



Barótfi István

**Istállóklíma
és energia-
takarékoság**

Akadémiai Kiadó

350.00 128222

Istállóklíma és energiatakarékosság

Intézkedések az állatok egészségének megőrzésére

Istállóklíma

és energiatakarékosság

Dr. János J. János / Dr. János J. János

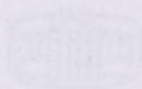
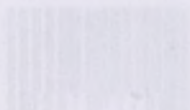
egyetemi tanársegéd

Szerkesztő

Dr. János J. János

Dr. János J. János

MTAK



Magyar Tudományos Akadémia - Budapest

32372

**A mezőgazdaság műszaki fejlesztésének
tudományos kérdései**

86.

Gondozza

az MTA Agrártudományok Osztály
Agrárműszaki Bizottsága

Szerkesztő

Dr. Tibold Vilmos

egyetemi tanár

178928
708510
Barótfi István

Istállóklíma és energiatakarékosság

MTAK



Akadémiai Kiadó • Budapest

017905

Megjelent

a Magyar Tudományos Akadémia
támogatásával

Magyar
Tudományos Akadémia
Könyvtára

ISBN 963 05 7499 3

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

© Barótfi István, 1998

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

Printed in Hungary

M. TUD. AKADEMIA KÖNYVTÁRA

Könyvleltár/19 98 SZ.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	7
2. Istállóklíma és energiafelhasználás	9
2.1. A klímaviszonyokat befolyásoló tényezők	9
2.1.1. A környezet hatása a mikroklímára.....	10
2.1.2. Az állat hatása az épület mikroklímájára	12
2.1.3. Az épület hatása a mikroklímára.....	22
2.2. Az energiaszükséglet kiszámítása	23
3. A fűtési energiaszükséglet csökkentése.....	31
3.1. A fűtési energiaszükséglet csökkentésének elméleti alapjai	31
3.2. Az állattartó épületek fűtési sajátosságai.....	38
3.3. Az energiaszükségletet befolyásoló tényezők.....	40
3.3.1. Szellőztetés	42
3.3.2. Hőszigetelés	48
3.3.3. Fűtési időtartam	50
3.3.4. Belső hőmérséklet.....	52
4. Az energiatakarékosság technológiai lehetőségei	55
4.1. Energiafelhasználás szempontjából optimális hőmérséklet	61
5. A fűtési energiaszükséglet csökkentésének technikai lehetőségei	65
5.1. Hővisszanyerő berendezések	65
5.1.1. Rekuperatív hőcserélők.....	66
5.1.2. Hőcsövek	70
5.2. Hőszivattyúk.....	71
5.3. Sugárzó fűtés.....	75

5.4.	Padozatfűtés	81
5.4.1.	A padozat mint hőleadó	81
5.4.2.	A energiafelhasználás várható csökkenése padlófűtés esetén	83
6.	A fűtési költségek csökkentése	86
7.	Felhasznált és ajánlott irodalom	89

1. Bevezetés

Az állattartás energiateljesítményében a legnagyobb szerepet az állat mikrokozmoszában a termelés növelése céljából való megváltoztatása, a klimatizálásra fordított energia játssza. Az állatok mikrokozmoszában egyik legfontosabb eleme a klíma, mely a többi környezeti tényezővel együtt teremti meg az élő szervezetek fennmaradásához, fejlődéséhez, termeléséhez szükséges feltételeket. Az állat a környezetével szoros és kölcsönös kapcsolatban áll. A környezet megváltoztatása hatással van az állat életfolyamataira, ugyanakkor ez fordítva is fennáll.

Az állat mikrokozmoszában alapvető megváltoztatását jelentette a vadon élő fajok és egyedek háziasszálása. A mesterséges állattartás létesítményei, az ólak és istállók tompították az éghajlat szélsőségeit, és a most már termelési célt szolgáló állat számára a természet nyújtotta környezetnél kedvezőbb körülményeket biztosítottak.

A termelőképeség fokozásával szinte egy időben merült fel a genetikailag értékesebb állatok szaporításának igénye és a megfelelő ellenálló képességű fajták tenyésztése. Az állatok genetikai potenciáljának javítása, a genetikai potenciál kihasználásához szükséges, biológiailag teljesebb értékű takarmány felhasználása fokozottabb követelményeket támaszt az állatok környezeti feltételeivel szemben is. Nem elegendő az állatokat épületekkel védeni az éghajlat szélsőségeitől, hanem az épületeken belül az állat igényeinek megfelelő olyan klímaállapotot kell létrehozni, amely az állattartási célú épületek egy jelentős részében (pl.: baromfi- és sertésistállók) csak épületgépészeti berendezésekkel és mesterséges energiaráfordítással valósítható meg. Ez az energiaráfordítás mennyiségében és költségei-

ben is számottevően megnőtt, és ma már az állattartás egyik el nem hanyagolható költségtényezőjévé vált.

Az állattartásban tehát napjaink legfontosabb feladata, hogy egyrészt a genetikailag nagy termelőképességű állatok számára megfelelő környezetet tudjunk kialakítani; másrészt pedig ezeket a körülményeket a lehető legkisebb energiaköltséggel valósítsuk meg. Szeretnénk remélni, hogy ebben a kis füzetben ismertetett összefüggések, megállapítások is hozzájárulnak e feladat sikeres megoldásához.

2. Istállóklíma és energiafelhasználás

Az állattartó épületek* energiafelhasználásában legnagyobb szerepet az istállóklíma játssza. Az istállóklíma alakításában a hazai éghajlati viszonyaink között legnagyobb tényező az épületek fűtése. A fűtésre felhasznált energia az állattartó épületek mikroklímájának megváltoztatását szolgálja. Az állattartó épületek mikroklímájának alakításában azonban a fűtésen kívül még más tényezők is szereppel bírnak. Ezért a klíma és energiafelhasználás összefüggésében mindenképpen szükséges, hogy a klímaviszonyokat meghatározó tényezőket és a klímaviszonyok befolyásolásának technikai lehetőségeit áttekintsük.

2.1. A klímaviszonyokat befolyásoló tényezők

Az állattartó épület mikroklímájának alakulásában a következő legfontosabb tényezők játszanak meghatározó szerepet:

- az állattartó épület környezetének klímaviszonyai, általánosan fogalmazva, a meteorológiai jellemzők,
- az állattartó épületbe telepített állatok faja, fajtája, életkora, testtömege, fiziológiai jellemzői,
- az állattartó épület fő méretei, belső kialakítása, az épületszerkezetek anyagainak hőtechnikai jellemzői,

* Az egyszerűség kedvéért az állattartási célú épületeket itt és a továbbiakban is állattartó épületeknek nevezzük.

- az állatok életfolyamataihoz szükséges frisslevegő-bevezetés mértéke, általánosságban a szellőztetés,
- az állattartó épület mikroklímájának befolyásolására szolgáló egyéb klímaberendezések, a fűtő- és hűtőberendezések.

Az állattartó épületben kialakult mikroklíma mindenkori állapotát ezek a tényezők *együttesen* határozzák meg. Az állattartó épület hő-energia-gazdálkodása, valamint az állatok számára szükséges klímafeltételek kialakítása szempontjából kétségtelenül a legfontosabb klímparaméter az istállótér levegőjének hőmérséklete.

2.1.1. A környezet hatása a mikroklímára

Az állattartó épület környezetének meghatározó szerepe van az istálló mikroklímájának alakulásában. Elsősorban a külső levegő hőmérsékletének és páratartalmának mindenkori értéke és változása lényeges, de nem lehet figyelmen kívül hagyni a többi meteorológiai tényező – szél, sugárzási viszonyok stb. – hatását sem.

Az állattartó épület környezetének meteorológiai viszonyai két úton fejtik ki hatásukat az istálló mikroklímájára:

- az állattartó épület határolószerkezetein keresztül áramló hő és nedvesség révén,
- az állattartó épület számára szükséges közvetlen levegőcsere formájában.

A külső tér meteorológiai viszonyainak van még egy további közvetett hatása az állattartó épületen belüli klímaviszonyok alakulására. Az állatok hőleadása, az egyes meteorológiai tényezők hatására, közvetett módon befolyásolja a mikroklímát.

A meteorológiai tényezők közül a hőenergia-gazdálkodás szempontjából a levegő hőmérséklete, páratartalma, a szélesebbesség és a napsugárzás intenzitása a leglényegesebb. E jellemzők értékei az ország különböző pontjain és a nap-, valamint az évszakok változásá-

tól függően jelentős ingadozást mutathatnak. Többévi megfigyelés alapján azonban ma már nagy statisztikus valószínűséggel rendelkezésre állnak azok az adatok, amelyek támpontul szolgálhatnak a mindenkori hőenergia-igény és a várható változások felméréséhez.

Az állattartó épületek környezetének tárgyalásánál érdemes megvizsgálni azt a lehetőséget is, hogy az épületeket ne a földfelszín fölé, hanem a földfelszín alatti rétegbe telepítsék. Ennek az elképzelésnek az adhat reális alapot, hogy az állatok termelési zónájának megfelelő, csaknem állandó hőmérséklet mérhető a földfelszín alatti rétegekben, így éppen a hőenergia-felhasználás alakulása szempontjából egy ilyen megoldás kedvező környezeti feltételt jelenthetne. Az elképzelés realitását csak igazolja az a tény, hogy hasonló megoldásokra más területeken már régóta sor került. Ilyen megfontolások alapján kerültek a földfelszín alá pl. a különböző élelmiszer-tárolók, pincék, jégvermek, régebben a növényházak és többféle ipari tevékenység épületei is.

Az állattartó épületeknek a földfelszín alá telepítése a következő előnyökkel járna:

- jelentősen csökkenne az épület konvekciós hőleadása, ami a téli időszakban számottevő hőenergia megtakarítására adna lehetőséget;
- a nyári napsugárzásból származó hőterhelés megszűnne, így az állattartó épület nyáron se melegedne fel túlzottan;
- a földdel való közvetlen érintkezés következtében a belső hőmérséklet csak kismértékben és csak lassan változna.

Mindezek az előnyök azonban csak az üres, élő állattal be nem telepített istállóra érvényesek. Az állat hőtermelése és az anyagcseré-folyamatokhoz elengedhetetlenül szükséges szellőztetés miatt a földfelszín alá telepített istálló hőmérséklete is tág határok között változna. Így nem kerülhetnénk el a klímaberendezések alkalmazását. Ugyanakkor a költségesebb beruházással és az üzemeltetés más területein többlet-energiaigénnyel kellene számolnunk. Az elképzelést természetesen csak az energiafelhasználás szempontjából vázol-

tuk, és nem tárgyaltuk annak állat-egészségügyi vonatkozásait, melyek az egész rendszer alkalmazását eleve megghiúsíthatnák.

2.1.2. Az állat hatása az épület mikroklímájára

Az állat és környezete között állandó az anyag- és energiakapcsolat. Az anyag- és energiaforgalom zárt állattartó épületekben a mikroklíma kialakulásának lényeges meghatározó eleme. A vizsgálat során elsősorban a következő fiziológiai paramétereket célszerű áttekinteni:

- az állatok hőleadása, a hőleadás formája és a hőleadás mértékét befolyásoló tényezők,
- az állatok nedvességleadása és ennek befolyásoló tényezői,
- az állat által leadott szén-dioxid mennyisége,
- az anyagcsere-folyamat során felvett, illetve leadott anyagok mennyisége, valamint azoknak a klímára gyakorolt hatása.

Az anyag- és energiaforgalom felsorolt paraméterei nem egyforma jelentőségűek az állattartó épületekben kialakuló mikroklíma szempontjából, de azt valamennyi tényező vagy közvetve, vagy közvetlenül befolyásolja. Anélkül, hogy az állat hőtermelésének, hőszabályozásának és hőleadásának élettani folyamatait e fejezetben tárgyalnánk, a különböző tényezők istállóklímára gyakorolt hatását tekintjük át.

Az állat, ha környezetének hőmérséklete alacsonyabb, mint a bőrfelületéé, sugárzással, konvekcióval, vezetéssel képes hőt leadni. Az állat által leadott hőmennyiség mindenképpen növeli a környezet hőtartalmát, de a sugárzással, konvekcióval és vezetéssel leadott hő a környezeti levegő hőmérsékletét is emeli. Ezért ún. *érzeti és rejtett hőleadást* különböztetünk meg. A sugárzással, konvekcióval és vezetéssel történő hőleadást *érzeti*, míg a párolgással történő hőleadást, amely a levegő hőmérsékletét nem növeli, *rejtett hőleadásnak* nevezzük. A hőleadás az állat testfelületén és a légzőszervek segítsé-

gével megy végbe. A leadott hő mennyisége és ezen belül a különböző hőleadási módok aránya több tényezőtől függ, de ezek közül a leglényegesebbek: a fajta, a testtömeg, a környezeti levegő hőmérséklete és páratartalma. Az állat hőleadása az állattartó épület klímájának egyik legfontosabb tényezője.

Sugárzás révén az állati szervezet hőt ad le, ha a környezet hőmérséklete alacsonyabb, és hőt vesz fel, ha a környezet hőmérséklete magasabb, mint a bőrfelületének hőmérséklete. A környezet hőmérsékletén ilyenkor nem a levegő hőmérsékletét kell érteni, hanem a sugárzás szempontjából számításba vehető felületeket. A sugárzással leadott vagy nyert hőmennyiség függ a sugárzó felületek színétől, hőmérsékletétől, valamint a hőcserében részt vevő állat és a környezetében lévő különböző tárgyak egymástól való távolságától. A sugárzásos hőcsere mértékére vonatkozóan sok adat nem áll rendelkezésünkre, általánosságban csupán annyi ismeretes, hogy az állatok a semleges hőmérsékleti zónában a leadott összes hő közel egyharmadát sugárzással adják le. Nyilvánvaló, hogy ez csak nagyságrendi tájékoztatásra alkalmas értéként kezelhető, minthogy a sugárzási viszonyokat meghatározó leglényegesebb tényezőket (az állat környezetében levő felületek hőmérsékletét, színét, távolságát stb.) nem veszi figyelembe.

Az állat az alacsonyabb hőmérsékletű környezeti levegővel érintkező felületein (bőrfelület, légutak, tüdő) *konvekcióval* oly módon képes hőleadásra, hogy az érintkezés során felmelegedett levegőréteg részecskéi a sűrűségkülönbség és a légmozgás hatására elmozdulnak, elszállítva a leadott hőenergiát is. A hőcsere mértéke az érintkező anyagok – a levegő és a testfelszín – hőmérséklet-különbségétől, a levegő mozgási sebességétől és a hőátadó felület méretétől, alakjától függ.

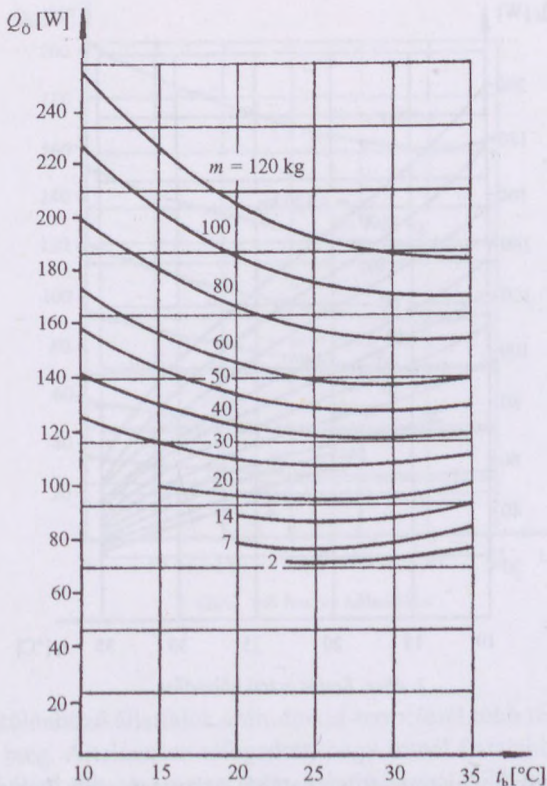
Az állat *vezetéssel* akkor tud hőt leadni, ha testfelülete nála hidegebb felülettel közvetlenül érintkezik. Vezetéssel történő hőcseréről beszélünk elsősorban a padozatra vagy alomra fekvő állat érintkezési testfelületén lezajló hőcsere esetén. A vezetéssel leadott hő mennyisége függ az állattal érintkező épületszerkezet hőtechnikai

jellemzőitől, az érintkezés időtartamától, az érintkezés előtti felületi hőmérsékletektől és az érintkező felület nagyságától. A vezetéssel történő hőleadás vizsgálata az alom nélküli tartástechnológia elterjedésével került előtérbe. A padozatok hőtechnikai tulajdonságainak értékelése során a különféle állatok vezetéssel történő hőleadására vonatkozóan is számos mérési adat jelent meg a szakirodalomban. A vezetéssel történő hőleadás mértékének általános normáit vagy jellemzőit azonban nehéz meghatározni, mert azt a fajta, a tartástechnológia, az állat hőszabályozása következtében az állatok viselkedési jellemzői is számottevően befolyásolják.

Párolgás útján az állat a bőrén és légútjain keresztül ad le hőt a környezetének. A párolgásos hőleadás a testfelület nagyságától, a levegő és a nedves testfelület parciális gőznyomás különbségétől, továbbá a légmozgás intenzitásától függ. A különböző állatfajok párolgással leadott hőjének mennyisége, illetve a hőleadás függése a külső hőmérséklettől igen eltérő.

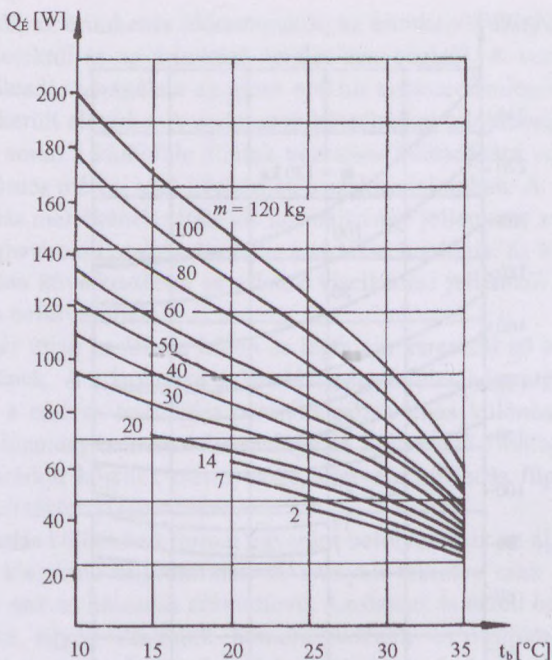
A hőleadás különböző formái egyaránt befolyásolják az állattartó épületben kialakuló mikroklimát, de arányait tekintve csak a konvekciós és nedves hőleadás számottevő. Az összes és érzeti hőleadás mértéke az egyes állatfajok hőmérsékletének és testtömegének függvényében sertés, baromfi és juh esetében az 1–6. ábrák adatai szerint tervezhető meg.

Az állatok izzadt bőrfelületéről és a nedves légzőszerveiktől párolgással eltávozott gőz nemcsak az állatok hőleadása szempontjából befolyásolja az állattartó épületen belül kialakuló klímát. Az állattartó épület levegőjébe került *nedvesség* mértéke a téli időszakban meghatározó szerepet tölt be a szellőztetés intenzitását illetően, így közvetett módon hat a klímaviszonyokra. Az állat nedvességleadását csak részben jelenti a bőrfelületen, illetve a légzőszerveken keresztül elpárolgott víz mennyisége. Az állatok ürülékei szintén párolognak, és ugyancsak terhelik az istálló levegőjét. Ennek ellenére a szellőztetés mértékének számításakor az ürülékekből származó nedvességet általában nem vesszük figyelembe, csupán az állatoktól származó páraleadást.



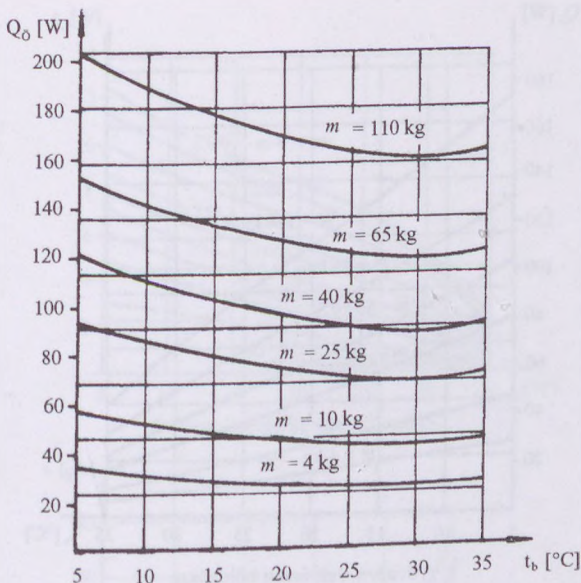
1. ábra. Sertés összes hőleadása

Az állatok közvetlen nedvességleadásának mértékét több tényező határozza meg. Közülük a leglényegesebbek: a faj, a testtömeg és a környezeti levegő hőmérséklete. A sertésekre és a baromfiakra vonatkozó közvetlen nedvességleadás a 7–8. ábrák szerint tervezhető meg.



2. ábra. Sertés érzeti hőleadása

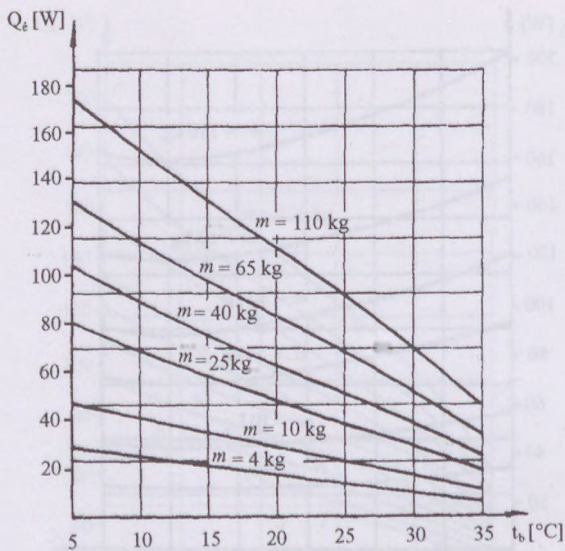
Az állatok anyagcsere-folyamatából származó *szén-dioxid* az állattartó épület levegőjének hőtechnikai jellemzőit közvetlenül nem befolyásolja, így az épület hőenergia-háztartásának vizsgálatában csak közvetett szerepet játszik. Az állat által termelt szén-dioxidot ugyanis az istállóból el kell távolítani, és helyére friss levegőt kell juttatni. Napjainkban ezt sertés és baromfi esetében általában mesterséges szellőztetéssel oldják meg. Az állatok szén-dioxid-termelése így módon a szellőzőlevegő minimális mennyiségét határozza meg, és ezért a mesterséges szellőztetéssel kapcsolatos hőcsere mértékét is befolyásolja.



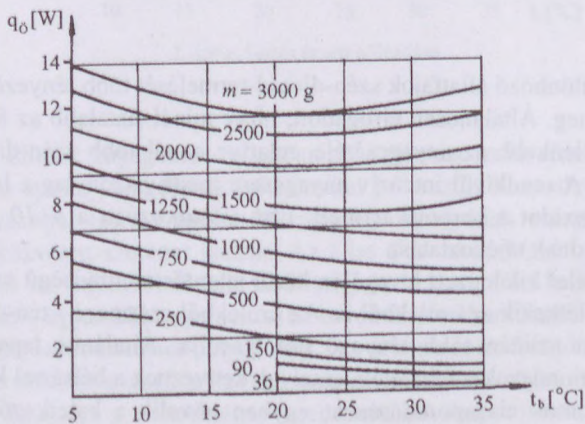
3. ábra. Juh összes hőleadása

A különböző állatfajok szén-dioxid-termelését több tényező határozza meg. Általánosan elfogadott, hogy minél fiatalabb az állat és minél élénkebb az anyagcseréje, relatíve annál több szén-dioxidot termel. A rendkívül intenzív anyagcsere miatt viszonylag a legtöbb szén-dioxidot a baromfi termeli. Erre vonatkozóan a 9–10. ábrák adatai adnak tájékoztatást.

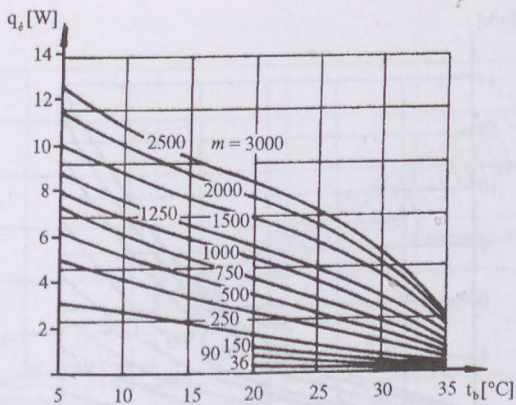
Az állat kilélegzett levegőjén kívül jelentős mennyiségű szén-dioxid keletkezik az ürüleből is. Az ürüleből származó szén-dioxid-terhelést szintén több tényező befolyásolja. Általános tapasztalat szerint mindazok a feltételek, amelyek kedveznek a bélsárral kiürülő baktériumok elszaporodásának, egyben növelik a keletkező szén-dioxid mennyiségét is.



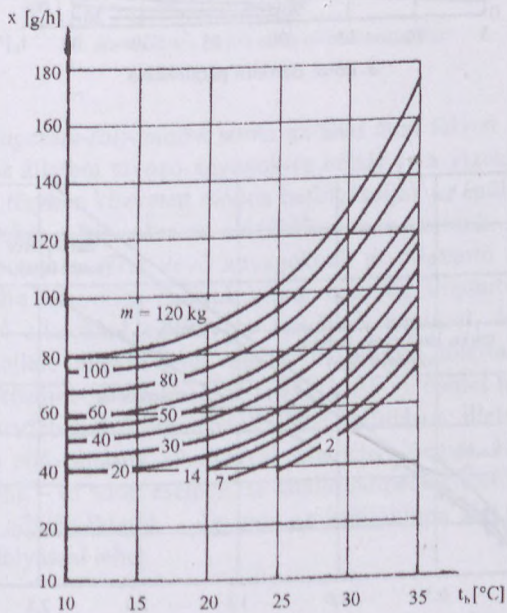
4. ábra. Juh érzeti hőleadása



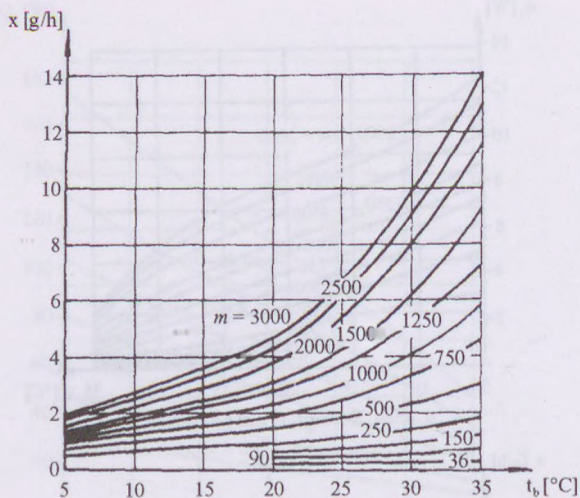
5. ábra. Baromfi összes hőleadása



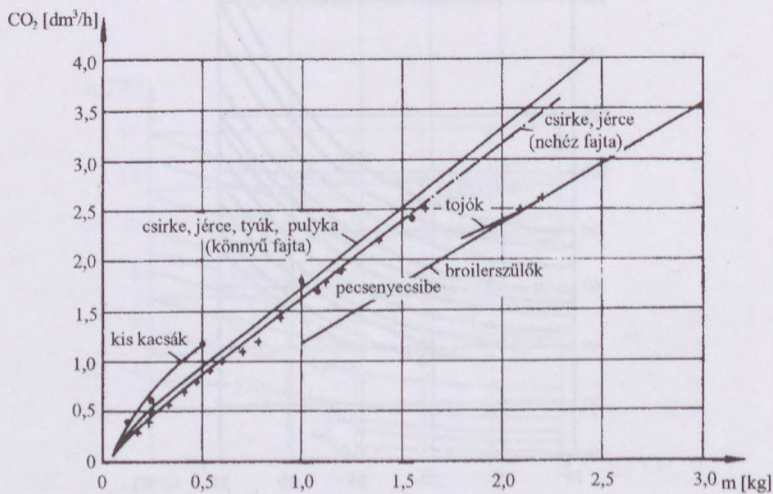
6. ábra. Baromfi érzeti hőleadása



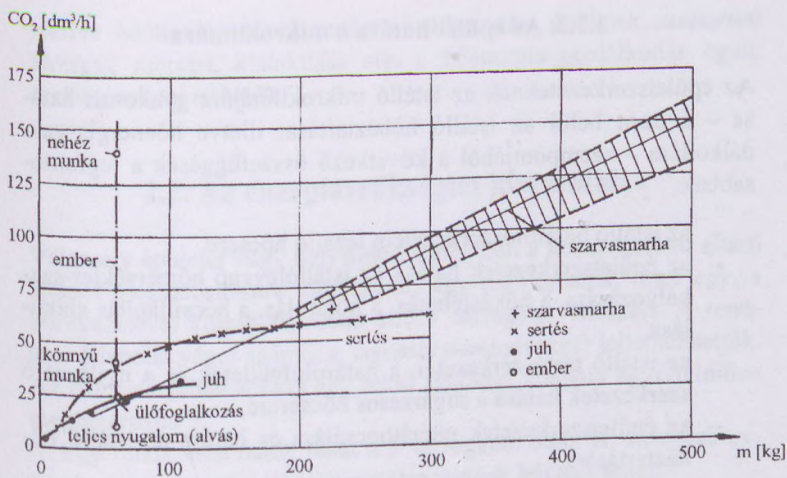
7. ábra. Sertés páraleadása



8. ábra. Baromfi páraleadása



9. ábra. Szármayasok szén-dioxid-termelése



10. ábra. Sertés és juh szén-dioxid-termelése

Az *anyagcsere-folyamatok* során az állat által felvett víz, takarmány és az állatból távozó anyagok (a bélsár és a vizelet) részben közvetlen, részben közvetett módon befolyásolják az épületen belüli klímát. Ezekre a hatásokra az előzőekben már utaltunk. Az anyagcsere-folyamatban részt vevő anyagoknak az állattartó épület hőegyensúlyára közvetlen hatásuk nincs, mert az állattartó épület a benne levő állatokkal együtt *egy rendszert* képvisel, és az ilyen anyagok holléte (állaton belül vagy kívül) a teljes hőtartalom szempontjából közömbös. Ezeknek az anyagoknak az épület hőegyensúlya szempontjából elsősorban az istállóba szállításuk, illetve az istállóból való eltávolításuk alkalmával van jelentőségük. Számottevő mennyiségük – és adott esetben, az istálló hőmérsékletétől lényegesen eltérő hőmérsékletük – ugyanis az istállóklima alakulására lényeges befolyással lehet.

2.1.3. Az épület hatása a mikroklímára

Az épületszerkezeteknek az istálló mikroklímájára gyakorolt hatása – s ezen belül az istálló hőháztartása, illetve hőenergia-gazdálkodása – szempontjából a következő összefüggések a legfontosabbak:

- az istálló határolószerkezetein lezajló hőcsere,
- az épületszerkezetek hatása az istállólevegő hőmérséklet-szabályozására, a hőkécseltetés, a hőtárolás, a hőcsillapítás alakulása,
- az istálló tartószerkezetei, a határolófelületek és a nyílászáró szerkezetek hatása a sugárzásos hőcsere,
- az épületszerkezetek páraátbocsátása és hatása az istálló hőháztartására,
- az épületek légtömörsege és a nyílászáró szerkezetek légáteresztő képessége,
- az épületek tájolása a napsugárzás és a szélhatás szempontjából,
- az épület méretei és méretarányai.

Az épületnek az istálló mikroklímájára gyakorolt hatásában lényeges szerepet játszanak az épületet körülvevő külső tér meteorológiai jellemzői. Ha az istállóépületen kívüli légtér hőmérséklete és páratartalma megegyezik az istállóéval, az épületszerkezeteken keresztül történő hőáramlásról gyakorlatilag nem beszélhetünk. A hőmérséklet-különbség növekedésével azonban a konvektív hőcsere mértéke arányosan nő. Az épület tehát elsősorban az időjárási tényezők szélső értékeinek és azok változásának csillapításában játszik döntő szerepet, bár az épület hőenergia-gazdálkodása szempontjából az épület hőtechnikai viselkedésének mindenféle változása fontos.

Minthogy az istálló mikroklímájának alakulásában az épület – a külső meteorológiai tényezőktől és az állatnak az épületen belül kialakult klímára gyakorolt hatásától eltérően – nem tekintendő ob-

jektíve adott tényezőnek, ezért az állattartási épületek szerkezeti anyagai, méretei, kialakítása stb. a hőenergia-gazdálkodás egyik eszközének tekinthetők.

2.2. Az energiaszükséglet kiszámítása

Valamely épületet vagy helyiséget, amelyben a környezetétől eltérő állapot megvalósítására törekszünk, úgy tekinthetünk, mint egy, a környezetével kölcsönhatásban álló V térfogatú rendszert. A rendszer állapotát véges számú, x_i *extenzív* mennyiséggel jellemezhetjük. Az extenzív jellemzőkkel egy adott rendszer állapota egyértelműen meghatározható.

Egy rendszeren belül, tehát a V térfogatán belül is, az egyes extenzív mennyiségek időbeli megváltozásának két oka lehet:

- a rendszerben létezik be-, illetve kilépő *extenzív áram*, melyet I_i -vel jelölünk,
- a rendszerben létezik valamilyen *forrás*, amelyet Q_i -vel jelölünk.

Két rendszer – legyen az általunk vizsgált tér és környezete – kölcsönhatását, a rendszerek közötti anyag- és energiaáramlást az ún. *mérlegegyenlet* fejezi ki. Ez általánosságban úgy fogalmazható meg, hogy a rendszeren belül valamely extenzív mennyiség időbeli megváltozása a rendszeren belüli források (Q_i) és a rendszerből kilépő extenzív áramok (I_i) különbségével egyenlő:

$$\frac{dx_i}{d\tau_i} = Q_i - I_i.$$

A felírt mérlegegyenletből a források és áramok ismeretében valamely extenzív mennyiség időbeni változása meghatározható.

Az extenzív mennyiségek változása a kölcsönhatás energiaváltozását adja. A kölcsönhatás során addig áramlik energia az egyik

rendszerből a másikba, míg az áramokat előidéző fizikai mennyiségek ki nem egyenlítődnek. Azokat a fizikai jellemzőket, amelyek az extenzív mennyiségek áramának előidézői, *intenzív mennyiségeknek* nevezik. Ezekre az intenzív mennyiségekre az jellemző, hogy kifejezik azt az energiamennyiséget, amelyet a megfelelő extenzív mennyiség megváltozása képvisel, és kiegyenlítődsre törekszenek. Az intenzív mennyiségek különbségét *erőnek* lehet tekinteni, amely meghatározza az extenzív mennyiségek áramának irányait. Az extenzív mennyiségek árama az extenzív mennyiségek különbségétől függ:

$$I_i = L(y_i - y_{i0}) .$$

Az összefüggésben $y_i - y_{i0}$ az intenzív mennyiségek különbségét, az L együttható pedig az ehhez tartozó vezetési vagy átadási tényezőt jelöli. Az extenzív mennyiségek áramának iránya konvenció alapján pozitív, ha a rendszerbe belépő (output) áramról van szó, és negatív, ha a rendszerből kilépő (input) áramról van szó.

A környezetével kölcsönhatásban levő zárt tér lehet egy istálló-épület is, amelyen belül az épület funkciójának megfelelő körülményeket kívánunk létrehozni. Ezeket a körülményeket (a levegő hőmérsékletét, páratartalmát, mozgását, a világítást, a falak színhatását, az etető-itató berendezéseket stb.) a vizsgálat céljának megfelelően szűkítsük le azokra a jellemzőkre, amelyek a fűtéssel közvetlen kapcsolatba hozhatók. Ilyen jellemzők az állat számára a levegő hőmérséklete és páratartalma, melyek mint intenzív fizikai paraméterek, meghatározzák a zárt térben, vagyis az istállóépületben vizsgálandó extenzív mennyiséget, a *levegő entalpiáját*. Az istállóépületben a levegő entalpiája majdnem minden esetben a hely és az idő függvénye, így a mérlegegyenletbe ennek a behelyettesítése nem okozna gondot. Problémát jelent viszont az, hogy a levegő entalpiasűrűségét, illetve ennek hely és idő szerinti változását milyen függvénnyel írjuk le. Minthogy erre vonatkozóan sem külföldi, sem hazai kutatások nem tudnak támpontot nyújtani, a kidolgozandó összefüggésrendszer szempontjából akkor kisebb a hiba, ha az istálló le-

vegőjének entalpiasűrűségét a helytől független állandó értéknek tekintjük. (Fontos azonban megjegyezni, hogy az istállóban, a levegő entalpiaváltozása, az entalpiasűrűség alakulása mind az energiafelhasználás, mind pedig a hőérzet szempontjából egyaránt fontos, de ez az elhanyagolás lényegesen leegyszerűsíti a vizsgáldást.)

Az istállóépületben kialakuló klímaviszonyokat jellemző extenzív fizikai mennyiségnek, a levegő entalpiájának megváltozásához a zárt tér forrásait és a felületi áramokat kell számba venni, pontosabban ezek közül azokat, amelyek az extenzív mennyiség megváltozását idézhetik elő. Az istállóban ilyenek a következő tényezők:

- az állatok hő- és páraleadása (Q_o),
- az istálló fűtését szolgáló hőleadás (Q_f).

Felületi áramokat okozhat a külső és belső levegő hőmérséklete, illetve páratartalma közötti különbség, valamint a sugárzásos energiaátvitel. A szóban forgó jellemzők különbségének hatására kialakuló felületi áramok a következők:

- a határolószerkezeteken keresztül kialakuló hőáram (I_k) és a páradiffúzió (I_x),
- a levegőcserével mint anyagátvitellel együtt járó energiaátvitel árama (I_L),
- a sugárzásos energiaátvitel hőárama (I_s).

A határolószerkezeteken keresztül kialakuló hőáram a külső és belső levegő hőmérséklet-különbségétől, mint az intenzív fizikai jellemzők különbségétől függ. Abban az esetben, amikor a belső levegő hőmérséklete (t_b) magasabb, mint a külső levegőé (t_k), a határolófelületeken keresztül megindul a hő áramlása a helyiségből a környezetbe. A hőáram nagyságát a hőmérséklet-gradiens és a vezetési tényező szorzata adja. A vezetési tényező a külső és belső oldali levegőréteg közötti hőátzármaztatást fejezi ki, és ez a hőátadási tényezők, valamint a határolószerkezet anyagainak hővezetési tényezői alapján egyszerűen kiszámolható, ha néhány feltételezéssel élünk.

Feltételezzük, hogy

- a határolószerkezetben a hővezetés egydimenziós,
- az épületszerkezet anyagjellemzői állandó értékek és homogén eloszlásúak,
- a hőáram forrásmentes az épületszerkezet belsejében,
- a határolószerkezettel érintkező levegőréteg az egész felületen azonos hőmérsékletű,
- a hőáram stacionáris,
- a hőátadási tényező és a környező közeg közötti hőátadási tényező állandó érték.

A felsorolt feltételek mellett a hőátbocsátási tényező az ismert összefüggéssel számolható:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_b} + \sum_i \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_k}},$$

ahol

α_b a belső oldali hőátadási tényező [$\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$],

α_k a külső oldali hőátadási tényező [$\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$],

d_i a határolószerkezet i -edik rétegének vastagsága [m],

λ_i az i -edik réteg hővezetési tényezője [$\text{W}/(\text{m K})$].

Ezzel a hőáram valamennyi felületre összegezve a konvektív felületi áramot adja:

$$I_k = \sum kA(t_b - t_k),$$

ahol

$\sum kA$ az istállóépület határolószerkezetei hőátbocsátási tényezőinek és a hozzá tartozó felületeknek a szorzata, valamennyi felületre összegezve [kW/K],

t_b az istálló belső hőmérséklete [$^{\circ}\text{C}$],

t_k a külső levegő hőmérséklete [$^{\circ}\text{C}$],

A belső és külső tér levegője közötti hőmérséklet-különbség mellett a téli időszakban a levegő páratartalom-különbsége is jelentős. A páratartalom-különbség hatására a határolószerkezeteken keresztül *páradiffúzió* indul meg. A páradiffúzió a hőáramláshoz hasonlóan *átviteli* (transzport) *jelenség*, de itt az áramlást, a levegő parciális vízgőznyomásának különbsége, mint intenzív jellemző hozza létre. A határolószerkezeteken átszűrőmőkűő pára mennyisége – és ezzel a páradiffúzió felületi hőárama – azonban a konvektív hőáramnál jóval kisebb, így az energiaszükséglet számítása szempontjából elhanyagolható.

Az istálló *légcseréje* – akár mesterséges úton, akár *gravitáció* vagy *szél hatására* megy végbe – olyan anyagáramot jelent, melyben a levegő hőmérséklete és páratartalma egyaránt különböző lehet. Ha az istálló időegységre vonatkoztatott légcseréjét, vagyis a szellőztetés tömegáramát ismerjük, akkor a hőáram a következő összefüggés alapján számítható ki:

$$I_L = L(i_b - i_k) \quad [\text{kW}],$$

ahol

L a légcseré tömegárama $[\text{kg/s}]$,

i_b a belső levegő entalpiája $[\text{kJ/kg}]$,

i_k a külső levegő entalpiája $[\text{kJ/kg}]$.

A levegő entalpiája a hőmérséklet és az abszolút páratartalom segítségével kifejezhető:

$$i = c_1 t + (r + c_g) x,$$

ahol

c_1 a száraz levegő fajhője $[\text{kJ}/(\text{kg K})]$,

r a víz párolgáshője $[\text{kJ/kg}]$,

c_g a vízgőz fajhője $[\text{kJ}/(\text{kg K})]$,

x a levegőben levő vízgőz tömege $[\text{kg/kg}]$,

t a levegő hőmérséklete $[\text{°C}]$.

Ha a levegőben levő vízgőz tömegét 1 kg levegőre vonatkoztatva grammban adjuk meg, és a fajhő, illetve párolgáshő értékeit az összefüggésbe beírjuk, nem nagy hibával a következő egyszerű alakhoz jutunk:

$$i = c_1 t + 2,25x \quad [\text{kJ/kg}].$$

A légcseré hőáramának összefüggésébe ezt az egyszerű alakot a belső és külső levegő entalpiaértékének helyére beírva a következőket kapjuk:

$$I_L = L[c_1(t_b - t_k) + 2,25(x_b - x_k)] \quad [\text{kW}].$$

Az istálló és környezete között sugárzásos energiátvitel is végbemegy, de ennek mértéke a téli időszakban a hazai viszonyokat tekintve nem jelentős, ezért figyelmen kívül hagyható.

Behelyettesítve a források és felületi áramok értékeit a mérleg-egyenletbe, azt kapjuk, hogy az istállólevegő entalpiájának időbeli változása egyenlő az állatok által leadott, illetve az istállóba fűtéssel bejuttatott hőenergia és a konvektív, illetve a szellőzési hőáramok különbségével, azaz

$$\frac{di}{d\tau} = Q_{\delta} + Q_F - \sum kA(t_b - t_k) - L[c_1(t_b - t_k) + 2,25(x_b - x_k)] .$$

Minthogy az istállóban a fűtés segítségével éppen arra törekszünk, hogy a jellemző extenzív mennyiség – a levegő entalpiája – egy meghatározott érték legyen, tehát a

$$\frac{di}{d\tau} = 0$$

feltétel megvalósítására törekszünk, így írható:

$$0 = Q_{\delta} + Q_F - \sum kA(t_b - t_k) - L[c_1(t_b - t_k) + 2,25(x_b - x_k)] .$$

Az összefüggésben a Q_F az a forrás, amelyet a fűtőberendezés jelent az istállóban, és ez egyúttal a fűtési energiaszükséglet momentán értékével egyenlő. A fűtési hőszükséglet pillanatnyi értéke a másodpercenkénti energiaigényt jelenti, és nem fejezi ki az istállóépület, illetve az épületben folytatott termelés energiaigényességét. Ez utóbbi mennyiségnek a tartástechnológia által meghatározott, az egymástól elkülönült termelési ciklusonkénti energiaráfordítás vagy egy istállóépület egész fűtési időszakra vonatkozó energiaráfordítása felelhet meg. Ezért a létrehozott összefüggést ennek megfelelően kell átalakítani. Az átalakítás során azt is figyelembe kell venni, hogy az energiaszükséglet meghatározó adatok milyen módon állnak rendelkezésre. Így a belső hőmérséklet értékeit a technológiai előírás naponta vagy ennél hosszabb időszakokra (pl. hetekre) írja elő, a külső hőmérséklet értékeit pedig a sokévi adatok átlagaként, átlagos napi középhőmérsékleti értékkel ismerjük. Ennek megfelelően elvégezve az összefüggés átalakítását, egy istálló fűtési energiaszükséglete Z napra:

$$Q_{FZ} = 86,4 \left[\left(\sum kA + c_1 nl \right) \sum_{i=1}^Z (t_b - t_k) - Znq_e \right] \text{ [MJ/Z nap]},$$

ahol

- $\sum kA$ az istállóépület határolószerkezetei hőátbocsátási tényezőinek és a hozzá tartozó felületeknek a szorzata, valamennyi felületre összegezve [kW/K],
- c_1 a levegő fajhője [kJ/(kg K)],
- n az istállóba telepített állatok száma [db],
- l az egy állatra vonatkoztatott szellőzőlevegő mennyisége [kg/(s db)],
- t_b az istálló belső hőmérséklete [$^{\circ}\text{C}$],
- t_k a külső levegő átlagos napi középhőmérséklete [$^{\circ}\text{C}$],
- q_e az állatok érzeti hőleadása [kW/db].

Az olyan istállóépületekben, amelyekben egész évben állandó belső hőmérsékletet kell fenntartani, az éves fűtési energiaszükséglet

a jellemző. Az ilyen istállóknál az éves fűtési energiaszükséglet a következő összefüggéssel számítható ki:

$$Q_{F\acute{E}} = 86,4 \left[\left(\sum kA + c_1 n l \right) G_{\acute{E}} - Z_{\acute{E}} n q_{\acute{E}} \right] \quad [\text{MJ}/\acute{\text{e}}\text{v}],$$

ahol

$G_{\acute{E}}$ az évi fűtési *hőfokhíd* [nap °C],

$Z_{\acute{E}}$ a fűtési napok száma évente.

(A többi jelölés és ezek dimenziója megegyezik az előző egyenletben használtakkal.)

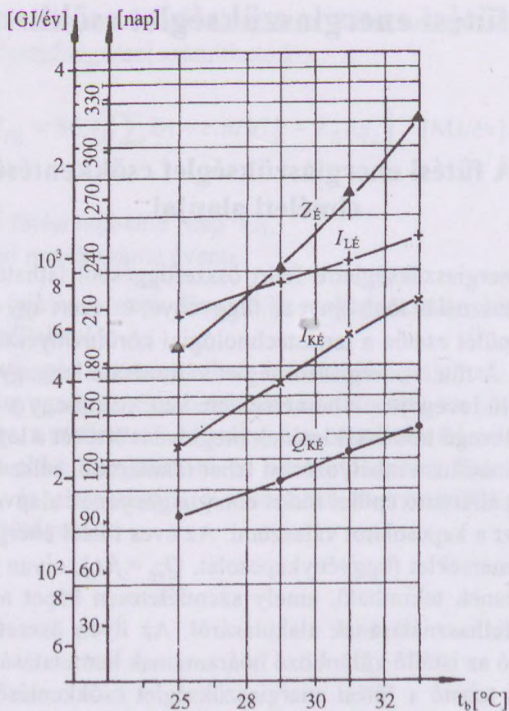
Az összefüggés segítségével az istállóépület jellemzői (méretei, szerkezeti anyagai), az egyéb adatok (állatlétszám, az istállólevegő hőmérséklete, a szellőztetés mértéke) és az istállóba telepített állatfaj ismeretében előre kiszámítható az állattartó épület fűtési energiaszükséglete, és elemezhetők a különböző energiaszükséglet-csökkentési lehetőségek.

3. A fűtési energiaszükséglet csökkentése

3.1. A fűtési energiaszükséglet csökkentésének elméleti alapjai

A fűtési energiaszükségletre felírt összefüggésből látható, hogy az energiafelhasználás több tényező függvénye, és ezért egy-egy konkrét istállóépület esetén a tartástechnológiai körülményektől függően is változik. A fűtési energiaszükséglet változására legnagyobb hatással az istálló levegőjének hőmérséklete van. Minthogy a fűtési időszakban a levegő hőmérsékletének megkívánt értékét a legtöbb istállóban automatikus szabályozással lehet fenntartani, célszerűnek mutatkozik az állattartó épület fűtési energiaigényének alapvető jellemzőjeként ezt a kapcsolatot választani. Az éves fűtési energiaigény és a belső hőmérséklet függvénykapcsolat, $Q_{\text{fű}} = f(t_{\text{b}})$, olyan jellegzetes összefüggésnek tekinthető, amely szemléletesen képet ad az istálló energiafelhasználásának alakulásáról. Az ilyen összefüggés felhasználható az istálló különböző hőáramainak bemutatására is, ezzel alkalmassá tehető a fűtési energiaszükséglet csökkentéséhez kínálkozó lehetőségek számszerű összehasonlítására. Minthogy egy-egy jellegzetes összefüggés meghatározott technológiai paraméterekkel készül, ezek változásakor új karakterisztikus görbét kell szerkeszteni.

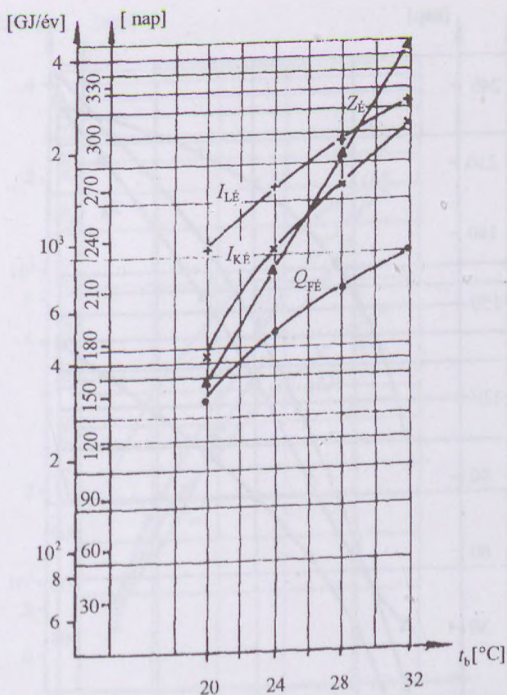
A hazai állattartásban a fűtési energiafelhasználás szempontjából a baromfi- és a sertéstartás emelhető ki. Mindkét ágazat fűtési energiaszükségletének vizsgálatához számos saját mérési adat áll rendelkezésünkre, amelyekből néhány tipikusnak tekinthető istállóépület karakterisztikus jelleggörbéjét különböző tartástechnológiai paraméterekre vonatkoztatva a 11–14. ábrákon közöljük. Az ábrákból jól látható, hogy az évi fűtési energiaigény változása a bemutatott istállóépületekben a hőmérséklet függvényében olyan nagy, hogy az



11. ábra. Egy sertésfiaztató karakterisztikus görbéje
 ($n = 50$ db, $m = 195$ kg/db, $\sum kA = 0,5$ kW/h, $l = 100$ m¹/(h db))

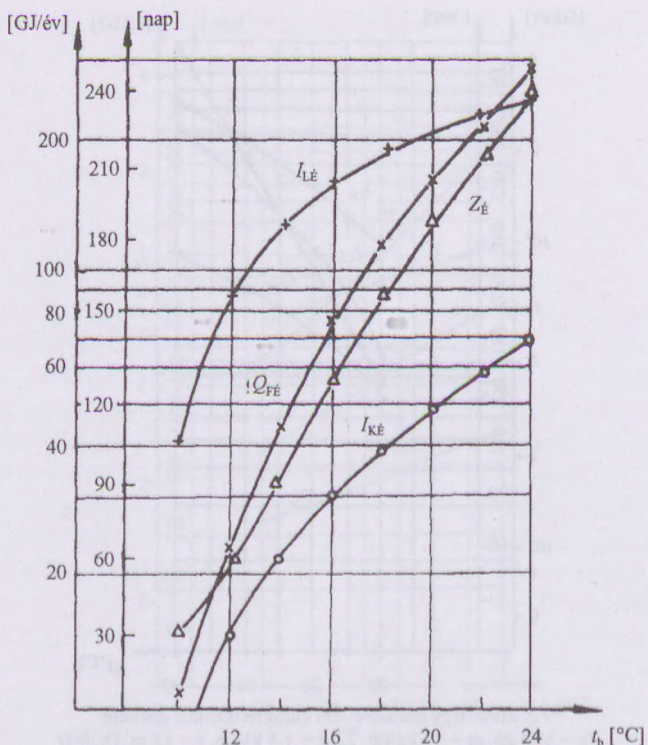
energiaigényt logaritmikus léptékben kellett az ordinátára felvinni. A karakterisztikus görbéken

- az évi fűtési energiaigényt ($Q_{\text{FÉ}}$),
- a szellőzés évi energiaszükségletét ($I_{\text{LÉ}}$),
- a határolószervezeteken évente távozó energiaáramot ($I_{\text{KÉ}}$),
- az évi fűtési napok számát ($Z_{\text{É}}$)



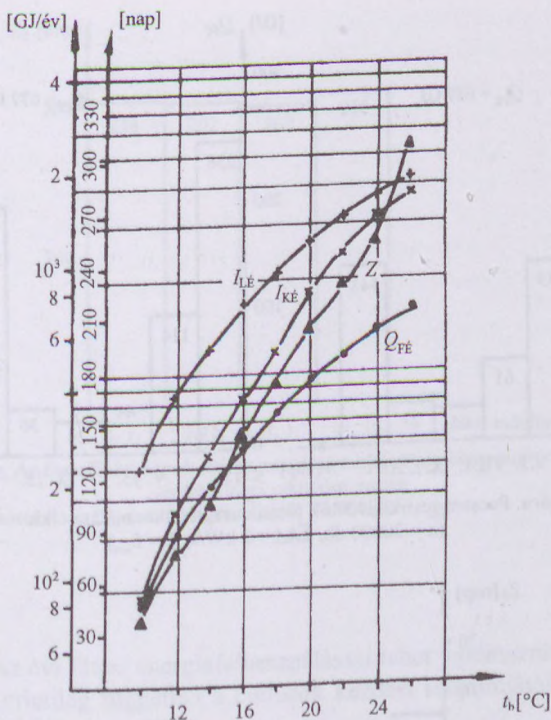
12. ábra. Egy malacnevelő karakterisztikus görbéje
 $(n = 960 \text{ db}, m = 15 \text{ kg/db}, \Sigma kA = 1,5 \text{ kW/h}, l = 12 \text{ m}^3/(\text{h db}))$

jelöljük. A bemutatott állattartó épületek karakterisztikus jelleggörbéi első rátekintésre egymáshoz hasonlóak. Közös jellemzőjük, hogy a fűtési időszak hossza – az istállólevegő hőmérsékletétől függően – lineárisan változik, és már néhány $^{\circ}\text{C}$ -os növekedés is jelentősen meghosszabbítja a fűtési időt. A karakterisztikus görbék hasonlósága mellett azonban észre kell venni a különbségeket is, nevezetesen azt, hogy azonos rendeltetésű épületekben az eltérő szigetelés vagy szellőztetés lényegesen megváltoztatja az évi fűtési energiaszükségletet.



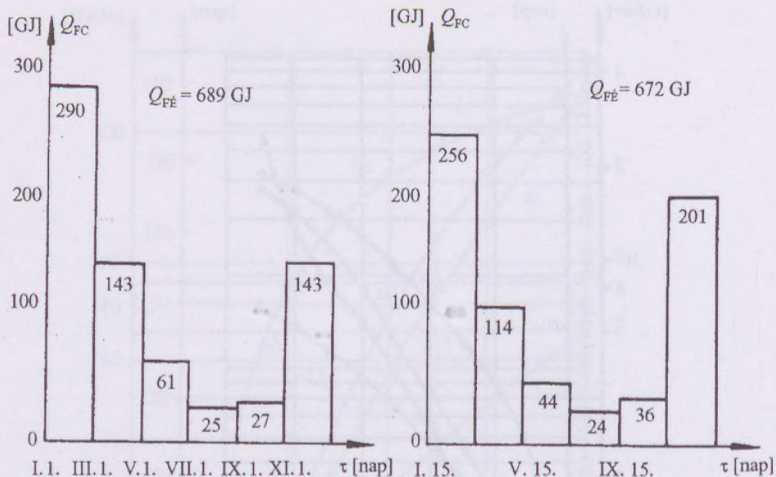
13. ábra. Egy tojóház karakterisztikus görbéje
 ($n = 6299$ db, $m = 3,4$ kg/db, $\Sigma kA = 0,7$ kW/h, $l = 3,5$ m³/(h db))

A baromfitartásban a tenyésztés- és pecsenyecsirke-istállók fűtési energiafelhasználása a tojóházakétól eltérő módon jellemezhető. Az eltérés oka az, hogy az előbbi istállókban a levegő hőmérséklete a termelésteknológia által előírt módon változik (tehát nem független változó), viszont helyette egy új változóval (a betelepítési idővel) kell számolni. Egy átlagos ciklus általában 8 hét, és az egyes ciklu-

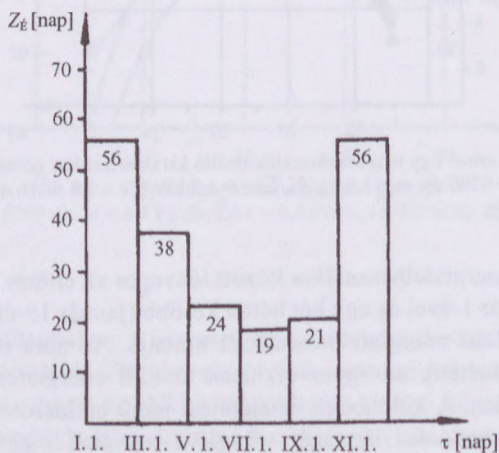


14. ábra. Egy tenyésznövendék-istálló karakterisztikus görbéje
($n = 6700$ db, $m = 1,8$ kg/db, $\sum kA = 1,3$ kW/h, $l = 1,8$ m³/(h db))

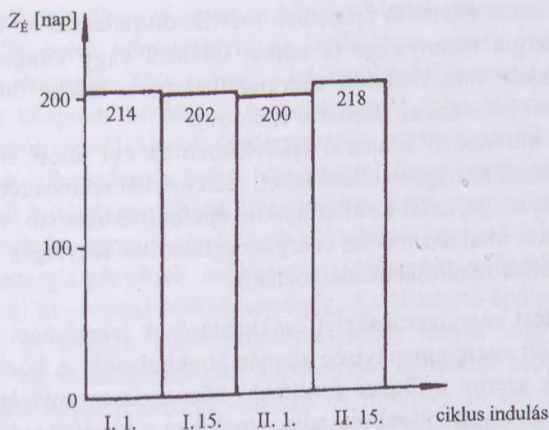
sok fűtési energiafelhasználása között lényeges az eltérés. A 15. ábra egy január 1-ével és egy két héttel később (január 15-ével) induló ciklussor fűtési energiafelhasználását mutatja. Az ábra oszlopdiagramjai érzékeltetik az egyes ciklusok közötti energiafelhasználáskülönbségeket. A különböző betelepítési idejű ciklussorok energiafelhasználásának évi összegét vizsgálva azonban megállapítható, hogy közöttük nincs lényeges különbség. Ez azt jelenti, hogy a tenyésznövendék- és pecsényecsirke-istállók fűtési energiafelhasz-



15. ábra. Pecsényecsirke-istállók fűtési energiafelhasználása ciklusonként
($n = 20000$ db, $\Sigma kA = 2 \text{ kW/h}$, $L = L_{\min}$)



16. ábra. Pecsényecsirke-istállók ciklusonkénti fűtési ideje
($n = 20000$ db, $\Sigma kA = 2 \text{ kW/h}$, $L = L_{\min}$)



17. ábra. Az éves fűtési napok száma pecsenyecsirke-istállókban különböző betelepítési idejű ciklussor esetén
 ($n = 20000$ db, $\sum kA = 2$ kW/h, $L = L_{\min}$)

nálását az évi fűtési energiafelhasználással lehet jellemezni, és hogy az gyakorlatilag független a ciklusok kezdési időpontjától (a betelepítési időtől).

A tenyésznövendék- és pecsenyecsirke-istállók ciklusonkénti különbségét, illetve a ciklusok évi összegének csaknem azonosságát jelzi a fűtési időtartam hosszának vizsgálata is. A ciklusonkénti fűtési idő hosszát, azaz a fűtési napok számát a pecsenyecsirke-istállóban a 16. ábra mutatja be. Az ábrából jól látható a ciklusonkénti eltérés. Ha azonban a ciklusok összegeként kiszámítjuk az évi fűtési napok számát, különböző betelepítési idejű ciklussor esetén (17. ábra) azt tapasztaljuk, hogy nincs lényeges eltérés közöttük.

A különböző rendeltetésű állattartási épületek fűtési energiafelhasználásának bemutatásával az volt a célunk, hogy két, általánosítható megállapítást igazoljunk.

- a) Minden állattartó épületben mértékadó jellemző az évi fűtési energia mennyisége (a napra, ciklusra vagy kiragadott időszakra vonatkoztatott energiafelhasználás értéke önmagában nem jellemző az állattartó épületre).
- b) A különböző állattartó épületekben az évi fűtési energiafelhasználás nagyon eltérő lehet, mert értékét számos tényező befolyásolja, ezért az állatfajokra, épülettípusokra stb. vonatkoztatott általánosítás az energiamegtakarítás tényleges lehetőségeinek feltárását akadályozhatja.

A fűtési energiaszükséglet csökkentésének lehetőségei a fűtésre felhasznált energiamennyiség alapján áttekinthetők. A közölt összefüggések szerint a fűtésre fordítható hőenergia mennyiségét matematikailag olyan különbség adja, amelyben a kisebbítendő és a kivonandó is egy-egy több tagú szorzat. A fűtési energiaszükséglet csökkentése céljából a különbség minimális értékére kell törekedni, amit matematikailag úgy érhetünk el, hogy a kisebbítendő értékét csökkentjük, és a kivonandót növeljük. Az összefüggés vizsgálatának ez a formális leegyszerűsítése természetesen nem azonos azzal a fizikai tartalommal, amelyet az egyes tényezők jelentenek, hanem azok változtatását, illetve a változtatás korlátait számos körülmény befolyásolja.

A fűtési energiafelhasználás, illetve az energiaszükséglet csökkentési lehetőségei szempontjából az állattartó épületek néhány olyan sajátossággal bírnak, amelyek nem hagyhatók figyelmen kívül, és (leginkább funkcionális különbségekből adódó) sajátosságaik miatt más értékelést kívánnak, mint például a lakó-, illetve kommunális épületek.

3.2. Az állattartó épületek fűtési sajátosságai

A fűtési energiafelhasználás szempontjából az állattartó épületek és a lakó-, illetve kommunális épületek közötti leglényegesebb különbség az, hogy az istállókban nem lehet a meghatározott hőérzet ki-

alakításához szükséges egyetlen hőmérséklettel számolni, minthogy az istálló belső hőmérséklete az istállóklíma egyik legfontosabb változó tényezője. Más szóval: a lakóépületek hőenergia-felhasználásában központi kérdés az épületek minél jobb hőszigetelése, a nyílászárók minél kisebb légáteresztése, viszont az állattartásban ezeket a jellemzőket a belső hőmérséklet függvényeként, változóként kell feltételezni. Ebből következik a fűtési energiafelhasználás csökkentésére irányuló törekvések különbözősége is. A lakóépületek fűtési energiaigényének csökkentése elsősorban műszaki feladat, ezenkívül ökonómiai szükségszerűség. Az állattartó épületekben ellenben, az istállók belső hőmérsékletének helyes megválasztása folytán, egymáshoz szorosan kapcsolódó, bonyolult biológiai-műszaki-ökonómiai feladatról van szó. A mindennapi energiagazdálkodásban a problémát elsősorban műszaki feladatként kezelik, de természetesen az előzőekben már ismertetett biológiai jellegű költőtségeket a termelés céljai határozzák meg.

Az állattartó épületek fűtésére fordított energia mennyiségének meghatározása és elemzése során nem szabad megfedkezni arról sem, hogy a biológiai termelési folyamat alapvető feltételeként az energiafelhasználást befolyásoló egyik legjelentősebb tényező az épület mesterséges szellőzése. Lakóépületekben a nyílászárók mind tökéletesebb zárására törekedve a légcseré mértékét kívánjuk csökkenteni. Az intenzív állattartó épületekben azonban az istálló alapterület-egységére betelepített nagy állatlétszám alapvető termelési és életfeltételéhez a megfelelő légcseré is hozzá tartozik. Ennek következménye viszont az, hogy az istálló hőveszteségének csökkentésében az épületszerkezetek hőszigetelése nem kizárólagos tényező, és így a hőszigetelés javításának hőenergetikai következményei is mások.

Az állattartó épület hőháztartásának további sajátos vonása, hogy az istállóba telepített állatállományt jelentős hő- és nedvességforrásnak kell tekinteni. Az állatok hő- és nedvességleadása – mint az az előzőekből látható – szintén a hőmérséklettől függ. Így a hőenergia-

igény belső hőmérséklettől való függésének vizsgálatai során az szükséges, hogy a mindenkori belső hőmérsékletnek megfelelő hő- és nedvességleadás értékeivel számoljunk.

3.3. Az energiaszükségletet befolyásoló tényezők

Az állattartó épületek fűtési energiaszükségletét befolyásoló tényezők két csoportba sorolhatók:

- az első csoportba azok a tényezők tartoznak, amelyek változók ugyan, de a változás az ember akaratától függetlenül megy végbe, illetve megváltoztatásuknak nincs reális lehetősége;
- a második csoportba azok a tényezők sorolhatók, melyek a fűtési energiafelhasználás érdekében módosíthatók.

Az első csoportba sorolható tényezők a következők:

- az állat által objektíve meghatározott jellemzők, a leadott hő és pára mennyisége (q, x),
- a külső levegő-hőmérséklet és ennek változása adott földrajzi térségben, a külső levegő-hőmérséklet átlagos értékei és ezek évi gyakoriságai (t_k).

A második csoportba sorolható tényezők:

- az épületek hőszigetelése (ΣkA),
- a szellőzés levegőmennyisége (I),
- az istállótér levegő-hőmérséklete (t_h).

A vizsgálatok egyszerűsítése végett az első csoportba tartozónak tekintettük egyrészt azokat a tényezőket is, amelyeknek megváltoztatására elvileg van ugyan lehetőség, de ezt az alkalmazott tartástechnológiák nem engedik meg, másrészt azokat a tényezőket,

amelyeket a fűtési energiafelhasználás szempontjából nem tartottunk jelentősnek. Ilyen tényező például az istállóba telepített állatok száma és az ezzel szorosan összefüggő épületméret.

A fűtési energiaszükséglet elemzését a paramétereknek ezzel a felosztásával jelentősen le lehet egyszerűsíteni. Így csupán a második csoportba sorolt tényezők változtatásának lehetőségeit és korlátait, valamint az ily módon elérhető energiamegtakarítás mértékét kell feltárni. A második csoportba sorolt tényezők jól meghatározható határértékek között változtathatók. Az állattartó épületek fűtési energiaszükségletét kifejező összefüggésben ezek a paraméterek kivétel nélkül a „kisebbitendő” szorzótényezői. Ez azt jelenti, hogy az istállóépület-fűtés eredő energiaigényének csökkentése érdekében valamennyi tényezőt a legkisebb értékre kell csökkenteni. A csökkentés arányait az épületgépészeti paraméterek (a hőátbocsátási tényező, a szellőzőlevegő mennyisége, a belső hőmérséklet) közötti összefüggések, a csökkentés mértékét pedig az állat-egészségügyi követelmények, az állatok termelésének az energiamegtakarítással összevetve megengedett csökkenése határozza meg.

Az elemzés módszerének megválasztásakor célszerűnek mutatkozik:

- a vizsgálatba bevont paraméterek funkcionális szerepét és ezeknek a tényezőknek a korlátait, valamint
- a vizsgált paraméterek fűtési energiafelhasználásra gyakorolt hatását

különválasztva tárgyalni. A vizsgált paraméterek értékeinek változtatási lehetőségei többnyire műszaki-gazdasági megfontolások alapján konkrétan megfogalmazhatóak, és a fűtési energiafelhasználásra gyakorolt hatásukat csak ezeknek a határoknak a figyelembevételével ésszerű elemezni.

A fűtési energiafelhasználást befolyásoló tényezők közül ebben a fejezetben a változtatható tényezők funkcionális szerepét és az ezzel összefüggő műszaki-ökonómiai korlátokat próbáltuk megfogalmazni.

3.3.1. Szellőztetés

Az állattartó épületekben a szellőztetés kettős funkciót lát el:

- egyrészt a szellőztetéssel gondoskodni kell arról, hogy az anyagcsere-folyamatokból származó gázok koncentrációja, valamint az istállólevegő relatív páratartalma ne lépje túl a megengedett értékeket;
- másrészt arról kell gondoskodni, hogy az istálló belső hőmérsékletének megkívánt értéken tartásához a szellőzőberendezések által beszívott levegő hűtőhatást fejtson ki.

A szellőztetés első funkcióját az egész év folyamán állandóan fenn kell tartani, a második funkciójára csak az átmeneti, illetve a nyári időszakban van igény. A kedvezőnek nem mondható gyakorlati tapasztalatok szerint azonban a téli időszakban is gyakran előfordul, hogy a túlfűtött istállóknál a szellőzőlevegő-mennyiség növelésével csökkentik a belső hőmérsékletet. Télen a meleglevegős szellőztetés ennél elvileg olcsóbb megoldás.

A fűtési energiafelhasználás vizsgálata szempontjából csak a téli időszakban megfelelő állapot áttekintése, vagyis a szellőztetés elsődleges funkciójának elemzése szükséges. A fűtési időszakban a szellőzőlevegő mennyiségét a lehető legkisebb értékre kell korlátozni, ami még éppen elegendő a megengedett gázkoncentráció és páratartalom szint tartásához. Ennél nagyobb mértékű szellőztetéssel feleslegesen nagy hőmennyiséget szállítunk el az istállóból. Alapvető feladat tehát a téli szellőztetés azon minimális mértékének meghatározása, amelynél a szellőztetés elsődleges funkcióját a fűtési időszakban még megfelelően ellátja.

A szellőzőlevegő minimális mennyiségének meghatározása azonban összetett feladat, a megoldáshoz célszerű a gázkoncentrációt, illetve a páratartalmat különválasztva tárgyalni.

A megengedett gázkoncentrációk közül elsősorban a szén-dioxid mennyisége a fontos, bár tapasztalatból tudjuk, hogy egyes esetekben más gázok (ammónia, hidrogén-szulfid, metán) mennyisége is

veszélyes mértékű lehet az istállóter levegőjében. A téli minimális szellőztetés mértékének vizsgálata során ezúttal csak a szén-dioxid kérdésével foglalkozunk. A szellőzőlevegő mennyiségének növelésével ugyan valamennyi gázkomponens koncentrációja a még megengedhető határérték alá csökkenthető, a téli időszakban azonban ez nagyon költséges megoldás. Az állattartó épületek hőenergia-gazdálkodása szempontjából kedvezőbbnek ítéltető az a megközelítés, hogy a nem közvetlenül anyagcsere-folyamatokból származó gázokat a tartástechnológia megfelelő megválasztásával igyekezzünk a kívánt gázkoncentráció-értéken tartani, illetve hogy ezeknek a gázoknak a keletkezését, pl. az alom- és trágyakezelés megfelelő megoldásával megakadályozzuk.

A szén-dioxid majdnem kizárólag az állatok légzésével kerül az istálló levegőjébe, és csak igen kis hányada származik az alomban lejátszódó mikrobiológiai folyamatokból. Az állatok által leadott szén-dioxid mennyisége az állatfajtól és az állat testtömegétől függ. Minthogy a külső téri szabad levegő szén-dioxid-tartalma állandónak tekinthető (0,03 tf%), és az istállóban megengedett szén-dioxid-koncentráció általában 0,3 tf%, így a szellőzőlevegő mennyisége állatfajonként a tömegtől függően, a szén-dioxid-leadásnak megfelelően ábrázolható. A szellőztetés levegőmennyiségét szén-dioxidra vonatkozóan a következő összefüggéssel számolhatjuk ki:

$$L = \frac{nC}{c_b - c_k} \quad [\text{m}^3/\text{h}],$$

ahol

n az állatok száma az istállóban [db],

C az egy állat által leadott szén-dioxid mennyisége óránként [$\text{dm}^3/(\text{h db})$],

c_b a belső levegő szén-dioxid-koncentrációja [dm^3/m^3],

c_k a külső levegő szén-dioxid-koncentrációja [dm^3/m^3].

Minthogy a c_b és c_k állandónak tekinthető, így a szén-dioxid-koncentráció istállóban megengedett mértékét az

$$L = \frac{nC}{2,7} = 0,37nC \text{ [m}^3/\text{h]}$$

egyszerű arányosság alapján kiszámított óránkénti frisslevegő-mennyiséggel számolhatjuk.

A szellőztetés levegőmennyiségének a páratartalom megengedett értéke alapján történő kiszámításakor kettős feltételt kell kielégíteni. Az egyik feltételt az állattartás technológiai igényei, a másikat az istálló épületszerkezete határozza meg.

A páratartalom istállóban megengedett mértékét a technológiai előírások relatív értékkel adják meg. Ez azt jelenti, hogy a levegőben megengedett pára abszolút mennyisége a hőmérséklet függvénye. A páratartalom istállóban megkívánt értékét, bár az állat hőérzetére befolyással van, nem ismerjük olyan pontosan, mint a hőmérsékletét. Ezért a páratartalom megkívánt vagy megengedett értékeit többnyire tapasztalati úton írjuk elő.

A páratartalom megengedett értékének azonban van egy szabatosan megfogalmazható szélső értéke: az épületben csak olyan mértékű páratartalom engedhető meg, hogy az épület határolószerkezetein vagy annak belsejében ne legyen páralecsapódás.

A páratartalommal kapcsolatos feltételek tehát összetettek, de alapvetően két követelménycsoportról lehet beszélni:

- a technológiai normatívákban előírt páratartalom-tartományok kialakítása,
- az épületszerkezet felületén vagy belsejében fellépő páralecsapódás megakadályozása.

A szellőztetés mértéke e követelmények esetén eltérő, és a levegő mennyiségét is más-más tényezők határozzák meg.

A technológiai normatívákban előírt páratartalom fenntartásához szükséges levegőmennyiség:

$$L = \frac{nX}{x_b - x_k} \text{ [kg/h]},$$

ahol

n az állatok száma az istállóban [db],

X az egy állat által leadott pára mennyisége [$g/(h \text{ db})$],

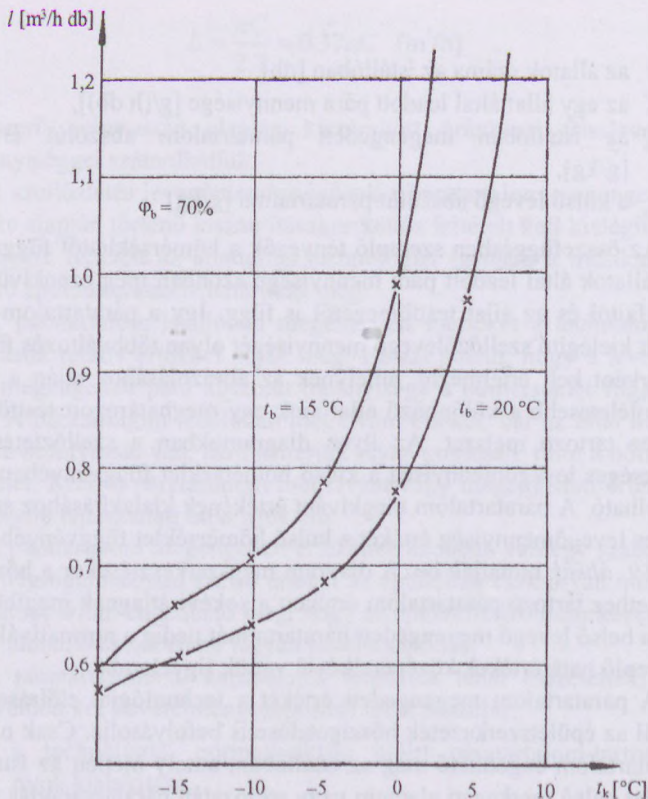
x_b az istállóban megengedett páratartalom abszolút értéke [g/kg],

x_k a külső levegő abszolút páratartalma [g/kg].

Az összefüggésben szereplő tényezők a hőmérséklettől függenek. Az állatok által leadott pára mennyisége azonban még ezenkívül az állatfajtól és az állat testtömegétől is függ. Így a páratartalom-feltételt kielégítő szellőzőlevegő mennyiségét olyan többváltozós függvényt kell értelmezni, amelynek az ábrázolásához talán a leg-szemléletesebb a különböző állatfajok egy meghatározott testtömegéhez tartozó metszet. Az ilyen diagramokban a szellőztetéshez szükséges levegőmennyiség a külső hőmérséklet függvényében ábrázolható. A páratartalom megkívánt értékének kialakításához szükséges levegőmennyiség értékét a külső hőmérséklet függvényében a 18-19. ábrák mutatják be. A diagram megszerkesztésekor a hőmérséklethez tartozó páratartalom értékeit a sokévi átlagnak megfelelően, a belső levegő megengedett páratartalmát pedig a normatívákban szereplő határértékek középértékével vettük figyelembe.

A páratartalom megengedett értékét a technológiai előírásokon kívül az épületszerkezetek hőszigetelése is befolyásolja. Csak olyan páratartalom engedhető meg az istállóban, amely mellett az istálló-épület belső szerkezeti elemein vagy padozatán páralecsapódás nem keletkezik. Megítélésünk szerint azonban éppen az épületek racionális hőenergia-gazdálkodása céljából nem szellőztetéssel kell ezt a páratartalmat eltávolítani, hanem eleve az épületszerkezet megfelelő hőszigetelésével kell megakadályozni.

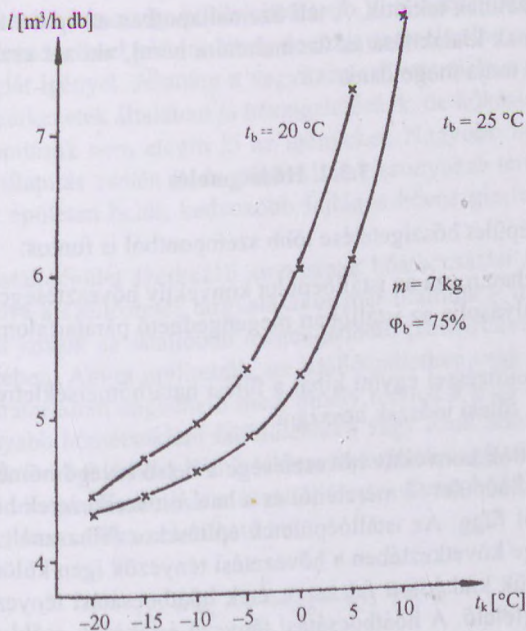
A szellőzőlevegő mennyiségét a különféle követelményeknek megfelelően úgy kell megválasztani, hogy az valamennyi feltételnek eleget téve, az épületszellőzés elsődleges és másodlagos funkcióját egyaránt ellássa. Az épület fűtési energiafelhasználása szempontjából azonban nem közömbös, hogy a feltétlenül szükséges



18. ábra. A szellőztetés levegőszükséglete páratartalom-feltételre tojójában

frisslevegő-mennyiségen kívül mennyi többlet hideg levegő kerül az istállóba.

A jelenlegi gyakorlatban az üzemeltetők részéről a szellőzőlevegő mennyiségének minimális értéken tartása csupán az istálló fűtőseje szempontjából merül fel. A minimális levegőmennyiségre



19. ábra. A szellőztetés levegőszükséglete páratartalom-feltételre malacnevelőben

való törekvés – és ennek az energiafelhasználás csökkentésére gyakorolt fontos szerepe – ma még széles körben nem ismert. Ennek figyelembevétele az istállóépületek klímaberendezéseinek tervezése során is fontos lenne, mert ismereteink szerint a racionálisan minimális szellőztetés műszaki feltételi megoldatlanok, és enélkül terméhszetszerűleg a megfelelő üzemeltetés sem lehetséges. A jelenlegi tervezési gyakorlat szerint ugyanis a nyári állapothoz tartozó maximális szellőzőlevegő-szükségletnek megfelelő ventilátorkapacitás beépítésével, és ennek a különféle szabályozók által biztosított csökkentési lehetőségeivel a szellőzőberendezések konstrukciós kérdé-

seit elintézettnek tekintik. A téli üzemállapotban az épület szellőzési viszonyainak kialakítása az üzemeltetőre hárul, aki azt csak tapasztalati úton tudja megoldani.

3.3.2. Hőszigetelés

Az istállóépület hőszigetelése több szempontból is fontos:

- meghatározza az istállóépület konvektív hőveszteségét,
- befolyásolja az istállóban megengedhető páratartalom nagyságát,
- a szellőzéssel együtt kihat a fűtési határhőmérsékletre és ezáltal a fűtési időszak hosszára.

Az istállók konvektív hővesztesége a belső levegő hőmérsékletétől, az istállóépület fő méreteitől és a határolószerkezetek hővezetési tényezőitől függ. Az istállóépületek építéskor felhasznált anyagok sokfélesége következtében a hővezetési tényezők igen különbözőek, de a belőlük kialakított falszerkezetek hőátbocsátási tényezője általában megfelelő. A hőátbocsátási tényező értékének csökkentésével adott istállóméreteknél a falakon keresztül távozó hőmennyiség természetesen csökkenthető. A hőátbocsátási tényező csökkentésének az szab határt, hogy a jobb hőszigetelésű épületek általában költségesebbek, vagyis az épület hőszigetelése többletköltségének a fűtési energia mennyiségének csökkentésében kell megtérülnie. A teljes képhez az is hozzátartozik, hogy az istállóépület hőszigetelése nemcsak a téli időszakban előnyös, hanem a nyári melegben is kedvezőbb az istállóklíma alakulása szempontjából. Az istállóépület minél jobb hőszigetelése tehát mind a téli, mind pedig a nyári klímakövetelmények szempontjából egyaránt kedvező.

A hőszigetelés mellett az épületszerkezet tömege is lényeges. A jó hőszigetelő, de kis fajlagos tömegű anyagokból készült épületszerkezetek az épület dinamikus hőtechnikai viselkedése szempontjából nem kedvezőek. Igaz, hogy az ebből eredő hátrányokat (cse-

kély hőtároló képesség, hőkésleltetés stb.) célszerűen megválasztott klímaberendezéssel pótolni lehet, de ezek üzemeltetése szintén több-
letenergiát igényel. Jelenleg a nagyüzemi állattartásban alkalmazott
épületszerkezetek általában jó hőszigetelésűek, de hőkésleltetésük és
hőcsillapításuk nem elégíti ki az igényeket. Nagyobb hőkésleltetés
és hőcsillapítás esetén kedvezőbb klímaviszonyokat teremthetnének
meg az épületen belül, kedvezőbb fajlagos hőenergia-felhasználás-
sal.

Az istállóépület szerkezeti anyagának hőátbocsátási tényezője –
amint erre a szellőztetés tárgyalásakor már utaltunk – meghatározó
szerepet játszik az istállóban megengedhető páratartalom alakulása
tekintetében. Amint említettük, az istállóépületben csak olyan mér-
tékű páratartalom engedhető meg, amely mellett a pára a levegőnél
alacsonyabb hőmérsékletű falfelületeken vagy azok belsejében nem
csapódik le. A falfelület hőmérséklete az istállólevegő hőmérséklete,
a külső levegő hőmérséklete és az épületszerkezet hőátbocsátási té-
nyezője ismeretében számítható ki:

$$t_{bf} = t_b - \frac{k}{\alpha_b} (t_b - t_k) \text{ } [^{\circ}\text{C}],$$

ahol

t_b az istállólevegő hőmérséklete $[^{\circ}\text{C}]$,

t_k a külső hőmérséklet $[^{\circ}\text{C}]$,

α_b a hőátadási tényező a belső falfelületen $[\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})]$,

k az épületszerkezet hőátbocsátási tényezője $[\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})]$.

Minthogy a külső hőmérséklet és a belső oldali hőátadási ténye-
zők adottnak tekinthetők, a páralecsapódás elkerülésének feltétele
az, hogy a belső falfelület hőmérséklete magasabb legyen, mint az
adott hőmérséklethez tartozó harmatponti hőmérséklet:

$$t_{bf} > t_{II} \text{ } [^{\circ}\text{C}],$$

vagyis megfelelő hőátbocsátású épületszerkezetet kell választani. Ez

gyakorlatilag azt jelenti, hogy az istállóban megkívánt hőmérséklet és a relatív páratartalom meghatározza azt a hőátbocsátási tényezőt, amelynél nagyobb az adott épületben alkalmazni nem lehet. A megkívánt hőátbocsátási tényező tehát az istálló-hőmérséklet és a relatív páratartalom függvénye:

$$k_{szüks} = k(t_b, \varphi_b).$$

Az istállóépületekben megkövetelt páratartalom általában 60-80% között változik. Az épületszerkezet szükséges hőátbocsátási értékét az istállólevegő hőmérsékletének függvényében ezért csupán e páratartalom-tartományra határoztuk meg (20. ábra).

Az istállóépületek hőszigetelése fontos szerepet tölt be a fűtési határhőmérséklet és ezen keresztül a fűtési időszak hosszának alakulása szempontjából is. A fűtési időszak hosszát azonban az épület hőszigetelésén kívül egyéb tényezők is befolyásolják.

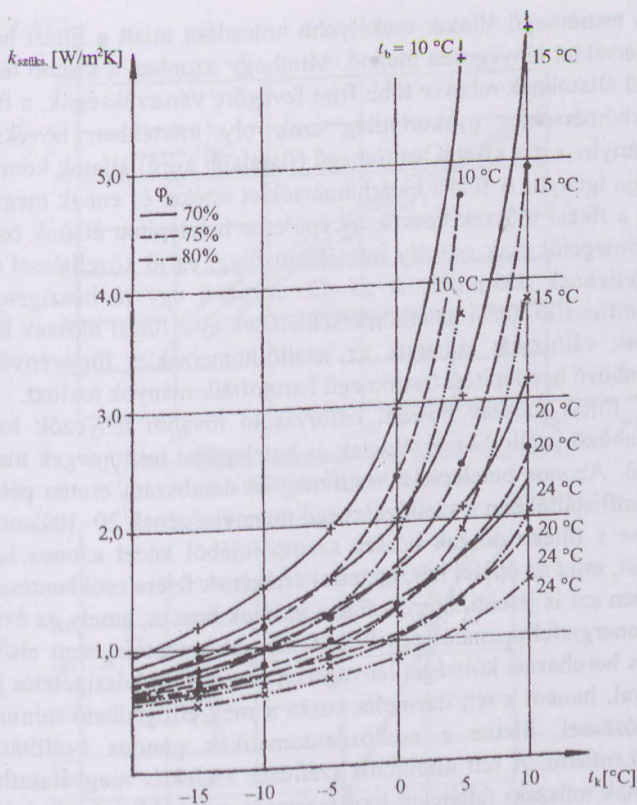
3.3.3. Fűtési időtartam

A fűtési időszak hosszát egy meghatározott földrajzi környezetben:

- az istálló belső hőmérséklete (t_b),
- az istállóba telepített állatok érzeti hőleadása (q_e),
- az állatok száma (n),
- az épület mérete és szerkezeti anyagai (ΣkA) és
- az istálló szellőztetésének mértéke (l).

határozza meg.

A fűtési időszak hosszát a fűtési határhőmérséklet ismeretében az adott földrajzi környezet hőfokgyakoriságából lehet meghatározni. A fűtési határhőmérséklet valamely adott állatfajra nézve az istállóba telepített állatlétszámtól, az istálló megkívánt belső léghőmérsékletétől, az istállóépület hőszigetelésétől és a szellőztetés mértékétől függ. Adott állatfaj és a betelepített létszám (állatsűrűség, illetve



20. ábra. A hőátbocsátási tényező szükséges értékei

élőtömeg) mellett a fűtési határhőmérsékletet alapjában a belső lég-hőmérséklet határozza meg.

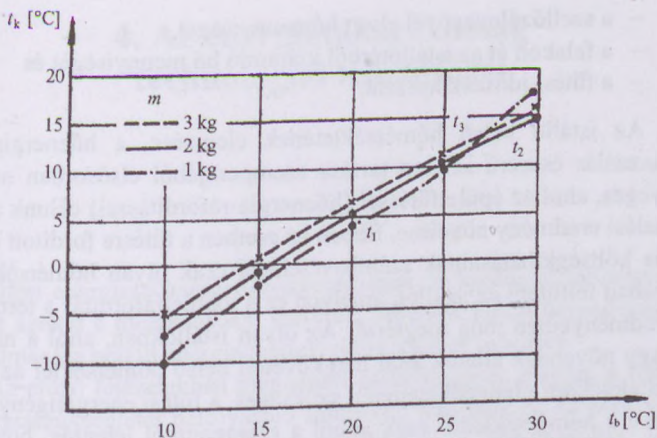
Érdemes megvizsgálni, hogy adott épületben különböző testtömegű állatok betelepítésekor hogyan változik a fűtési határhőmérséklet és a fűtési időszak hossza. Ennek ismerete azért lényeges, mert a fenti összefüggésből első rátekintésre úgy tűnik, hogy a ki-

sebb testtömegű állatok csekélyebb hőleadása miatt a fűtési határhőmérséklet lényegesen megnő. Minthogy azonban a kisebb testtömegű állatoknak relatíve több friss levegőre van szükségük, a fűtési határhőmérséklet gyakorlatilag csak oly mértékben növekszik, amennyire ezt a kisebb testtömegű (fiatalabb korú) állatok komfortzónája igényli. A fűtési határhőmérséklet értéke, és ennek megfelelően a fűtési időszak hossza, az épületbe betelepített állatok összes testtömegétől csak csekély mértékben függ, és jó közelítéssel attól függetlennek tekinthető. A 21–22. ábrákon egy jó hőszigetelésű baromfiistálló fűtési határhőmérsékletének és a fűtési időszak hosszának változását láthatjuk az istálló-hőmérséklet függvényében, különböző betelepítési testtömegű baromfiállományok mellett.

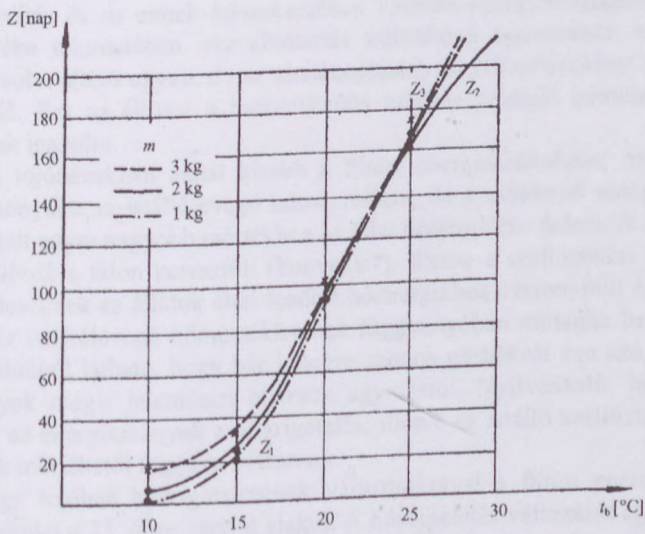
A fűtési időszak hosszát befolyásoló további tényezők hatása különböző istálló-hőmérsékletek és betelepítési testtömegek mellett eltérő. Azonos betelepítési testtömeg és darabszám esetén például baromfiistallokban a szellőzőlevegő mennyiségének 20–30%-os növelése a fűtési időszak hossza szempontjából közel azonos hatást vált ki, mint az épület hőszigetelési értékének felére csökkentése. Ez egyben azt is jelenti, hogy a fűtési időszak hossza, amely az évi fűtési energiafelhasználás egyik legfontosabb mutatója, nem elsősorban a beruházási költséget lényegesen megnövelő hőszigetelés javításával, hanem a téli üzemelés során a még elfogadható minimális szellőzéssel, illetve a szellőzőautomatikák gondos beállításával csökkenthető. A téli minimális szellőzés szelektív megválaszthatóságának műszaki feltételeit természetesen már a klímaberendezések tervezésekor meg kell teremteni.

3.3.4. Belső hőmérséklet

A fűtési energiaigényt befolyásoló tényezők közül az eddig tárgyalt tényezőknek az energiafelhasználásra gyakorolt hatása az istálló belső hőmérsékletétől függően változik. Az istálló légterének hőmérséklete ugyanis meghatározza:



21. ábra. A fűtési határhőmérséklet baromfiistállóknál
($n = 6000$ db, $\Sigma kA = 0,7$ kW/h)



22. ábra. A fűtési idő hossza baromfiistállókban
($n = 6000$ db, $\Sigma kA = 0,7$ kW/h)

- a szellőzőlevegővel elvitt hőmennyiséget,
- a falakon át az istállótérből kiáramló hő mennyiségét és
- a fűtési időszak hosszát.

Az istálló belső hőmérsékletének elemzése, a hőenergia-felhasználás ésszerű szinten tartása szempontjából elsősorban ott lényeges, ahol az épületfűtéssel (hőenergia-ráfordítással) célunk a termelési eredmény növelése. Ebben az esetben a fűtésre fordított energia költségkihatásainak számbavételével csak olyan hőmérsékletre szabad felfűteni az istállót, amelyen ez a többletráfordítás a termelés eredményeiben még megtérül. Az olyan istállókban, ahol a napos- vagy növendék állatok által megkövetelt belső hőmérséklet az életfeltételekhez elengedhetetlenül szükséges, a fűtési energiaigény függése a hőmérséklettől csak abból a szempontból jelentős, hogy az üzemeltetők jól érzékeljék az esetleges túlfűtés okozta többlet-energiaráfordítást.

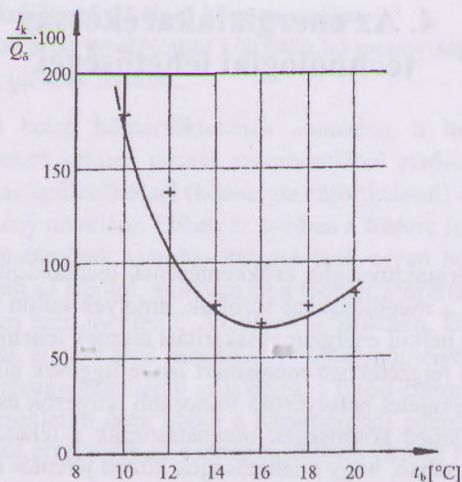
4. Az energiatakarékosság technológiai lehetőségei

A fűtési energiaszükséglet csökkentésének technológiai lehetőségei közé azokat a megoldásokat soroltuk, amelyek külön berendezések alkalmazása nélkül energiamegtakarítást tesznek lehetővé.

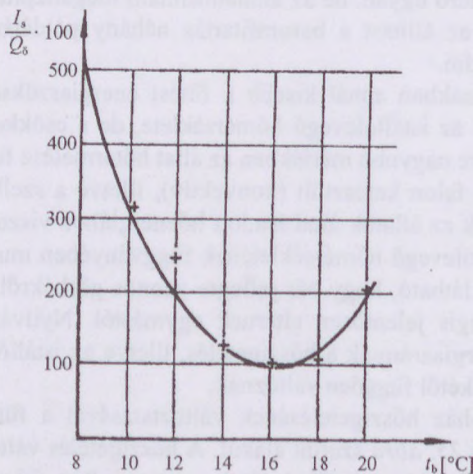
Az előző fejezetekben megismert összefüggések alapján a fűtési energiaszükségletet befolyásoló fontosabb tényezők és az ezek változását korlátozó kötöttségek meghatározzák a lehetőségeket. Kézenfekvő azonban, hogy a lehetőségek között jelentős a különbség a ráfordítás és az ennek következtében várható energiamegtakarítás mértéke tekintetében. Az állattartás különböző ágazataiban ez a kapcsolat eltérő ugyan, de az általánosítható megállapításokhoz elegendő. Ezt az állítást a baromfitartás néhány példáját bemutatva tudjuk igazolni.

A tojóházakban annál kisebb a fűtési energiaszükséglet, minél alacsonyabb az istállólevegő hőmérséklete, de a csökkenő energia-bevitelt egyre nagyobb mértékben az állat hőtermelése fedezi. A 23–24. ábrák a falon keresztüli (konvektív), illetve a szellőztetési hőveszteségnek az állatok által leadott hőenergiához viszonyított értékét az istállólevegő hőmérsékletének függvényében mutatják be. A két ábrából látható, hogy bár jellegre azonos görbéről van szó, az arányok mégis jelentősen eltérnek egymástól. Nyilvánvaló, hogy ezek az energiaarányok a hőszigetelés, illetve az istálló szellőztetésének mértékétől függően változnak.

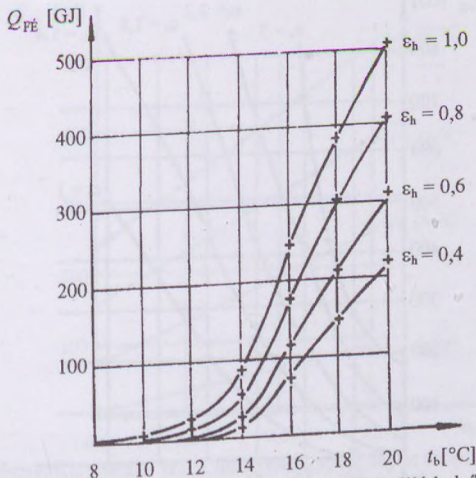
Egy tojóház hőszigetelésének változtatásával a fűtési energiaszükséglet a 25. ábra szerint alakul. A hőszigetelés változását egy 2 kW/K értékű átlagos istállóépülethez viszonyítva fejezi ki a diagram. Az ϵ_n tehát az istállóépület viszonylagos hőszigetelése:



23. ábra. Egy tojóházban a konvektív hőveszteség és az állatok által leadott összes hő arányának változása a belső levegő hőmérsékletének függvényében



24. ábra. Egy tojóházban a szellőztetési hőveszteség és az állatok által leadott összes hő arányának változása a belső levegő hőmérsékletének függvényében



25. ábra. Egy tojóház éves fűtési energiaszükséglete az istálló belső hőmérséklete függvényében, eltérő hőszigetelés esetén

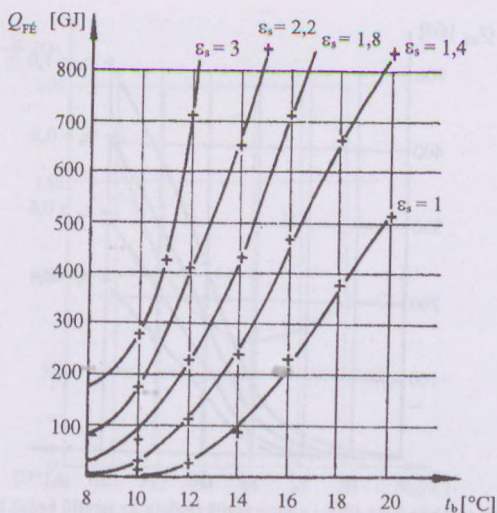
$$\epsilon_h = \frac{\sum kA}{2 \text{ kW/K}},$$

ahol

$\sum kA$ az istálló hőszigetelése [kW/K].

A diagramból látható, hogy a tojóházak hőszigetelésének, illetve a hőszigetelés javításának hatása annál nagyobb, minél magasabb az istállólevegő hőmérséklete.

A tojóház fűtésének energiaszükségletére a szellőztetés mértéke ugyancsak az istállólevegő hőmérsékletének függvényében hat (26. ábra). A diagram alapján azonban az is látható, hogy a szellőztetés hőismértékű változása nagyobb energiafelhasználással jár, mint a hőszigetelés hasonló változása. Emiatt célszerű az állattartásban is – hasonlóan a tüzeléstechnikában használt fogalomhoz – bevezetni az es légfelesleg-tényezőt, amely azt fejezi ki, hogy a szellőztetés leve-



26. ábra. Egy tojóház éves fűtési energiaszükséglete az istálló belső hőmérséklete függvényében, eltérő légfelesleg-tényezők esetén

gőmennyisége hányszorosa az állatállomány szén-dioxid-, illetve páratartalom-feltételre számított szellőztetési levegőszükségletének:

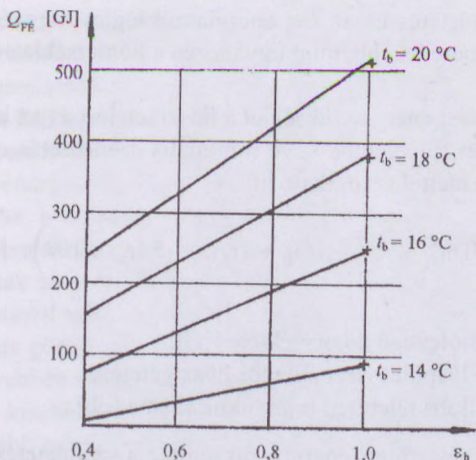
$$\epsilon_s = \frac{L}{L_{\min}},$$

ahol

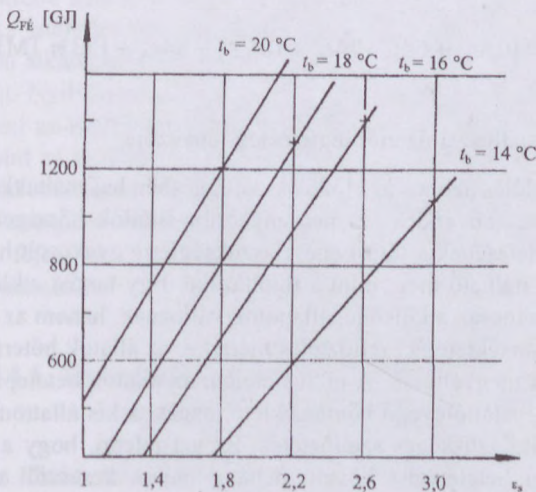
L az istállószellőztetés levegőárama [kg/s, m³/h],

$L_{\min}$ az istálló állatállománya alapján számított minimális levegőszükséglet [kg/s, m³/h].

A tojóházak hőszigetelésének és a szellőztetés mértékének a fűtési energiaszükségletre gyakorolt hatását hasonlítottuk össze. A 27–28. ábrán az évi fűtési energiaszükséglet alakulását a hőszigetelés, illetve a szellőztetés függvényében ábrázoltuk. Az ábrákból látható,



27. ábra. A hőszigetelés hatása az évi fűtési energiaszükséglet alakulására tojóházban ($n = 6000$ db, $L = L_{\min}$, $m = 0,9-0,96$ kg/db)



28. ábra. A szellőztetés hatása az évi fűtési energiaszükséglet alakulására tojóházban ($n = 6000$ db, $\Sigma kA = 2$ kW/h, $m = 1,15-1,2$ kg/db)

hogy a szellőztetés és az évi energiaszükséglet függvényegyenese lényegesen meredekebb, mint ugyanezen a hőmérsékleten a hőszigetelésé.

Az évi fűtési energiaszükséglet a hőszigetelést és az istállólevegő hőmérsékletét figyelembe véve minimális szellőztetés esetén a következő egyenlettel számítható ki:

$$Q_{\text{FÉ}} = (0,6t_b^2 + 9\varepsilon_h^2 - 16t_b + 7t_b\varepsilon_h - 84\varepsilon_h + 108)n \text{ [MJ/év]},$$

ahol

t_b az istállólevegő hőmérséklete [$^{\circ}\text{C}$],

ε_h az istállóépület viszonylagos hőszigetelése,

n az istállóba telepített tojótyúkók száma [db].

A tojóház évi fűtési energiaszükséglete a szellőztetés mértékétől függően az istállólevegő hőmérsékletének függvényében a következő egyenlettel számítható:

$$Q_{\text{FÉ}} = (0,8t_b^2 + 6\varepsilon_s^2 - 24t_b + 10t_b\varepsilon_s - 84\varepsilon_s + 133)n \text{ [MJ/év]},$$

ahol

ε_s az istállószellőztetés légfelesleg-tényezője.

A többi jelölés azonos az előző összefüggésben használtakkal.

A tenyésznövendék- és pecsenyecsibe-istállók hőszigetelésének és szellőztetésének a fűtési energiaszükségletre gyakorolt hatása nehezebben ítéltető meg, mint a tojóházaké. Egy tartási ciklus esetén ugyanis nemcsak a külső légállapotok változnak, hanem az istállólevegő hőmérséklete, a szellőztetés mértéke, az állatok hőtermelése is jelentősen megváltozik. A ciklus elején, az állatok betelepítését követően, az istállólevegő hőmérséklete magas, a kis állattömeg miatt viszont alig szükséges szellőztetés. Ez azt jelenti, hogy a téli időszakban a betelepítést követő néhány napon keresztül rendkívül nagy az istállóépület konvektív hővesztesége, és csekély a szellőztetéssel elvitt hőmennyiség. Ez az arány a ciklus végére megváltozik,

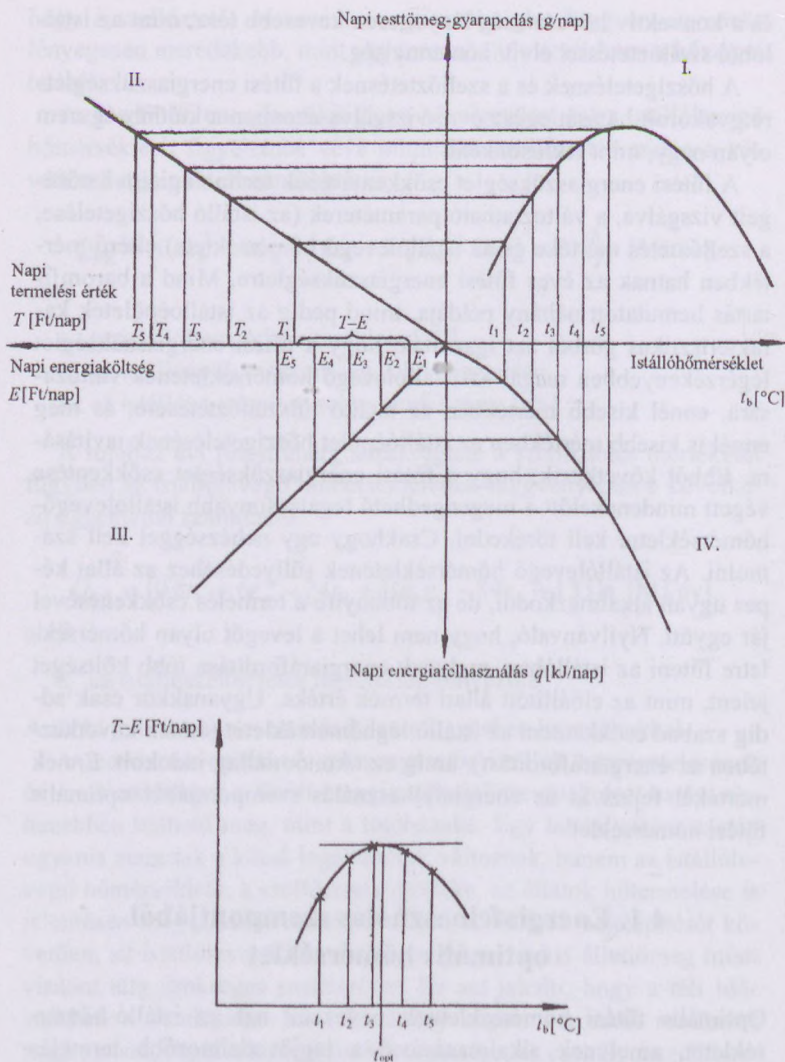
és a konvektív hőveszteség lényegesen kevesebb lesz, mint az istállóból szellőztetéssel elvitt hőmennyiség.

A hőszigetelésnek és a szellőztetésnek a fűtési energiaszükségletre gyakorolt hatását egész évre vizsgálva azonban a különbség nem olyan nagy, mint ciklusonként.

A fűtési energiaszükséglet csökkentésének technológiai lehetőségeit vizsgálva, a változtatható paraméterek (az istálló hőszigetelése, a szellőztetés mértéke és az istállólevegő hőmérséklete) eltérő mértékben hatnak az éves fűtési energiaszükségletre. Mind a baromfitartás bemutatott néhány példája, mind pedig az istállóépületek karakterisztikus görbéi azt igazolták, hogy a fűtési energiaszükséglet legérzékenyebben reagál az istállólevegő hőmérsékletének változására, ennél kisebb mértékben az istálló túlszellőztetésére, és még ennél is kisebb mértékben az istállóépület hőszigetelésének javítására. Ebből következik, hogy a fűtési energiaszükséglet csökkentése végett mindenekelőtt a megengedhető legalacsonyabb istállólevegő-hőmérsékletre kell törekedni. Csakhogy egy nehézséggel kell számolni. Az istállólevegő hőmérsékletének süllyedéséhez az állat képes ugyan alkalmazkodni, de ez többnyire a termelés csökkenésével jár együtt. Nyilvánvaló, hogy nem lehet a levegőt olyan hőmérsékletre fűteni az istállóban, melynek energiaráfordítása több költséget jelent, mint az előállított állati termék értéke. Ugyanakkor csak addig szabad csökkenteni az istálló léghőmérsékletét (ennek következtében az energiaráfordítást), amíg ez ökonómiailag indokolt. Ennek mértékét fejezi ki az energiafelhasználás szempontjából optimális fűtési hőmérséklet.

4.1. Energiafelhasználás szempontjából optimális hőmérséklet

Optimális fűtési hőmérsékletnek nevezzük azt az istálló-hőmérsékletet, amelynek alkalmazásával a legjövedelmezőbb termelés realizálható. Piacgazdasági körülmények között az optimális istálló-



29. ábra. Az optimális fűtési hőmérséklet meghatározása

hőmérsékletet nem termék-, hanem jövedelemcentrikus megközelítéssel állapítjuk meg, és minden mást (pl. termékmennyiség, takarmányhasznosítás) ennek rendelünk alá. Az optimális fűtési hőmérséklet értéke tehát a termelési eredményt, az energiafelhasználást és ezek arányát veszi figyelembe.

Az optimális fűtési hőmérséklet meghatározásához szükséges adatok a következők:

- a termelés és a takarmányhasznosítás függésének mértéke az istálló léghőmérsékletétől,
- az előállított termék és a takarmány ára,
- a fűtéshez felhasznált energiahordozó ára.

Az optimális fűtési hőmérséklet a legegyszerűbben grafikus úton határozható meg. Az optimális fűtési hőmérséklet meghatározásához négy függvényt kell egy koordináta-rendszer négy szektorába felrajzolni, a következők szerint (jelölések a 29. ábrán):

I. szektor. A koordináta-rendszernek ebbe a negyedébe a termelési eredménynek az istállólevegő hőmérsékletétől való függését kell lerajzolni. Ez lehet a napi testtömeg-gyarapodás, a fajlagos takarmány-felhasználás, a tojások darabszáma stb.

II. szektor. A koordináta-rendszernek ez a szektora a termelési eredményeinek költségesítésére szolgál. Mivel az előállított termék vagy az elfogyasztott takarmány mennyisége és költsége között lineáris a kapcsolat, ennek a függvénynek a képe egyenes. Az egyenes irányítványozója a termék termelői ára.

III. szektor. A koordináta-rendszernek ebben a negyedében a különböző istálló-hőmérsékletek fenntartásának energiaigényét kell berajzolni. Ezt a függvényt a termelési eredménynél figyelembe vett állatlétszámmal és a vonatkoztatási intervallumnak megfelelően kell megrajzolni. Ha pl. a termelési eredménynél egy sertés napi testtömeg-gyarapodását rajzoltuk fel, akkor az energiaigényt is egy napra és egy állatra kell vetíteni. Ez az évi fűtési energiaszükségletből határozható meg:

$$q = \frac{Q_{\text{FÉ}}}{Zn},$$

ahol

Z a fűtési napok száma [nap],

n az istállóba telepített állatok száma [db].

IV. szektor. A koordináta-rendszer negyedik szektorában a különböző energiaráfordítás költségeit kell szerepeltetni. Az energia mennyisége és beszerzési költsége közötti összefüggés lineáris, így a függvény képe egyenes. Az egyenes iránytangense az energiahordozó egységárának a hatásfokkal szorzott értéke.

A koordináta-rendszer négy szektorának kialakítása után meghatározható a különböző istálló-hőmérsékletekhez tartozó energiaráfordítás-termelési eredmény értékpárnak az istállólevegő hőmérsékletétől függő összetartozó számértékei, azaz a $t_b = f(T, E)$ függvény diszkrét értékei. Ha egy külön diagramba vagy az I. szektorba berajzoljuk a különböző istálló-hőmérsékletekhez tartozó termelési eredmények energiaráfordításainak értékeit, olyan függvény képét kapjuk, amely megmutatja az adott viszonyok közötti optimális istálló-hőmérsékletet.

Ha az optimális fűtési hőmérséklet meghatározott értéke az állat termelési hőmérsékleti zónájába esik, akkor az istállóépület fűtése az energiafelhasználás szempontjából jónak ítéltető. Ha az optimális fűtési hőmérséklet az állat termelési hőmérsékleti zónáján kívül esik, akkor az istálló fűtési rendszerében vagy az üzemeltetésben meg kell keresni azokat a lehetőségeket, amelyekkel ez a helyzet megszüntethető. E lehetőségek megvizsgálása során elsőként a technológiai módosításokat kell számításba venni (szellőztetés mértéke, hőszigetelés), majd az egyéb energiamegtakarítási megoldásokat, mint pl. hővisszanyerő alkalmazása stb. Ha ezekkel sem alakítható ki a megkívánt optimális fűtési hőmérséklet, akkor olyan olcsóbb energiahordozót kell választani, amely megfelel a követelményeknek.

5. A fűtési energiaszükséglet csökkentésének technikai lehetőségei

5.1. Hővisszanyerő berendezések

Az állattartó épületek fűtésére fordított energia, valamint az állatok által leadott hő télen nagyobb részben a szellőztetéssel, kisebb részben a falakon keresztül a szabadba távozik. Ennek az energiának egy része *hővisszanyeréssel* visszavezethető az istállóépületbe. A hővisszanyerők tulajdonképpen *hőcserélők*, amelyek legtöbbször az istállóból távozó hőt a szellőztetés levegőjének felhasználásával juttatják vissza az istállóba. Attól függően, hogy az istállóból távozó hőt a szellőzőlevegőnek közvetlenül vagy közvetítő közeggel adják át, megkülönböztetünk

- levegő-levegő hőcserélőket,
- levegő-közvetítőközeges hőcserélőket.

Ez a felosztás független attól, hogy a hővisszanyerés nyílt vagy zárt rendszerben valósul-e meg.

A hővisszanyerők alkalmazásának célja kettős:

- egyrészt csökkentik a közvetlen fűtési energiaszükségletet és ezzel jelentősen csökken az üzemeltetés költsége,
- másrészt alkalmazásuk esetén kisebb csúcsteljesítményű fűtőberendezés szükséges és ezzel a beruházási költség kevesebb lesz.

Az állattartásban a hővisszanyerők alkalmazásának sokféle lehetősége kínálkozik, és ennek különböző hőcserélők, illetve hőcserélőkapcsolások felelhetnek meg.

A hővisszanyerő berendezések működési elvük alapján a csoportosíthatók legáttekinthetőbben. Elvileg valamennyi hőcserélőtípus

alkalmazható az állattartásban, annak ellenére, hogy ma még csak néhány – elsősorban felületi – hőcserélő használatával találkozhatunk.

5.1.1. Rekuperatív hőcserélők

A rekuperatív hőcserélőkben a hőáram a készülék két térfelében elválasztva áramló közegek között, a határolófelületen áthalad. A hőcsere energiaárama a hőmérséklet-különbség hatására valósul meg. Ez a hőcsere alapelvében stacioner és folyamatos. Emiatt a rekuperatív hőcserélők egyszerű felépítésűek. Az egyszerű szerkezeti felépítés következtében a hőcserélőben részt vevő közegek tökéletesen szétválaszthatók.

A rekuperatív hőcserélők alkalmazásakor az gondot okoz, hogy a gyakorlatban a közegek közötti hőmérséklet-különbség meglehetősen kicsi. Ezért megfelelő hővisszanyerési teljesítmény eléréséhez nagy felületű készülékeket kell építeni.

A felületi hőcserélők szerkezetük szerint:

- lemezes vagy
- csőköteges

kialakításúak. A hőátadó felületek szerkezeti anyaga lehet:

- alumínium,
- üveg,
- műanyag és
- korrózióálló acél.

A hőcserélők többsége keresztáramú, bár akad példa tiszta ellenáramú kivitelre is. Az állattartó épületekben a levegő-levegő és a levegő-folyadék közegpáros felületi hőcserélőket egyaránt használjuk. Az istállólevegőben levő por miatt azonban csak azoknak a hőcserélő-típusoknak van létjogosultságuk az állattartásban, amelyeknek tisztítása is egyszerű.

A lemezes hőcserélőket általában lakóházakban, levegő-levegő

közegpárhoz szokták alkalmazni. A hőcserélő egységet betétszerűen helyezik be a házba úgy, hogy tisztításhoz az egész egység kihúzható legyen. Az ilyen hőcserélőket általában keresztáramú készülékként építik meg. Egyszerű szerkezeti kialakításuk, valamint az elfogadható hővisszanyerés lehetősége miatt (a hővisszanyerési szám: $\Phi = 0,25-0,45$) előnyös lehetne az állattartó épületekben is a felhasználásuk, de mind ez ideig a hőátadó felületek tisztításának elfogadható megoldását csak a fóliás hőcserélőkön sikerült megtalálni.

A fóliás hőcserélő esetében szintén a keresztáramú hőátadás lehet a legkedvezőbb, de a hőcserélő felület két oldalán csaknem azonos nyomásra van szükség. A hőátadó fóliafelület ugyanis egy fából készült keretre van kifeszítve, és ez nagy felületi terhelést nem bír ki. A fóliás hőcserélő két oldalán áramló levegő a kifeszített fóliát, mint rugalmas anyagot, úgy rezegteti, hogy a felületre került porszennyeződés nem tud megtapadni, hanem a légárammal a készülék aljába jut, ahol leülepszik. A hőcserélőként használt fóliával szembeni fokozott követelményeket leszámítva a készülék egyszerű és jó hatásfokú. Hazai alkalmazásáról mind ez ideig nincs tudomásunk.

A szellőztetett épülethéj a lemezes hőcserélők egy sajátos kialakításának tekinthető. A szellőztetett épülethéj az állattartásban lehet az istálló fala vagy a földeme. A szellőztetett fal vagy földem kialakítása esetén a határolószerkezet kettős rétegű. Az istállóba beszívott levegő az egyik, a távozó levegő a másik járaton keresztül halad át. A szellőztetett épülethéj segítségével azonban nemcsak a szellőztetéssel távozó hőenergiának egy részét lehet visszavezetni az istállóba, hanem a falon keresztül kialakuló konvektív hőáram is csökkenthető. Szerkezeti kialakításukra követésre alkalmas hazai példa, sajnos, még nem alakult ki.

A csököteges hőcserélőket levegő-levegő és levegő-folyadék közegpár esetén egyaránt alkalmazzák. Az első hőcserélőtípus, amelyet az állattartásban vizsgáltak (1950, Svájc) az üvegcsöves hővisszanyerő. Az istállóból távozó levegő a csököteg külső felületénél, a beszívott friss levegő a csököteg belsejében áramlik, az istállóból távozó levegőben levő szennyeződés a csököteg külső felüle-

ban a távozó (hőleadó) levegő és a külső (hőfelvevő) levegő egymással ellentétes irányban halad át a hőtároló tölteten, miközben a töltet forog. A hőtároló töltet a hőleadó levegő áthaladásával felmelegszik, és a hőtároló töltet elfordulásával a beáramló külső levegőt fölmelegíti. A töltet lehet szabályos és rendezetlen kialakítású. A szabályos kialakítású töltet előnye, hogy a távozó levegő által szállított szennyeződés a töltet mikrocsonkjainak torkolatában fennakad, és a kisütés periódusában a külső levegő visszafújja a szennyeződést. *Szabályos töltet* esetén a mikrocsonkjában kialakuló lamináris áramlás miatt kicsi a hőátadási tényező, viszont viszonylag nagy a hőátadó felület. *Rendezetlen töltettel* ez éppen fordítva van, és ezért nincs közöttük lényeges különbség az átadható hő mennyiségét illetően. Vannak olyan rotációs regenerátorok is, melyeknél a rejtett hő is visszanyerhető. Az állattartó épületekben a lefagyás veszélye is fennáll. Az istállóból távozó levegőből a töltetben a pára lecsapódik, és hideg téli napokon ez bele is fagyhat. Ez ellen visszakeveréssel lehet védekezni, de így csökken a visszanyerhető hőenergia mennyisége.

A *nyugvóágyas regenerátorokban* a töltet áll, és a levegő a hőátadó tölteten váltakozva halad át. Az egyik ciklusban a távozó (meleg) levegő felmelegíti a töltetet, a másik ciklusban a beszívott friss levegő halad át ezen a tölteten, miközben felmelegszik. *Nyugvóágyas regenerátor* alkalmazásáról az állattartásban van tudomásunk, de az üzemi tapasztalatokat, az alkalmazhatóság feltételeit és a visszanyerhető energiamennyiséget nem ismerjük.

A *nedves hőcserélők* rendszerében a töltet váltakozva érintkezik a légáramokkal (a távozó és a friss levegővel) – ugyanúgy, mint más regenerátorokban –, de itt a töltet nem tárol energiát. A zárt áramkörű nedves hőcserélő töltete általában abszorbens tulajdonságú folyadék (mert így a rejtett hő is hasznosítható), de lehet más folyadék is. Az állattartásban ilyen berendezéseket alkalmazni nemcsak energia-visszanyerés végett volna indokolt, hanem az állattartó épületek szagszennyezettségének csökkentése és a nyári hűtőhatás érdekében is.

5.1.2. Hőcsövek

A különleges hőcserélők közé sorolható készülékek, amelyekkel a hővisszanyerésre alkalmas kedvező lehetőség kínálkozik. Szerkezeti kialakításuk szerint megkülönböztetünk

- hőszifont és
- hőcsövet.

A *hőszifon* olyan vízszintes cső, amelynek aljában folyadék helyezkedik el, és a felette levő térből a levegőt kiszívják. Ha a hőszifon alsó, folyadéktöltésű részén a csővel hőt közlünk, a folyadék elpárolog, és a felső részen hőelvételel kondenzálódik. A kondenzátum a cső külső felületén visszacsurog a hőszifon alsó részébe.

A *hőcső* a hőszifontól annyiban különbözik, hogy a folyadék kondenzátuma nem a nehézségi, hanem a kapilláris erő hatására kerül vissza az elpárologtató részbe. A hőszifon csak úgy használható, hogy az elpárologtató része a cső legalsó pontján van, viszont a hőcsőre ilyen kötöttség nincs. A hőszifon szerkezetében egyszerűbb, de felhasználási területében korlátozottabb, mint a hőcső. Működési elvüket tekintve azonban nincs különbség közöttük.

A hőcsövek szerkezeti felépítésüket tekintve egyszerűek: egy csőből, benne kanócból és munkaközegből állnak. A cső anyagára az alkalmazott munkaközeg, a kanóc és a külső oldalon áramló közeg tulajdonságai a meghatározóak. A felhasználási terület azonban többé-kevésbé megköti az alkalmazható munkafolyadékot. Az állattartás fűtési energiaszükségletének csökkentésére a levegőből való hővisszanyerésre a hazai téli levegő-hőmérsékletek ismeretében munkaközegként az ammónia, a Freon-11, a Freon-112 és a pentán felhasználása kerülhet szóba. A legáltalánosabban használható cső- és kanóanyag az alumínium, amely 65 °C-ig ammóniával, 94 °C-ig freonokkal alkalmazható.

5.2. Hőszivattyúk

A hőszivattyúval kis hőmérsékletű hőforrás hőenergiája nagyobb hőmérsékletszintre hozható. Ezzel a technikai lehetőséggel különböző természeti hőenergia-források és hulladéke energiák válnak hasznosíthatóvá.

A termodinamika második főtétele szerint hőenergia önmagától csak nagyobb hőmérsékletszintről alacsonyabb hőmérsékletszintre juthat át. Ezzel a természetes hőáramlással ellentétes irányban végbemenő folyamathoz hajtóenergiára van szükség. A hőszivattyús körfolyamatokban a hőforrásként felhasznált alacsony hőmérsékletű energiahordozó az elpárologtatóban levő folyékony munkaközeget elpárologtatja. Az elpárolgáshoz az szükséges, hogy a munkaközeg forráspontja alacsonyabb legyen, mint a hőforrásként használt energiahordozó hőmérséklete.

Az elpárologtatott munkaközeget a körfolyamatban a kompresszor magasabb nyomásra sűríti. A nyomás növekedésével a kondenzációs hőmérséklet is emelkedik. A munkaközeg nyomásának növeléséhez szükséges a hajtóenergia.

A munkaközeg nagy nyomású gőze a kondenzátorba jut. A kondenzátorban a munkaközeg átadja hőjét a nála alacsonyabb hőmérsékletű hőfelvevő közegnek, miközben lecsapódik.

A munkaközeg az expanziós szelepen keresztül a kondenzátorból az elpárologtatóba kerül. Az expanziós szelepben a munkaközeg nyomása a magas kondenzátornyomásról az alacsony elpárologtató nyomásra csökken. Eközben a munkaközeg-folyadék egy kis része elgőzölög, és az ehhez szükséges párolgási hőt a folyadékállapotú résztől vonja el, s ezáltal a munkaközeg jelentősen lehűl. A munkaközeg párologtatóba lépésével a körfolyamat záródik.

A hőszivattyús körfolyamatban a kondenzátorban rendelkezésre álló fűtőtéljesítmény két részből tevődik össze:

- az elpárologtatóban a hőforrásból felvett hőtéljesítményből,
- a kompresszorban felhasznált meghajtótéljesítményből,

amelynek segítségével a munkaközeg hőmérséklete növekedett.

A hőszivattyús folyamat az ε *fajlagos fűtőtéljesítménnyel* vagy más néven *téljesítménytényezővel* értékelhető, amely a fűtőtéljesítmény és a meghajtótéljesítmény hányadosa.

A *hőszivattyúk alkalmazásának* feltételeit vizsgálva külön kell választani a technikai lehetőségeket és ezek gazdaságosságának kérdését. A technikai lehetőségek tekintetében elsődleges szempont, hogy az energiaszükséglet kielégítésére megfelelő energiaforrás álljon rendelkezésre. Ez a hőszivattyús üzemben bármilyen kis hőmérsékletű energiaforrás lehet, de a gazdaságosság szempontjából alapvetően fontos, hogy a hőforrás:

- könnyen, olcsón kihasználható,
- megfelelő energiahozamú és
- minél magasabb hőmérsékletű legyen.

Az állattartó telepeken ilyen hőforrás lehet

- az istállóból távozó levegő,
- a légköri levegő,
- a felszíni víz és talajvíz,
- a talaj,
- a napsugárzás,
- és egyéb technológiai hulladékhő (trágya, tejhűtés stb.).

Az *istállóból távozó levegő* mennyiségét és hőtartalmát az állatfaj, a tartástechnológiai körülmények stb. befolyásolják.

A *légköri levegő* kedvezőtlenebb tulajdonságú, mert bár korlátlan mennyiségben áll rendelkezésünkre, de

- hőmérséklete akkor a legkisebb, amikor a fűtési igény a legnagyobb,
- a fagypont alatti felületi hőmérséklet az elpárologtatónál dérképződést okoz, amely csak költséges berendezésekkel küszöbölhető ki.

A környezeti levegő hőforrásként való felhasználására ezért általában nem kerül sor. Az istállóból távozó levegő ennél kedvezőbb tulajdonságú, de a levegő mint hőátadó közeg, mindenképpen nagy elpárologtató felületet igényel.

A talaj- és felszíni vizek hőmérséklete hazánkban, a közvetlen felső réteget leszámítva, fagypont felett van, A folyók, tavak vizeinek hőmérséklete télen $2-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, a talajvízé $8-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ között van, és ez a hőszivattyús üzemhez kedvező hőforrást jelent. Kedvezőtlen viszont, hogy a vízvétel vagy a vízbe telepített hőcserélő kis költségű műszaki megvalósítása csak különlegesen kedvező körülmények között képzelhető el.

A talaj hőmérséklete a környező levegő hőmérsékletét a mélységtől, a talajminőségtől függően késleltetve és csökkent amplitúdóval követi. Egy közepes nedvességtartalmú talajban, $1,5-2,0\text{ m}$ mélységben, energiakivétel nélkül $5-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ a hőmérséklet. A talajba fektetett csőkígyóval a talaj hőtartalmát hasznosíthatjuk. A csőkígyó fektetésének módjától függően $40-50\text{ W/m}^2$ hő vonható el állandó üzemvitellel is. (Ez kb. $6-12\text{ W/m}$ fajlagos teljesítményt jelent, csőhosszra számítva.) Ez egy peccsenyecsibe-istállóban, amelynek alapterülete 1000 m^2 és hőszigetelése is jó ($\Sigma kA = 1\text{ kW/K}$), kb. 3500 m^2 -es talajkollektor-felületet jelent. Ilyen terület becsővezése tetemes költség, és sok állattartó telepen nem is valósítható meg. A hőenergia talajból való kivételének valamivel kevésbé költséges módja, ha a talajba fektetett csőkígyó maga az elpárologtató.

A talaj felhasználható még a napenergiából származó hőenergia tárolójaként. Ilyen megoldással a napkollektorban felmelegedett hőhordó közeg a talajban lefektetett csőkígyón keresztül leadja energiáját, és így a geotermikus hőnyereségnél magasabb hőmérsékletű energiához lehet jutni. Ezzel a megoldással – minthogy a hőszivattyú elpárologtatójának hőmérséklete magasabb – jobb lesz a teljesítménytényező, de lényegesen nagyobb beruházási költség árán. A napenergia egyébként más tárolási megoldással (pl. víz vagy sólé felmelegítésével) is felhasználható a hőszivattyús üzemhez energia-

forrásként, ez viszont mindenképpen lényeges költségtöbblettel oldható csak meg.

A hőszivattyús üzem energiaforrásként *technológiai hulladék* hő is felhasználható. Az állattartásban ilyen hulladék hő a tejhűtésből származó hő, vagy az állattartó telep környezetében a kertészeti és élelmiszeripari tevékenységből származó hő. Ugyancsak ide tartozó energiaforrásnak tekinthető a trágya hőtartalma is, bár a keletkező trágyamennyiség és az állat hőigénye egymással ellentétes.

A hőszivattyú használatának feltételeként a rendelkezésre álló olcsó energiaforráson kívül azt a legfontosabb megvizsgálni hogy

- adott feladathoz felhasználva eredményez-e energiamegtakarítást,
- a felhasználás mennyire gazdaságos más lehetőséghez viszonyítva.

A hőszivattyús üzem energiamegtakarításának vizsgálatakor a hőszivattyú által leadott hasznos energiát kell a meghajtásra felhasznált primer energiahordozóval összevetni. Fűtési célú felhasználás esetén a leggyakoribb műszaki megoldás, hogy a primer energiahordozót (a tüzelőanyagot) kb. 55–70%-os hatásfokkal tudjuk hasznosítani. Ha elektromos fűtést alkalmazunk, akkor a primer energiahordozóból a hőerőművekben nagy veszteségekkel előállított áram már csak 27–35%-os hatásfokkal hasznosul.

Hőszivattyús fűtésnél a primer energia hasznosulása attól függ, hogy mit használunk hajtóenergiának. Villamos energiával hajtott kompresszoros hőszivattyús üzemben, $\epsilon = 3$ teljesítménytényezővel 81–102%-os primerenergia-hasznosítás érhető el. Ha a hőszivattyús üzemhez gázmotorral hajtott kompresszort használunk, akkor $\epsilon = 3$ teljesítménytényezőnél már 135–156%-os primerenergia-hasznosítás érhető el.

Ez azt jelenti, hogy a hőszivattyús üzem már $\epsilon = 2,5$ teljesítménytényező esetén is primerenergia-megtakarítást eredményez, sőt, megfelelő rendszerben a primer energia hasznosításának foka elérheti a közvetlen felhasználás hatásfokának kétszeresét is.

A hőszivattyús üzem akkor tekinthető gazdaságosnak, ha az energiamegtakarítás eredménye fedezi, illetve meghaladja a hőszivattyús beruházás költségtöbbletét. Ez azt jelenti, hogy a hőszivattyús üzem éves átlagos teljesítménytényezője a hazai árviszonyok mellett általában akkor tekinthető gazdaságosnak, ha a teljesítménytényező értéke nagyobb 3,5-nél ($\epsilon > 3,5$), ami csak 50 K-nél nem nagyobb hőmérséklet-különbség esetén teljesíthető.

A hőszivattyú gazdaságosságának vizsgálatakor egyszerűbb a helyzet, ha a hőforrás hasznos hűtési igényt is kielégít. Ebben az esetben arról van szó, hogy egy, mással nem helyettesíthető hűtőberendezés kondenzációs hőáramának hasznosításáról kell gondoskodni, és ez gazdaságosság szempontjából rendkívül kedvező. Nehezebben ítéltető meg a hőszivattyús üzem gazdaságossága, ha a felhasználás nem egyidejű fűtés-hűtés. Ilyen igény merül fel állattartó épületek téli fűtések és nyári hűtések. A gazdaságossági számítás során ilyen esetben a nyári hűtésből származó gazdasági hasznot (az előállított többlettermék árát) is figyelembe kell venni az amortizációs költségek évi fajlagos értékeinél.

5.3. Sugárzó fűtés

A fűtési energiaszükséglet csökkentésének egyik technikai lehetősége a *sugárzó fűtés*. A jelenleg általánosan alkalmazott légfűtéshez viszonyítva a sugárzó fűtéssel elérhető energiamegtakarításnak három forrása van:

- az állatok tartózkodási helyén alacsonyabb istálló-hőmérsékleten is kialakítható a megfelelő hőérzet,
- az istállólevegő hőmérsékletének változása függőleges irányban kisebb mértékű,
- az istállólevegő alacsonyabb hőmérséklete miatt a szellőzőlevegő elszállította hőmennyiség lényegesen kevesebb.

Sugárzó fűtés esetén az istálló belső tere és a külső tér között ki-

sebb lehet a hőmérséklet-különbség, és ennek következtében mindhárom felsorolt tényező hőenergiát „takarít meg”. Ezt igazolják a szakirodalomban közzétett, számítógépes elméleti vizsgálatok, ipari csarnokokban végzett mérések és a hazai baromfitartásban folytatott kísérletek is. A helyi melegítésre szolgáló sugárzó fűtést (infra-lámpával) régebben is igénybe vették fiatal állatok számára, de általános elterjedését több tényező gátolta.

Az állattartó telepek központi hőellátásával lehetővé válik különböző energiahordozók (gáz, mezőgazdasági melléktermék, szén stb.) felhasználása is, amelyek a sugárzó fűtést még gazdaságosabbá tehetik.

A fűtés célja az állattartó épületekben is a megfelelő hőérzet kialakítása. Bár az állatok esetében a szó szerinti érzetet nehéz meghatározni, ezért a hőérzet vizsgálatának is ehhez alkalmazkodónak kell lennie. (Az ember esetén ugyanis a hőérzetet, mint szubjektív érzést vizsgálják, és ez az állatoknál nem értelmezhető.)

A hőérzet a környezettel való termikus kapcsolatot fejezi ki. A hőérzetet meghatározó fontosabb tényezők a következők:

- a levegő hőmérséklete és annak térbeli, illetve időbeli változása,
- a környező felületek közepes sugárzási hőmérséklete,
- a levegő relatív nedvességtartalma,
- a levegő mozgása,
- az állat hőtermelése, hőleadása, és ennek szabályozási módja.

E tényezők értékeléséhez az élő szervezet és környezete közötti kölcsönhatásból lehet kiindulni. A kölcsönhatás a mérlegegyenlettel fogalmazható meg. A mérlegegyenlet az élő szervezet és a környezete közötti kapcsolat esetén a következő egyszerű alakban írható fel:

$$S = M - (W + E + R + C + V)$$

ahol

S az állat időegység alatti hőmérséklet-változása,

M a metabolikus hő,

W a mechanikai munka,
 E párolgásos hőleadás,
 C a konvekciós hőleadás,
 R a sugárzásos hőleadás,
 V a kondukciós hőleadás.

Az egyenlet a tápanyag elégetését, az anyagcserét, a hőtermelést és a hőleadást, valamint az állat mozgását veszi figyelembe. Az állat hőérzetét alapvetően az határozza meg, hogy az egyensúly milyen feltételek, az egyes tényezők milyen értékek mellett valósulnak meg. Az egyes tényezők értékét, mint felületi áramokat, az intenzív jellemzők különbsége határozza meg. E különbség alakulásában a környezet klímatis körülményei játsszák a legnagyobb szerepet.

Az az egyensúlyi állapot, amelynek fenntartásához az élő szervezet bonyolult rendszere a legkevesebb energiát igényli, megteremti a kellemes hőérzetet. Ez az állapot a hőegyensúlyt meghatározó tényezők bizonyos értékeivel alakítható ki. Nagyon fontos azonban hangsúlyozni, hogy a megfelelő vagy kellemes hőérzet nem jellemezhető a levegő hőmérsékletének egy meghatározott értékével. A megfelelő hőérzet kialakításához sok tényező együttes figyelembevétele szükséges. Ezek közül az egyik legfontosabb, de nem kizárólagosan meghatározó, a levegő hőmérséklete.

A hőérzet mutatószámai a hőérzetet jelentősen befolyásoló tényezők különböző kombinációi. Ezeket a kombinációkat a kutatók különféle kísérletek során alakították ki, és miután a hőérzet bonyolult összetettségének leegyszerűsítésére szolgálnak, nem valamiféle szabatos jellemzők, csupán igaznak talált állítások.

Operatív hőmérséklet:

$$t_{op} = 0,55t_{ks} + 0,45t_1,$$

ahol

t_{ks} a közepes sugárzási hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$],

$$t_{\text{ks}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \varphi_{\text{ef}_i} T_{\text{f}_i}^4 - 273} \text{ } [^{\circ}\text{C}],$$

itt

φ_{ef_i} a testre vonatkozó besugárzási tényező,

T_{f_i} a környező sugárzó felületek hőmérséklete [K];

t_1 a levegő hőmérséklete [$^{\circ}\text{C}$].

Rezultáns hőmérséklet:

$$t_{\text{R}} = 0,55 t_{\text{ks}} + 0,443 t_1,$$

Eredő hőmérséklet a magyar műszaki előírás szerint:

$$t_{\text{E}} = 0,5 t_{\text{ks}} + 0,5 t_1,$$

Általános eredő hőmérséklet:

$$t_{\text{AE}} = (1 - R) t_{\text{ks}} + R t_1,$$

ahol

$$R = 0,48.$$

Javított operatív hőmérséklet:

$$t'_{\text{op}} = 0,55 t_{\text{ks}} + 0,32 t_1 + 0,46 \sqrt{\nu} t_1 - 18,35 \sqrt{\nu} + 5 \text{ } [^{\circ}\text{C}],$$

ahol

ν a levegő sebessége [m/s].

Ekvivalens hőmérséklet:

$$t_{\text{eq}} = 0,522 t_1 + 0,478 t_{\text{ks}} - 0,01474 \sqrt{\nu} (100 - t_1).$$

A nedvesgömb-hőmérséklet (WEGT) segítségével elsősorban a szervezet és a környezet sugárzásos hőcseréjét kívánjuk jellemezni.

Meghatározásához ismerni kell az adott környezetben felfüggesztett fekete gömb t_g [°C] hőmérsékletét, az ugyanott mérhető t_n [°C] nedves hőmérsékletet és a sugárzástól leárnyékolt száraz léghőmérsékletet, t_1 -t [°C]. A három adat alapján a következő összefüggéssel számítható ki a nedvesgömb-hőmérséklet:

$$WEGT = 0,7t_n + 0,2t_g + 0,1t_1 \text{ [°C]}.$$

A *hőmérséklet-páratartalom indexet (HPI)* az Egyesült Államokban fejlesztették ki a meleg által okozott hőmérsékleti stressz jellemzésére.

Az irodalomban fellelhető vizsgálati adatokra alapozva különböző *klímanomogramokat* fejlesztettek ki. A háromdimenziós nomogramok esetében a hőmérséklet és a légmozgás, valamint a hőmérséklet és a relatív páratartalom hatását együttesen értékelik úgy, hogy a két-két tengely által kimetszett mezőkre berajzolják a termelési és tűrési zónák értékeit, és az állat környezetében ténylegesen mért értékeket a nomogramhoz hasonlítják.

A hőérzet fogalom rövid áttekintése is világosan rávilágít arra, hogy a környezet levegőjének megfelelő értéke az egyik legfontosabb, talán meghatározó tényező a termikus közérzet szempontjából. Az energiaráfordítás vizsgálata szempontjából azonban azt is meg kell látni, hogy azonos hőérzet egymástól lényegesen különböző energiamennyiségekkel alakítható ki. Az energiagazdálkodás nézőpontjából a fűtéssel kapcsolatos teendők úgy merülnek fel, hogy milyen módon lehet a kellemes hőérzetet a lehető legkisebb energiaráfordítással elérni. Ez a mindennapos gyakorlat számára azt jelenti, hogy törekedni kell a fűtött helyiség levegőjének minél kisebb értékére, és azt ki kell egészíteni a hőérzetet meghatározó többi tényező – pl. páratartalom, légsebesség, hőszigetelés – előnyös befolyásolásával. Ennek megfelelően van reális alapja a sugárzó fűtés alkalmazásának.

Az állatok sugárzásos hőcseréjére és ennek kapcsán kialakuló hőérzetére vonatkozólag kevés irodalmi adat áll rendelkezésre. Ed-

digi vizsgálatok azonban megállapították, hogy a hőveszteségek sugárzással kiegyenlíthetők; fiziológiai szempontból különösen az 1000–4000 nm-es hullámhossztartomány jelentős. Az infravörös sugárzás rövidebb hullámhosszú tartománya (700–1400 nm) a szövetekbe kb. 30 mm mélységig hatol be, míg a nagyobb hullámhosszú rész csak kb. 10 mm-re. A szövetek hőmérséklete emelkedik, a vérrellátás javul, és jobban ellátja a szöveteket. Ezenkívül a fertőzések elleni védőanyagok képzése is felerősödik.

Ma még nem tisztázott, milyen mértékű sugárzás felel meg az állat kellemes hőérzetének, és mi az elviselhetőség határa. A sugárzó fűtéseknel jelenleg még az emberre vonatkozó ismereteket használják.

Egyes nézetek szerint a sugárzó fűtés a malacokra káros hatású is lehet, ezért nem alkalmazható korlátlanul. Az infrasugárzók használatának mértékétől, a malacok korától (amikor a sugárzót használni kezdték) és a sugárzó típusától függően a malacok testtömeggyarapodásában és vérképzésében negatív eredmények is előfordulhatnak. A látható fény tartományában sugárzók átható sugarakat bocsátanak ki, amelyek a szövetekben kémiai reakciókat válthatnak ki. A sötétben sugárzók csak hősugarakat bocsátanak ki, ezek csak fizikai változásokat okoznak.

Végeztek kísérleteket gázsugárzókkal és infralámpás sugárzó testekkel is. Megfigyelték a malacok viselkedését, aminek alapján a hőérzetükre lehetett következtetni. Infralámpa alatt a malacok összehúzódtak, hogy hőleadású testfelületüket csökkentsék. Gázsugárzók használatakor távolabb feküdtek egymástól, mivel nem fáztak. Szabad választás esetén a malacok inkább a gázsugárzókat keresték fel, mint az infralámpákat. Gázsugárzókat alkalmazva nagyobb volt a sugárzási intenzitás és a besugárzott felület is. Ezek teljesítménye max. 1280 W, minimálisan 640 W, szemben az infralámpák 250 W teljesítményével.

Hazai viszonylatban malacmelegítésre elterjedten használják az infralámpákat 250 W teljesítménnyel. Ismert a malac-búvóládák alkalmazása is, ebben az esetben kisebb teljesítményű infralámpa is

alkalmazható (100–150 W), ami energiát takarít meg. Régebben elektromos fűtésű műanyag fűtőlapokat is működtettek 80–120 W teljesítménnyel, de ezek a gyakorlatban nem terjedtek el széles körben.

5.4. Padozatfűtés

5.4.1. A padozat mint hőleadó

A padlószervezeteknek a fűtéstechnikában történő aktív alkalmazására már az emberiség történetének korai szakaszából is vannak bizonyítékok. A fűtési célú hőközlésnek ezt a technikai megoldását századunk elején fedezték fel újra. A meginduló elméleti és gyakorlati kutatások rövidesen lehetővé tették a padlófűtési rendszerek tényleges megvalósítását.

A padlófűtések a kishőmérsékletű fűtési rendszereken belül különleges helyet foglalnak el. A felületfűtő rendszerek közé tartoznak. A hőleadó felület nagysága itt a legnagyobb és a hőleadó felület hőmérséklete itt a legkisebb.

A műszaki megvalósítást illetően a ma korszerűnek tekinthető rendszerek alapvetően megegyeznek a század első felében megépített berendezésekkel. A szükséges hőteljesítményt a padlószervezet felfűtésével biztosították a fűtendő térben. A felfűtést a szerkezetbe épített csőhálózaton keringetett hőhordozóval valósították meg.

Az ilyen típusú berendezések nagyobb mértékű elterjedésének lehetőségét két tényező teremtette meg:

- a) A berendezések alkotóelemeit előállító háttérpar (műanyag csővezetékek, szerelvények, szabályozástechnikai berendezések, korszerű szivattyúk stb.) és az építési anyagok, illetve technológiák fejlődése.
- b) A 70-es években jelentkező, energiaár-robbanást követő energiatakarékossági törekvések.

Az állattartásban számításba jöhető padlófűtési megoldások a

szivattyús melegvízfűtések rendszerébe tartoznak. A hőhordozó melegvíz a padlószerkezetbe ágyazott csöveken áramlik. A hő a csőfalon keresztül a burkolatba vagy a csöveket borító teherelosztó rétegbe kerül. Az innen a padlóburkolatba kerülő hő a padló felületről sugárzással és konvekcióval jut a helyiséget határoló felületekre és a helyiség levegőjébe. A fűtéstechikában a sugárzás és a konvekció általában együtt fordul elő. Így van ez a padlófűtés esetén is.

A konvekciós hőáram

$$q_{\text{konv}} = \alpha_{\text{konv}}(t_{\text{padló}} - t_{\text{b}}) \text{ [W/(m}^2 \text{ K)]}$$

alakban írható fel, ahol

$t_{\text{padló}}$ a padlófelület hőmérséklete [$^{\circ}\text{C}$],

t_{b} a belső léghőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$],

α_{konv} a konvekciós hőátadási tényező [$\text{W/(m}^2 \text{ K)]}$.

Az eredő hőátadási tényező a fentiek alapján:

$$\alpha_{\text{e}} = \alpha_{\text{sug}} + \alpha_{\text{konv}} \text{ [W/(m}^2 \text{ K)]}.$$

Ennek értéke 9,5–17,3 $\text{W/(m}^2 \text{ K)}$ körül alakul a gyakorlatban.

A fűtött padlószerkezet által ténylegesen leadott hőmennyiség függ a helyiségben uralkodó légmozgástól, a helyiség nagyságától, kialakításától, a falak és az ablakok méretétől és hőmérsékletétől, továbbá a helyiségben levő más hőforrásoktól is.

Az állattartásban a szükséges hőteljesítmény – eltérően a humán környezettől – nemcsak a helynek (helyiségnek) és a t_{k} külső hőmérsékletnek függvénye. A szükséges hőteljesítmény függ az állat fajtájától és a tartási periódustól is. A gazdaságos termelés ugyanakkor egyre inkább rugalmasságot is kíván. Ennek következtében a padlófűtési rendszer termikus kimenő jellemzőin kívül rendkívül fontos a rendszer szabályozástechnikai tulajdonsága is. Szabályozástechnikai szempontból igen fontos a padozatnak mint hőleadónak a hőtehetetlensége.

5.4.2. A energiafelhasználás várható csökkenése padlófűtés esetén

Hazánkban a padlófűtési megoldások alkalmazása legnagyobb számban humán területen, a magánérős lakóházépítésnél tapasztalhatók. E műszaki megoldás az állattartásban is teret nyerhet, ha azt a technikai, állat-egészségügyi és tartástechnológiai követelményeknek megfelelően tervezik meg.

Az állattartáson belül számításba jöhető terület a baromfi- és a sertéstartás. Mindkét ágazat a padló felületi hőmérsékletével kapcsolatosan azonban igen összetett követelményrendszert állít. A padló felületi hőmérsékletét, mint a padlófűtési rendszer hőtéljesítményét, alapvetően meghatározó tényezőt – a humán területtől eltérően – már nem elegendő a külső méretezési állapot mellett kielégítő komfortérzetet biztosító értéknél (általában 26 °C) lehatárolni és a külső hőmérséklet függvényében [$t_{\text{padló}} = f(t_k)$] előállítani.

Az állattartásban a padló felületi hőmérséklete függ az állat fajától, a tartás céljától (ellettő épület, malacnevelő, tojóház stb.) a tartási ciklustól, valamint a tartástechnológiákban bevált és alkalmazott padlófelületektől (pl. mélyalmos tartástechnológia).

Mindezek figyelembevételével kialakításra kerülő padlófűtési rendszer a következő energiamegtakarítási lehetőségeket biztosíthatja.

Energiamegtakarítás a belső léghőmérséklet csökkentése révén

Az épületek külső határoló szerkezetein fellépő hőáram egyenesen arányos a határolószerkezet két oldalán uralkodó hőmérsékletkülönbséggel:

$$q = k(t_b - t_k) \text{ [W/m}^2\text{]},$$

ahol

k a falszerkezet hőátbocsátási tényezője [W/m^2],

t_b a belső hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$],

t_k a külső hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$].

A belső hőmérséklet csökkentése $\Delta t = t_b - t_k$ értékváltozása következtében kedvezően hat a határoló szerkezeteken keresztül szabadba távozó hőenergia mennyiségére.

A belső léghőmérséklet – valamennyi körülményt figyelembe véve – elméletileg 10–15 °C-kal csökkenthető a jelenleg elfogadott értékekhez képest, ami 22–31%-os fűtési energiamegtakarítást jelenthet.

Energiamegtakarítás a hőátvitel módosítása révén

Az élőlények a környezetükkel folytatott dinamikus hőcserét hagyományos konvekciós fűtőberendezés esetén konvekció, sugárzás és légzés útján valósítják meg. Padlófűtés esetén ez a hőátvitel új elemmel egészül ki: a *kondukciónal*.

A kondukción útján végbemenő hőcsere humán alkalmazás során – néhány esettől eltekintve (pl. uszoda) – elhanyagolható mértékű. Az állattartásban azonban a hőátvitelben való részaránya elérheti a 15–40%-ot.

Energiamegtakarítás a tartózkodási zónára koncentráló fűtőberendezés kialakításával

Napjaink gyakorlata szerint az állattartási épületnél a határoló szerkezetek által lehatárolt levegőtömeget felfűtjük a komfortérzet által megszabott t_b hőmérsékletre.

Az alkalmazott konvekciós fűtőberendezések igen kedvezőtlen hőmérséklet-eloszlást eredményeznek. A tartózkodási zónában szükséges t_b hőmérséklet biztosítása mellett a födém szerkezetek alatti, fűtéstechnikailag érdektelen zóna hőmérséklete 20%-kal magasabb. Mivel a levegőtömeg ilyen mértékű temperálásának funkciója nincs, nyilvánvalóan energiavesztésről van szó.

A padlófűtés által megvalósított, az ideálshoz közel eső hőmérsékletprofil a fenti veszteségforrást csökkenti. További energiamegtakarítást a tartózkodási zónára koncentráló fűtőberendezés kialakí-

tásával lehet elérni. A várható energiamegtakarítás becslésénél természetesen figyelembe kell venni, hogy az élőlényeknek nemcsak termikus igényei vannak. Az állattartásban alkalmazott szellőzőberendezések a konvekciót segítő hatásuk révén eleve kizárják a legkedvezőbb (az állat környezetében van a legmelegebb) hőmérsékleti profil megvalósításának lehetőségét.

A fűtési hőbevitelnek a tartózkodási zónára történő koncentrálása padlófűtés esetén reflektáló felületek alkalmazásával érhető el. A várható energiamegtakarítás mértéke ezzel a műszaki megoldással 5–15%.

Összefoglalva tehát megállapítható, hogy a padlófűtési rendszerek alkalmazása az állattartásban elméletileg 22–46%-os energiamegtakarítást is eredményezhet. A tényleges megtakarítás azonban az alkalmazási helynek és a műszaki berendezések helyes megválasztásának és üzemeltetésének a függvénye.

6. A fűtési költségek csökkentése

Az istállóklíma energetikai vonatkozásaiban elsődleges fontosságú az energiatakarékosság. A mindennapos gyakorlat során azonban többnyire nem az energiával való takarékoskodás a fő cél, hanem az, hogy ne kelljen sokat fizetni a felhasznált energiáért. Ez egy természetes törekvés, de nem helyettesítheti az energiatakarékosságot. Fontos megjegyezni, hogy nincs olyan energiatípus, amelyből a szükségesnél több felhasználása megengedhető lenne.

A költségek csökkentése szempontjából végzett energiahordozó-váltásnak nagyon sokféle lehetősége van. Ma az állattartásban tüzező-, illetve fűtőolajon kívül majdnem kizárólag földgázt használnak. Ezek az energiahordozók nagy energiasűrűségűek, felhasználásuk jól szabályozható, illetve automatizálható. Ma ezek az energiahordozók a mezőgazdasági termékek árához viszonyítva ugyan nem mondhatók olcsónak, de a különböző hulladékenergiák és megújuló energiaforrások valószínűleg a magas beruházási költségek vagy több munkát igénylő üzemeltetés miatt még nem kerülhetnek széles körben alkalmazásra.

E füzetben az energiahordozó-váltásról és ennek következtében az energiaköltségek csökkentésének mértékéről a korlátozott terjedelem miatt nem foglalkozunk. Az energiahordozó-váltás műszaki megoldásaira széles körű szakirodalom áll rendelkezésre. Más kérdés az energiaköltségek csökkenésének meghatározása. Ezek a költségek, illetve költségváltozások nehezen számíthatók, és többnyire általánosságban nem is tárgyalhatók. Minden konkrét esetre külön kell számításokat és hosszú távú költségbecsléseket végezni, ilyen esetekben a tendenciákat világosan megfogalmazva kell megpró-

bálni számszerűsíteni a költségek alakulását. Hosszú távon várhatóan kiemelt jelentősége lesz a különféle megújuló energiaforrásoknak, melyeknek környezetvédelmi jelentőségük sem elhanyagolható. A mezőgazdaságban és az állattartásban is legkézenfekvőbb energiaforrásként tarthatjuk számon a *biomasszát*, melynek jól átgondolt felhasználása hosszú távon az egyik megoldást jelentheti a fűtési költségek csökkentésében.

Ugyancsak nagy lehetőség a *napenergia* aktív vagy passzív felhasználása, még akkor is, ha a teljes fűtési energiaigény reálisan nem biztosítható a napenergiából. A napenergia

- kevés ahhoz, hogy az egész fűtési időszak energiáját fedezni tudja jelentős hőtárolás nélkül,
- nagyon sok ahhoz, hogy ne vegyük figyelembe és ne hasznosítsunk belőle.

Magyarországon istállófűtéshez helyenként a *geotermikus energia* is felhasználható, bár ahol rendelkezésre áll, ott többnyire más területen való elsődleges felhasználása kifizetődőbbnek mutatkozik. Másodlagos hasznosítása a hulladékhő hasznosításával azonos megítélést érdemel.

Természetesen a sok kínálkozó lehetőség közül a legmegfelelőbb kiválasztása nem egyszerű feladat, nagy körültekintést és szakértelmet igényel.

Az energiaköltség-megtakarítással kapcsolatos energiahordozó-váltásnál nehéz figyelembe venni a megújuló energiaforrások felhasználásával együttjáró környezetvédelmi előnyök többnyire csak közvetetten jelentkező gazdasági hatását. Ezért a csekély mértékű közvetlen költségcsökkentés, illetve a hosszabb megtérülési idő esetén is érdemes a szóban forgó energiahordozó-váltással foglalkozni.

7. Felhasznált és ajánlott irodalom

- BARÓTFI I.—RAFAI P.: Energiagazdálkodás az állattartásban. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1985.
- Az animális hő hasznosításának lehetőségei és berendezései. Mezőgazdasági energetikus füzetek (Szerk.: BARÓTFI I.) ETE Kiadvány, Budapest, 1986.
- Padozatfűtés sertésistállóban. Mezőgazdasági energetikus füzetek (Szerk.: BARÓTFI I.) ETE Kiadvány, Budapest, 1988.
- Gázüzemű infravörös sugárzó fűtés. Mezőgazdasági energetikus füzetek (Szerk.: BARÓTFI I.) ETE Kiadvány, Budapest, 1988.
- Mező- és erdőgazdasági melléktermékek hőhasznosításának berendezései. Mezőgazdasági energetikus füzetek (Szerk.: BARÓTFI I.) ETE Kiadvány, Budapest, 1986.
- Mezőgazdasági technika és környezetvédelem (Szerk.: BARÓTFI I.) Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1981.
- Energiafelhasználói Kézikönyv (Szerk.: BARÓTFI I.) KÖTECH Kiadó, Budapest, 1994.



A kiadásért felelős
az Akadémiai Kiadó Rt. ügyvezető igazgatója
A számítógépes szerkesztés a Vetula Visual Bt. munkája
Felelős vezető: Liener Katalin
A nyomdai munkálatokat az AKAPRINT Kft. végezte
Felelős vezető: Freier László
Budapest, 1998
Műszaki szerkesztő: Gábor Péter
Felelős szerkesztő: Sente László
Kiadványszám: A-96-80
Megjelent 4,66 (A/5) ív terjedelemben

THE
JOURNAL
OF
THE
ROYAL
ANTHROPOLOGICAL INSTITUTE
OF GREAT BRITAIN AND IRELAND
VOLUME 100
PART 1
1970

Ára: 480,- Ft áfával



BARÓTFI ISTVÁN

Istállóklíma és energiatakarékosság

A mezőgazdaság műszaki fejlesztésének tudományos kérdései sorozat
86. füzete

Az állattartás energiafelhasználásában a legnagyobb szerepet a klimatizálásra fordított energia játssza. Ez az energiaráfordítás mennyiségében és költségeiben is számottevően megnőtt, és ma már az állattartás egyik el nem hanyagolható költségtényezőjévé vált. Az állattartásban napjaink legfontosabb feladata, hogy egyrészt a genetikailag nagy termelőképességű állatok számára megfelelő környezetet tudjunk kialakítani, másrészt ezeket a körülményeket a lehető legkisebb energiaköltséggel valósítsuk meg.

ISBN 963 05 7499 3



**a mezőgazdaság
műszaki fejlesztésének
tudományos kérdései**