyzetben találta leg-tisztábbnak a levegőt.

A levegőszennyeződés mértékszámainak más meteorológiai elemekkel való kvantitatív összefüggését Budapesten eddig főképp Pestlőrinc esetében vizsgálták. Ennek oka az, hogy a főváros belterületén az ilyen jellegű vizsgálatokhoz szükséges folyamatos levegőszennyeződés-mérések csak 1970-ben kezdődtek el, és még azután is sokáig kísérleti stádiumban voltak. Emiatt mindeddig nem nyílt lehetőség a valóban városi levegőszennyeződés éghajlati elemegyüttesek keretébe foglalt vizsgálatára, és nem ismeretesek a szennyező anyagok különböző koncentrációinak tartományosságai, valamint szélsőértékei sem, holott ezek levegőegészségügyi szempontból kiemelkedő fontosságúak. A budapesti levegőszennyeződés részletesebb klimatológiai jellemzéséhez tehát még hosszú mérési, adatgyűjtési munkára van szükség.

V. ÉGHAJLATI TÍPUSOK BUDAPEST TERÜLETÉN

„A klimatológia éghajlati tekintetben egységes Budapest-ről éppen úgy nem tud, amiként a szerkezetten, a geomorfológia, a biogeográfia sem.”

BULLA B. (1958)

„Budapest kis területén a Kárpát-medence egy-egy nagytájával értékben felérő műtájelemek és tájformáló emberi erők halmozódtak fel: ez a város valósággal sűrített nagytáj.”

MENDÖL T. (1947)

1. AZ ÉGHAJLATI KÖRZETBEOSZTÁS ALAPELVEI

Budapest két természetföldrajzi nagytáj — középhegység és alföld — találkozásánál felszik; az ebből fakadó éghajlati eltéréseket még fokozta, a város megalkotása révén egész sor új vonással gazdagította az emberi társadalom tevékenysége. Az éghajlati elemek területi eloszlása — mint láttuk — olyan különbségeket mutat, melyek gyakran megközelítik, sőt némely esetben meg is haladják a Magyarország határai között észlelhető makroklimatikus eltérések mértékét. Amde nemcsak a külön-külön vizsgált éghajlati elemek, hanem azok együttese, fizikai rendszere is másként jelenik meg fővárosunk különböző részein: ezen alapul az éghajlati körzetek elkülönítése. A klímának a terület kicsinységéhez mérten pazar változatossága megbecsülendő előnyt jelent a település élete szempontjából; ennek kihasználása azonban mindenek előtt az éghajlat helyi típusainak alapos ismeretét és a város funkcióinak, területhasznosítási formáinak ésszerű, a klímához alkalmazkodó, annak negatív vonásait elhárító, kedvező vonásait pedig célszerűen gyümölcsöztető rendjét kívánja meg.

A Budapest területén észlelhető jelentékeny éghajlati különbségeket mutatja, hogy hazánknak KAKAS J. (1960) által készített, természetes kritériumokra alapozott *éghajlati körzetbeosztása* szerint a főváros területén nem kevesebb, mint öt különböző körzet osztozik, míg az egész országban összesen 19 található. KAKAS J. rendszerében a főkörzetek elhatárolásának alapvető kritériuma a nyári napok (hőmérsékleti csúcserték $\geq 25^\circ\text{C}$) száma; eszerint meleg (A; 75-nél több nyári nap), mérsékelten meleg (B; 50—75 nyári nap) és hűvös (C; 50-nél kevesebb nyári nap) területeket különböztet meg. A további tagolás alapja a Konček-féle nedvességellátottsági index; ha ennek értéke 0 és -60 között van, a terület mérsékelten száraz, ha 0 és $+60$ közötti, akkor mérsékelten nedves besorolást nyer. A körzetbeosztás finomabb részletei a júliusi havi középhőmérsékletre, valamint a téli napok és a hőségnapok számára épülnek.

KAKAS J. éghajlati körzetei közül — az általa szerkesztett térkép tanúsága szerint — az alábbiak találhatók meg Budapest területén:

A₄: *Meleg, mérsékelten száraz, mérsékelten forró nyarú éghajlat*; e körzethez tartozik a Pesti-síkság túlnyomó része.

B₃: *Mérsékeltlen meleg, mérsékeltlen száraz, enyhe telű éghajlat*: ehhez a körzethez a Pesti-síkság északi és keleti peremén a város közigazgatási határának közelében fekvő, a szomszédos dombosági táj felé átmenetet képező sáv, valamint a budai oldal alacsony fekvésű részei sorolhatók.

B₆: *Mérsékeltlen meleg, mérsékeltlen nedves, enyhe telű éghajlat*: az észak-budai csapadékosabb, de alacsonyabb fekvésű térszíneken fordul elő.

C₁: *Hűvös, mérsékeltlen nedves, enyhe telű éghajlat*: a Budai-hegység alacsonyabban elterülő részeire jellemző.

C₂: *Hűvös, mérsékeltlen nedves, hideg telű éghajlat*: ebbe a körzetbe a Budai-hegység magasabb fekvésű részei tartoznak.

KAKAS J. rendszere az egész ország területét átfogó, tehát kifejezetten makroklimatikus léptékű körzetbeosztás céljára készült. Az általa választott kritériumokat már az állomáshálózat hézagos volta, az adatok hiánya miatt is nehezen lehetne Budapesthez hasonló kis terület éghajlati körzeteinek pontosabb, finomabb elhatárolására alkalmazni. Emellett az is nyilvánvaló, hogy a város mezoklimatikus hatásainak számbavétele sajátos, e hatások jellegéhez igazodó kritériumok alkalmazását követeli meg.

A Budapest területén előforduló mezoklimatípusok elkülönítésére — lévén a mezoklíma mindig valamely helyi hatás által életre hívott, különleges vonásokkal jellemezhető éghajlat — önként kínálkoznak a mezoklimák lét-alapjául szolgáló, sajátos jellegüket meghatározó hatótényezők; ilyen módon elsődlegesen genetikus szempontú rendszerhez jutunk.

A mezoklimatípusok kialakulását előidéző objektív tényezők területi elterjedése alapot ad az egyes típusoknak megfelelő *mezoklimakörzetek* csak ritkán éles határvonalának kijelöléséhez is.

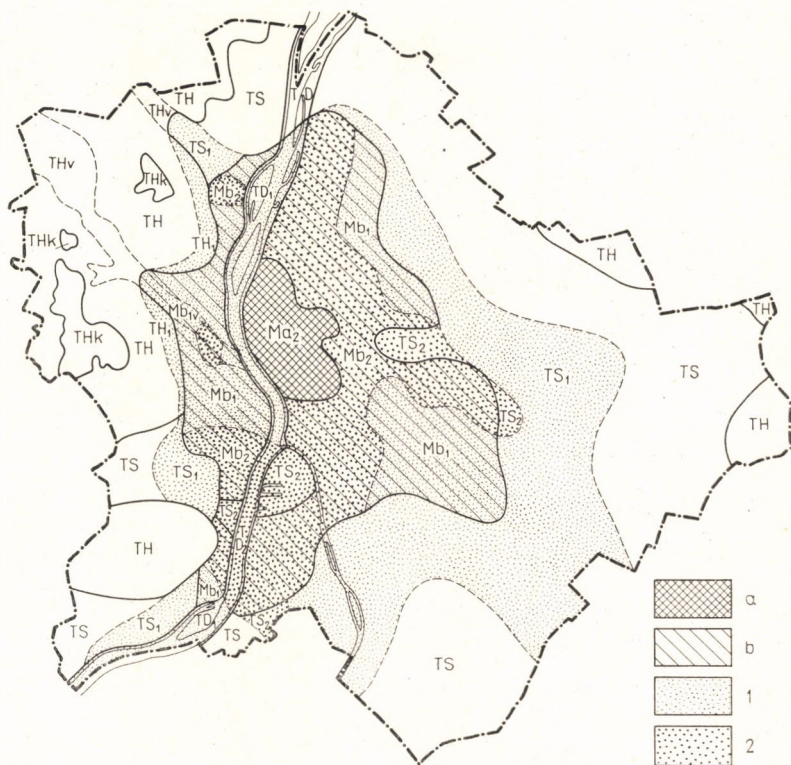
Budapest határai között az éghajlat helyi vonásait a város, a domborzat és a tengerszint feletti magasság, viszonylag kis területen pedig a Duna víztükre alakítja ki. A fő vonásaiban a város által meghatározott *mezoklimacsoport mesterséges* (antropogén) *alapú* (M), míg az utóbbi három tényező döntő befolyása természetes alapú (T) éghajlatokat hív életre.

A város részben mint a természetestől merőben eltérő anyagú és tagolt-ságú felszín, részben pedig mint az atmoszférát szennyező emissziók forrása hat az éghajlatra. E kétféle hatás intenzitása — mely területileg nem teljesen fedi egymást — szabja meg a városi jelleg mértékét, és egyúttal lehetőséget ad többféle mezoklimatípus megkülönböztetésére.

A városi felszín a beépítés jellegétől függően gyakorol erősebb vagy gyengébb módosító hatást az éghajlatra. A beépítés sűrűsége alapján három kategóriát különböztettünk meg:

a) Zárt, tömör, városi beépítés túlnyomórészt többszintes épületekkel (jele: a). Ide soroltuk a városközpont és az I. építési övezet összefüggő tömbjét, amelyen belül a felszín természetes összetevőinek aránya nem éri el a 20%-ot.

b) Közepes intenzitású beépítés (jele: b). Ide tartoznak az I. építési övezet egyes elkülönült részei, melyek kis méretüknél fogva nem fejthetik ki teljesen éghajlati hatásukat, valamint a szabadon álló vagy előkertes magasabb házakkal, nagy családi házakkal vagy villákkal beépített városrészek (II., III., IV. és VI. építési övezet) a közbeékelődő ipari és közlekedésüzemi területekkel együtt.



43. ábra. Budapest területének hipotetikus éghajlati körzetbeosztása

c) Kismértékű beépítés (jele: —). Kertes vagy gazdasági udvaros, kis családi házakkal, illetve villákkal lazán beépült területeket (V., VII., VIII. és IX. építési övezet) soroltunk ide, ahol a természetes felszín összetevői dominálnak, 80–100% közötti aránnyal.

A város levegőszennyező hatásának érvényesülésében szintén három fokozatot különböztettünk meg az indikátorszennyezők 1963–68. évi immisziós értékei szerint:

a) Igen erősen szennyezett levegőjű területeknek (jele: 2) tekintettük azokat, ahol a kén-dioxid-koncentráció átlagértéke a fűtési idényben meghaladja az $1,0 \text{ mg/m}^3$ -t, vagy az ülepedő porterhelés nagyobb a védett területen megengedett határértéknél ($150 \text{ t/km}^2 \text{ év}$).

b) Közepesen szennyezett levegőjű területek (jele: 1) azok, ahol az össz-kénszennyeződés évi átlagértéke a 10 mg/100 óra (az OKI és a KÖJÁL által alkalmazott higiénés norma) feletti — vagyis a legkönnyebben terjedő gáznemű szennyező anyagok átlagos koncentrációja még megközelíti a belvárosi érték felét —, de az a) pont alatti feltételek nem teljesülnek.

c) Viszonylag kevésbé szennyezett az összes többi terület. (Megjegyzendő,

hogy a város levegőszennyező hatása a közigazgatási határok által közrefogott egész területre kiterjed, sőt az átlagos kén-dioxid-koncentráció a fűtési idényben úgyszólván mindenütt meghaladja a tűrhető értéket is.)

A településnek az éghajlatra gyakorolt különböző mértékű és jellegű módosító hatása az a fő szempont, amelynek alapján Budapest mezoklímatípusainak megállapítására és körzeteinek elhatárolására kísérletet teszünk. Ugyancsak az *éghajlatformáló tényezők* alapján különböztetjük meg a Budapesten megtalálható természetes éghajlati típusokat is. Munkánk célkitűzésével összhangban elsősorban az antropogén eredetű típusokra fordítjuk figyelmünket. (A mezoklimatikus körzetek elhatárolását a 43. ábra mutatja, a betűjelek a térképen alkalmazott jelre is utalnak.)

2. MESTERSÉGES ALAPÚ (ANTROPOGÉN) MEZOKLÍMATÍPUSOK

A) Jellegzetes városi mezoklíma

E típust (Ma_2) — a szűkebb értelemben vett városklímát — az antropogén éghajlatmódosító hatás teljes kibontakozása jellemzi. Kifejlődésének alapja az összefüggő, nagy területre kiterjedő tömör, zárt bepítetés és a levegő igen nagyfokú szennyezettsége; mindez az V., VI. és VII. kerület túlnyomó részén, valamint a VIII., IX. és XIII. kerület belső részén teremti meg a tipikus városklíma feltételeit. A jellegzetes városi mezoklíma körzetében élő lakosság száma meghaladja a félmilliót, ami e viszonylag kis területen jelentkező klímátípusnak kiemelkedő jelentőséget ad.

A városklímának az egyes éghajlati elemekben tükröződő vonásait korábban már részletesen leírtuk. A város éghajlati energia-háztartásának eltérései a hasonló fekvésű természetes felszínekhez képest e mezoklíma-körzetben az évi középhőmérsékletnek legalább $0,8^\circ\text{C}$ -os, a január havi középhőmérsékletnek legalább $1,2^\circ\text{C}$ -os emelkedését idézik elő. (A hőtöbblet a körzet belsejében ennél jóval nagyobb.) Másik fontos sajátosság, hogy a városi hatás az egyes éghajlati elemek értékeiben valamennyi szélirány idején közel azonos mértékben jut kifejezésre.

A jellegzetes városi mezoklíma körzetének hőtöbblete télen ugyan kedvező, nyáron viszont az épületek kisugárzásától súlyosbított meleg rontja a komfortérzést; a hőségnapok és melegebb éjszakák gyakoribb előfordulása szintén kellemetlen sajáttság. A legsúlyosabban azonban a levegő nagyfokú szennyezettsége és az ezzel kapcsolatos kellemetlen, sőt biológiai szempontból káros éghajlati vonások (füstköd, sugárzás-szegénység) terhelik e körzet lakosságát. A városi mezoklímatípus adottságai a levegőszennyeződés csökkentésével, a zöldterületek arányának növelésével, a zsúfolt beépítés fellazítása révén a jobb átszellőzés biztosításával javíthatók, negatív vonásai enyhíthetők. Mindamellettt lakóhelyi környezetként e körzet kínálja a legkedvezőtlenebb feltételeket, tehát lakóterületi funkcióinak várható csökkenése ezért is kívánatos.

B) Mérsékelt kifejlődésű városi mezoklíma

Ez a típus (Mb) az összefüggő, tömör beépítésű területek határán váltja fel a jellegzetes városklímát, és a közepes intenzitású beépítés öveit foglalja magába. A felszín természetes alkotóelemeinek (zöldterületek, kertek stb.) nagyobb aránya miatt e klímátípus körzetében az éghajlati energiaforgalom kevésbé gyökeresen tér el a természetes viszonyoktól; ezért itt az évi középhőmérsékletben csak 0,2–0,8 °C, a januári középhőmérsékletben 0,4–1,2 °C többlet mutatkozik. A városklíma többi sajátossága is mérsékelt formában jelenik meg. A levegőszennyeződés és az általa befolyásolt sugárzási energiaveszteség, látástávolság stb. határozott függést mutat a széliránytól; ha a légáramlatok a város széle felől érkeznek, kedvezőbb a helyzet, mint a városközpont felől fújó szél idején.

A mérsékelt kifejlődésű városi mezoklímán belül a levegőszennyeződés mértéke alapján két altípus különböztethető meg. Az *igen erősen szennyezett levegőjű területek* (Mb₂) a pesti oldalon az Mb-klíma körzetének nagyobb részét foglalják el, a budai oldalon viszont csak három, a levegővédelmi intézkedésekkel viszonylag könnyen felszámolható gócba (Óbuda, Déli-pályaudvar környéke, Kelenföld) korlátozódnak. Az Mb₂ mezoklíma-altípus a jellegzetes városklímánál egészében alig kedvezőbb, sőt az üzemi exhalációknak közvetlenül kitett, rendkívül egészségtelen lakóterületek is tartoznak ide. A körzet klimatikus viszonyainak kedvezőbbé tétele az ipari emissziók csökkentésével, valamint a területhasznosítási szerkezet javítását (ipari területek tömörítése, védőövezetek telepítése, zöldterületek bővítése) is magukban foglaló rekonstrukciókkal érhető el. A lakóterületi hasznosítás bővítése csak a levegőegészségügyi helyzet javulása nyomán válik célszerűvé.

A szennyezett levegőjű városrészek lakóterületként alacsonyabb használati értéket képviselnek, ami a telekforgalmi átlagárban és az abból a területi beruházások értékhányadának levonása útján származtatható terület-alapértékben is kifejezésre jut. A városközponttól 1–10 km távolságban fekvő 45 részterületnek az 1966–67. évi telekforgalmi átlagárak alapján a VÁTI (KERÉK M. 1967b) által megadott alapértéke (y ; 10 Ft/□-öl), valamint a városközponttól mért távolsága (x_1 ; km) és téli átlagos kéndioxid-koncentrációja (x_2 ; 10 mg/m³) között *többszörös regresszióanalízissel* az alábbi összefüggést kaptuk:

$$y = 43,79 - 23,66 \log x_1 - 0,69 x_2.$$

A parciális regressziós együtthatók közül $b_1 = -23,66 \pm 3,98$ a t-próba szerint a $P = 0,1\%$ szinten, $b_2 = -0,69 \pm 0,49$ a $P = 16\%$ szinten szignifikáns. A levegőszennyeződésnek és a vele összefüggő kedvezőtlen klimatikus sajátságoknak a terület-alapértékre gyakorolt depresszív hatása így 84%-os konfidenciaszinten nyert igazolást. A konfidenciaszint nyilvánvalóan magasabb lett volna, ha a szennyezett sávban fekvő peremkerületi központok vonzásának a levegőszennyeződéssel ellentétes hatását módunkban állt volna kiküszöbölni. A lakáshelyzet javulása nyomán a lakóhelyi környezet-

tel szemben támasztott minőségi igény, s így a *klimatikus különbségek értékképző szerepe várhatóan fokozódik*.

A mérsékelt kifejlődésű városi mezoklíma másik altípusa a helyi viszonylatban közepesen szennyezett területekre terjed ki (Mb_1); ezek főleg a budai oldalon alkotnak a városközponthoz közelfekvő, értékes, amellett a levegőtisztasági kép javulásával kedvező lakóhelyi környezetet ígérő széles sávot. A körzet határain belül 150—200 m-nél nagyobb tszf. magasság nem fordul elő, így a beépítés és a levegőösszetétel városi vonásai a domborzatnál fontosabb meghatározói a mezoklíma jellegének. A domborzat — főként az expozíció — hatása inkább csak a morfológiához igazodva kis területeken jelentkező topoklimákban nyilvánul meg. Csupán az Ördögárokban az uralkodó szél irányában húzódó völgye az, melynek a légáramlási és hőmérsékleti viszonyokban, kivált az éjszakai erős lehűlésben megnyilvánuló egyöntetű sajátságai, valamint méretei indokoltá tették külön altípusként való megkülönböztetését és körzetbeosztási térképünkön való feltüntetését.

3. TERMÉSZETES ALAPÚ ÉGHAJLATI TÍPUSOK

A) Átmeneti mezoklimák

A városi hatástól enyhén módosított átmeneti mezoklimák fő vonásai megegyeznek a megfelelő természetes éghajlati típusokéval, minthogy olyan beépítetlen vagy igen laza beépítésű területeken jelennek meg, ahol a felszín természetes összetevői döntő túlsúlyban vannak. Megkülönböztetésük alapja a városi hatásra a háttérszintnél jóval magasabb *levegőszennyeződés*, melynek átlagos koncentrációja azonban itt csak a könnyebben terjedő gáznemű anyagok esetében éri el a belvárosi érték felét, az aeroszolok esetében viszont pl. Pestlőrincen még annak tizedénél is kisebb. (Ugyanakkor a pestlőrinci átlagos aeroszol-tömegkoncentráció a fűtési időnyben a háttérszintnek még mindig kétszerese.)

A városi levegőszennyeződés közvetlen klimatikus hatásai az átmeneti mezoklimák övében az éghajlati átlagértékekben már igen csekély mértékben tükröződnek; a város felől fújó szelek idején e hatások egyértelműen kimutathatók, viszont a többi szélirány minden vonatkozásban a természetes éghajlat vonásait juttatja uralomra.

Az átmeneti mezoklimák körzetei keskenyebb-szélesebb sávban ölelik körül Budapestet, és az alapvonásaikat megadó természetes klímátípusok szerint a következőképpen csoportosíthatók:

a) Városi hatástól enyhén módosított síksági mezoklíma

Ez a mezoklíma (Ts_1) a Pesti-síkságon és Buda alacsonyabb fekvésű részein váltja fel a mesterséges alapú mezoklimákat ott, ahol a természetes felszínalkotók egyeduralkodóvá válnak, és a beépítés annyira fellazul, hogy az évi átlagos hőmérsékleti többlet nem több 0,2 °C-nál. A közepes levegő-

szennyeződéssel jellemzett Ts_1 altípus széles sávot alkot a város körül, az igen erősen szennyezett Ts_2 altípus viszont egyes, az ipari övezetekkel szomszédos vagy azok közé ékelődő városperemi beépítetlen területekre korlátozódik.

b) Városi hatástól enyhén módosított hegységi mezoklíma

Ez a mezoklíma (Th_1) a Budai-hegyvidéknek a sűrűn beépített városrészekkel szomszédos alacsonyabb fekvésű részein jelenik meg.

c) Vízfelszín felett kialakult átmeneti mezoklíma

Ez a mezoklíma (Td_1 és Td_2) a Dunának városi szennyezett légtérű szakaszaira jellemző.

B) A természetes síksági klíma

A természetes síksági klíma (Ts) meghatározója a csekély (150–200 m-nél nem nagyobb) tszf. magasság és a sík vagy csak igen enyhén tagolt relief. A város hatása a levegőszennyeződésben megfelelő irányú szél esetén még kimutatható, de sem ez, sem a legfeljebb laza formában jelentkező beépítés nem olyan mértékű, hogy az éghajlatot kialakító fizikai tényezők rendszerében lényeges változást idézne elő, és a makroklimától jelentősen különböző sajátos mezoklimát teremtené.

A természetes éghajlat e típusa a Pesti-síkságon, a budapesti Duna-völgy déli részén, a kelet felé kitérő Budaörsi-medencében és az Óbudai-síkon jelenik meg. Utóbbi két előfordulási területe, valamint a Pesti-síkság északi-keleti része kissé hűvösebb, ami esetleg további finomabb tagolás alapja lehet (mint például KAKAS J. körzetbeosztásában). Az átmenetek azonban igen enyhék, fokozatosak, és — különösen ami fő szempontunkat, az antropogén hatás mértékét illeti — inkább az egyveretőség jellemző az egész körzetre.

C) Természetes dombsági és alacsony hegységi éghajlat

Az ilyen éghajlat (Th) a városi hatástól legfeljebb elenyésző mértékben érintett, kb. 150–200 m-nél nagyobb tszf. magasságú területekre jellemző, melyek a Pesti-síkság peremén és a Tétényi-fennsíkon kisebb foltokban, a Pilis déli nyúlványai és a Budai-hegység területén viszont széles, összefüggő sávban jelennek meg. Topo- és mikroklímákra való igen erős tagolódásuk alapja a bonyolult domborzat és a változó tengerszint feletti magasság. Különösen jelentékeny az expozíció és a lejtőszög szerepe, mely a közvetlen sugárzási energiából való részeseledést mégszabja, és amelynek alapján finomabb — de például a növényföldrajzi kép vagy a mezőgazdasági hasz-

nosítás szempontjából korántsem közönbös — klimatikus felosztásuk lehetséges (vö. például MÉSZÁROS I.—PROBÁLD 1968). A Budai-hegység és a Pilis nyúlványai között a Solymári-völgy — melynek kapuja Budapest területére esik —, valamint a Budai-hegység fő hegysoportjai közé ékelődő Pesthidegkúti-medence az Ördögárok csatlakozó völgyével viszonylag egyveretű sajátos völgyi mezoklimatípusként (Th_v) tűnik ki. Fő vonásait az uralkodó szélirányba eső völgytengely mentén kifejlődő csatornahatás és a hideg levegőt összegyűjtő negatív formáknak kivált éjszaka megnyilvánuló, még a szomszédos magasabb térszínekhez képest is hűvös karaktere jelenti.

A túlnyomórészt a Budai-hegységet képviselő éghajlati körzet zöldterületi jellegével, tiszta levegőjével, hűvösségével, nagyobb légnedvességével a fővárost övező természetes éghajlati körzetek közül is kiemelkedik mint egészséges lakóhelyi környezetet kínáló és a *klima iránt igényes intézmények* — kórházak, szociális otthonok, szanatóriumok, sporttelepek — *elhelyezésére kiváltképpen alkalmas terület*, melynek épp ezért továbbra is legfeljebb laza beépítése kívánatos, levegőtisztasága pedig kiemelt óvintézkedéseket érdemel.

D) Középhegységi éghajlat

A középhegységi éghajlat (Th_k) fő vonásainak meghatározója a tengerszint feletti *magasság*; a Budai-hegység 400 m fölé emelkedő részeit soroljuk e klímakörzethez.

Az előbbi típus kedvező tulajdonságai itt még egyértelműbben nyilvánulnak meg, mivel e terület magasságánál fogva a városi szennykupola fölé emelkedik, és így — szöges ellentétben a várossal — egész éven át, de különösen télen országos viszonylatban is kiemelkedően tartós napsütést és bőséges besugárzást élvez.

A körzet a főváros határai között páratlan *gyógy-üdülőhelyi feltételeket* kínál, és a téli sportok számára is kedvező lehetőséget nyújt. Mivel igen korlátozott kiterjedésű és klimatikus előnyei folytán rendkívüli értékű körzet, indokolt *természetes jellegének és levegőtisztaságának fokozott védelme*. Területének magáncélokra történő igénybevétele, lakóházakkal vagy hétvégi üdülőkkel való, sajnálatosan terjedő beépítése viszont tékozlással egyenértékű.

E) Dunai mezoklíma

A Duna víztükre ($16,5 \text{ km}^2$) Budapest területének több mint 3%-át foglalja el. A víz az energiaforgalom szempontjából a szárazföldi felszínnek anyagától merőben eltérő közegként viselkedik, a folyóvíz pedig hőmérsékletének alig érezhető napi járása és mérsékelt évi ingadozása folytán még a hasonló kiterjedésű állóvíznél is nagyobb mértékben képes a makroklima keretei között meglehetősen önálló, sajátos mikro- vagy mezoklíma meg-

teremtésére. A Duna feletti légtér különleges mezoklimájának hatóköre a *kisebb szigetekre* és a folyam *parti sávjára* is kiterjed.

A dunai mezoklíma (Td) fő vonásait jól mutatják a Margitszigeten működött éghajlatkutató állomás adatai. A sziget a folyóvíz mérséklő hatására télen alig néhány tizedfokkal hidegebb, mint a város közeli beépített területei, nyáron viszont általánosan 1,5–2,0 °C-kal hűvösebb a belvárosnál. A különbség természetesen a helyi klímahatások kifejlődésének kedvező derült, meleg napokon jóval nagyobb. A Margitszigetéhez hasonló havi középhőmérséklet nyáron csak a Budai-hegység kb. 150 méterrel magasabban fekvő régiójában fordul elő — természetesen a belvárostól jóval távolabb. Az erősen felmelegedő várossal szemben a dunai mezoklíma hűvössége, a városi levegő szárazságával szemben a dunai mezoklíma nagyobb légnedvessége kellemes, üdítő ellentétben van. Míg a város szűk utcáiban megreked a levegő, a Duna szabad térségében szinte mindig ki tud fejlődni gyengébb vagy erősebb frissítő légáramlás — bár természetesen ott az erős szelek is élesebben és gyakrabban jelentkeznek. Mindez mutatja, hogy a Duna-partnak és a folyam szigeteinek, melyek zsúfolt városrészek közvetlen közelében a városklímától határozottan elütő, biológiailag kedvezőbb mezoklimát képviselnek, a *pihenés és üdülés szempontjából különös jelentőségük van*. Mivel szűk területre korlátozódó, másutt fel nem lelhető mezoklimáról van szó, a szigeteknek — elsősorban a hatalmas új városrészközpont közvetlen közelében fekvő *Óbudai-szigetnek* — egyéb célra való felhasználását helyes lenne mielőbb megszüntetni, vagy — első lépésként — szigorúan korlátozni.

4. A VÁROSKLÍMA-KUTATÁS FELADATAI

Budapestnek az általános városrendezési tervben körvonalazott fejlődése sok vonatkozásban — és általában kedvezően — befolyásolja majd a városklíma alakulását. A sajátos városi energiaforrások szerepe a városi légtér hőforgalmában egyre nagyobb lesz, viszont az épületekkel zsúfolt jellegzetes városi körengeteg valamelyes teret veszít a zöldövezetbe ágyazott, magasabb házakkal beépített lakótelepek javára, melyek a régi típusú nagyvárosi beépítéstől eltérő, a természeteshez közelebb álló felszínt képviselnek. A ma még laza, olykor falusias beépítésű városrészek, kerületek központjaiban azonban a terület intenzívebb kihasználása és a beépített terület gyarapodása a klíma városi vonásait jobban kibontakoztatja. Az elmúlt évtizeddel az ipari és fűtési levegőszennyeződés, a súlyos korom- és kén-dioxid-immiszió remélhetőleg tetőzött, és egy-két évtized múltán a városi mezoklíma kutatója már a légszennyeződés csökkenésének a sugárzás és a napfénytartam gyarapodásában, a füstköd megszűnésében is visszatükröződő hatásairól adhat számot, ugyanúgy, ahogyan az a hatékony levegővédelmi intézkedések nyomán az egykor hírhedt londoni városklíma esetében történt. Ügyelni kell azonban arra, hogy a gépkocsiközlekedés más kibocsátási szinten, más anyagokkal jelentkező légszennyező hatása a kedvező fejlődést ne ellensúlyozhassa.

A következő évek feladata a levegőt szennyező források részletes számbavételével és egyre többféle szennyező anyag koncentrációjának folyamatos mérésére alkalmas állomáshálózat kiépítésével a levegőszennyeződés területi és időbeli eloszlásáról alkotott kép pontosabbá tétele úgy, hogy e kép részletessége és az információk (napi, illetve havi jelentések, előrejelzések) közzétételének gyorsasága a „klasszikus” meteorológiai elemekéhez fogható szintet érjen el.

Jelen munkánkban a 60-as évtized városklímájáról igyekeztünk képet adni; ez azonban még a városi mezoklíma hagyományos elemeinek ismerete szempontjából is csak alapot jelenthet, korántsem lezárást; hiszen éppen a meglevő ismeretek összefoglalásából tűnik ki, mennyire szűkösek például a sugárzási mérleg egyes összetevőiről és a szélviszonyokról, főleg azok területi eloszlásáról rendelkezésre álló adatok, sőt az is, hogy *a város pesti belterületén jelenleg még a legegyszerűbb éghajlati elemeket mérő állomás sem működik*, holott a városklíma változásának — helyesebben: változtatásának — állandó figyelemmel kíséréséhez innen is hosszú adatsorokra lenne szükség. Végül a mezoklimatikus kép teljesebb megrajzolása után is hátramarad a városi mikroklimák típusainak részletes vizsgálata mind a hagyományos meteorológiai elemek, mind pedig sajátos bioklimatológiai jellemzők szempontjából. Ez újabb hatalmas feladat, amelynek megoldása a lakóházak, parkok tervezéséhez értékes adatokat szolgáltathat. Mind a mezoklíma, mind a mikroklíma megismerésének voltaképpen jelentőségét az ésszerű alkalmazkodás és a kisebb-nagyobb, sőt — a mikroklíma esetében — gyökeres megváltoztatás lehetősége adja, ennek célja pedig nem lehet más, mint az emberi tevékenység káros hatásainak elkerülése, és a sokasodó városlakók számára a bioklimatológiai szempontból is elfogadható, sőt kedvező környezet megteremtése.

- ALISZOV, B. P.—DROZDOV, O. A.—RUBINSTEIN, W. D. (1952): Kursz klimatologii. Leningrád.
- ALTHULLER, A. P. (1970): Composition and reactions of pollutants in community atmospheres. Urban Climates; WMO Technical Note No. 108. 179—193.
- ANTAL E. (1958): A köd gyakorisága és tartama a különböző makroszinoptikus helyzetekben. Időjárás **62**, 39—45.
- ARAKAWA H.—TSUTSUMI K. (1967): Strong gusts in the lowest 250 meter layer over the city of Tokyo. *J. Appl. Met.* **6**, 848—851.
- ARAKAWA, H. (1968): Thermal Climate of Cities. WMO Symposium on Urban Climates, Brussel. Kézirat.
- ÁRVAI J. (1971): A levegőtisztaságvédelem. *Technika* 15/5. melléklet.
- AUJESZKY L. (1932): A nagyvárosi levegőszennyeződés meteorológiája. *Városi Szemle* **18**, 382—399.
- AUJESZKY L. (1946): A városrendezési meteorológia alapelvei. *Városi Szemle* **32**, 462—477.
- AUJESZKY L. (1947): A városi közlekedés, ipar és egészségügy meteorológiája. *Városi Szemle* **33**, 202—228.
- AUJESZKY L. (1962a): Új jelenségek a Föld légkörében. *Természettud. Közlöny* **93**, 5—8. o.
- AUJESZKY L. (1962b): A levegő szennyezettségének aggasztó növekedése Budapesten. *Energia és Atomtechnika* **15**, 164. o.
- AUJESZKY L. (1962c): A nappali sötétedések bekövetkezésének tudományos előrejelzése. *Villamosság* **10**, 135—138.
- AUJESZKY L. (1964): A levegőszennyezések ellen való küzdelem meteorológiai alapjai. *Ipari Energiagazdálkodás* **5**, 121—125.
- BABCOCK, L. R. (1970): A combined pollution index for measurement of total air pollution. *APCA* **20**, 653—659.
- BACH, E. (1970): An Urban Circulation Model. *Archiv für Met. Serie B* **18**, 155—169.
- BACSÓ N. (1958): Budapest és környékének éghajlata. In: Pécsi M. (szerk.): Budapest természeti képe. 353—418. Akad. Kiadó, Bp.
- BACSÓ N. (1959): Magyarország éghajlata. Akad. Kiadó, Bp.
- BACSÓ N. (1960): Éghajlati adatok a hazai fűtő, hűtő és szellőztető berendezések tervezéséhez. Az ipari meteorológia kérdései. 44—75. *Magy. Met. Társ.*, Bp.
- BACSÓ N. (1967): A mikroklíma fizikai szemlélete. *Agrártud. Egy. Ért.* 5. sz.
- BAKÁCS T. (1970): Városegészségügy 1945—1970. *Városépítés.* 55—59.
- BARRY, R. G.—CHAMBERS, R. (1966a): Albedo variations in Southern Hampshire and Dorset. *Weather* **21**, 60—65.
- BARRY, R. G.—CHAMBERS, R. (1966b): A preliminary map of summer albedo over England and Wales. *Q. J. R. Met. Soc.* **92**, 543—548.
- BENCZE I. (1943): A budapesti gyáripár területi elhelyezkedése. *Földr. Közl.* **9** (86), 101—129.
- BERÉNYI D. (1930): A városi háztömbök hatása az éjjeli lehűlésekre. *Időjárás* **34**, 46—49.

BERÉNYI, D. (1948): Effect of House-blocks of Towns on the Fall of Temperature at Night. *Met. Mag.* **77**, 277—278.

BERÉNYI, D. (1967): Mikroklimatologie. Mikroklima der bodennahen Atmosphäre. Akad. Kiadó, Bp.

BERG, H. (1953): Der Einfluss einer Grosstadt auf Bewölkung, Niederschlag und Wind. *Biokl. Beibl.* **10**, 65—70.

BERKES Z. (1947): A csapadék eloszlása Budapest területén. *Időjárás* **51**, 105—111.

BERLJAND, M. E. (1970): Meteorological factors determining the dispersion of atmospheric pollutants under urban conditions. *Urban Climates; WMO Technical Note No. 108.* 196—213.

BOLZ, H. M. (1949): Die Abhängigkeit der infraroten Gegenstrahlung von der Bewölkung. *Z. für Met.* **3**, 201—203.

BORHIDI A.—DOBOSI Z. (1967): A felszíni albedo területi eloszlása Magyarországon. *Időjárás* **71**, 150—157.

BORNSTEIN, R. D. (1968): Observations of the urban heat island effect in New York City. *J. Appl. Met.* **7**, 575—582.

BÖER, W. (1959): Zum Begriff des Lokalklimas. *Z. für Met.* **13**, 5—11.

BRAZELL, J. H. (1964): Frequency of Dense and Thick Fog in Central London as compared with Frequency in Outer London. *Met. Mag.* **93**, 129—135. p.

Budapest Főv. Tanácsa (1970): Budapest és környéke általános városrendezési terve. Az 1960. évi terv felülvizsgálata.

Budapest Statisztikai Évkönyve 1970.

BUDYKO, M. I. (1972): Stability of the Climate of our Age. *Időjárás* **76**, 9—18.

BULLA B.—MENDÖL T. (1947): A Kárpát-medence földrajza. Orsz. Köznev. Tanács, Bp.

BULLA B. (1958): Megjegyzések Budapest természeti földrajzának kutatástörténetéhez. In: PÉCSI M. (szerk.): Budapest természeti képe. 15—30. Akad. Kiadó, Bp.

CHANDLER, T. J. (1961): Surface Breeze Effects of Leicester's Heat Island. *East Midland Geographer* **15**, 32.

CHANDLER, T. J. (1962): London's Urban Climate. *Geographical Journal* **128**, 279—298.

CHANDLER, T. J. (1964): City Growth and Urban Climates. *Weather* **19**, 170—171.

CHANDLER, T. J. (1965): *The Climate of London.* Hutchinson, London.

CHANDLER, T. J. (1967): Night-time Temperatures in Relation to Leicester's Urban Form. *Met. Mag.* **96**, 244—250.

CHANDLER, T. J. (1968): The bearing of the urban temperature field upon urban pollution patterns. *Atm. Env.* **2**, 619—620.

CHANDLER, T. J. (1970): Urban climatology — inventory and prospect. *Urban Climates, WMO Technical Note No. 108.* 1—14.

CHANGNON, S. A. (1970): Recent studies of urban effects on precipitation in the United States. *Urban Climates; WMO Technical Note No. 108.* 325—341.

COIN, L. (1970): La pollution de l'air en milieu urbain. *Urban Climates; WMO Technical Note No. 108.* 141—163.

DAVIDSON B. (1967): A summary of the New York urban air pollution dynamic research program. *APCA* **17**, 154—158.

DETTWILLER, J. (1970): Deep soil Temperature Trends and Urban Effects at Paris. *J. Appl. Met.* **9**, 178—180.

DETTWILLER, J. (1970): Incidence possible de l'activité industrielle sur les précipitations a Paris. *Urban Climates WMO Technical Note No. 108.* 361—362.

DMITRIJEV, A. A.—BESSONOV, N. P. (szerk.) (1969): *Klimat Moszkvi (Oszobennoszyi klimata bolsovo goroda).* Gidrometeoizdat, Leningrád.

DOBOSI Z. (1957): Vizsgálatok egy hazai talajfelszín sugárzási mérlegéről. *Időjárás* **61**, 260—285.

DOBOSI Z. (1961): Megjegyzések az albedo klimatológiai alkalmazásához. *Időjárás* **65**, 364—366.

DORNER J. (1850): Buda vidékének, illetőleg Magyarországnak égalj viszonyai. *Kir. M. Term. tud. Társ. Évk. II.* 153—176.

DRONIA, H. (1967): Der Stadteinfluss auf den weltweiten Temperaturtrend. *Met. Abh.* **74/4**.

- DUCKWORTH, F. S.—SANDBERG J. S. (1954): The effect of Cities upon horizontal and vertical temperature gradient *Am. Met. Soc. Bull.* **35**, 198—207.
- EATON, H. S. (1877): Presidential Adress. *Q. J. R. Met. Soc.* **22**, 309.
- EGLI, E. (1951): *Die neue Stadt in Landschaft und Klima.* Zürich.
- EMONDS, H. (1954): *Das Bonner Stadtklima.* Bonn.
- ERIKSEN, W. (1964): Beiträge zum Stadtklima von Kiel. *Schriften Geogr. Inst. Univ. Kiel.* XXII/1.
- FÉHÉR V. (1970): Budapest levegőszennyeződése a Fővárosi KÖJÁL 1963—68. években végzett ülepedő por és öszkén mérései alapján. *Budapesti Közegészségügy* **2**, 18—23.
- FINDLAY, B. F.—HIRT, M. S. (1969): An urban-induced mesocirculation. *Atm. Env.* **3**, 537—542.
- FLOHN, H. (1970): General Climatology 2. in: LANDSBERG H. E. (szerk.): *World Survey of Climatology.* Elsevier, Amsterdam.
- FOITZIK, L.—HINZPETER, H. (1958): *Sonnenstrahlung und Lufttrübung.* Leipzig.
- FORTAK, H. (1970): Vergleich zwischen theoretisch berechneten und gemessenen Abgas-Immission-Belastungen in Bremen. *Időjárás* **74**, Különszám 500—512.
- FUKUI, E. (1964): Increasing temperature due to the expansion of urban areas in Japan. *Tokyo J. Climatology* 1/1. 53—59.
- GAJZÁGÓ L. (1963): A levegő kéndioxid-tartalmáról. *Időjárás* **67**, 54—55.
- GAJZÁGÓ L. (1964): A levegő kéndioxid-tartalmának változásai az időjárási tényezőktől függően. *Időjárás* **68**, 98—102.
- GAJZÁGÓ L. (1967): A budapesti talajszél vizsgálatának előzetes eredményei. *OMI, Beszámoló* 1966. 438—443.
- GAJZÁGÓ L. (1968): Adatok a napfénytartam és a globál-sugárzás területi eloszlásához Budapesten. *OMI, Beszámoló* 1967. 349—353.
- GAJZÁGÓ L. (1969): Összefoglaló jelentés zöldterületek városklimatológiai vizsgálatáról. *KMI Éghajlati Osztálya. Kézirat.*
- GAJZÁGÓ, L. (1970): Variation of global radiation in Budapest. *Urban Climates; WMO Technical Note No. 108.* 79.
- GARNETT, A.—BACH, W. (1965): An estimation of the ratio of artificial heat generation to natural radiation heat in Sheffield. *Monthly Weather Rev.* **93**, 383—385.
- GEBHARDT, R. (1967): On the Significance of the Shortwave CO₂-Absorption in Investigations Concerning the CO₂-Theory of Climatic Change. *Archiv für Met. Serie B* **15**, 53—61.
- GEIGER, R. (1961): *Das Klima der bodennahen Luftschicht.* Friedrich Vieweg, Braunschweig.
- GEORGII, H. W. (1790): The effect of air pollution on urban climates. *Urban Climates; WMO Technical Note No. 108.* 214—237.
- GOLD, E. (1956): Smog. The rate of influx of surrounding cleaner air. *Weather* **11**, 230—232.
- GOLUBOVA, G. A. (1969): Nyekotorije dannie o vlijanyii atmosferi goroda na szosztavljajuscsije radiacionnovo balansza. *Trudi GGO* **248**, 63—69.
- GRAHAM, I. R. (1968): An analysis of turbulent statistics at Fort Wayne, Indiana. *J. Appl. Met.* **7**, 90—93.
- GRUNDKE, G. (1955): *Die Bedeutung des Klimas für den industriellen Standort.* VEB Geogr.-Kart. Anstalt. Gotha.
- GUBOLA M. (1969): A keveredési réteg vastagsága Budapest fölött. *Időjárás* **73**, 229—234.
- GULÁCSY B.—MÓRIK J. (szerk.) (1963): *Különböző energiahordozók távlati felhasználási mértékének és módjának kihatása nagyvárosaink levegőjének szennyezettségére.* Kézirat.
- GULÁCSY B. (1968): *Tanulmány a levegővédelem részletes intézkedési tervére.* BVTV tanulmány.
- HADER, F. (1970): The Climatological aspects of town planning in various latitudes. *Urban Climates; WMO Technical Note No. 108.* 384—386.
- HALTENBERGER M. (1942): *Budapest városföldrajza.* Főv. Ped. Szeminárium, Bp.
- HAMBLOCH, H. (1966): *Der Höhengrenzsaum der Ökumene.* Westfälische Geogr. St. Heft 18. Münster.

- HILLE A. (1955): Köd- és szélgyakoriság a Ferihegyi repülőtéren. OMI, Beszámoló 1955. 262—267.
- HOWARD, L. (1820): The Climate of London. II. köt.
- HUFTY, A. (1970): Les conditions du rayonnement en ville. Urban Climates; WMO Technical Note No. 108. 65—69.
- JENKINS, J. (1970): Increase in averages of sunshine in central London. Urban Climates; WMO Technical Note No. 108. 292—294.
- KAKAS J. (1960): Természetes kritériumok alapján kijelölhető éghajlati körzetek Magyarországon. Időjárás **64**, 328—339.
- KASSNER, C. (1917): Der Einfluss Berlins als Grosstadt auf die Schneeverhältnisse. Met. Zeitschrift **34**, 136—137.
- KASZÓ L.—KOVÁCS T.—KRUDY Á. (1962): Gazdaságos fűtés. Műszaki Kiadó, Bp.
- KAWAMURA, T. (1964): Analysis of the Temperature distribution in the Kumagaya City — a typical example of the urban climate of a small city. Tokyo J. Climatology 1/2, 74—78.
- KAWAMURA, T. (1965): Some consideration on the cause of city temperature at Kumagaya City. Tokyo J. Climatology 2/2, 38—40.
- KAYANE, I. (1964a): The distribution and climatological analysis of the daily minimum temperature in and around the Tokyo metropolitan area. Tokyo J. Climatology 1/1, 48—52.
- KAYANE, I. (1964b): Temperature increase due to the expansion of urban area in Tokyo. Tokyo J. Climatology 1/2, 67—70.
- KÉLENFFY SZ.—MÓRIK J.—VÁRKONYI T. (1967): A városi levegő szennyeződésének vertikális terjedése. Időjárás **71**, 220—226.
- KERÉK M. (1967a): Kísérletek városi területek értékelésére. Településtud. Köz. **20**, 88—98.
- KERÉK M. (1967b): A települések belterületének értékelése. VÁTI-tanulmány.
- KÉRI M. (1955): Budapest hóviszonyai. OMI, Beszámoló 1955. 166—172.
- KÉRI M. (1965): A nagyvárosi jelleg tükröződése Budapest ködviszonyaiban. Időjárás **69**, 265—270.
- KÉRI M. et al. (1966): A városklíma vizsgálata és alakulása. Kézirat.
- KERTÉSZNÉ S. M.—MORLIN Z. (1967): Budapest levegőjének 3,4-benzpirén tartalma. Időjárás **71**, 275—280.
- KOGUTOWICZ K. (1913): Budapest fejlődése és a szél. Földr. Köz. **41**, 132—137.
- KONDRATYEV, K. Y.—NILLISK, H. I. (1962): On the question of carbon dioxide heat radiation in the atmosphere. Geophysica pura e applicata.
- KOVÁCSNÉ PATAKI M. (1962): Budapest légszennyeződésének vizsgálata a globális sugárzás alapján. Időjárás **66**, 285—291.
- KÖJÁL (1966—70): Évkönyvek az 1965—69. években végzett munkáról.
- KRATZER, P. A. (1956): Das Stadtklima 2. kiad. Friedrich Vieweg, Braunschweig.
- KRAUJALIS, M. V. (1971): Ratio of the Artificial Heat to the Natural Radiation in Poland. Időjárás **75**, 222—229. p.
- KREMSER, V. (1908): Der Einfluss der Grosstädte auf die Luftfeuchtigkeit. Met. Z. **25**, 206—215.
- KURLÄNDER I. (1879): Budapest meteorológiai viszonyai. In: GERLÓCZY Gy.—DULÁCSKA G. (szerk.): Budapest és környéke természetrajzi, orvosi és közművelődési leírása.
- LANDSBERG, H. E. (1956): The Climate of Towns. In: Man's Role in the Changing Face of the Earth, 584—603. U. of. C. Press, Chicago.
- LANDSBERG, H. E. (1970): Climates and urban planning. Urban Climates; WMO Technical Note No. 108. 364—374.
- LODGE, J. P. (1961): A climatological Evaluation of Precipitation Patterns over an Urban Area. In: Air over Cities. 37—68. o. Cincinnati.
- LUDWIG, F. L. (1970): Urban temperature fields. Urban Climates, WMO Technical Note No. 108. 80—107.
- Magyarország Éghajlati Atlasza II. Adattár. Szerk.: KAKAS J. Akad. Kiadó, Bp. 1967.
- MAJOR GY.—Z. TÁRKÁNYI ZS. (1968): A sugárzási egyenleg meghatározás eredményei és kritikai vizsgálata a NyNNÉ-ben végzett mérések tapasztalatai alapján. OMI, Beszámoló 1967. 179—199.

MALKOWSKI, C. (1964): Analyse des Stadteinflusses auf die Niederschlagstätigkeit nach mehrjährigen Watteradarbeobachtungen in Berlin. Wetter u. Leben. **16**, 147—152.

MALKOWSKI, C. (1965): Ein Beispiel für einen möglichen Stadteinfluss auf die Schauerbildung. Archiv für Met. **17**, 314—317.

MENDÖL T. (1963): Általános településföldrajz. Akad. Kiadó, Bp.

MÉSZÁROS E.—M. NAGY Á. (1965): Budapest légszennyező hatásának kiterjedése. Időjárás **69**, 291—293.

MÉSZÁROS NÉ NAGY Á. (1964): A légköri aeroszol-részecskék koncentrációjának kapcsolata az időjárási elemekkel. Időjárás **68**, 145—150.

MÉSZÁROS NÉ NAGY Á. (1966): A légköri aeroszol tömeg- és számszerű koncentrációjának kapcsolata. Időjárás **70**, 355—360.

MOLNÁR J. (1965): A sugárzásmérések módszere és jelentősége. Szakdolgozat, kézirat.

MÓRIK J. (1961): Budapest levegőjének szennyezettsége. Településtudományi Közl. **13**, 33—49.

MÓRIK J. (1967): A városi levegő szennyezettsége. Időjárás **71**, 220—226.

MÓRIK J. (1969): A levegőegészségügy néhány időszerű kérdése. Időjárás **73**, 288—298.

MÓRIK J. (1970): A hazai levegőegészségügyi kutatások közel száz éve. Időjárás **74**, 368—375.

MUNN, R. E. (1970): Airflow in urban areas. Urban Climates; WMO Technical Note No. 108. 15—39.

MYRUP, L. O. (1969): A Numerical Model of the Urban Heat Island. J. Appl. Met. **8**, 908—918.

NOLL, K. E.—MUELLER, P. K.—IMADA M. (1968): Visibility and aerosol concentration in urban air. *Atm. Env.* **2**, 465—475.

OGUNTOYINBO, J. S. (1970): Reflection coefficient of natural vegetation, crops and urban surfaces in Nigeria. *Q. J. R. Met. Soc.* **96**, 430—441.

OKE, T. R.—HANELL, F. G. (1970): The form of the urban heat island in Hamilton, Canada. *Urban Climates; WMO Technical Note No 108.* 113—126.

OKITA, T. (1960): Estimation of direction of airflow from observation of rime ice. *J. Met. Soc. Japan* **38**, 207—209.

OKITA, T. (1965): Some chemical and meteorological measurements of air pollution in Asahikawa. *J. Air Water Poll.* **9**, 323—332.

OKOLOWICZ W. (1961): Der Begriff des Klimas. Időjárás **65**, 193—201.

OLGYAY, V. (1967): Design with Climate. — Princeton.

PÉCZELY Gy. (1959): Budapest légszennyeződése különböző makroszinoptikus helyzetekben. Időjárás **63**, 19—27.

PÉCZELY Gy. (1962): A nagyváros által keltett helyi szélrendszer Budapesten. Időjárás **66**, 354—360.

PÉCZELY Gy. (1966): A hótakaró gyakorisága Magyarországon. Magyarország éghajlata, 9. sz.

PERÉNYI I. (1963): Településtervezés. Tankönyvkiadó, Bp.

PINTÉR A.—HOLLÓ D. (szerk.) (1968): Aeroszol. A levegőszennyeződés okai, ártalmi és megelőzése. Műszaki Kiadó, Bp.

PLASS, G. N. (1956): The Carbon Dioxide Theory of Climatic Change. *Tellus* **8**, 140—155.

POKROVSKAJA (1957): Klimat Leningrada. *Gidrometeoizdat*, Leningrád.

POLGÁR I. (1971): A nagyvárosi üledő por jellegzetességei és kapcsolata a fűtéssel. *Energia és Atomtechnika*, **24**, 76—84.

POPOVICSNÉ G. M. (1967): A természetes megvilágítás erőssége Budapesten a téli félévben. Időjárás **71**, 284—287.

POPOVICSNÉ M.—SZEPESI D. (1969): A budapesti szmog gyakorisága és a szmoghelyzetek vizsgálata. Szakvélemény, EGI-K-4107. sz. Kézirat.

PRINZ Gy. (1913): Budapest földrajza. *Magy. Földrajzi Int.*, Bp.

PROBÁLD F.—BARTA Zs. (1961): Vizsgálatok a homályossági tényező napi és évi járásáról Magyarországon. Időjárás **69**, 249—251.

PROBÁLD F. (1963): Városi energiaforrások jelentősége Budapest éghajlatában. Időjárás **67**, 162—165.

- PROBÁLD F. (1965): Városi hatások a látástávolságra Budapesten. *Időjárás* **69**, 370–374.
- PROBÁLD F. (1966): Budapest városklímája. *Földr. Közl.* **14**, (90), 310–323.
- PROBÁLD F. (1967): A levegőszennyeződés hatása Budapest globálsugárzási és hőmérsékleti adataiban. *Időjárás* **71**, 288–293.
- PROBÁLD F.—MÉSZÁROS I. (1968): Lejtőtulajdonságok hatása a közvetlen besugárzás mennyiségi eloszlására. *Földrajzi Értesítő* **17**, 249–256.
- PROBÁLD F. (1969): Városi és városperemi állomás hőmérsékleti különbségének napi járása Budapesten. *Időjárás* **73**, 49–53.
- PROBÁLD F. (1971): Budapest városklímájának energiaháztartási alapjai. *Földr. Értesítő* **20**, 13–29.
- RÉTHLY A. (1938): A felhőzet fokozatos nagyobbodása Budapesten. *Időjárás* **42**, 101–116.
- RÉTHLY A.—BERKES Z.—KAKAS J. (1941): Adatok a budapesti csapadékmegfigyelések történetéhez. A csapadék eloszlása Budapest területén. *Hidr. Közl.* **20**.
- RÉTHLY A. (1947): Budapest éghajlata. Rheuma- és Fürdőkutató Int., Bp.
- ROBINSON, G. D. (1950): Notes on the measurement and estimation of atmospheric radiation 2. *Q. J. R. Met. Soc.* **76**, 37–51. p.
- ROBINSON, G. D. (1959): Some observations from aircraft of surface albedo and the albedo and absorption of clouds. *Archiv für Met. Serie B* **9**, 28–41.
- SASAKURA K. (1965): On the Distribution of Relative Humidity in Tokyo, and its Secular Change in the Heart of Tokyo. *Geogr. Rev. Japan* **38**, 573–578.; *Tokyo J. Climatology* **2/2**, 45–46.
- SCAETTA, H. (1935): Terminologie climatologique, bioclimatologique et microclimatologique. *La Meteorologie* **11**, 342–347.
- SCHIEFF-DABIS L. (1932): Budapest levegőjének szennyeződése a fűtési időszakban. *Városi Szemle* **18**, 343–382.
- SCHMIDT, W. (1917): Zum Einfluss grosser Städte auf das Klima. *Die Naturwissenschaften* **5**, 494–495.
- SCHMIDT, W. (1930): Kleinklimatische Aufnahmen durch Temperaturfahrten. *Met. Z.* **47**, 92–106.
- SEKIGUTI, T. (1970): Thermal situations of urban areas, horizontally and vertically. *Urban Climates*; WMO Technical Note No. 108. 137–140.
- SHEPPARD, P. A. (1958): The Effect of Pollution on Radiation in the Atmosphere. *Int. J. Air Pollution* **1**, 31–43.
- SLADEK, I. (1967): Príspevek k Poznani Denniko Režimu Znečistení ovzduší SO₂ v Praze. *Met. Zpravy* **20**, 99–101.
- STASZEWSKI J. (1957): Vertical Distribution of World Population. *Polish Ac. Sc. Geogr. Studies* No. 14. Warszawa.
- STASZEWSKI, J. (1961): Bevölkerungverteilung nach den Klimagebieten von W. Köppen. *Petermanns Geogr. Mitt.* **105**, 133–138.
- STEINHAUSER, F. (1934): Grosstadttrübung und Strahlungsklima. *Biokl. Beibl.* **1**, 172–184.
- STEINHAUSER, F.—ECKEL, O.—SAUBERER, F. (1957–59): Klima und Bioklima von Wien I—III. köt. *Öst. Ges. für Met.*, Wien.
- STEINHAUSER, F. (1961): A városklímakutatás problémái. *Időjárás* **65**, 129–139.
- SUNDBORG, A. (1950): Local Climatological Studies of the Temperature Conditions in an Urban Area. *Tellus* **2**, 222–232.
- SZAPOZSNYIKOVA, S. A. (1950): Mikroklimat i mesztnij klimat. *Gidrometeoizdat, Leningrád*.
- SZEPESI D. (1964): Influence of the Temperature Gradient in the Lowest 300 m Air Layer on the Dispersion of Pollutants of Industrial Origin. *Időjárás* **68**, 10–17.
- SZEPESI D. (1970): A meteorológia szerepe a levegőtisztaság védelmében. *Időjárás* **74**, különszám 513–534.
- SZEPESI D.—FEHÉR V.—POPOVICSNÉ G. M.—MÓRIK J. (1970): Estimation of allowable emissions for air pollution abatement program in Hungary. *2-nd Int. Clean Air Congress 1081–1083.*, Washington.
- TAKAHASHI, M. (1964): Temperature distribution and density of houses in medium-sized cities in Japan. *Tokyo J. Climatology* **1/1**, 45–47.

- TAKÁCS L. (1960): Adatok Budapest sugárzáséghajlatához. Kandidátusi értekezés. Kézirat.
- TAKÁCS L. (1963): A teljes besugárzás 25 évi homogén adatsora Budapesten. Időjárás **69**, 347–357.
- TÁRKÁNYI Zs. (1961): A homályossági tényező vizsgálata. OMI, Beszámoló, 88–95.
- TERJUNG, W. H. (1970): Urban Energy Balance Climatology: A Preliminary Investigation of the City-Man System in Downtoun Los Angeles. Geographical Rev. **60**, 31–53.
- VENTURA E. (1965): A talajközeli inverziók jellemzői Budapest felett. Időjárás **69**, 32–39.
- VENTURA E. (1966): Inverziók kapcsolata a légszennyeződéssel. Időjárás **70**, 285–293.
- VENTURA E. (1966): Az inverziók és a látástávolság kapcsolata. Időjárás **70**, 369–373.
- VENTURA E. (1968): A Budapest fölött észlelt hőmérsékleti inverziók jellemzői. Időjárás **72**, 166–174.
- WAGNER R. (1967): Temperaturzonen des Bodens. Acta Climatologica **7**, 3–16.
- WALDBAUER O. (1938): Budapest levegőjének koromtartalma. Egészség 165–174.
- WALKOVSKY A. (1971a): A város megvilágításmódosító hatása. Kézirat.
- WALKOVSKY A. (1971b): A megvilágítás és a globálsugárzás kapcsolata. Kézirat.
- YAMAMOTO, G. (1958): Estimation of additional downward radiation from aerosols over large cities. J. Met. Soc. Japan, Tokyo, 75-th anniversary ed. 1–4.
- ZÁCH A. (1961): Budapest borultsági viszonyai. OMI, Beszámoló, 188–212.
- ZEMPLÉNYINÉ TÁRKÁNYI Zs. (1963): A budapesti légszennyeződés és a levegő homályossági együtthatója. Időjárás **67**, 352–354.

A kiadásért felelős az Akadémiai Kiadó igazgatója

Felelős szerkesztő: Benkő Jenő

Műszaki szerkesztő: Merkly László

A burkoló- és a kötésterv Somlai Vilma munkája

Terjedelem: 11,2 (A/5) ív + 1 db melléklet

AK 12 k 7477

74.76000. Akadémiai Nyomda, Budapest

Felelős vezető: Bernát György

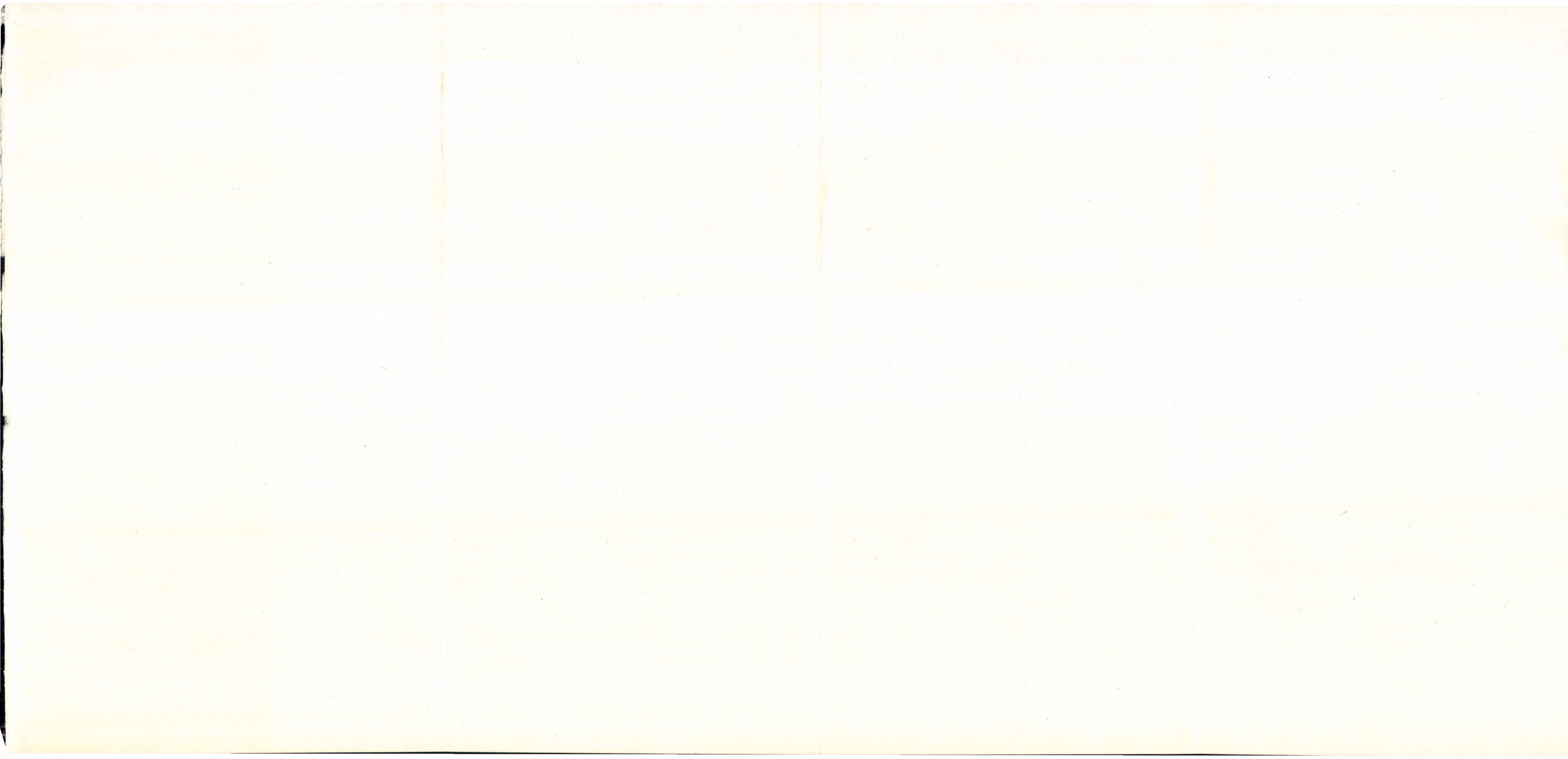
FÜGGELÉK

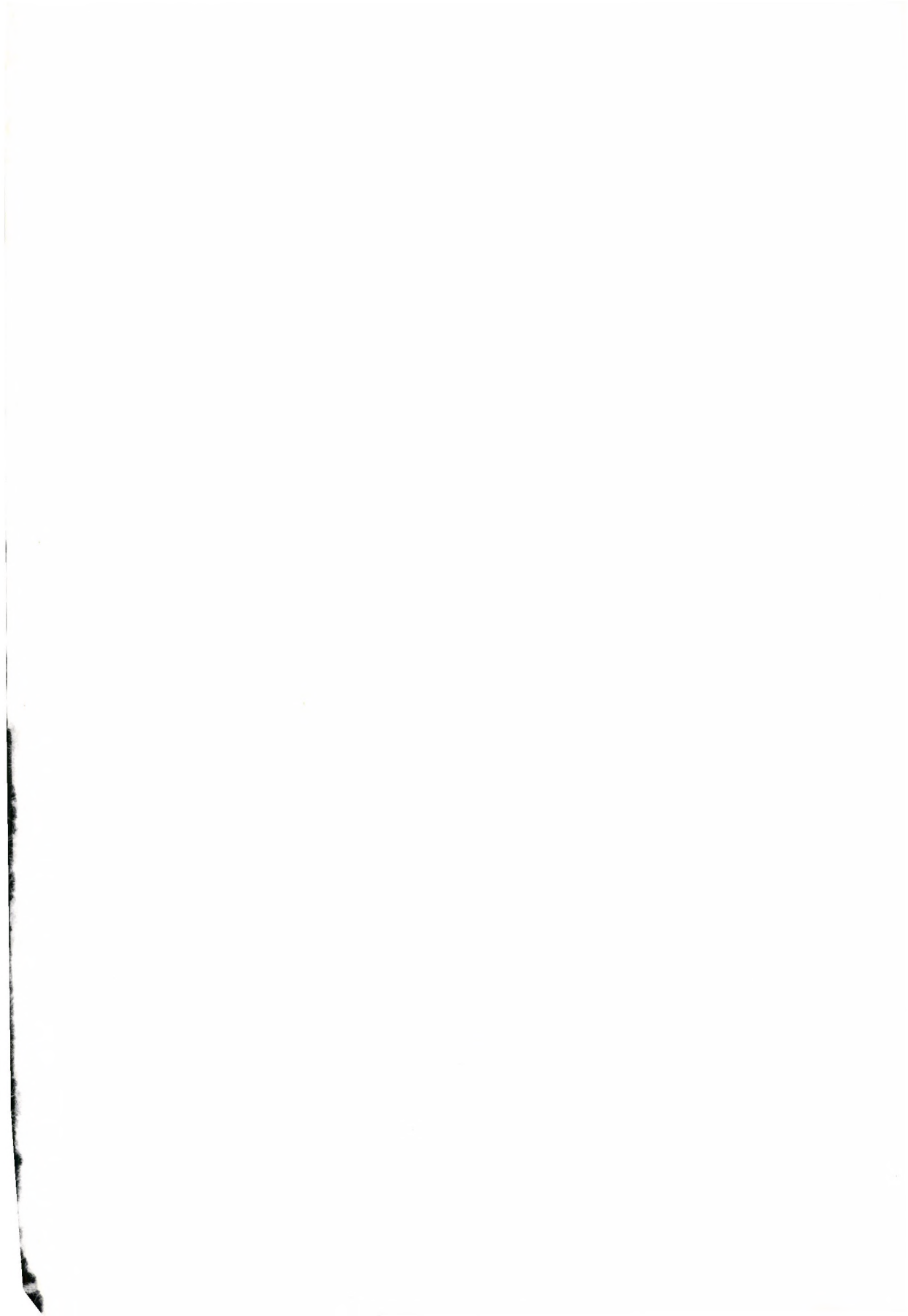
A budapesti éghajlatkutató állomáshálózat 1910–1970 között

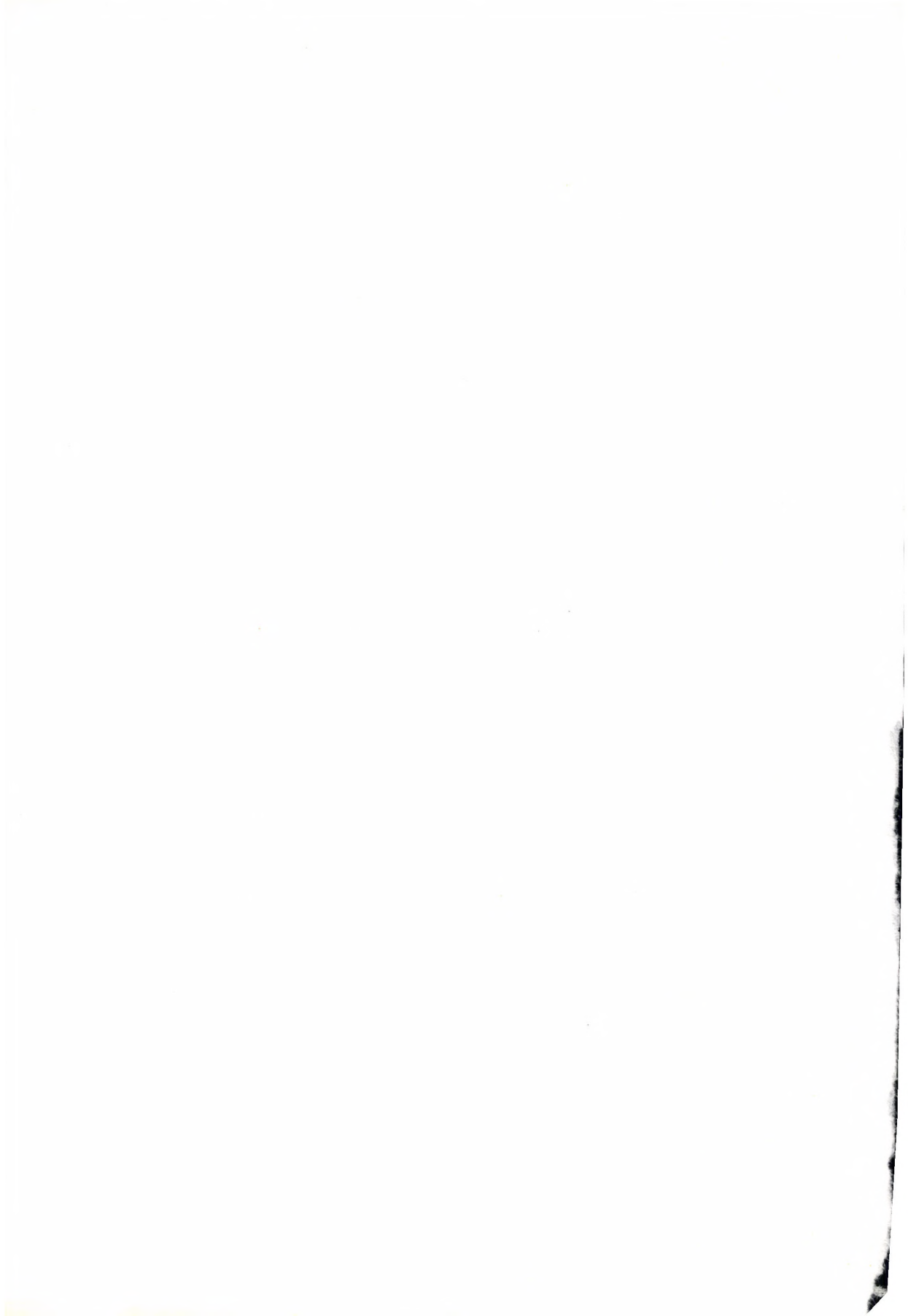
(+ = hiánytalan anyag; ○ = hiányos anyag)

Állomás	1910					1915					1920					1925					1930					1935					1940					1945					1950					1955					1960					1965					1970				
Kitaibel Pál u.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					
Szabadság-hegy, Csillagda	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					
Gellérthegy (1898-tól)	+	○							○	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+										
Budaörs-Kamaraerdő																																																																	
Nagytétény																																																																	
János-hegy		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+										
Ampelológiai I. (Herman Ottó u.) (1904-től)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○	+	+	+	○	+	+				+	+																							
Adyliget																																																																	
Pesthidegkút																																																																	
Krisztinaváros* (1900-tól)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+										
Óbuda																																																																	
Margitsziget																																																																	
Pestlőrinc Obsz.																																																																	
Pestimre																																																																	
Kőbánya (1908-tól)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	○	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+										
Paedagogium (Győri út) (1908-tól)	○	○	+	+	○						○	○	○	○	○	○	○	○	○	○																																													
Posta (Népstadion út)																																																																	
Csepel Királyerdő																																																																	
Rákospalota																																																																	
Soroksár																																																																	
Újpest-Káposztásmegyér (1901-től)	+	+																																																															
OKI (Gyáli út)*																																																																	
Főv. Tanács (Madách tér)																																																																	
Állatkert																																																																	

* Nem szabványos felállítási állomás.







Ára: 33,— Ft

Az Akadémiai Kiadó
gondozásában jelenik meg a

FÖLDRAJZI ÉRTESÍTŐ

a Magyar Tudományos Akadémia
Földrajztudományi Kutató Inté-
zetének folyóirata

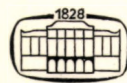
Főszerkesztő: Enyedi György

Szerkeszti: Marosi Sándor

A folyóirat közli a földrajztudo-
mányok legújabb kutatásainak
eredményeit. Ezek a kutatások a
magyarországi tájakra, a termé-
szetföldrajz és a gazdaságföldrajz
hazai témakörére, a természeti
adottságok, az ipar, a mezőgaz-
daság területi elhelyezkedésének,
a települések és a népesség prob-
lémáinak vizsgálatára terjednek
ki. Áttekintést ad a lap a külföldi
tudományos eredményekről is, és
foglalkozik a földrajztudomány
időszerű elvi, módszertani kérdé-
seivel.

Megjelenik évente 1 kötet,
4 füzetben

Évi előfizetési díja: 44,— Ft



AKADÉMIAI KIADÓ
BUDAPEST



Probáld Ferenc 1941-ben született Budapesten. Biológia-földrajz szakos tanári és meteorológusi diplomáját 1964-ben a budapesti Eötvös Loránd Tudományegyetemen szerezte, ahol jelenleg a Regionális Földrajzi Tanszék adjunktusa.

A városklimatológia kérdései korán felkeltették Probáld Ferenc érdeklődését: ebből a tárgykörből írta már egyetemi doktori értekezését is. Budapest éghajlatáról számos tanulmánya jelent meg az Időjárás, a Földrajzi Értesítő és a Földrajzi Közlemények hasábjain. Tudományos, oktató és ismeretterjesztő tevékenysége azonban a földrajz több más szakterületére is kiterjed. Kandidátusi értekezését — melyből ez a könyv született — 1972-ben védte meg.