

# Energiagazdálkodás az építészetben

**Gábor László**

a Magyar Tudományos Akadémia rendes tagja

**Zöld András**

a műszaki tudományok doktora



**Akadémiai Kiadó • Budapest 1981**

**Az ábrák grafikai megtervezése és kivitele**  
**SZOBOSZLAY ISTVÁN építészmérnök munkája**

**ISBN 963 05 2536 4**

**© Akadémiai Kiadó, Budapest 1981**

A kiadásért felel az Akadémiai Kiadó igazgatója  
Felelős szerkesztő: Szente László  
Műszaki szerkesztő: Csákvári András  
A borító és kötéstervező Somlai Vilma munkája  
Terjedelem: 28,7 A/5 ív + 1 lap melléklet  
AK 1109 k 8184

**81.8811 Akadémiai Nyomda, Budapest — Felelős vezető: Bernát György**

# Tartalom

<b>Bevezetés</b>	<b>7</b>
<b>1. Alapfogalmak</b>	<b>16</b>
1.1 A rendszer	16
1.2 A mikroklíma	24
1.3 A környezet	34
1.4 Az energiaforgalmat befolyásoló tényezők áttekintése	44
<b>2. Határoló szerkezetek</b>	<b>53</b>
2.1 A tömör határoló szerkezetek	53
2.11 A felületen lejátszódó jelenségek	53
2.12 A hőátbocsátás	61
2.13 A hőhidak	75
2.14 A szellőztetett határoló szerkezetek	88
2.15 A vízzel elárasztott és permetezett határoló szerkezetek	104
2.16 Az időben változó hőhatások	108
2.2 A sugárzást átbecsátó szerkezetek	124
2.21 A hőátbocsátás	125
2.22 A légáteresztés	130
2.23 A napsugárzási hőterhelés	133
2.24 A szellőztetett ablakok	171
<b>3. A helyiségek, terek</b>	<b>175</b>
3.1 A válasz a különböző hőhatásokra	176
3.11 Stacioner hőhatások	176
3.12 Ugrásfüggvény szerint változó hőhatások	182
3.13 A helyiség válasza periodikus hőhatásokra	188
3.2 A hőegyensúly esetei	198
3.21 A hőveszteség (transzmisszió)	198
3.22 A szélsőséges állapotok	216
3.23 Hőterhelés, hűtőterhelés	227

<b>4. Tércsoportok, térkapcsolatok, épületek energiamérlege</b>	<b>251</b>
4.1 A filtrációs levegőforgalom	251
4.11 Általános kérdések	251
4.12 A nyomáseloszlás	253
4.13 A légtömegáram	276
4.14 A filtrációs hőszükséglet változása	290
4.2 A méretezési adatok kiválasztása	305
4.21 Az energiaforgalmat befolyásoló hatások változása az év folyamán	305
4.22 Az optimális üzemeltetés feltételeinek biztosítása	317
<b>5. Gyakorlati következtetések</b>	<b>322</b>
<b>Utószó (Írta: Szabó János akadémikus)</b>	<b>325</b>
<b>Irodalom</b>	<b>328</b>



## Bevezetés

A címben foglaltak vizsgálata az építészet és az energiagazdálkodás egynéhány fogalmának tisztázását, azok összefüggésének és kölcsönhatásának felderítését követeli meg. Ezen elemzésnek természetesen a jelenlegi helyzetből, az adottságokból kell kiindulnia, de e két alapvető tényező tudományosan előrelátható változását, jövőbeli alakulását is feltétlenül számításba kell vennie.

### Az építészet

Az építészet közismerten általános feladata: a társadalom és a benne élők valamennyi tevékenységét befoglaló térbeli keret, emberi jellegűvé formált mesterséges (művi) környezet megteremtése, tehát az ember egész valójának architektonikus rendbe foglalása, az adott kort és társadalmat hűen kifejező megmintázása, azaz az élet valóságkeretének, teljes és tényleges foglalatának kiformálása, méghozzá (éppen az építészet elidegeníthetetlen belső tulajdonságainál fogva) az emberi és a művészi jelleg kiteljesítésével.

E feladatból adódik, hogy az építészetnek természetszerűen érzékenynek, fogékonynak és hajlékonynak kell lennie a történelmi és a társadalmi változás, fejlődés tekintetében, szükségszerűen ki kell fejeznie korát, korának társadalmi erőit és azok feszültségi állapotát, törvényszerűen igazodnia kell korának tudományos és technikai felkészültségéhez, elkerülhetetlenül és szigorúan alkalmazkodnia kell annak anyag-, energia- és munkaerő-gazdálkodási helyzetéhez, gazdasági körülményeihez.

E feltétel sorozatból — magától értetődően — következik, hogy az építészet alkotási szemlélete és módszere is csak a valóság talaján bontakozhat ki, feladatai pedig csupán a körülmények és a lehetőségek ismeretében, de a várható fejlődés alapján, a józanul becsült jövőt is figyelembe véve választhatók meg, fogalmazhatók meg, oldhatók meg és hajthatók végre.

### Az építészet változása

Ma már általánosan ismertnek tekinthető az, hogy napjaink építésze (még a közelmúltéhoz képest is) alapvetően megváltozik,

mert egészen mások a feladatai, nagyon különböznek a körülményei, átalakul az ipari háttére, állandóan bővül az anyag-, szerkezet- és technológiaválasztéka,

mert ezekből adódóan más a feladatok megközelítésének és megoldásának útja,

mert mindez új helyzetet jelent és új lehetőségeket hoz a tömegformálás és a téralakítás, a tércsoportosítás és a térkapcsolás, a térhatárolás és a térosztás területén,

mert mindez megteremti a térsejtek hihetetlen mennyiségű és magasságú egymásrahalmozásának, az épített tér roppant mértékű kiágításának lehetőségét,

hiszen az aránylag vastag falakkal körülvett, a külvilághoz és egymáshoz viszonylag szűk nyílásokkal kapcsolódó, a szinte végleges lehatárolású, zárt és állandó jellegű terek helyébe a lassan már-már kéreggá vékonyodó és nagyméretű nyílásokkal (nem is egyszer teljes felületén) áttört térelhatároló és könnyen áthelyezhető (esetleg szerelt) térosztó szerkezetekkel elváltasztott, nyílt jellegű, akár változtatható méretű, egymásba nyíló, -folyó, -táguló, -táruló terek, tércsoportok és egész térrendszerek lépnek,

hiszen a nagy tömegű és a roppant súlyú szerkezetek helyébe egyre inkább a vékony vonalakká keskenyülő, a pontokká zsugorodó, az aránylag kis tömegű és a csekély súlyú szerkezetek lépnek, az általánosan, a sok célra és sok formában használható anyagokat pedig a sajátos tulajdonságú és a jellegzetes alkalmazási területű különleges anyagok és azok meghatározott rétegrendbe sorakozó együttese váltják fel.

Ma már tehát az sem szorul igazolásra, hogy az előzőekben elmondottak következtében megváltozik az épületek energiaigénye és energiaháztartása is, s ez az egyik oka annak, hogy átalakul az épületszerkezetek, az épületgépészeti berendezések tervezésének szemlélete, módszere, de követelményrendje és igény szintje is.

Az élet színpadát tehát az építészet rendezi be, de az élethez, e színpadon az előadás megtartásához már energiára, sőt egyre több energiára van szükség, mert energia nélkül megszűnik a civilizált élet, elsötétül a világ, lelassul a ritmus, kihűl az otthon, megbénul a közlekedés, nincs termelés, nem dolgoznak a munkát segítő gépek, nem működnek az életet könnyítő berendezések. A levegőben fészülő, a földbe fektetett, a falakban haladó, a látható és a rejtett vezetékekben, hálózatokon át áramló, és szinte észrevehetetlenül mindenüvé eljutó energia teremti ugyanis meg a mai élet feltételeit, tárja fel lehetőségeit és szabja meg kereteit.

**Az energiaigény**

**Az energiaigény  
változása**

Emellett az élet minősége és az energiaigény szorosan összefügg, mert a társadalmi átalakulás és fejlődés az életszínvonal egyenletesebbé válásához és emelkedéséhez, az életminőség javulásához, az életforma megváltozásához, a civilizációs igény általános elterjedéséhez és gyorsuló növekedéséhez, következésképpen a termelés fokozásához, a javak nagyobb mennyiségének, jobb minőségének és bővebb választékának megköveteléséhez vezet, ami az élet kereteinek bővítését, az otthoni és a közösségi élet feltételeinek javítását tételezi fel, tehát csak egyre több és több energia segítségével fedezhető.

Vizsgálandó tehát, hogy a jelenlegi és jövőbeli feladatok ellátására van-e, illetve lesz-e elegendő energia, hogy a felmerülő szükségletet milyen mértékben fedezi most és később a hazai termelés, hogy mekkora a hiányzó mennyiség, az honnan szerezhető be, mennyiért vehető meg, és mivel fizethető ki.

**Az energiahelyzet**

Ma már közismert, hogy az energia világpiaci ára az 1973–74-es években ugrásszerűen megnőtt és árszintje azóta is változatlanul nagyon magas és egyre emelkedik, továbbá az is, hogy a tényleges energiaigény és a hazai energiatermelés közötti különbség csak nagymértékű és állandóan növekvő mennyiségű energiabehozattal egyenlíthető ki. Ez a behozatal — amelynek nagyon is számottevő része csak dollárért vásárolható meg — a népgazdaságot erősen fokozódó mértékben terheli.

Energiahelyzetünknek ez a kedvezőtlen mérlege vezetett az energiával való ésszerű gazdálkodás fontosságának megértéséhez, és ez az alapja a szigorú energiatakarékosság parancsoló szükségére felismerésének és végrehajtása megkövetelésének.

**Az építés(ügy)  
energiaigénye**

Ma már az is közismertnek tekinthető, hogy *az ország összes energiaszükségletéből az építési ágazat részesedése 45–50%-ot tesz ki.* Ebből az épületek-építmények létrehozásához szükséges, tehát magához az építési folyamathoz tartozó (az anyagok, a szerkezetek előállításával, szállításával, helyszíni mozgatásával, beépítésével kapcsolatos) valamennyi műveletnek energiaigénye a 45–50% mintegy egyharmadára (~17%-ra) becsülhető, míg *az ország épületállományának üzemeltetéséhez szükséges energiaigény a 45–50% körülbelül kétharmadára (~37%-ra) tehető.*

Ma már nem szorul tehát bizonyításra az, hogy az építéset-építés nemcsak az energiagazdálkodás nagyon jelentős tényezője, de — a szükséges körülmények és az elengedhetetlen előfeltételek megteremtése esetén — annak számottevő mértékű befolyásolásra képes, sőt alkalmas is.

Az energiagazdálkodás (a gazdálkodás kifejezést ez esetben nagyon is jelképesen értve) feladata

**Az energiagazdálkodás**

elsősorban a jelenre meghatározott, és a jövőre nézve becsülten előrelátható energiaigény fedezése (termeléssel vagy — mint például nálunk — termeléssel és behozatallal),

majd a rendelkezésre álló energia értelmes elosztása az egyes fogyasztási területek között (a kialakult arányok megtartásával vagy módosításával),

továbbá a felhasználók ésszerű befolyásolása az egyes területeken belül (a követelmény értékek megszabásával),

végül, de nem utolsó sorban az átfogó és helyes népgazdasági szemlélet érvényesítése a döntő fontosságú területen (az előzőekben felsorolt műveletek segítségével).

Az elmondottakból nyilvánvaló, hogy

egyoldalról az építészeti szemléletének lényegbeli változása, feladatainak — mondhatni — megsokszorozódása, az építés módszereinek korszerűsödése, technikájának gépesítése, e területen a tömegtermelés elveinek és gyakorlatának bevezetése,

másoldalról pedig a társadalmi fejlődés eredményezte életforma-átalakulás és életminőség-javulás egyértelműen az energiaigény nagyon is számottevő növelésével jár, sőt

az elmondottakból az is következik, hogy

az energiamennyiség növelésére vonatkozó igény, társulva az energia árának hatalmas mérvű emelkedésével (ami ebben az értelemben két vonalon is tetemesen növekvő költséget jelent), az ésszerű energiagazdálkodás fontosságát csak még jobban kiemeli, szigorú érvényesítését pedig szinte elkerülhetetlenné teszi, de

az elmondottakból már korántsem magától értetődő az, hogy

az életminőség alakulása és annak energiavonzata nem egyforma mértékben, esetleg még csak nem is egyirányban mozog, és még azonos irány esetében sem feltétlenül arányosan változik, mert éppen a tudományos előrehaladás és a technikai fejlődés teremtheti meg és gyakran meg is adja a lehetőséget arra, hogy *a többletigény — bizonyos esetekben és körülmények között — nem sokkal több, sőt esetleg még kevesebb energiával is fedezhető legyen.*

Az építészeti-építés egész területének energiagazdálkodás-szemszögű vizsgálata egyrészt az építés teljes folyamatának (mint az alkalmazott technológiák összességének), másrészt az e folyamat végter-

**Az építészeti-építés és az energiagazdálkodás**

mékeként létrejött épületnek (mint műszaki-gazdálkodási egységnek) alapos elemzését követeli meg.

Az építés technológiai folyamata ugyanis (beleértve a helyszín előkészítését, és az építéshez szükséges anyagok és szerkezetek előállítását is) a különböző munkanemek és mesterségfajták egymást tervszerűen követő és (az ismétlődés tényéből adódóan egymást szükségszerűen) átkaroló műveletssorozatainak összességéből tevődik össze. E műveletssorok mindegyike pedig – az egyre kevesebb számú és kisebb jelentőségű kivételektől eltekintve – időben és összességében egyre több energia felhasználását tételezi fel (nyilvánvalóan a gépesítés lehetőségétől, fokától és az előállítás, gyártás, szállítás módjától függően).

Az épületek használata, azaz fenntartása és üzemeltetése ugyancsak nagyon sok időben növekvő mennyiségű energiát követel. A szükséges energia mennyisége nyilvánvalóan függ

egyrészt az épület rendeltetésétől, használati módjától és igény-szintjétől,

másképp az épület klimatikus és műszaki jellemzőitől, tehát települési, környezeti, tájolási adottságaitól, továbbá építészeti kialakításától, körrajzától, magasságától, alaprajzi- és szerkezeti rendszertől, térelhatároló szerkezeteitől, azok nyílásarányától, a tömör és üvegezett részek hővédelmi értékétől, az esetleges árnyékolás eszközeitől és módjától, a homlokzati (tető) felületek színétől, textúrájától stb., végül épületgépészeti berendezéseitől: fűtő, hűtő szellőztető rendszerétől stb.

**A vizsgálat  
leszűkítése**

Ez esetben az építészettel-építéssel kapcsolatos energiagazdálkodás teljes problémaköréből az építészeti, épületszerkezeti és épületfizikai tervezéssel kapcsolatos kérdések, majd ezekkel összefüggésben az épületek üzemeltetésének, rendeltetésszerű használatának energetikai kérdései vizsgálandók,

mert az értelmes energiagazdálkodás lehetőségét és hatékonyságának feltételeit is éppen az e szempontból helyes építészeti és szerkezeti tervezés teremti meg,

mert emellett az épületek üzemeltetésére fordított energia mennyisége kb. kétszerese az építéssel közvetlenül összefüggőnek, végül

mert az üzemeltetés valóban energiatakarékos megoldását is egyedül az erre törekvő és ehhez értő építészeti, szerkezeti és gépészeti tervezés teheti lehetővé.

**A vizsgálat célja**

Az elemzés célja a szóban forgó területen az ésszerű energiagazdálkodás lehetőségének – ahol lehet példákkal is igazolt – bemutatása, tehát

egyrészt a beruházási politika szolgálata a helyes döntéseket lehetővé tevő alapelvek és alapadatok kimunkálásával,

másrészt a műszaki tervezés és méretezés segítése a mindig sokféle lehetséges megoldás közül — az adott esetben és feltételek mellett — az alkalmas vagy akár a legkedvezőbb kiválasztásában,

mindkét vonatkozásban az egyes szakterületek közötti — már a kezdettől egészen a befejezésig tartó — szoros együttműködés megteremtése, az állandó együttgondolkodás útján, a közös nyelv megtalálásával, a folytonos párbeszéd segítségével és a kölcsönös befolyásolás alapján.

A vizsgálat a (szomszédság fogalmára leszűkített) közeli környezetet, mint az adott klimatikus hatások érvényesülésének módosítóját veszi számításba, magát az épületet pedig, mint egy adott rendeltetésű, építészeti formálású, alaprajzi elrendezésű, szerkezeti megoldású térrendszert, energetikai rendszert, és gazdálkodási egységet értelmezi, kezeli.

**A környezet és az épület fogalmának értelmezése**

E felfogás alapján:

a település, a földrajzi hely *klimatikus jellemzői* alatt azok a statisztikailag kiértékelt adatok értendők,

amelyek megadják a külső térre, azon belül a levegő hőmérsékletére, nedvességtartalmára, a légmozgás jellegére, a napsugárzás intenzitására, energiahozamára vonatkozó szélső értékeket, és e tényezők időbeli alakulását, változását (évi és napi periódusban), valószínűségi jellemzőit és

amelyekből a tervezési és a méretezési alapértékek, kiindulási adatok közvetlen kiadódnak, vagy egyszerű módon megállapíthatók;

az épület *közeli környezete* alatt azok a települési adottságok és körülmények értendők, amelyek a klimatikus jellemzőket — kedvezően vagy kedvezőtlenül, kicsit vagy nagyon, így vagy úgy, de mindenképpen — befolyásolják, módosítják, hiszen e tekintetben az épület védett (pl. ha keskeny utcában van) vagy éppen kiszolgáltatott (pl. ha vízparton, hegytetőn, viharoldalon épül) is lehet, emellett még a fellépő hatások is erősíthetők vagy gyengíthetők (pl. a beépítés módjával, a növénytelepítés mértékével, a környezet jellemző anyagaival, azok színével, textúrájával stb.);

az épület *rendeltetése* alatt ez esetben azok a — használat jellegéből és módjából adódó — igények értendők,

amelyek alapján az egyes terek, tércsoportok ún. belső térklimáját (mikroklímáját) meghatározzák (pl. az azokban folyó emberi tevékenység, gyártási eljárás, raktározandó anyag, tárolási módszer

alapján), illetve azok a tényezők (pl. a munka jellege, a belső térben termelődő hő, az ott keletkező vízgőz), amelyek e mikroklímát még érdemben befolyásolják, hiszen e tekintetben egészen más pl. a lakóház, az iskola, a kórház, de más a meleg, a nedves, a hideg üzem, ismét más a durva és a tárolásra érzékeny anyagok raktára stb.;

az épület komplexen értelmezett *építészeti jellemzői* alatt ez esetben azok a — a tömeg formálásából, az alaprajz szervezéséből, a térelhatárolás és téroosztás módjából, a beépített szerkezetek anyagából, tömegéből és tömegeloszlásából, továbbá a térméretekből és a térkapcsolásokból, a térelrendezésből, -csoportosulásból és -halmozódásból már eleve nagyrészt kiadódó — jellemzők értendők,

amelyek a belső térklímát (a mikroklímát) és az egész épület hőtechnikai, energetikai viselkedését hatékonyan befolyásolják, és

amelyektől a légállapot jellemzők értéke, egyenletes vagy egyenetlen térbeli eloszlása, nyugalmi állapota vagy éppen változása függ, hiszen e tekintetben egészen más a térsejthalmaznak tekinthető épület (pl. a lakóház, a szálloda) és a nagyterem építmény (pl. az ipari csarnok, a sportcsarnok), ismét más a hőtechnikai értelemben nehéz (pl. a nagy tömegű, súlyú) és könnyű (pl. a kis tömegű, súlyú) térelhatároló és téroosztó szerkezetekkel készült épület.

Az elmondottakból nyilvánvalóan következik, hogy az *építészeti elképzelés* már az épületről gondolkodás és képalkotás legkezdetén szerkezeti feltételezéseket és vele egyidejűleg — akarva, akaratlan, de elválaszthatatlanul — már *épületfizikai következményeket és energetikai vonzatokat is tartalmaz*, tehát e tekintetben a helyes és a helytelen, az okos és az oktalan, a takarékos és a pazarló megoldás lehetőségét egyaránt magában hordozza, hiszen ebben — a döntés szempontjából legnagyobb szabadságfokú — időszakban dől el a környezethez kapcsolódás és a beépítés módja, alakul ki a tömeg, az alaprajzi elrendezés, a homlokzat kialakítása, a szerkezeti- és a térrendszer.

Ez a magyarázata annak, hogy az építésznek már munkája megindulásakor

jól tudva azt, hogy az építészeti alkotás: az épület nagyon sokrétű és összetett folyamat terméke, hiszen társadalmi feladatot teljesít, eszmei mondanivalót hordoz, művészi szándékot tükröz, de

megértve azt is, hogy az épület egy meghatározott fizikai tartalmú sajátos energetikai rendszer is,

nagy figyelmet kell fordítania az épületnek mindazokra az építé-

szeti és szerkezeti meghatározóira, jellemzőire, amelyek a rendeltetésszerű használatához és üzemeltetéshez szükséges energia mennyiségét lényegesen befolyásolják.

E könyv – az építész e feladatának megkönnyítésére – be akarja mutatni, hogy ezen az energetikai rendszeren belüli állapotok milyen fizikai mennyiségekkel jellemezhetők, fel akarja tárni, hogy az e rendszerben lejátszódó folyamatok milyen fizikai törvények alapján határozhatók meg, meg akarja mutatni, hogy az energetikai szempontból helyes és szükséges döntések hogyan hatnak vissza az építészeti, szerkezeti megoldásra, végül meg akarja értetni, hogy az építészeti és szerkezeti tervezés folyamatában (annak különböző szakaszaiban) milyen szemlélettel és módszerrel lehet az energetikai oldalról nézve is kedvező megoldást megközelíteni, de még inkább elérni.

Ezért az első lépésben(1.):

kezdetként (1.1) az épületnek – mint energetikai rendszernek leírásához szükséges fontosabb fizikai mennyiségeket és törvényeket kell áttekinteni;

ezt követően (1.2) az épület rendeltetésszerű használatának (tehát a kitűzött feladat megvalósításának) feltételei közül a fizikai-hő-technikai mennyiségekkel kifejezhetőket kell bemutatni;

majd (1.3) az épületet körülvevő – természetes és mesterséges – környezetnek az épület energiaforgalmára kiható, fizikai-hőtechnikai mennyiségekkel leírható jellemzőit (a meglevő, de befolyásolható adottságokat) kell ismertetni;

a második lépésben (2.): az építészeti, épületszerkezeti, épületfizikai kérdések egész sorát kell elemezni, vagyis az általános érvényű fizikai törvények, a cél és a környezeti feltételek fizikai tartalmát kell megfogalmazni, tehát az épületet a környezettől elválasztó különböző kialakítású – sugárzást átengedő (üvegezett), sugárzást át nem engedő (tömör), szellőztetett, elárasztott stb. – határoló szerkezeteket (2.1 → 2.4) és az azokon áthaladó áramokat kell tárgyalni;

a harmadik lépésben (3.): a határoló szerkezetek által körülvelt helyiségeket, tereket, térrészeket, az ezeket érő hatásokat, az ezekben kialakuló hőtechnikai feltételeket, a helyiségek jellemzői által meghatározott energiamérlegnek az összetevőit kell elemezni (3.1 → 3.3);

a negyedik lépésben (4.): az egymás mellé és fölé sorolt helyiségek halmazából épületté szervezett térrendszert kell vizsgálni, azt a térrendszert, amely ugyanakkor egy sajátos és bonyolult energeti-



kai rendszer is, amely végső soron az energetikai forgalom meghatározója, a lényeges és kevésbé lényeges jelenségek el- és kiválasztásának alapja, de amely egyszersmind az építészeti gondolkodás, kifejezés célja, tárgya és eszköze is (4.1 → 4.2).

Mindezeknek az elemzéseknek és vizsgálatoknak során azonban nem lehet és *nem is szabad megfelelni arról, hogy nemcsak az építési törekvések, elképzelések, építészeti és épületszerkezeti megoldások befolyásolják az épület energiaszorgalmát, hanem az épülettel kapcsolatos energetikai megfontolásokból és épületfizikai törvényekből adódó követelmények is szükségsszerűen módosítják az építészeti, épületszerkezeti kialakítást.*

Ezért tartja e könyv alapvető feladatának e sokrétű és több lépcsős kölcsönhatás példázását és igazolását.

# 1. Alapfogalmak

## 1.1 A rendszer

Az *épület* (minden beépített anyagával, szerkezetével, a rendeltetése megszabta valamennyi felszerelésével, berendezésével és emberi tevékenységével együtt) az *anyag- és energiaforgalom szempontjából egységes rendszer*, tehát a (nagy) térből kiszakított olyan térrész, amely az őt, vagyis a rendszert érő *hatásokra* meghatározott módon „válaszol”.

E térrészt — épületszerkezetek alkotta — valós felületek határolják, amelyek azonban — nem lévén tökéletes szigetelők — lehetővé teszik a rendszer (épület) és a környezet (= közeli környezet) közötti *kölcsönhatások* érvényesülését. Az épület rendeltetészerű használhatóságának, kívánt célra és módon alkalmasságának egyik szükséges feltétele éppen az, hogy a környezet hatásai a rendszerből csak bizonyos — méghozzá megszabott korlátok közötti — választ válthatnak ki. E korlátok egyaránt vonatkoznak azokra a fizikai mennyiségekre, amelyek a rendszerben uralkodó állapotokat jellemzik, és azokra a mennyiségekre, amelyek a rendszer és a környezet között cserélődnek.

A rendszeren belüli, továbbá a rendszer és a környezet között lejátszódó folyamatokban szereplő mennyiségek két csoportba sorolhatók:

**A fizikai  
mennyiségek**

*az extenzív és az intenzív*

mennyiségek csoportjába. Az előzőekhez tartoznak azok a mennyiségek, amelyek cserélődhetnek, áramolhatnak, az utóbbiakhoz pedig azok, amelyeknek egyenlőtlen térbeli eloszlása ezeket a folyamatokat előidézhetheti.

Az *extenzív* mennyiségek *mértékjellegű* mennyiségek: az egész rendszerre vagy annak meghatározott részeire vonatkoznak és egy adott pontra nem értelmezhetők. Értékük *függ* a rendszer térfogatától (= „nagyságától”). E mennyiségek összegezhethetők is. Egy extenzív mennyiség egy rendszeren belül keletkezhet (vagy eltűnhet), vagyis egy extenzív mennyiségnek egy rendszeren (= térré-

szen) belül forrása (vagy nyelője) lehet. Ilyen tulajdonságú mennyiségek pl. a tömeg, az energia, a térfogat.

Az *intenzív* mennyiségek *lokális* jellemzők, azaz a rendszer bármely pontjában értelmezhetők. Értékük a rendszer térfogatától *független*, nem összegezhetők (a rendszer részekre darabolásával értékük nem változik). Egyenlőtlen térbeli eloszlásuk esetén *kiegyenlítődsre törekszenek*, s e folyamat során extenzív mennyiségek (ún. vezetési) áramlását (transzportját) okozzák. Ilyen tulajdonságúak a „feszültségjellegű” mennyiségek, pl. a hőmérséklet, a nyomás.

Az extenzív és az intenzív mennyiségek változása között egyértelmű kapcsolat áll fenn, amely lehetővé teszi a rendszer és a környezet közötti kölcsönhatások jellemzését.

**Az áram, a forrás-  
erősség,  
a mérlegegyenlet**

A rendszer és a környezet között lejátszódó folyamat legegyszerűbb esete úgy írható le, hogy egy bizonyos intenzív mennyiség egyenlőtlen térbeli eloszlása következtében a hozzá tartozó extenzív mennyiségből annak bizonyos része a rendszerből a környezetbe megy át (vagy fordítva). A határoló felületen az időegység alatt áthaladó mennyiség az *áram*. Ha a rendszeren belül egy extenzív mennyiségnek forrása (vagy nyelője) működik, akkor abból bizonyos mennyiség keletkezik (vagy eltűnik). Az időegység alatt keletkező (vagy eltűnő) mennyiség az ún. *forráserősség*. A rendszerben a vizsgált extenzív mennyiség időegység alatti megváltozása a forráserősség és az áram különbségével egyenlő. Ez az állítás a vizsgált extenzív mennyiség (adott rendszerre vonatkozó) *mérlegegyenletének* (egyszerű szöveges) megfogalmazása.

A feladat ilyen általános megközelítése — bár nehézkesnek tűnik — mégis a tárgyalás egyszerűsítését, a megoldás megkönnyítését szolgálja. A mérlegegyenletek ugyanis a bennük szereplő mennyiségek konkrét fizikai tartalmától függetlenül kezelhetők, megoldási módszereik általános érvényűek. E körülmény az elvi alapok tisztánlátása, a különböző folyamatokat leíró egyenlettípusok *hasonlóságának* bemutatása szempontjából is fontos, még nagyobb azonban gyakorlati jelentősége, mert a mérlegegyenletek megoldására olyan általános számítási módszerek, számítógépes algoritmusok ismeretesek, amelyek a különböző konkrét fizikai tartalmú (hő, nedvesség) transzportfolyamatokra egyaránt alkalmazhatók.

Megjegyzés: Vannak olyan fizikai jelenségek is, amikor egy extenzív mennyiség áramlását több intenzív mennyiség egyenlőtlen térbeli eloszlása váltja ki. Ez az ún. keresztthatás. Ez bizonyos esetekben olyan jelentős, hogy a mérlegegyenletek felírásakor a gyakorlati számításoknál is figyelembe kell venni (pl. a hőmérséklet és a nedvességtartalmat a nedvességvándorlásnál).

Az intenzív mennyiségek egyenlőtlen térbeli eloszlásán kívül olyan módon is létrejöhet áram, hogy valamely test vagy anyag (makroszkopikus értelemben) mozgást végez és az extenzív mennyiségeket „magával viszi”. Ez az ún. *konvektív áram*. Ilyen eset pl. az, amikor az épületből kiáramló levegő „hőt”, „vízgőzt” stb. visz magával a környezetbe.

E rövid áttekintés alapján is belátható, hogy a mérlegegyenletek segítségével a rendszer határain átfolyó áramok, a rendszerben működő források és a rendszer állapotát jellemző intenzív mennyiségek változása egyaránt nyomon követhető. Az ilyen típusú feladatok megoldásához először is bizonyos feltételek rögzítése szükséges. Ezek közül a legfontosabb annak a tisztázása, hogy az adott esetben mi a vizsgált rendszer, kiindulva abból, hogy a rendszer a térnek egy lehatárolt és adott viselkedésű (magatartású) része. Eddig az épület volt a vizsgált rendszer, beleértve nemcsak a beépített anyagokat, szerkezeteket, hanem a funkciójához tartozó valamennyi felszerelést és berendezést is. Nyilvánvaló azonban, hogy a tér más része is képezheti a vizsgálat tárgyát, így pl. kézenfekvő, hogy maga a (szintén valós felületekkel határolt) helyiség, a fűtőberendezés, akár egy fűtőtest vagy egy határoló szerkezet legyen a vizsgált rendszer. (Ezek tulajdonképpen az épület *részrendszerei*.) Egy-egy ilyen részrendszer viselkedésének leírása természetesen viszonylag egyszerűbb feladat, ezért gyakran képzeletbeli határoló felületekkel is képeznek további, az elemzést megkönnyítő részrendszereket. Az épületben lejátszódó jelenségek azonban nem állíthatók elő az egyes részrendszerekben lejátszódó jelenségek egyszerű összevetésével: *a részek összekapcsolása minőségileg más egészt eredményez*. Ezért az egyes rendszerek elemzése és az eredmények szintézisbe foglalása előtt meg kell röviden vizsgálni az épület egészét, hogy a – gyakran különböző szaktudományok területéhez tartozó – részrendszerek egysége, kölcsönhatása bemutatható legyen.

#### A mérlegegyenletek megoldása

A mérlegegyenletek megoldásához rögzítenünk kell az épületet és a környezetet elválasztó határoló felületekre (= a rendszer *peremére*) vonatkozó feltételeket: meg kell adni az egyes ottani fizikai mennyiségeket adatszerűen vagy függvény formájában.

#### A peremfeltételek

Bár a peremfeltételek első pillanatban eleve meghatározottnak tűnnek, valójában a választás és a befolyásolás lehetőségei mégis meglehetősen tágak.

A peremre megadandó adatok nagyrésztben (pl. az időjárással összefüggő jellemzők) véletlenszerűen változnak. A körültekintő statisztikai elemzésen alapuló adatmegadás a folyamatok valóságghű

leírásának szükséges feltétele, és jelentősen befolyásolja a rendszer határoló felületén áthaladó áramok méretezési értékeit.

**A környezet** Az adatok egy része a környezet alakításának függvénye. A környezet fogalmának tartalma szinte korlátlanul bővíthető: ide tartoznak egyes időjárási, földrajzi, csillagászati elemek, az épített környezet, tágabb értelmezésben az egész város, az egész táj, az energiatranszformáció befolyásoló valamennyi folyamattal, tevékenységgel egyetemben. Az ilyen bővebb értelmezés a meteorológiai, városépítési, táj (regionális) tervezési kutatás tárgya. A jelen — építészeti területű — vizsgálat során az időjárási, csillagászati elemek, valamint a horizonton mutatkozó (a vizsgált épületet határoló felületekről látható) természetes és mesterséges alakulatok együttese tekintendő környezetnek. E szűkebb értelmezésű környezetben is számos tudatosan alakítható tényező van, amelyek révén az épület határolófelületein átfolyó áramok célszerűen befolyásolhatók.

A mérlegegyenletek megoldásához rögzíteni kell még a rendszeren belüli fizikai jellemzők kapcsolatait, továbbá a vizsgált folyamat kezdetén fennálló értékeket (a kezdeti feltételeket) is meg kell adni.

**A tervezés célja** A gyakorlati (tervezési) feladatok megoldása lényegében egy olyan rendszer létrehozását jelenti, amely az őt érő hatásokra az előre megadott célnak megfelelően válaszol, továbbmenve és pontosabban: az ilyen viselkedésű rendszerek közül az optimális kiválasztása.

Nyilvánvaló azonban, hogy az alkalmas, illetve az optimális rendszer tulajdonságai, jellemzői a kitűzött célnak is függvényei. A célt az épület rendeltetése alapján — pl. a benne zajló technológiai folyamatok követelményeiből, a benne tartózkodó emberek kellemes közérzetének feltételeiből kiindulva — kell megfogalmazni. Miután az igények kevésbé szabatos módon meghatározható szubjektív elemeket is tartalmazhatnak, a megoldás műszaki és gazdasági jellemzői már a cél gondos, mértéktartó megfogalmazásával is jelentősen befolyásolhatók.

A következők bemutatják a mérlegegyenletek néhány olyan változatát, amelyekkel a vizsgált konkrét feladatok zöme megoldható.

**A stacioner áram** A korábbi szöveges megfogalmazásnak megfelelően a mérlegegyenlet általános alakja egy  $E$  extenzív mennyiségre (olyan rendszer esetében, amely nem végez mozgást)

$$\frac{dE}{d\tau} = Q_E - J_E, \quad (1.1)$$

ahol

$Q_E$  a vizsgált extenzív mennyiség forrása a rendszerben,  
 $J_E$  a vizsgált extenzív mennyiség árama a rendszer és a környezet között,  
 $\tau$  az idő.

Ha  $E$  (vagy a rá jellemző intenzív mennyiség) időben nem változik, az egyenlet bal oldala zérus; a rendszer állandósult (stacionárius) állapotban van. Ez az állapot vagy úgy jön létre, hogy

a rendszerben forrás (nyelő) nem működik és  $J_E = 0$ , azaz a rendszerbe befolyó és az onnan kifolyó áramok egymással egyenlők, vagy

a rendszerben működő forrás erőssége megegyezik a befolyó és a kifolyó áramok különbségével.

A legegyszerűbb esetben áram csak egy  $x$  irányban folyik,

$$J_E = -v \frac{di}{dx} A, \quad (1.2)$$

ahol

$A$  a felület,

$i$  a vizsgált extenzív mennyiséghez tartozó intenzív mennyiség,

$v$  a vezetési tényező.

Időben állandósult áramlás alakul ki, ha az azt létrehozó  $i$  intenzív mennyiség egyenlőtlen térbeli eloszlása állandósult (a rendszer tulajdonságait időben állandónak feltételezve). Számos olyan jelenség közelítő leírására, amely valójában időben változik, gyakran szintén az (1.2) összefüggést használják. Az, hogy e közelítés mennyire pontos, az nemcsak az  $i$  változásának, hanem a rendszer tulajdonságainak is függvénye.

Az (1.2) egyenletnek többféle konkrét tartalma lehet, éspedig

hővezetés ( $E$  a hőmennyiség,  $i$  a hőmérséklet),

párovezetés ( $E$  a vízgőzmennyiség,  $i$  a vízgőz parciális nyomása),

nedvességvezetés ( $E$  a vízmennyiség,  $i$  a nedvességtartalom),

légáram (a lamináris áramlás esete porózus anyagokban,  $E$  a légmennyiség,  $i$  a légnyomás).

A  $v$  vezetési tényezőt gyakran állandónak tekintik. Valójában  $v = f(i)$ , azaz a vezetési tényező az intenzív jellemző függvénye, de ha utóbbi a folyamat során szűk intervallumban változik, a  $v$  változása elhanyagolható.

Bizonyos esetekben  $v = f(i_1, i_2, \dots)$ , azaz a vezetési tényező több intenzív jellemző függvénye („kereszthatás”). Például a párovezeti tényező a hőmérséklettől és a nedvességtartalomtól is függ.

Az (1.2) összefüggéshez hasonló, de nem lineáris összefüggések írják le a réseken áthaladó levegő és általában a csővezetékben mozgó közegek áramát.

A  $v$  vezetési tényező helyett gyakran annak reciproka szerepel, az  $R_v$  vezetési ellenállás.

Az átadási  
tényező

Ha a folyamat nem a szilárd anyagon vagy a nyugalomban levő folyadékban belül, hanem oly módon játszódik le, hogy az áram valamilyen felülettel érintkező folyadékba vagy gázba lép át, úgy a folyamat a felület és a vele érintkező közeg között a

$$J_E = \alpha(i_f - i_k) A \quad (1.3)$$

alakban fejezhető ki, ahol az új jelölések:

$i_f$  az intenzív jellemző értéke a felületen,  
 $i_k$  az intenzív jellemző értéke a közegben,  
 $A$  a felület,  
 $\alpha$  az átadási tényező.

Általában  $\alpha = f(i_f, i_k, \dots)$ , azaz az átadási tényező az intenzív jellemzők függvénye. A felülettel határos közeg azonban ezektől független kényszer hatására is végezhet – konvektív hőtranszporttal járó – mozgást, amely az átadási viszonyokat lényegesen befolyásolhatja. A gyakorlatban az átadási tényezőt gyakran egy állandó értékkel közelítik.

Az (1.3) összefüggés tartalma lehet

hőátadás ( $E$  a hőmennyiség,  $i$  a hőmérséklet),

páraátadás ( $E$  a vízgőzmennyiség,  $i$  a parciális nyomás).

Az (1.2) és (1.3) egyenletek analógiája alapján ez esetben is szerepelhet  $\alpha$  reciproka, az  $R_\alpha$  átadási ellenállás.

Az átbocsátási  
tényező

Ha az áram az „1” közezből a „2” közegbe haladt egy falon át, úgy a teljes folyamatra az átadási ellenállások és a vezetési ellenállás összegezésével nyert

$$R_b = R_{\alpha,1} + R_v + R_{\alpha,2} \quad (1.4)$$

ún. átbocsátási ellenállás, vagy ennek reciproka, a  $k$  ún. átbocsátási tényező jellemző.

Ezzel

$$J_E = k(i_1 - i_2) A, \quad (1.5)$$

ahol az új jelölések:

$i_1$  az intenzív jellemző értéke az „1” közegben,  
 $i_2$  az intenzív jellemző értéke a „2” közegben.

A korábbiakhoz hasonlóan a konkrét tartalom szerint hőátbocsátásról, páraátbocsátásról lehet szó.

Az (1.2)–(1.5) összefüggések egyszerűsége, könnyű kezelhetősége miatt a gyakorlatban sokszor ilyen alakú egyenletekkel írnak le olyan folyamatokat is, amelyek még közelítéssel sem tekinthetők stacionernek (állandósultnak) és tartalmilag is túllépnek a jelenségek eddig tárgyalt körén.

Jellemző erre a

$$J_Q = k(t_{\text{ekv}} - t_i) A \quad (1.6)$$

kifejezés, amely a külső fal- és födémszerkezeteken áthaladó hőáram számítására szolgál. Itt  $t_{\text{ekv}}$  egy olyan fiktív szám, amely a hőmérséklet értékén kívül a külső felület sugárzásos hőcseréjére, a szerkezet tömegére, a tájolásra, az időpontra stb. vonatkozó adatokat is tükröz. Természetesen ezekben az esetekben a jelenségek nem követik a (1.6) összefüggést; a tipikus eseteket tükröző fiktív adatok előzetes feldolgozása és rendezése azonban a felhasználóknak technikai segítséget jelent, és mindaddig nem is okoz zavart, amíg a felhasználó az ilyen eljárások, adatok alkalmazási lehetőségeivel és korlátaival egyaránt tisztában van.

Az egyirányú áramlás párhuzamos síkokkal határolt, két-két sík között homogén anyagból készült határoló szerkezeteken át alakul ki. Gyakran adódnak azonban olyan geometriai formájú, vagy anyagában inhomogén szerkezetek, esetleg egyes vezetőelemekből kialakított hálózatok, amelyekben két-, illetve háromdimenziós áramlás játszódik le. A megoldás elve elegendő számú részrendszer képzése, mégpedig részben a valós határok felhasználásával, részben fiktív elhatárolások bevezetésével. Ezek mindegyikére külön-külön felírható az a mérlegegyenlet, amely az adott részrendszer és a szomszédos részrendszerek (vagy a környezet) közötti egyensúlyt fejezi ki. Ezek az egyenletek a korábban ismertetett összefüggések felhasználásával a befolyó és a távozó áramokat írják le. Konkrét tartalmuk többféle lehet (a hő, a vízgőz, a nedvesség, a levegő transzportja). Egyenlet helyett így egy egyenletrendszer keletkezik, amelyben a szereplő egyenletek számát a részrendszerek száma határozza meg.

A több dimenziós áramok

A részrendszerek méretének minden határon túl csökkentése, azaz számuknak minden határon túli növelése a folyamatot leíró differenciálegyenlethez vezet. Miután az analitikus megoldás lehető-



ségei korlátozottak, a részrendszerek méretét rendszerint véges értékűre választják, természetesen a pontossági igényeknek és a rendelkezésre álló számítástechnikai lehetőségeknek megfelelően.

Az így kapott differenciaegyenletek megoldására számos hatékony numerikus, számítógépes eljárás ismeretes. Eredményesen alkalmazhatók a folyamathálózati algoritmusok, amelyeket eredetileg szállítási feladatok megoldására dolgoztak ki.

A vezetési egyenletek analógiája lehetővé teszi, hogy a vizsgált probléma „hasonmását” könnyen mérhető és reprodukálható, más konkrét tartalmú (hidraulikus, elektromos) rendszerben, analóg modellben játsszák le, amelyben a jellemző mennyiségek mérésével meghatározhatók.

#### Az instacioner áramok

Az időben változó (instacioner) folyamatok esetében a befolyó és távozó áramok, illetve az áram és a forrás általában nincsenek egyensúlyban, így az (1.1) összefüggés szerint a rendszerben valamely extenzív mennyiség  $s$  ezzel a rendszer állapotát jellemző valamely intenzív mennyiség is az idő függvényében változik. E változások időbeli lefolyása, menetrendje elvileg igen sokféle lehet, de a gyakorlatban a feladatok néhány jellegzetes típus köré csoportosíthatók. A legfontosabbak ezek közül: a periodikus, az ugrásfüggvény és a lineáris jellegű változások, valamint ezek összetételei (szuperpozíciói).

A periodikus változások lényege az — elvileg számtalanszor — ismétlődő jelenségek egymásutánisága. Így — bár a folyamat időben változik — kezdeti feltétel nincs, a jelenség kvázistacioner. E periodikus hatásokra a rendszer válasza is periodikus.

A valóságban az egymást követő, teljesen azonos periódusok száma véges. A tapasztalat szerint azonban elegendő számú (és  $e$  szám elég kicsiny) periódus után a rendszer viselkedése gyakorlatilag periodikus (a kezdeti feltételek hatása már elhal).

A periodikus folyamatok számításának alapja az, hogy a rendszerbe befolyó és az onnan távozó áramok (vagy a forráserősség és az áramok) *egy periódus időtartamára vonatkozó összege zérus*. Ezen az alapon a rendszer állapotára jellemző intenzív mennyiségek egy periódusra vonatkozó átlaga egyszerűen — az (1.2)–(1.6) összefüggésekből kiindulva — határozható meg.

Ha az áramok az idő függvényében középtértékük körül „szabályos” — pl. szinusz — függvény szerint változnak, viszonylag könnyen található analitikus módszerekkel összefüggés az áram amplitúdója és a rendszer állapotát jellemző intenzív mennyiség lengésének amplitúdója között, továbbá számítható a hatás és a válasz

közötti időbeli eltolódás is. E kapcsolatok jellemzésére számos fogalmat (*hőelnyelés, hőstabilitás, csillapítás*) vezettek be. Az előzőekben ismertetett összefüggések matematikailag egyszerű eszközökkel tovább vihetők más, kevésbé „szabályos”, de periodikus függvény szerint változó jelenségekre is.

Ugyancsak könnyen található analitikus megoldás azokra az esetekre, amikor a változás *ugrásfüggvény*, vagy lineáris. A válasz a rendszer állapotát jellemző intenzív mennyiség exponenciális változása, melynek sebességét az *időállandó* fejezi ki.

Lényegében bármely tetszőleges időbeli változás az eddig áttekinített típusok szuperpozíciójával előállítható. A legbonyolultabb „menetrendű”, két- vagy háromdimenziós jelenségek is jól megközelíthetők: a rendszert – valós vagy képzelt határoló felületekkel – elegendően sok – kicsiny – részrendszerre darabolva, és a valós időbeli változást elegendően kicsiny ugrásfüggvényekkel közelítve, mindegyik részrendszer mérlegegyenlete felírható. Az így kapott egyenletrendszer megoldása természetesen jelentős számítástechnikai apparátust, számítógépet igényel. A korábban említettek szerint az ilyen típusú feladatok megoldásának célszerű módja az analóg modellezés is.

## 1.2 A mikroklíma

A mikroklíma mindazoknak a tér aránylag kicsiny részére vonatkozó és egymással kölcsönhatásban is levő elemeknek, tényezőknek összessége, amelyek az e térben (térrészen, helyiségben) levő élettelen tárgyak és élő szervezetek hő- és anyagcsere-folyamatait befolyásolják. Az élő szervezet hőérzetét (komfortérzetét) a szervezet és a környezet közötti hő- és anyagtranszport határozza meg.

### A mikroklíma

Az építészeti, épületfizikai és épületgépészeti tárgyalások során a vizsgált tér vagy térrész alatt rendszerint egy adott és a tér többi részétől tényleges épületszerkezetekkel elválasztott és e szerkezet felületeivel minden irányban és oldalon elhatárolt helyiség értendő. Természetes azonban, hogy a vizsgálat szempontjából a térrész fogalma kiterjeszthető, s így tágabb értelmezésben akár egy utca, egy tér, sőt akár egy egész városrész mikroklímájáról is lehet beszélni, és ezekben az esetekben a térrészt egy vagy több oldalról még képzeletbeli felületek is határolhatják.

A mikroklímát az jellemzi, hogy alkotó elemeinek együttese a vizsgált térrészt körülvevő tér (terek) hasonló jellemzőitől eltérő, sajátos módon alakul és változik. A mikroklímára vonatkozó követelmények megállapítása, a megengedhető tűrési tartományoknak szabatos meghatározása, adott esetben a fellépő igényeknek mér-

téktartó megfogalmazása nagyon fontos, mert a mikroklíma fenn-tartása (a körülvevő tértől eltérő jellemzők kialakítása) a hő- és anyagáramok mérséklését, kiegyenlítését teszi szükségessé. Ez viszont építészeti és épületgépészeti eszközök alkalmazásával, s így nyilvánvalóan mind a két oldalon jelentkező költségekkel jár.

Magától értetődik azonban, hogy egy adott mikroklíma (a környezettel együtt) az épületet határoló szerkezetek műszaki jellemzői egy részének (pl. a nedvességfelvételnek, a lélegzőképességnek) vagy legalábbis azok (pl. a hőszigetelés szükséges) küszöbértékének előírását tételezi fel, hiszen csupán e feltételek teljesítésével érhető el az épület megfelelő minősége, válik egyszerűbbé állagvédelme, könnyebbé karbantartása, ésszerűbbé üzemeltetése, megőrizhetőbbé szépsége.

**A mikroklímára  
vonatkozó  
követelmények**

A mikroklímára vonatkozó követelményeket, feltételeket a térrész (helyiség) rendeltetése szabja meg, hiszen pl.

ha egy helyiség (-csoport) emberek tartózkodására, pihenésére, gyógyulására, szórakozására stb. szolgál, akkor a mikroklímára vonatkozó követelmény nem is lehet más, mint a kellemes (vagy legalábbis az adott igényszinten még elfogadható) hőérzet elérése,

ha a szóban forgó tér valamilyen technológiai berendezés, üzemi folyamat, gyártási eljárás befogadására létesül, akkor a mikroklímára vonatkozó követelmény(ek) egyértelműen és csakis ezek működési, üzemi feltételeiből, előírásaiból vezethető(k) le.

**A mikroklíma és  
a technológia**

A követelmények meghatározása aránylag egyszerű feladat,

ha ún. steril esetekről, azaz egy cél elérésére, egy feladat megoldására rendelt helyiségekről, terekről (pl. hűtőházról, almatárolóról) van szó,

de mindjárt lényegesen bonyolultabbá válik,

ha többféle funkció összegeződésével és eltérő igények együttesével, emellett hosszabb egyidejűségével kell számolni, azaz a technológiai feltételek megteremtése mellett a térben ugyanakkor és huzamos ideig dolgozó emberek hőérzeti igényeit is ki kell elégíteni.

Ez utóbbi esetben a feladat elfogadható megoldása részben a kölcsönös engedmények elvénél, részben pedig a hatás-ellenhatás elvénél alkalmazásával érhető el, ami egyoldalról azt jelenti, hogy a követelmények (részben vagy egészben) az eltűrhetőség, illetve a káros következménymentesség határáig enyhíthetők, másoldalról azt feltételezi, hogy a mikroklímát alkotó elemek közötti összefüggések felhasználásával az egyes technológiai szempontból fon-

tos tényezőknek az emberi hőérzetre gyakorolt kedvezőtlen hatását más, technológiai oldalról nézve kevésbé lényeges tényezőknek ellentétes hatását kiváltó módosításával a kívánt mértékig ellensúlyozni vagy közömbösíteni lehet.

A korszerű épületgépészeti berendezések emellett megadják a lehetőségét egy téren (helyiségen) belül – a technológiai, a hőérzeti igényekhez igazodó – egymástól eltérő mikroklímájú térrészek kialakításának is.

A mikroklíma tekintetében különleges feladat az állattartási épületekre vonatkozó – és ugyancsak a hőérzettől függő – követelmények megállapítása. Ebben a sajátos esetben ugyanis a hőérzet (a hús-, a tej-, a tojáshozamban, az állatszorulatban megmutató) takarmányhasznosítás révén számszerűsíthető, s ily módon jól értékelhető és megbízható tényezőjévé lehet az épületre vonatkozó (az építészeti, a technológiai beruházás, és az üzemeltetés költségeit is magába foglaló) komplex gazdaságossági számításnak.

Az ún. „steril” technológiai folyamatokat kiszolgáló helyiségek mikroklímája a technológiai folyamat szerves része. Egyes esetekben még számszerű összefüggés is található a termelés valamilyen jellemzője (pl. a selejtarány) és a mikroklímát meghatározó adatok között, ami viszont a gazdaságossági mérlegelés alapjául szolgálhat.

A hőérzet és a gazdasági eredmény vagy a „termelési minőség” közötti összefüggés (megfelelő adatok) hiányában a szabatos optimalizálási eljárás elvégzésére ma még nincs lehetőség.

A kellemes hőérzeti állapot feltétele az, hogy az emberi test biológiai hőtermelése az általánosan elfogadott (egészségre nem káros) test- és bőrfelületi hőmérséklet mellett jusson ki a környezetbe.

A mikroklíma és az ember

Ennek a hőátzármaztatási folyamatnak négy legfontosabb tényezője:

- a száraz hőleadás a környező levegőbe,
- a sugárzásos hőleadás,
- a légzés útján történő hőleadás, végül
- az elpárolgotatás útján bekövetkező hőleadás.

A biológiai hőtermelés a fizikában szokásos mértékegységekkel is megadható, de e célra újabban egy viszonylagos mérőszám, az ún. „met” használatos, amelynek viszonyítási alapja az irodai munkát végző ember átlagos hőtermelése.

A hőtermelés a tevékenység, a munka jellegétől, az ahhoz szükséges erőfeszítéstől függ, és értéke 0,7~7 met között változhat. Értékét a nem, az életkor, a testsúly, az egészségi állapot és még szá-

mos más tényező is befolyásolja. Ezért a hőérzettel kapcsolatos adatok statisztikai jellegűek, s így a hőérzeti méretezés feladata sem lehet más, mint a *várható* (átlagos) igények szokásos mértékű kielégítése (hasonlóan az emberek által általánosan használt berendezések, használati tárgyak, bútorok alakjának és méretének megválasztásához).

A hőérzeti viszonyokat befolyásolja a ruházat hővezetési ellenállása. Ezt — a korábbiakhoz hasonlóan — a szokványos „irodai öltözközés” hővezetési ellenállásához hasonlított relatív mérőszámmal, a *clo*-értékkel fejezik ki.

**A hőleadás** A szokásos esetekben és körülmények között a biológiai hőtermelésnek mintegy 80%-a a száraz hőátzármaztatással, azaz hőátadással és -sugárzással távozik a test felületéről. A hőátadás a levegő hőmérsékletétől és mozgási sebességétől függ. A sugárzásos hőleadást viszont az határozza meg, hogy az emberi test felületei milyen hőmérsékletű, milyen abszorpciós tényezőjű felületeket és még hozzá milyen  $\phi$  térszög alatt „látnak” (1.1., 1.2. ábra). Szokásos körülmények között a kétféle hőátzármaztatással leadott hőáramok közel egyforma nagyok.

Abban az esetben, ha a hőátzármaztatás feltételei megváltoznak, a szervezet azokhoz igazodni igyekszik, pl.

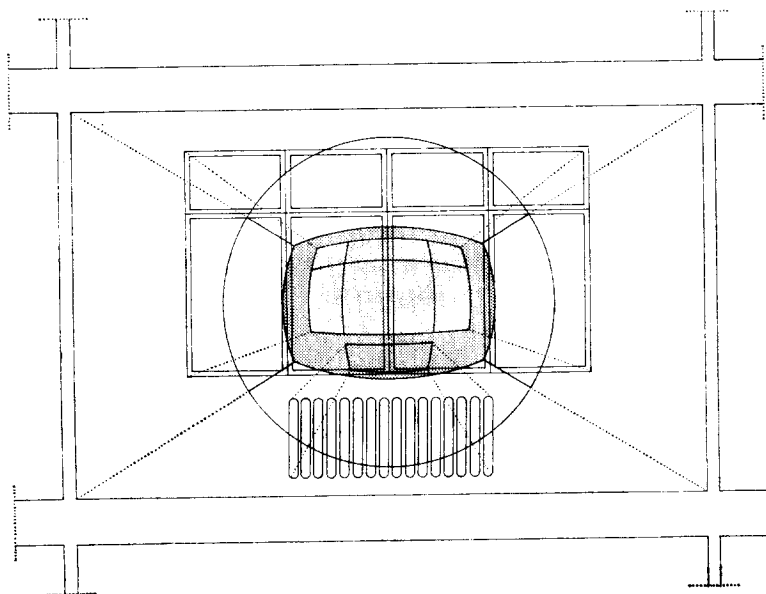
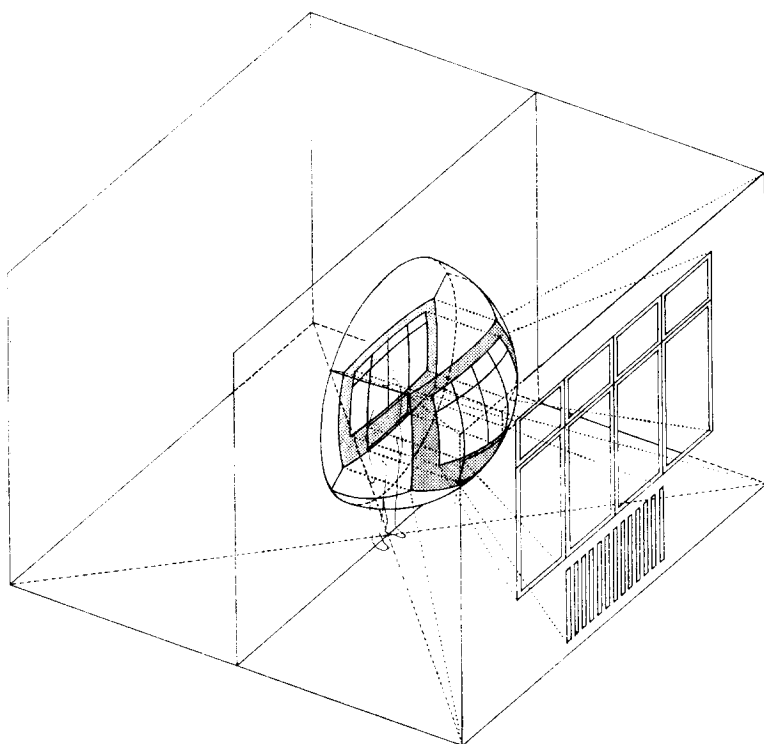
ha a levegő hőmérséklete nő, a szervezet a bőrfelület hőmérsékletének növelésével törekszik annak a hőmérséklet-különbségnek fenntartására, amely mellett a szervezetből a megtermelt hő távoznia tud és fordítva,

ha a levegő hőmérséklete csökken, a szervezet a bőrfelület hőmérsékletének csökkentésével próbálja azt a hőmérséklet-különbséget fenntartani, amely mellett az elfogadható mértékűnél több hő még nem távozik a szervezetből (1.3. ábra).

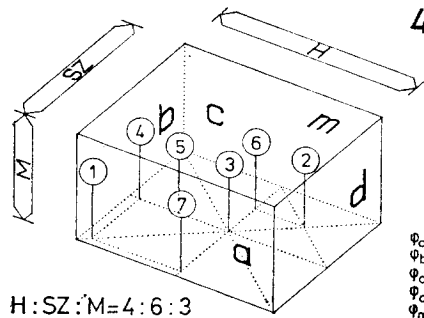
A szervezet a túlmelegedés ellen verejtékezésével, míg a túlságos lehűlés ellen hatékonyabb anyagcserével (több mozgással, nagyobb energiafogyasztással) védekezik. E védekezési módok a körülményektől is függenek, erősen korlátozottak, és csak addig engedhetők meg, míg nem lépik át a kellemes hőérzet határait, ezeken túl ugyanis a káros élettani hatás, az egészségreontás már nem kerülhető el.

**Az ellensúlyozás lehetőségei** Miután az előzőekben vizsgált hőátzármaztatásnak több különböző összetevője van, és azok mindegyike is számos tényezőtől függ, az ellensúlyozásnak is sokféle lehetősége adódik:

Pl. a lég hőmérséklet növekedésének hatása a hőátadás feltételeinek javításával, a légsebesség növelésével ellensúlyozható.

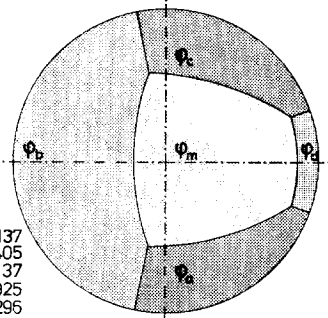


**1.1. ábra.** A besugárzási tényező meghatározása szerkesztéssel



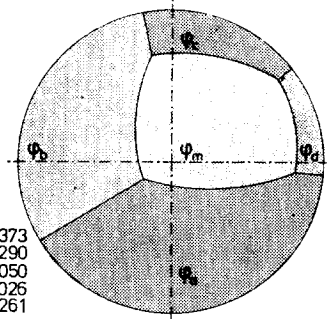
$H:SZ:M=4:6:3$

$\varphi_a=0.137$   
 $\varphi_b=0.405$   
 $\varphi_c=0.137$   
 $\varphi_d=0.025$   
 $\varphi_m=0.296$



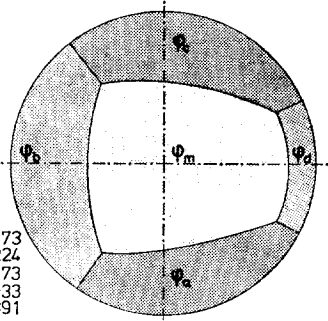
1

$\varphi_a=0.373$   
 $\varphi_b=0.290$   
 $\varphi_c=0.050$   
 $\varphi_d=0.026$   
 $\varphi_m=0.261$



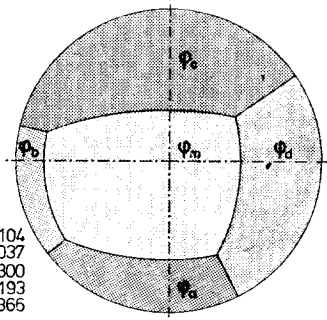
5

$\varphi_a=0.173$   
 $\varphi_b=0.224$   
 $\varphi_c=0.173$   
 $\varphi_d=0.033$   
 $\varphi_m=0.391$



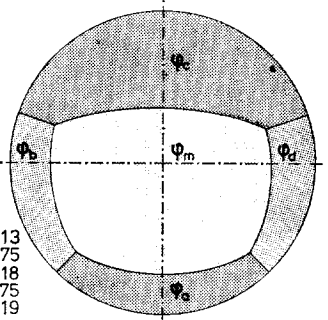
2

$\varphi_a=0.104$   
 $\varphi_b=0.037$   
 $\varphi_c=0.300$   
 $\varphi_d=0.193$   
 $\varphi_m=0.366$



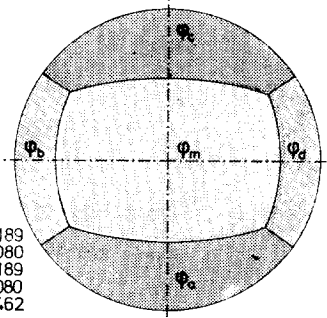
6

$\varphi_a=0.113$   
 $\varphi_b=0.075$   
 $\varphi_c=0.318$   
 $\varphi_d=0.075$   
 $\varphi_m=0.419$



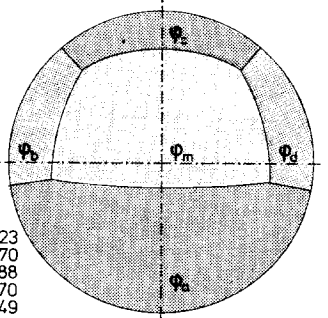
3

$\varphi_a=0.189$   
 $\varphi_b=0.080$   
 $\varphi_c=0.189$   
 $\varphi_d=0.080$   
 $\varphi_m=0.462$



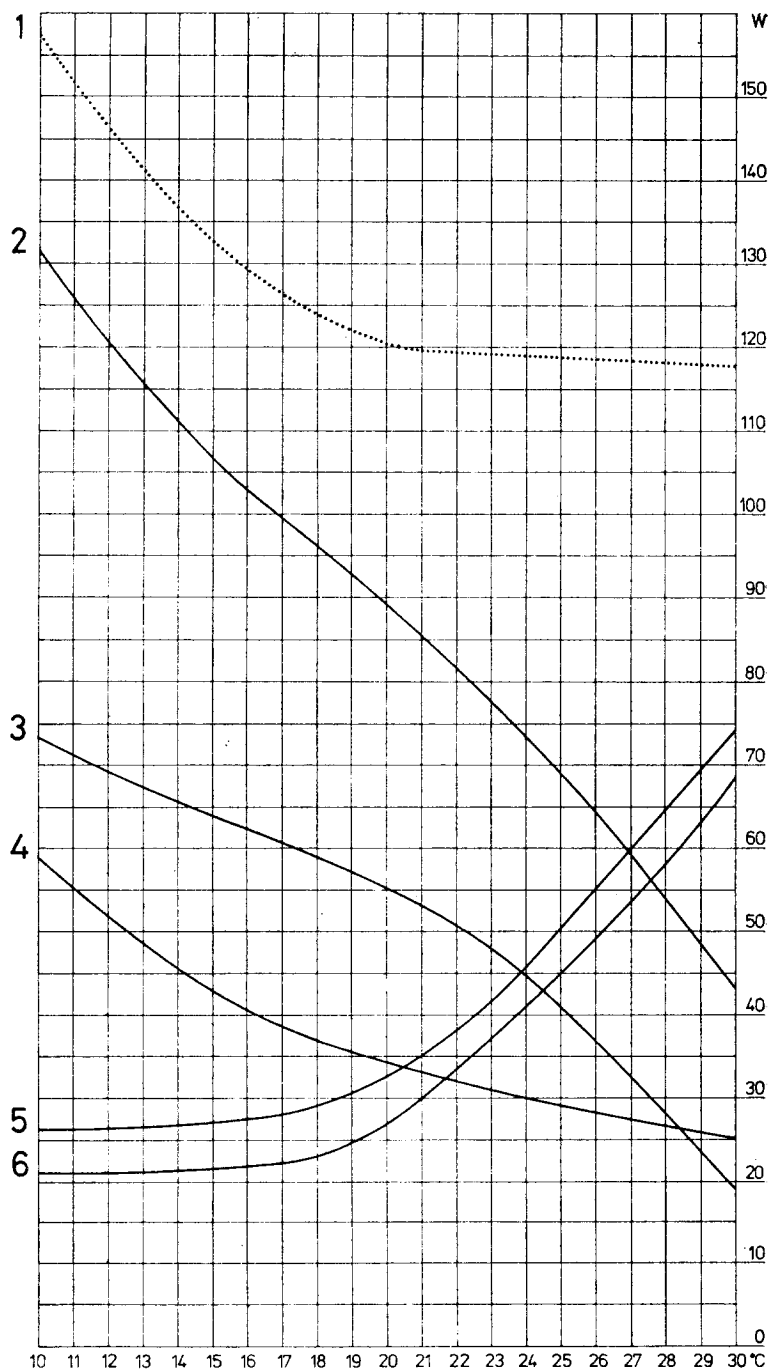
7

$\varphi_a=0.423$   
 $\varphi_b=0.070$   
 $\varphi_c=0.088$   
 $\varphi_d=0.070$   
 $\varphi_m=0.349$



### 1.2. ábra. A besugárzási tényezők

A különböző — külső, belső, fal, mennyezet — felületekre vonatkozó besugárzási tényezők a geometriai viszonyoktól, azaz a helyiségben elfoglalt helyzettől is függnek



**1.3. ábra.** Az emberi szervezet hőleadása

1. az összes hőleadás; 2. a száraz hőleadás; 3. a sugárzásos hőleadás; 4. a konvekciós hőleadás; 5. a nedves hőleadás; 6. a párolgásos hőleadás



Pl. a hőátadás feltételeinek változása a sugárzásos hőcsere feltételeinek ellentétes értelmű változtatásával egyenlíthető ki.

Pl. azokban a helyiségekben, ahol a sugárzással leadott hőáram nagy (a külső vagy alacsony hőmérsékletű határoló szerkezetek nagy száma vagy felülete következtében), e jelenség a levegő hőmérsékletének oly mértékű emelésével (azaz a hőátadás csökkentésével) ellensúlyozható, ami lehetővé teszi, hogy az összes száraz hőleadás mennyisége változatlan maradjon (ehhez viszont nagyobb forraserősségre, azaz nagyobb teljesítményű épületgépészeti berendezésre van szükség).

**Az ellensúlyozás  
korlátai**

A felsorolt lehetőségek azonban korlátozottak:

Pl. a légsebesség fokozása bizonyos határon túl huzatérzetet okoz (a helyi túlhűlésre a nyak és a boka környéke különösen érzékeny).

Pl. a sugárzásos hőcsere okozta egyoldalas hőelvonás, vagy egyes testrészek (elsősorban a fej) túlhevülése vagy túlságos lehűlése indokolt és komoly panaszokat válthat ki.

Pl. huzatérzetet (helyi túlhűlést) okozhat az ablakok üvegfelületeinek téli alacsony belső hőmérséklete.

Az alacsony üvegfelületi hőmérséklet következményeként fellépő panaszok a

$$t_f \geq 14 - \frac{4,4}{\phi} \quad (1.7)$$

egyenlőtlenség teljesülésével szűnnek meg. Ebben az összefüggésben  $t_f$  a felület hőmérséklete [°C],  $\phi$  a fej és a felület közötti besugárzási tényező, amely kielégítő pontossággal állapítható meg a

$$\phi = 1 - 0,8 \frac{x}{\sqrt{A}} \quad (1.8)$$

egyenletből, ahol

$x$  a fej és a felület közötti távolság [m],

$A$  a szóban forgó felület nagysága [m<sup>2</sup>] (szabályos idom esetén oldalhossz, átló).

Az (1.7) és (1.8) összefüggések alapján

adott felületi hőmérséklethez (szerkezethez) kijelölhető az az  $x$  szélességű sáv, az ún. *diszkomfort zóna*, amelyen belül – a túlságosan nagy sugárzási hőleadás miatt – a hőérzet nem megfelelő,

adott rendeltetéshez, helyiség felhasználáshoz, berendezéshez meghatározható – az állandó tartózkodásra szánt hely és a hideg

(ablak) felület közötti távolságból kiindulva — a megengedhető legkisebb felületi hőmérséklet.

A diszkomfort zóna szélessége természetesen a külső hőmérséklet függvényében változik; emellett egyes tényezők (pl. az ablak résein át beáramló hideg levegő) rontják, mások (pl. az üvegezésen át bejutó napsugárzás) javítják a hőérzeti feltételeket (1.4. ábra).

A sugárzásos hőcsere okozta túlhevülés a

$$t_f \leq 19,2 + \frac{8,7}{\phi} \quad (1.9)$$

egyenlőtlenség alapján ítéltethető meg, amelynek teljesülése esetén a túlhevülésre vonatkozó hőérzeti panaszokkal már nem kell számolni [1].

Az emberi szervezet a túlmelegedés ellen — ha a száraz hőátvezetés lehetőségei korlátozottak vagy kimerültek — a párologtatás útján történő hőleadás növelésével védekezik. A bőr felületére kijutó verejték elpárologtatásával ugyan jelentős hőmennyiség kerül a környezetbe, de ezzel egyidejűleg a verejtékezés fokozódása következményeként a hőérzet is romlik. A verejték elpárolgásának mértékét a levegő hőmérséklete, nedvességtartalma és mozgásának sebessége határozza meg.

Az elmondottakból következik, hogy a hőérzet számos tényező függvénye és a léghőmérséklet csak egy ezek közül. Ezért a léghőmérséklet egyedül nem teremtheti meg a kellemes, a jó hőérzet kialakulásának feltételeit, még akkor sem, ha a megfelelő vagy előírt értéket eléri és azon marad is. A szóban forgó feltételek között még a környező felületek (a besugárzási tényező szerint súlyozott) közepes hőmérséklete is lényeges szerepet játszik. Ez a tér minden pontján lényegében azonos értékű, ha a környező felületek hőmérséklete is közel azonos, de más és más az értéke, ha azok hőmérséklete (mint általános) egymástól eltér (pl. a külső falakon, a nyílászárókon és a belső felületeken). Ezért az átlagértékkel leginkább a helyiség középpontjában tartózkodó személy hőérzete jellemezhető, míg, ha abból kilépve valamelyik felülethez közeledik, egyre inkább annak hatása érvényesül. Ennélfogva az egyoldali túlhevülés vagy túlhűlés lehetőségének és mértékének ellenőrzése is szükséges, sőt fontos, különösen, ha a környező felületek egy részének vagy azok egy szakaszának hőmérséklete számottevően eltér a többiekétől, vagy ha a vizsgált felület és a térben tartózkodók közötti besugárzási tényező nagy, ami akkor is létrejöhet, ha a személy a felülethez közel (pl. a helyiség szélére, 1.1. ábra) kerül. Ezekon kívül a hőérzetet még a légsebesség és a levegő nedvességtartalma is komoly mértékben befolyásolja.

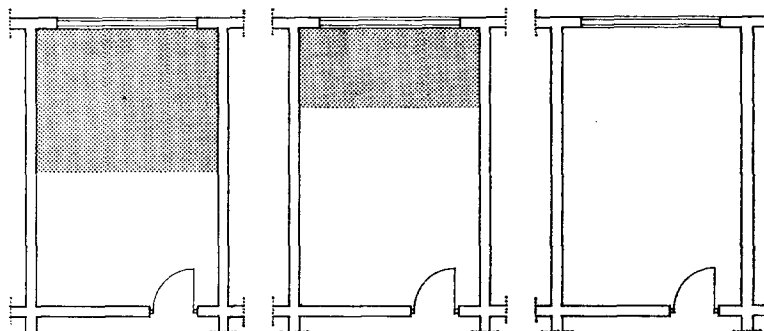
**A hőérzet  
jelzőszámai**

HOMLOKZATI ÜVEGARÁNY: 0.4;  $k_{\text{ablak}}=3.6 \text{ W/m}^2\text{K}$

$t_e = -15^\circ\text{C}$

$t_e = -5^\circ\text{C}$

$t_e = +5^\circ\text{C}$

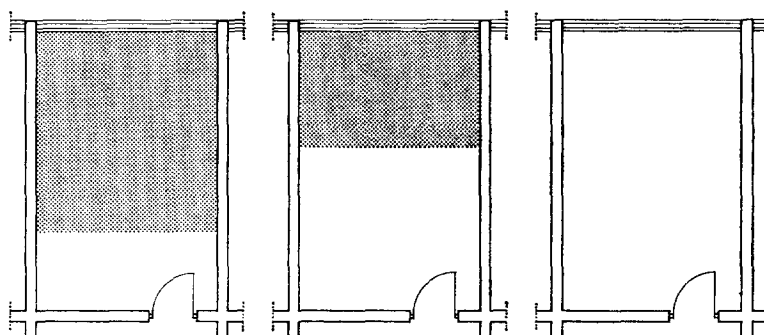


HOMLOKZATI ÜVEGARÁNY: 0.7;  $k_{\text{ablak}}=3.6 \text{ W/m}^2\text{K}$

$t_e = -15^\circ\text{C}$

$t_e = -5^\circ\text{C}$

$t_e = +5^\circ\text{C}$

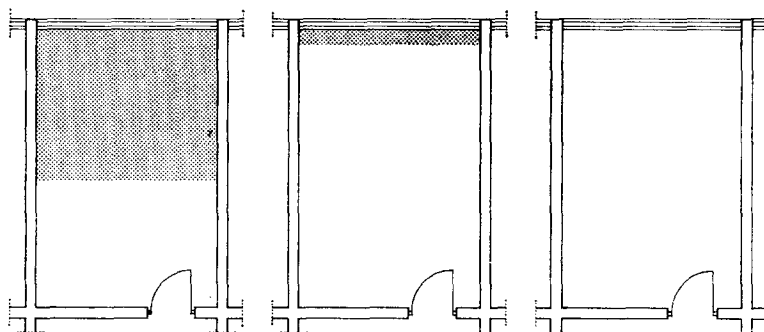


HOMLOKZATI ÜVEGARÁNY: 0.7;  $k_{\text{ablak}}=3.0 \text{ W/m}^2\text{K}$

$t_e = -15^\circ\text{C}$

$t_e = -5^\circ\text{C}$

$t_e = +5^\circ\text{C}$



#### 1.4. ábra. A diszkomfort zónák

Példák a diszkomfort zóna méreteire különböző ablaktípusok és különböző külső hőmérsékletek mellett

A felsorolt tényezők közül a levegő hőmérséklete és a közepes sugárzási hőmérséklet (a sugárzást elnyelő gömbbel felszerelt hőmérővel) mérhető. E két érték számtani átlaga (vagy kisebb kiigazítással számított átlaga) az ún. eredő hőmérséklet már jól jellemzi a „száraz” hőleadás feltételeit.

**A mérhetőség**

A légsebesség elvileg mérhető, de kis sebességek esetén ehhez meglehetősen bonyolult felszerelésre van szükség. A mérés nehézségének elkerülésére dolgozták ki az ún. KATA számot, amely egy erre a célra készített hőmérő lehűlési sebessége alapján fejezi ki a légsebesség, a léghőmérséklet (és a sugárzást jól elnyelő felületű érzékelő alkalmazásakor még a sugárzási hőmérséklet) együttes hatását a hőérzetre. A mérőszámokat – kísérleti alapon megállapított és szóban megfogalmazott – ítéletek (pl. „kissé meleg”) egészítik ki.

A hőérzet teljesebb igényű leírásához a levegő nedvességtartalmának hatását is figyelembe kell venni. A nedvességtartalom mérhető.

A léghőmérsékletre, a közepes sugárzási hőmérsékletre, a légsebességre és a nedvességtartalomra vonatkozó adatokat rendezve – a fizikai mennyiségek, a mérhető fiziológiai adatok és a szubjektív ítéletek közötti kapcsolatok statisztikai feldolgozása alapján – számos ún. hőérzeti jellemző számot vezettek be. Ezek a számok önmagukban nem mérhetők, csak azok az egyes adatok, amelyekből e számértékek képletek vagy diagramok segítségével meghatározhatók.

Az ilyen fajtájú hőérzeti jellemző számok közül legismertebbek: az „effektív hőmérséklet” és az „új effektív hőmérséklet” [2].

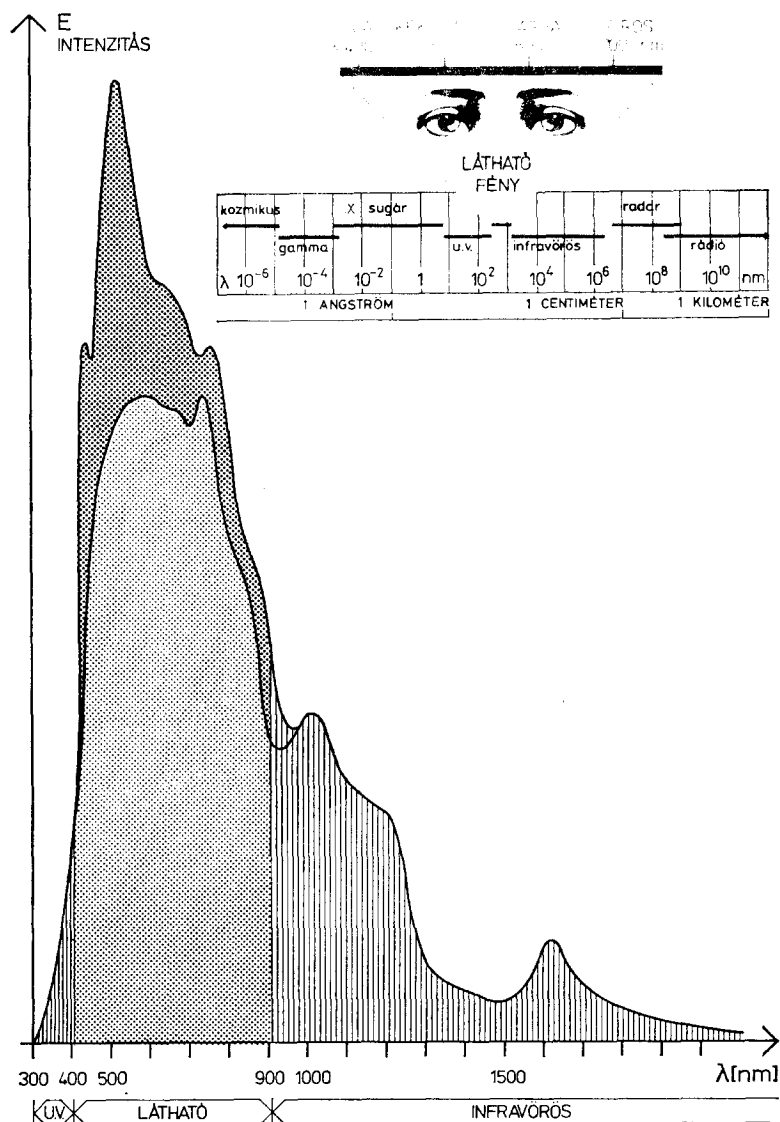
### 1.3 A környezet

A környezet elemei közül sorrendben és jelentőségben egyaránt első a napsugárzás. A Nap egész Földünk léte, energiaforgalma és energiaforrásainak kialakulása szempontjából elsődleges, sőt meghatározó szerepet tölt be, de ugyanez mondható el az épületek energiaforgalmával kapcsolatos – részben közvetlenül, részben áttételesen érvényesülő – szerepéről is.

**A napsugárzás jellemzői**

A Nap felületi hőmérséklete mintegy 6000 K, sugárzásának spektruma azonban jelentősen módosul a Föld légkörén való áthaladás következtében. A módosulás mértéke a levegőben megtett út hosszától (vagyis az időponttól, a szélességi körtől, a tengerszint feletti magasságtól), a levegő vízgőztartalmától, a levegőben levő több atomos gázok és az aeroszolok mennyiségétől függ.

A felszínre érkező sugárzás spektrális eloszlását az 1.5. ábra mutatja. Természetesen ettől eltérő spektrumokat is tapasztaltak, éppen a felsorolt tényezők változásának függvényében. A felszínre érkező sugárzás spektruma gyakorlatilag a  $0,3\ \mu\text{m}$  és a  $2,5\ \mu\text{m}$  hullámhossztartományban van. A felszínre érkező energiának gyakorlatilag mintegy fele az infravörös sugárzás tartományára



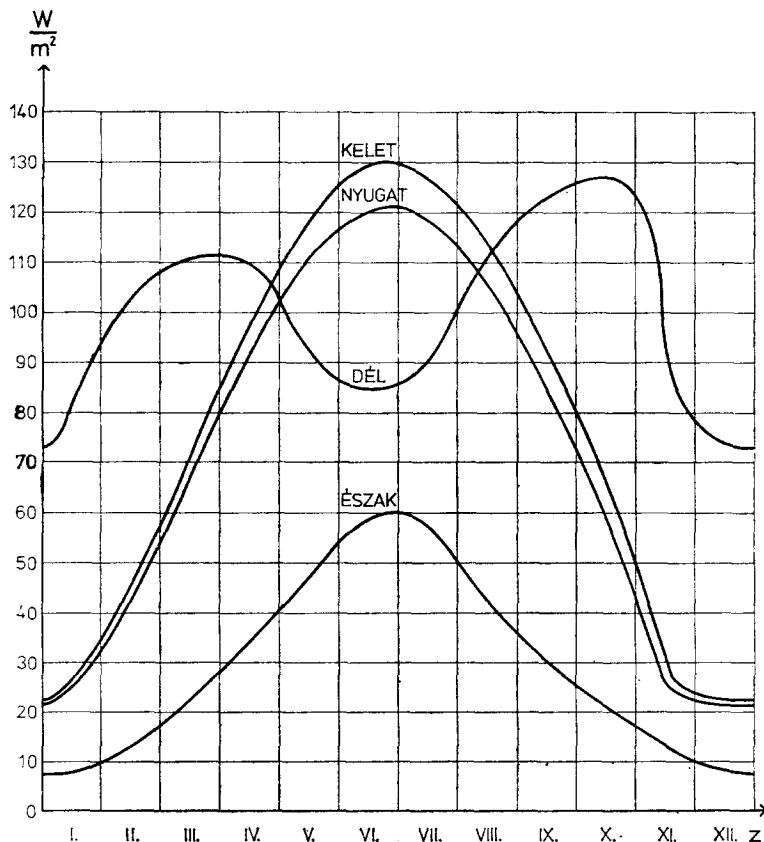
1.5. ábra. A Föld felszínére érkező napsugárzás spektrális eloszlása

esik, csaknem ugyanennyi jut a látható fény tartományára. Az élet-tani szempontból igen fontos ultraibolya sugárzás az energiafor-galomban – mondhatni – elhanyagolható szerepet játszik.

A sugárzás egy része – a légkörben szétszóródva – szórt sugár-zásként érkezik a Föld felszínére. A levegőben levő vízgőz és aero-szokok hosszúhullámú (infravörös) sugárzást bocsátanak ki. Sze-repük a tekintetben döntő, hogy a földi felszínről (talaj, növény-zet, épületek stb.) kiinduló sugárzást is elnyelik: ők a felszín sugárzási partnerei.

Egy adott helyen a légkör határára érkező napsugárzás intenzitása – az egységnyi felületre időegység alatt beérkező energia – az idő függvényében periodikusan változik. A különféle tájolású és haj-lású földi felületekre jutó intenzitásadatok közül elsősorban a mére-tezési állapotnak megfelelőek ismertek. A napsugárzás hatása

**A napsugárzás  
intenzitása**



1.6. ábra. A napsugárzás egy napra eső energiahozamának változása az év folyamán

azonban nemcsak a nyári időszakban figyelemreméltó. Az 1.6. ábra bizonyítja, hogy az intenzitás napi lehetséges összege, illetve lehetséges maximum értéke az őszi-tavaszi hónapokban is magas és még télen sem hanyagolható el.

A napsugárzás intenzitásának lehetséges értékét és időbeli lefutását a horizonton levő terepalakulatok, épületek és magának a vizsgált épületnek kiugró tömegei, árnyékvető részei is korlátozhatják (1.7. ábra). A folyamat egyszerű trigonometrikus összefüggésekkel vagy az ismert árnyékmászk-szerkesztéssel könnyen követhető. Az épület energiaforgalma – fűtési, hűtési, világítási energiaigénye – tehát jelentős mértékben függ a környező beépítéstől, a domborzattól, a növényzettől, a tájolástól, a tömegformálástól.

A kérdés másik oldala viszont az, hogy ha a horizont nagyobb részét „földi” tárgyak takarják, a vizsgált épület saját sugárzása következtében kevésbé hűl le, hiszen közel azonos hőmérsékletű felületekkel kerül sugárzásos hőcserébe.

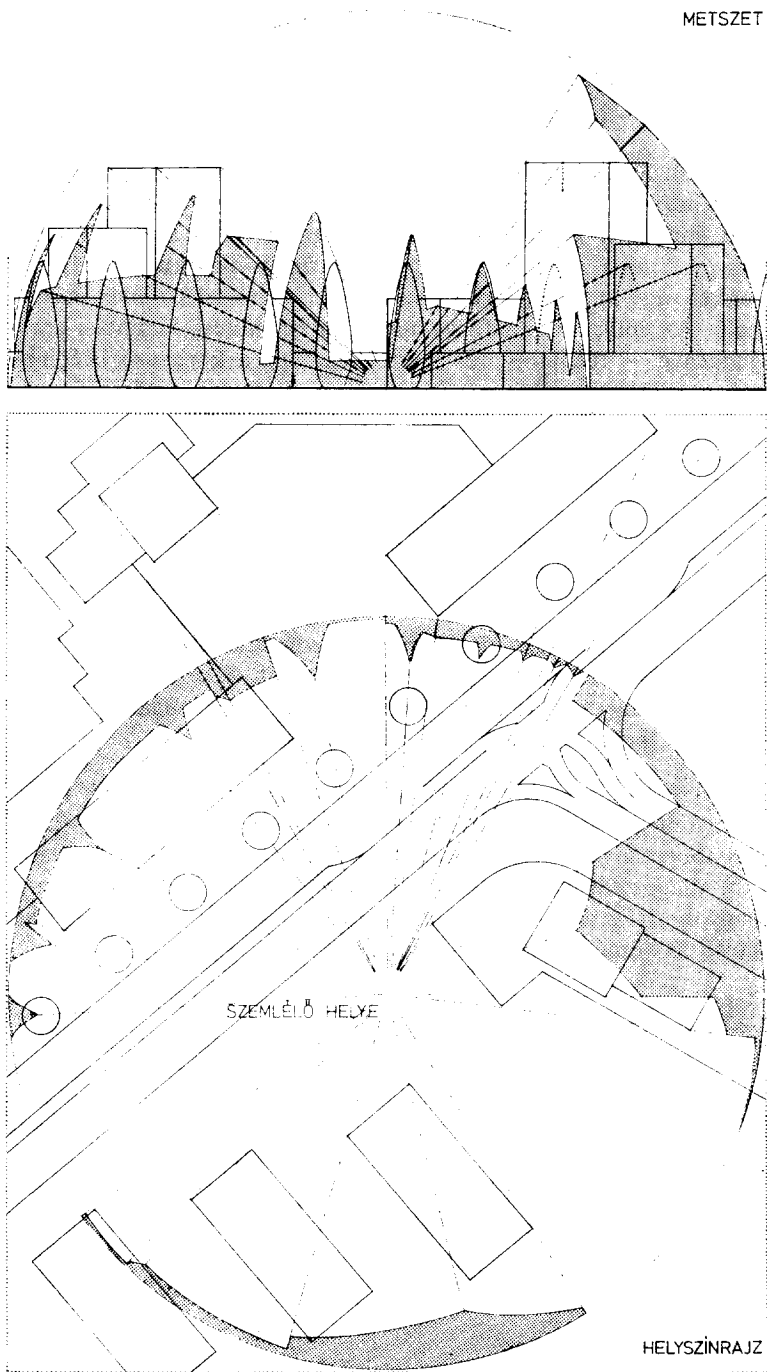
**A napsugárzás  
intenzitását  
befolyásoló  
tényezők**

Mindaddig csak arról volt szó, hogy a geometriai viszonyok hogyan befolyásolják a lehetséges napfénytartamot, és ezen keresztül a vizsgált felületre sugárzással jutó energiát. A napsugárzás hatása azonban még több más tényezőtől is függ.

Minél sűrűbb a beépítés ugyanis, annál „érdesebbé” válik a felszín, ami viszont azzal jár, hogy a beeső napsugárzásból 20–25%-kal többet nyel el, mint amennyi az épületek, burkolatok, talaj stb. átlagos elnyelése, s így ennek megfelelően saját kisugárzása is nagyobb. (Ez az egyik oka a városok felett kialakuló magasabb külső léghőmérsékletnek, az ún. „hőszigetnek” is.)

A felszínre érkező napsugárzás intenzitása a település, város nagyságától, beépítési módjától, a benne folyó emberi tevékenység jellegétől és mértékétől, az ipar és a közlekedés okozta légszennyeződéstől függően csökken. A városon kívüli felszínre érkező sugárzás intenzitásához képest kiadódó különbség jelentős, így pl. Budapesten a téli hónapokban 17,8–23,4% között mozog (1960–62 között mért adatok) [3]. Az emberi tevékenység szerepét jól bizonyítja, hogy az 1937–39-es években csupán e különbség felét mérték. Ugyanez az oka annak, hogy a természetes megvilágítás intenzitása a város belterületén mintegy 32%-kal kisebb, mint a városon kívül.

A levegő páratartalma, a felhőzet is jelentősen befolyásolja a napsugárzás intenzitását. A felsorolt tényezők a felszínre érkező sugárzás várható értékét tovább csökkentik.



**1.7. ábra.** Az ún. égbolt körrajz



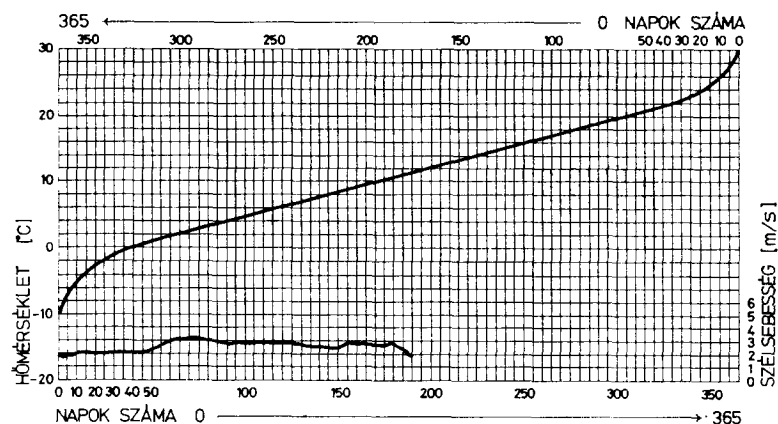
Olyan adatgyűjtés és feldolgozás, amely a várható napsugárzás – e tényezőktől függő – intenzitásadatait tartalmazná, e könyv megírásakor az Országos Meteorológiai Szolgálatnál volt folyamatban. A várható érték becsléséhez azonban támpontul szolgálhatnak a napsütéses órák számára vonatkozó, havi bontásban és óráközökre is feldolgozott adatok. Jól közelíthető a várható érték olyan módon, hogy a vízszintes felületen mért (és rendelkezésre álló) tényleges intenzitási adatok és az ugyanarra vonatkozó lehetséges intenzitási adatok arányában torzítják a függőleges felületekre vonatkozó lehetséges intenzitásértékeket. Feltételezve azt, hogy ez az arány nem irányfüggő, ebből az arányszámból és a lehetséges intenzitásadatokból a függőleges felületeken várható intenzitásadatokat egyszerű szorzással előállíthatók [4].

#### A külső levegő állapotjellemzői

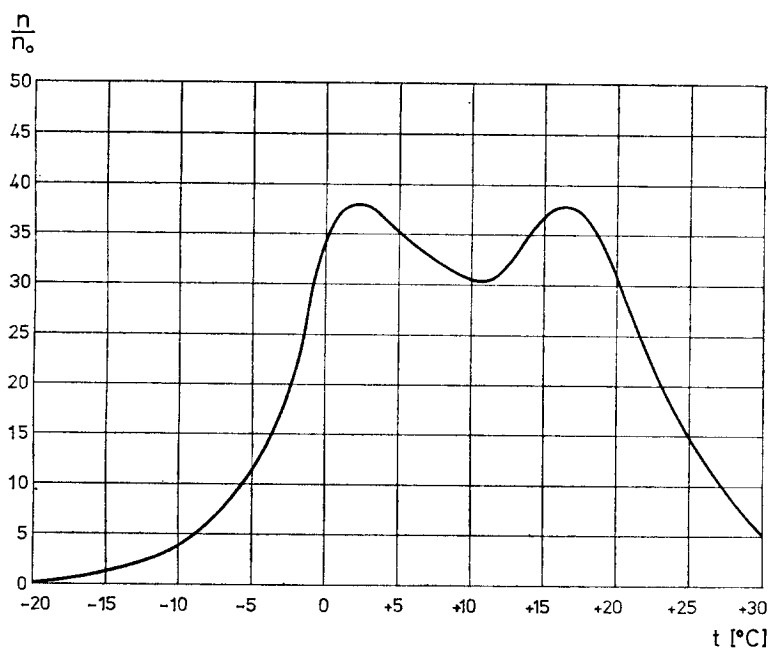
A külső levegő jellemzői közül legfontosabb a levegő (száraz) hőmérséklete. E területről ismert a legtöbb, a legrészletesebben feldolgozott adat. Az éves adatokból előállított gyakorisági és sűrűségfüggvények (1.8. és 1.9. ábrák) mellett rendelkezésre állnak a téli, nyári félévekre, a fűtési és hűtési idényre, a havi reprezentáns napokra, félnapokra vonatkozó gyakorisági adatok is.

Hasonló feldolgozásokban állnak rendelkezésünkre a külső levegő hőtartalmára (entalpiájára) vonatkozó adatok. A hőmérséklet- és a hőtartalomadatokból a levegő bármely további állapotjellemzője (relatív nedvesség, nedves hőmérséklet) meghatározható.

Az épületgépészeti berendezések tervezéséhez fontos a külső lég-hőmérséklet – hőtartalom (értékpárok) együttes előfordulásának, gyakoriságának ismerete. A tervezést jelentősen megkönnyíti a lég-állapotjellemzők újszerű grafikus feldolgozása [4].



1.8. ábra. A külső hőmérséklet gyakorisági függvénye (Budapesten)



1.9. ábra. A külső hőmérséklet sűrűségfüggvénye

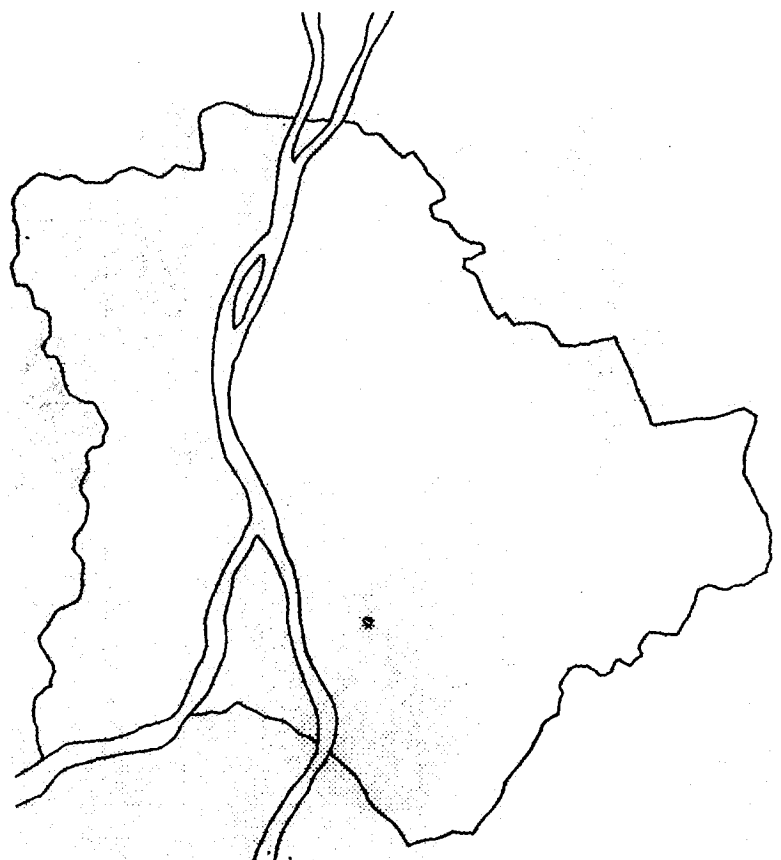
A napsugárzás intenzitásához hasonlóan ez utóbbi adatok is függenek a beépítéstől, a város nagyságától, az ott folyó tevékenységtől. Ennek példázására szolgál néhány, Budapestre vonatkozó adat. Az 1.10. ábra a január havi átlagos külső léghőmérsékleteket mutatja.

Az I. táblázat a fűtési hőfokhidadatokat ismerteti. A fűtési hőfokhíd az előírt belső hőmérséklet és a külső hőmérséklet különbségének az 1.11. ábra szerinti időbeli integrálja, a fűtési idény során a fűtőberendezéssel áthidalandó hőmérséklet-különbséggel, s így az energiafogyasztással arányos. A városokon belüli magasabb külső hőmérséklet okai között szerepel a „városi felületek” — már említett — sugárzási mérlege. Közrehat az a tény, hogy a városi (beépített, leburkolt, vízelvezetéssel ellátott) felületekről szinte teljesen hiányzik a párolgási hőleadás, ami a természetes talajok és a növénytakaró felszínének hőmérlegében lényeges szerepet játszik.

**A hőfokhíd**

A városi környezet módosító hatása leginkább a szél esetében érvényesül. A szabad környezetben mért szélirány- és szélsébségadatok lényegében semmi információt nem adnak a sűrűn beépít-

**A szél hatása**

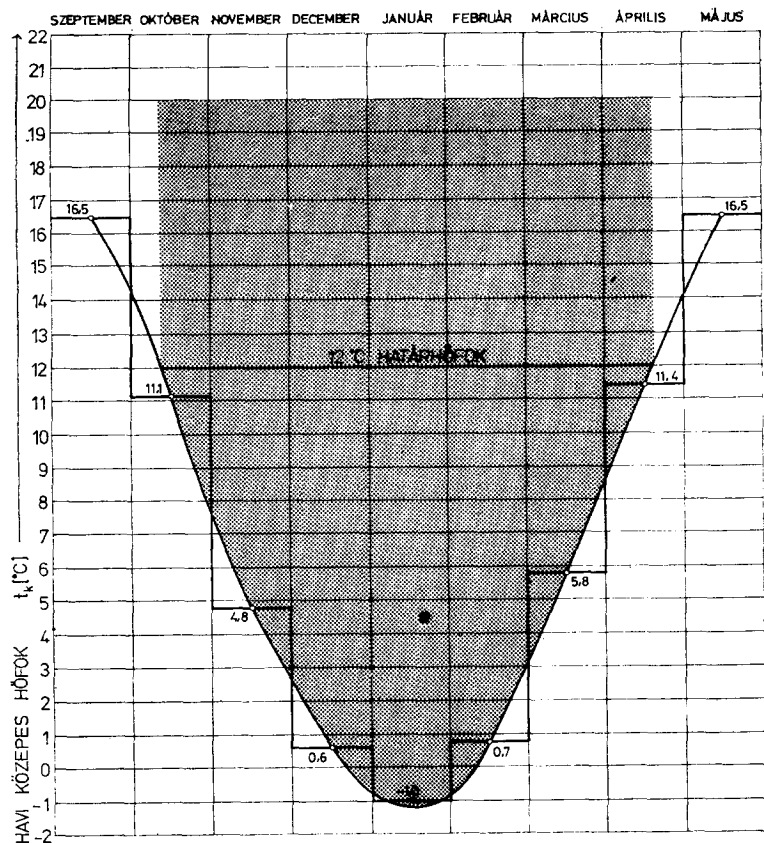


$\geq 0.0$  °C     $0.0 - -0.5$  °C     $-0.5 - -1.0$  °C     $-1.0 - -1.5$  °C     $-1.5 - -2.0$  °C     $-2.0 - -2.5$  °C     $\leq -2.5$  °C

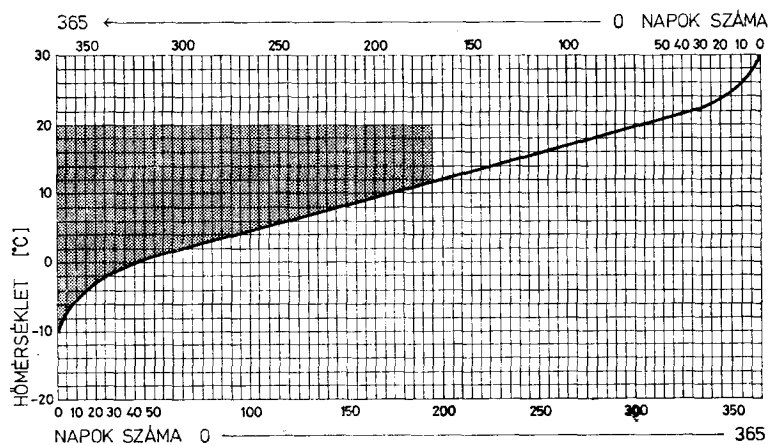
**1.10. ábra.** A januári havi átlagos külső léghőmérséklet területi megoszlása (Budapesten)

tett területeken belül ténylegesen kialakuló széljárásról. A beépítés módosító hatása számítással nem követhető, megbízható adatok csak a helyszínen, illetve maketteken végzett mérések útján szerezhetők be.

Az eddigi elemzések, melyeket a szélsébség és a léghőmérséklet együttes előfordulásának (értékpárjainak) gyakoriságával kapcsolatban végeztek, azt mutatják, hogy csak igen gyenge függvénykapcsolat van a két érték között. Az a tendencia megállapítható volt, hogy – Magyarországon – a külső hőmérséklet csökkenésével a szél sebessége is általában csökken.



1.11. ábra. A fűtési hőfokhíd megállapítása a külső hőmérséklet időbeli változását ábrázoló függvényből



1.12. ábra. A fűtési hőfokhíd ábrázolása a gyakorisági görbe felett

I. táblázat

Helység	#	G 20/12	z <sub>1</sub>	G 18/10	z <sub>2</sub>
Bp. Meteorológiai Intézet		3090	189	2546	170
Bp. Csillagda		3634	215	3043	193
Sopron		3283	205	2712	183
Szombathely		3342	208	2763	185
Nagykanizsa		3116	201	2546	176
Pécs		2928	187	2392	165
Paks		3056	193	2501	169
Székesfehérvár		3072	193	2527	171
Győr		3059	193	2494	170
Veszprém		3298	203	2743	182
Siófok		3031	192	2484	169
Keszthely		3026	193	2477	170
Magyaróvár		3258	202	2700	180
Salgótarján		3472	210	2891	188
Eger		3265	200	2612	179
Miskolc		3414	201	2849	179
Putnok		3497	209	2912	187
Alsófügöd		3470	205	2914	184
Nyíregyháza		3372	203	2824	181
Mátészalka		3352	200	2912	187
Debrecen		3353	202	2801	181
Szarvas		3050	189	2516	168
Békéscsaba		3001	187	2477	166
Túrkeve		3171	193	2635	172
Szeged		2933	186	2490	163
Vác		3195	196	2650	174
Jászberény		3192	194	2663	174
Nagykőrös		3172	195	2635	174

G: hőfokhid

z: fűtési napok száma

A „méretezési”  
adatok

Az egyes jellemzőkről rajzolt eloszlási görbék az épületgépészeti berendezések beépítendő teljesítményének és a különböző üzemállapotok gyakoriságának számításához szolgáltatnak lényeges információkat.

Természeteszerű, hogy az egyes berendezések teljesítménye nem a meteorológiai észlelési időszak alatt egyetlen egyszer előforduló abszolút szélsőértékből kiindulva határozandó meg, hiszen ez túlzott biztonsági tartalékokhoz és gazdaságtalan berendezések kialakításához vezetne. A szélső- és az ahhoz közeli értékek előfordulásának valószínűsége ugyanis igen csekély. A gyakorisági görbéről leolvasható, hogy egy megadott értéknél kedvezőtlenebb érték az év (vagy más vizsgált időszak) folyamán összesen hány óra (nap) időtartamban fordulhat elő (1.12. ábra), illetve hogy ennek hány százalékos a valószínűsége. Miután egy épületgépészeti berendezés alulméretezettsége nem a létesítmény tönkremenetelét

okozza, hanem csak pl. a hőérzeti feltételek csekély mérvű átmeneti romlásával jár, a beépített teljesítmény meghatározásakor az ésszerű kockázat vállalása teljesen indokolt. A *kockázati szint* ebben az összefüggésben azt jelenti, hogy hány százalék a valószínűsége olyan értékek előfordulásának, amelyek a méretezés alapjául választott értéknél kedvezőtlenebbek. A kockázati szintről az épület rendeltetése, hőtechnikai jellemzői, a berendezés jellege alapján lehet dönteni. Reális értékek látszanak például a következők: kórház fűtőberendezése esetén 2%, lakóépület fűtőberendezése esetén 5%, ipari épület fűtőberendezése esetén 15%.

Valójában az elégtelen teljesítmény kockázata jóval kisebb, mint a fentiek szerinti kockázati szint. A méretezés alapjául szolgáló értéknél kedvezőtlenebb értékek ugyanis nem egy összefüggő időtartamban fordulnak elő, hanem ez az időtartam több részre oszlik meg. Így egy-egy olyan időtartam hossza, amely alatt a vizsgált érték a választottnál kedvezőtlenebb, igen rövid, sokszor csak egy-két napot tesz ki. Ilyen rövid idő nem elegendő ahhoz, hogy az adott értékekhez tartozó stacionárius (állandósult) állapotnak megfelelő áramok kialakuljanak, s így az épületek belső tereinek állapotára jellemző mennyiségek csak csekély mértékű változást szenvednek. (A helyiségek, épületek — ún. külső — időállandói egy-két-három nap értékűek.)

Ugyancsak csökkenti a kockázatot az a körülmény is, hogy az épületek energiaforgalma több tényező függvénye, melyek mind valószínűségi változók. A méretezés során több tényező hatását veszik figyelembe. E tényezők azonban gyakorlatilag *egymástól függetlenül* változnak. Szinte elhanyagolható annak valószínűsége, hogy amikor az egyik tényező (pl. a léghőmérséklet) legkedvezőtlenebb értékét veszi fel, ugyanakkor adódjék más tényezők (pl. a nap-sugárzás, a szél) legkedvezőtlenebb értéke is.

A méretezési teljesítmény mellett igen fontos kérdés a berendezések lehetséges üzemállapotainak vizsgálata. A különféle állapotok gyakoriságáról az eloszlásfüggvény ad tájékoztatást, a legnagyobb gyakorisággal előforduló állapotok a görbe legkevesbé meredek szakaszához tartoznak.

#### 1.4 Az energiaforgalmat befolyásoló tényezők áttekintése

A vizsgált rendszer — az eddig (az 1.1 alfejezetben) elmondottak értelmében — maga az épület (még hozzá anyagaival, szerkezeteivel, berendezéseivel, emberi tevékenységeivel, gépi üremeivel együtt). E rendszert környezetétől (építészeti-épületszerkezeti) felületek választják el.

**A rendszer**

<b>A részrendszerek</b>	<p>Abban az esetben, ha az épület helyiségek csoportjából, halmazából áll, kézenfekvő, hogy maguk az egyes helyiségek vagy azok valamilyen (tájolás szerinti, funkció alapján összefüggő, térbelileg egybekapcsolt, szintszerint azonos) csoportja az épület (mint rendszer) részrendszereinek tekinthető. Abban az esetben, ha az épület egyterű – nagyterű, csarnokjellegű stb. – a részrendszerek képzetbeli (fiktív) elválasztó felületekkel is kialakíthatók, ha a rendeltetés, a használati mód, a téralak vagy térméret következtében az intenzív jellemzők (pl. a hőmérséklet, a párányomás, a világítás erőssége, a szennyező anyagok töménysége) eloszlása az egész téren belül annyira egyenlőtlen, hogy azok átlagértékkel – számottevő hibaveszély nélkül – már nem jellemezhetők.</p>
<b>Az áramok kialakulása</b>	<p>Az épületben (vagy azok egyes helyiségeiben, tereiben) a rendeltetésnek (használati módjuknak) megfelelően egy vagy több – a mikroklímára jellemző – intenzív mennyiséget – pl. a hőmérsékletet, a nedvességtartalmat – egy megadott (előírt) értéken vagy egy meghatározott értéktartományon belül kell tartani. Mivel ez az érték a környezet megfelelő (adott vagy feltételezett) értékeitől az év kisebb-nagyobb részében többé-kevésbé eltér, az intenzív mennyiségek egyenlőtlen térbeli eloszlása, s következményükként áramok kialakulása elkerülhetetlen.</p> <p>A kialakuló áramok – mivel többféle intenzív mennyiségről van szó – részben vagy teljesen kiegyenlíthetik egymást, mégpedig akár az egyes részrendszerek, akár a teljes rendszer, azaz az egész épület vonatkozásában.</p> <p>A rendszeren belüli (emberi szervezetből, tevékenységből, technológiai berendezésből, folyamatból, világításból stb. származó) ún. spontán források (vagy nyelők) az érkező (befolyó) és a távozó (kifolyó) áramok különbségét annak előjelétől függően növelik vagy csökkentik.</p>
<b>Az áramok nagysága</b>	<p>A kialakuló áramok nagysága függ a rendszert, a lehatárolt térrészt, azaz az épületet körülzáró felületek méreteitől.</p> <p>E méretek viszont aránylag széles sávban és meglehetősen kötetlenül választhatók meg, sőt még az építészeti elképzeléshez, a szerkezetek valamilyen előre megszabott rendjéhez és egyéb adott feltételekhez (pl. a tömegtermelés szempontjaihoz, az épületfizika igényeihez, az értelmes energiagazdálkodás követelményeihez) is több-kevesebb szabadsággal hozzáigazíthatók, bár azokat nyilvánvalóan az épületnek – a tömegformálásra és a térrendszer kialakítására egyaránt kiható – rendeltetése, és annak – a jellemző használati adatokból, méretrendből kiadódó – kubatúrája is számottevően befolyásolja.</p>

Az előzőkből következik, hogy az áramok először — és nem is csekély mértékben — a térrész geometriájával, az épület tömegének alakításával befolyásolhatók. Ez a lehetőség a tervezés teljes folyamata alatt adott, tehát az első építészeti elképzeléstől a végleges kiformalódásig tartó egész úton érvényesíthető.

Magától értetődik azonban, hogy e feladat nem egyszerűsíthető le a „legnagyobb tömeghez rendelt legkisebb felület” megkeresése elvének meghirdetésére, sem annak adott feltételek melletti megvalósítására,

**A tömeg alakja és mérete**

hiszen rendkívül összetett probléma megoldásáról, nagyon sokféle (pl. városképre, építészetre, funkcióra, szerkezetre vonatkozó) igény, egymással nehezen összeférő (pl. zárt építési rendszer mellett a használati hajlékonyság, kis alapterületen a nagy lakóérték elérésére vonatkozó) feltétel, nemegyszer nem is mérhető (pl. a használati értékre, az otthonosságra, a szépségre vonatkozó) követelmény értékeléséről, majd szabályozásáról, végül egyeztetéséről, s ha lehet, összhangba hozásáról van szó,

hanem ehelyett az áramok kiegyenlítődének az elérhető legnagyobb mértékű lehetőségét (és az ehhez szükséges feltételeket) kell megteremteni,

hiszen az egyes állapotjellemzők a legegyszerűbb és egyben a legolcsóbb módon éppen az áramok szervezésével érhetők el (ennek példázó igazolására: a magasabb és alacsonyabb hőmérsékletű terek ésszerű csoportosítása, a világításból és más spontán forrásokból felszabaduló hő hasznosítása stb.).

Magától értetődik továbbá az is, hogy ha nagy térfogatú épületről van szó, akkor a tömeg és a felület viszonya szempontjából kedvező (pl. ideálisan a gömbhöz vagy a kockához, a zömök hasábhöz közelálló) alak kiválasztása — a felület és a belső mag messzire kerülése következtében — nagyon is jelentős építészeti hátránnyal, használatiérték-csökkenéssel jár,

hiszen a belső rész vagy sötét, levegőtlen, s így csak másodrendű funkció ellátására alkalmas, vagy

mind a beruházás, mind az üzemeltetés költségét számottevően növeli,

hiszen a belső tércsoport, térsáv mesterséges szellőztetésre, világításra szorul, amihez külön forrásokra, azaz épületgépészeti berendezésekre, és azok csaknem állandó üzemeltetésére van szükség, ami

az energiamérleget is kedvezőtlenül befolyásolja, a viszonylag kicsiny külső határoló felületek kedvező hatását lerontja.



<b>A tájolás, az uralkodó szélirány</b>	A külső hatások egy része (pl. a napsugárzás, a szél) irányfüggő, azaz az épületeknek (térelhatároló felületeiknek) az égtájhoz viszonyítva szabadon megválasztható vagy (pl. utcavonallal) adott helyzetétől, illetve a tapasztalati adatok alapján feltételezett uralkodó széliránytól függ. Ez azt jelenti, hogy egy adott pillanatban a teljesen azonos minőségű (anyagú, méretű, kialakítású, tulajdonságú), de eltérő tájolású felületek energiaforgalma egymástól lényegesen különbözhet, sőt, az áramok eredőjének előjele még ellenkező is lehet.
<b>A körrajz tagoltsága</b>	Az energiaforgalmat természetesen a körrajz tagoltsága is befolyásolja, egyoldalról a felület/térfogat viszony módosulása következtében, másoldaltól a beeső napsugárzási energia, az épület felületéről kisugárzott energia, az épület körül – a szél hatására – kialakuló nyomáseloszlás megváltozása révén. A hatás tehát összetett, és előnyös vagy hátrányos vonásai a környezeti feltételek változásával az év folyamán ugyancsak változnak.
<b>A felületek összméretei és minősége</b>	<p>Az épületet határoló felületek összméretei az energiaforgalmat nemcsak mennyiségi, hanem minőségi értelemben is befolyásolják. Ennek példázó bemutatására: a felületek vízszintes irányú méretei jelentősen befolyásolják a szél hatására, függőleges méretei pedig a fajsúlykülönbség hatására kialakuló nyomáseloszlást, s így a rendszer és a környezet közötti levegőforgalmat is (a konvektív hőáramot).</p> <p>Az épületet lehatároló szerkezetek külső felületének kialakítása, anyagainak, tulajdonságainak, textúrájának, színének megválasztása, felületének megmunkálása, mind a napsugárzással szembeni viselkedés tekintetében, mind a saját kisugárzás szempontjából nagy fontosságú.</p>
<b>Az üvegarány</b>	E tekintetben döntő a különbség a napsugárzást kisebb-nagyobb mértékben átengedő felületek (pl. az üvegezés, az árnyékolók) és a sugárzást át nem bocsátó felületek (pl. a tömör falak, a tetők) között. Éppen ezért e kétféle csoportba tartozó felületek egymásközi (kedvező, megfelelő vagy éppen elfogadható) arányának megállapítása energetikai szempontból egyenesen meghatározó, ugyanakkor és szükségszerűen építészeti, szerkezeti és funkcionális szempontból is nagyon fontos, hiszen lényeges szerepet játszik a tömeg formálásában és tagolásában, következésképpen az építési rendszer és méretrend, az alaprajzi elrendezés és a homlokzati szerkezetek megválasztásában, végül, de nem utolsósorban a homlokzat építészeti kialakításában, az áttört és zárt felületek arányának, a fénylő és fénytelen részek viszonyának, a csillogó és tompa szakaszok monoton vagy ritmizált váltakozásának megállapításában.

Az elmondottakból világosan következik, hogy a kétféle (a sugárzást áteresztő és át nem bocsátó) felület arányának helyes megválasztása, az értelmesen szóba jöhető változatok kimunkálása különösen nehéz feladat,

hiszen a téli és a nyári időszak igényei e tekintetben egészen mások, hiszen a hő- és a világítástechnika szempontjai is ellentétesen változnak,

hiszen az épületet nem egy választott időszakra vagy állapotra, hanem egész élettartamára kell megtervezni, méghozzá annak egészét és nem is egyes részeit,

hiszen az egyes részek önmagukban előnyös kialakítása a más részek oldaláról nézve akár kedvezőtlen is lehet (pl. a légtechnika vagy hűtőberendezés területén mutatkozó előnyök a világítás- és fűtéstechnika szempontjából még jelentős hátrányokkal járhatnak).

A tömör határoló szerkezetek hőátbocsátási-hőszigetelési tulajdonságai a — megadott feltételek mellett kialakuló — vezetékes hőáramok meghatározói, míg a felületek légáteresztési jellemzői a kialakuló légáramot és a vele járó konvektív hőáramot befolyásolják.

**A határoló szerkezet tulajdonságai**

A sugárzást átengedő és át nem bocsátó felületek aránya, a felületképzések módja, az egyes vezetési tényezők egymás közti viszonya dönti azt el, hogy az eddig felvázolt jelenségek közül melyeknek lesz „uralkodó” (*domináns*) szerepe. A jelenségek „rangsorának” kérdésébe természetesen a befoglaló méretek nagysága és a körrajz, a tömegalakítás is belezajtszik.

A környezet, az egyes áramokat kiváltó intenzív jellemzők az év folyamán különböző módon változnak. Ennek következtében a rendszer és a környezet közötti áramok értéke, egymáshoz való viszonya is változik, ami azt jelenti, hogy az egyes tényezők szerepet cserélnek, a „rangsor” módosul, az „uralkodó” szerepet más tényezők veszik át. Rendkívül fontos annak felismerése, hogy az egyes mennyiségek milyen értékei mellett alakulnak ki olyan minőségileg új helyzetek, amelyek az egyes tényezők szerepcseréjéhez, új uralkodó tényező fellépéséhez vezetnek, mert az épület és a környezet közötti áramok tényleges és tudatos befolyásolása csak az „uralkodó” tényezőn keresztül lehetséges.

A környezet intenzív jellemzői az épület körül egymástól függetlenül, különbözőképpen és különböző módon értékelendően változnak, hiszen a külső levegő hőmérsékletének térbeli alakulása általában figyelemen kívül hagyható, míg a napsugárzás intenzitása a

**A környezet intenzív jellemzőinek változása**

tájolástól és a környezet árnyékvető hatásától függően, a légnyomás eloszlása pedig a tájolás (szélirány) és a magasság függvényében, még hozzá mindkettő vonatkozásában (igen differenciáltan) változik.

#### **Az épületen belüli hő- és légáramok**

Az épületen belül a léghőmérséklet értékeit általában (hatósági) rendelkezések írják elő. Az egyes helyiségekre megadott értékek többnyire azonosak vagy legalábbis közel azonosak. A légnyomás tekintetében ilyen megkötöttségek általánosan nincsenek, legfeljebb a „kisebb vagy nagyobb legyen” feltétel kikötése szokásos (pl. a kedvezőtlen szag beáramlásának meggátolására). Az épületen belül tehát az egyes helyiségek között a hőmérséklet-különbségből adódóan jelentős hőáramok rendszerint nem alakulnak ki, következésképpen a részrendszereket elválasztó határoló szerkezetek hőszigetelő értéke sem játszik többnyire számottevő szerepet. Ugyanakkor az épületen belüli egyenlőtlen nyomáseloszlás – amelynek differenciáltsága az épület körrajzától, befoglaló méreteitől és tájolásától függ – nagyon is jelentős légáramokat és konvektív hőáramokat hozhat létre. E szempontból az épület (külső és belső) határoló szerkezeteinek minősége, a különböző jellegű (külső és belső) légáteresztő szerkezetek ellenállása, az épület és a környezet, különösen az egyes helyiségek közötti kapcsolatrendszer komoly szerepet játszik.

Az elmondottakból következik, hogy a levegőforgalom, s az ezzel kapcsolatos, konvektív hőáramok alakulása az *épület egészétől* függ, következésképpen annak a kérdésnek a megítélése, hogy az épület energiaforgalmában milyen a hőátbocsátás, a sugárzásos és a konvektív hőcsere viszonya, szintén csak az épület egészének ismeretében lehetséges.

Ugyancsak az épület egészére – a tereket körülvevő külső és belső határoló szerkezetek összességére, a levegőforgalomra, a berendezési tárgyakra – vonatkozó kérdés az is, hogy a rendszeren belül egy extenzív jellemző megváltozása a hozzá tartozó intenzív jellemző milyen mértékű és mikor bekövetkező változásaival jár együtt. Például: ha a rendszer hőt vesz fel, hőmérséklete megváltozik. Nem közömbös azonban, hogy e változás milyen mértékű, hiszen egyrészt a szükséges kompenzációnak ezzel kell arányosnak lennie, másrészt ha a változás olyan kicsi, hogy az a helyiség, a tér, az épület rendeltetésszerű használatát nem zavarja, nincs is tenni való. A legegyszerűbb „szabályos” menetredek esetén a hő- és a hőmérséklet-változás közötti kapcsolat az időállandóval, a csillapítással, a késleltetéssel, a hőstabilitással jellemezhető.

#### **Az áramok változása**

Az, hogy az épület és a környezet közötti áramokat előidéző intenzív mennyiségek az idő függvényében változnak, adottság, követ-

kezesképpen az épület határoló felületein áthaladó áramok változása is szükségszerűség. Az azonban, hogy az áramok és azok változásai mekkorák lesznek, az elhatárolás helyes kialakításával kedvező irányban befolyásolható. A rendszerbe befolyó és onnan távozó áramok különbsége tehát az idő folyamán kisebb vagy nagyobb mértékben változik (ezt jól példázza a napi periódusú változás, amikor a különbségnek nemcsak a nagysága más, de még az előjele is változhat). E kiegyenlítetlen különbség (a példában a napi ingadozás) a rendszerben a hő felszaporodását, illetve kisülését idézi elő, amelyet a rendszer állapotára jellemző hőmérséklet-ingadozás kísér.

Ha az ingadozás a „tűrési határ”-on belül van, kompenzálásra nincs szükség, tehát nem kell forrást igénybe venni, azaz az épület épületgépészeti beavatkozás nélkül üzemeltethető.

Ha az ingadozás átlépi az elfogadható tartomány határait, akkor a befolyó és a távozó áramok (és a korábban már említett „spontán”, azaz nem épületgépészeti céllal működtetett, de kihatásaikban azt érintő források) közötti eltérést mesterséges forrással (nyelőlével), tehát épületgépészeti beavatkozással kell kompenzálni. Ez a művelet kisebb forrásérősséggel — gyengébb teljesítményű berendezéssel — is végrehajtható, ha a rendszer úgymond „lusta”.

Az elmondottakból világosan kiderül, hogy az épület tömegformálásától és korrajz kialakításától kezdve, a határoló felületek és a belső szerkezetek megoldásán keresztül egészen a térkapcsolatok rendszeréig számos lehetőség nyílik az épület és a környezet között kialakuló áramok ésszerű befolyásolására, a részrendszerek közötti áramok célszerű szervezésére, a befolyó és a távozó áramok különbségének időbeli változásából adódó hatások mérséklésére.

#### A befolyásolás lehetőségei

E lehetőségek nemcsak kihasználhatók és kihasználandók, de (aktivizálással) még fokozhatók is. Az épület természetes szellőztetésével, a külső és belső határoló szerkezetek kiszellőztetésével ugyanis olyan konvektív áramok hozhatók létre, amelyekkel az épület és a környezet közötti áramok kedvező irányban befolyásolhatók, a rendszer és a környezet közötti hőcsere a rendeltetésszerű használatra szánt térrészek elkerülésével valósítható meg.

További lehetőségek adódnak az épületen belül működő „spontán” források figyelembevételéből, sőt aktivizálásából. A „spontán” források számításbavétele már része a szokványos méretezési eljárásnak a hűtőterhelés meghatározásakor (hiszen figyelembe veszik a technológiai berendezések, az emberek, a világítás hőleadását), de még nem része — bár indokolt volna — a fűtőteliesség megállapításakor (hiszen egy mai átlagos méretű lakás világításához és háztartásai gépeihez szükséges csatlakozási teljesítmény el-

éri a fűtőteltjesítmény 23 – 30%-át, és a tényleges kihasználás együtt nő a fokozódó komfortigényekkel), különösen olyan esetekben (pl. nagy megvilágítás igényű köz- és ipari épületekben), ahol a világítási- és a fűtésiteltjesítmény összemérhető. Ezek a spontán források is aktivizálhatók, hőleadásuk konvektív áramok segítségével az épületből a rendeltetésszerű használatra szolgáló terek elkerülésével eltávolítható, sőt az épületnek azokba a helyiségeibe szállítható, vagy olyan épületgépészeti berendezéseikhez is elvihető, ahol fűtőteltjesítményre van szükség.

Ezekkel és hasonló intézkedésekkel a rendszerbe befolyó és az onnan távozó áramok és a spontán források erőssége közti különbség – amit természetesen további forrásokkal, épületgépészeti berendezésekkel kell még kiegyenlíteni – optimális értékűre csökkenthető.

Az eddig elmondottakból nyilvánvaló, hogy

a fűtő- vagy a hűtőteltjesítmény meghatározásakor az épület és a környezet közötti áramokon kívül a spontán források erősségét is figyelembe kell venni,

a berendezések kialakítása során lehetőleg a különböző épületgépészeti rendszerek közötti szervezett energiaforgalom feltételeit is meg kell teremteni,

az épületgépészeti rendszerek részeként egyes épületszerkezetek (pl. a szellőztetett épülethéjak) aktivizálására is kell törekedni.

#### Az épület üzemeltetése

Különösen – még a teljesítmény kérdését is meghaladóan – fontos, hogy az épületgépészeti berendezések működése, szabályozása – az épület viselkedésével teljes összhangban – mindig az előírt intenzív jellemzők biztosításával kompenzálja az áramok különbségét. E feladat megoldása főként akkor nehéz, amikor az épület sok vagy nagyon sok helyiségből áll, hiszen az egyes helyiségek differenciáltságát az épület nagy befoglaló méretei, körrajzának tagoltsága, egyes homlokzatainak különböző tájolása, a környezet beépítésének változatossága még tovább fokozza, bonyolítja.

Az egyes helyiségek energiaforgalmában más és más tényezők játszanak uralkodó szerepet: a külső hatások a helyiségek különböző válaszait váltják ki.

Az előzőkből következik, hogy

egy közös és egységesen szabályozott épületgépészeti rendszerrel az eltérő, esetleg az erősen különböző igények maradéktalanul nem elégíthetők ki,

meg kell találni az épületgépészeti rendszereknek — az eltérő viselkedésű helyiségekhez (helyiségcsoportokhoz) igazodó és külön szabályozott részekre, zónákra bontásának módját, és (lehetőleg optimális) mértékét,

a tervezés során a különféle üzemállapotok gyakoriságát is figyelembe kell venni.

## 2. Határoló szerkezetek

### 2.1 A tömör határoló szerkezetek

#### 2.1.1 A felületen lejátszódó jelenségek

A külső felületek hőmérsékletének meghatározása az épületbe (helyiségbe, térbe) bejutó vagy onnan eltávozó hőáramok számításának része, emellett kiinduló adatokat szolgáltat a hőhatás okozta mozgások és az akadályozott mozgásból keletkező feszültségek mértékének számításához, végül lehetőséget ad a felület öregedésének megítélésére, károsodásának megbecsülésére.

#### A külső felületi hőtranszport

A sugárzást át nem engedő külső felületeken át lejátszódó hőtranszport négy alapvető jelenségből tevődik össze, éspedig

a felület és a külső levegő között konvektív hőátadás játszódik le ( $q_k$ ),

a felület a beeső napsugárzás egy részét elnyeli, más részét visszaveri ( $q_N$ ),

a felület és a környezet között sugárzásos hőcsere jön létre ( $q_s$ ),

a felület és a mögötte levő rétegek között vezetékes hőáram alakul ki ( $q_v$ ).

A felület hőmérlege tehát (2.1. ábra):

$$q_k + q_N + q_s + q_v = 0.$$

#### A konvektív hőátadás

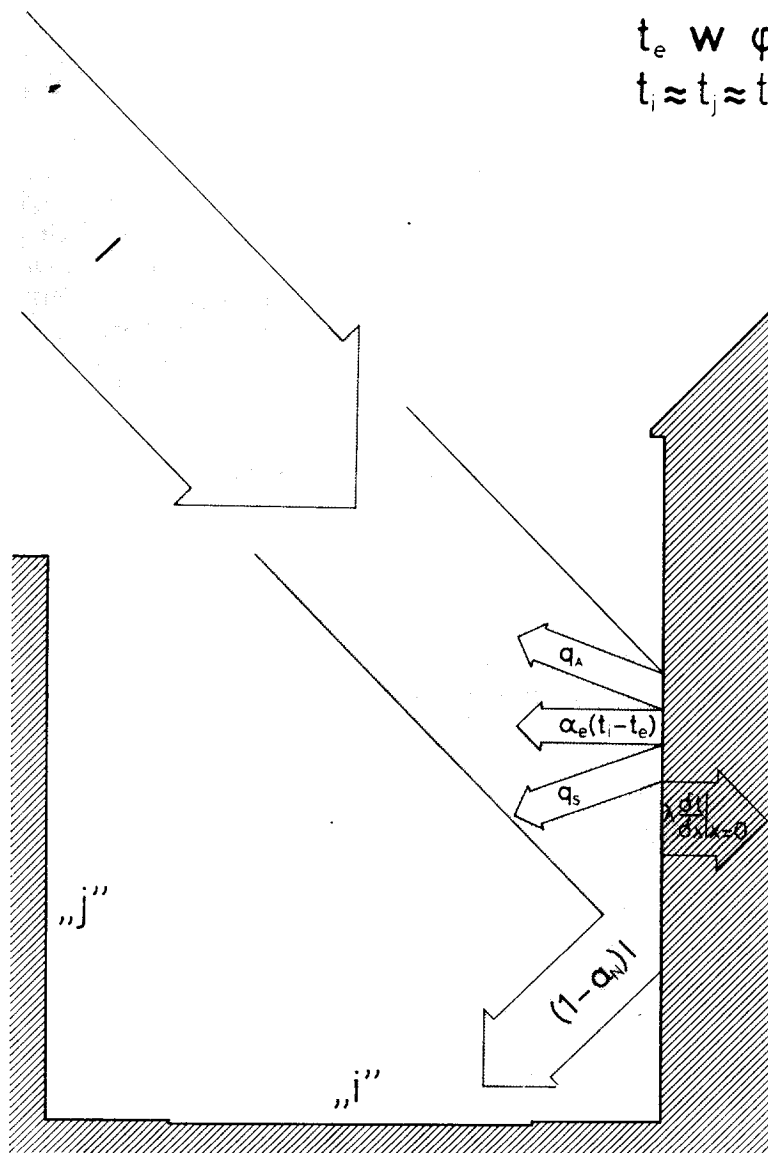
A felület és a külső levegő közötti konvektív hőátadás a hőátadási tényezővel jellemezhető. A korábban felírt (1.3) összefüggés szerint az átadott hő a hőmérséklet-különbség és a hőátadási tényező szorzatával egyenlő. Az összefüggés csak látszólag egyszerű, hiszen a hőátadási tényező (mint már volt róla szó), nem egy adott, rögzített számérték.

A konvektív hőátadás — mint elnevezéséből is következik — a folyamatban részt vevő levegő áramlásával jár.

#### A szabad áramlás

Ha az áramlást csak a hőátadás folyamatát előidéző hőmérséklet-különbség, illetve az ezzel együttjáró sűrűségkülönbség okozza, a

jelenséget szabad áramlásnak nevezik. A szabad áramlás képe és vele együtt a hőátadási tényező értéke függ attól, hogy milyen a határoló felület helyzete, mérete és milyen a hőátadás iránya.



2.1. ábra. A határoló szerkezet külső felülete hőmérlegének sémája



**A függőleges  
felület esete**

Függőleges felületek esetén azok mentén egy nagyon vékony, a felületi sűrűlódás folytán zavart áramlású, (a felülettagolás helyein megszakadó, majd újra létrejövő) határréteg alakul ki, amelyen túl az áramlás már zavartalan. Az áramlás iránya felszálló (a felület mellett), ha a hőátadás a felületről megy a levegőbe. A hőátadási tényező — egyszerű, tapasztalati, közelítő összefüggések szerint — a hőmérséklet-különbség és a felületmagasság függvénye. Számértéke a reális esetekben 2 és 5 W/m<sup>2</sup> K közé esik.

**A vízszintes  
felület esete**

Vízszintes felület esetén

ha a hőátadás iránya megegyezik a levegő mozgásának irányával (pl. a levegőnél melegebb felületről felfelé), a távozó levegő helyébe kis konvektív „kutak” formájában kerül friss levegő, a hőátadás intenzívebbé válik, és a hőátadási tényező számértéke — reális eseteket feltételezve — 2 és 7 W/m<sup>2</sup> K közötti, míg

ha a hőátadás iránya és a levegő mozgásának iránya ellentétes, a folyamat kibontakozását a levegő rétegződése, a kialakuló „párna” fékezi.

**A kényszeráramlás**

Ha a levegő áramlását (a hőmérséklet-különbségen kívül) valamilyen külső hatás — ez esetben a szél — idézi elő, akkor a jelenséget kényszeráramlásnak nevezik.

A hőátadási tényező értéke közelítő tapasztalati összefüggés szerint:

$$\alpha = 7w^{0,76} \quad (2.1)$$

$w > 5$  m/s szélesebbesség esetén. Ha pedig a szélesebbesség ennél kisebb, a szabad áramlás hatása is számottevő, s így közelítéssel

$$\alpha = 5,57 + 4w. \quad (2.2)$$

Mivel az átlagos szélesebbesség értéke 2 m/s körüli, a hőátadási tényező számértéke általában:

$$\alpha = 6 \sim 15.$$

A hőátadás folyamata gyakorlatilag nem befolyásolható. A fal- és fűdémszerkezetek hőátbocsátási tényezője azonban többnyire nem is érzékeny a hőátadási tényező változására. Pl. egy a mai követelményeknek megfelelő ( $k = 0,5 \sim 0,7$ ) hőátbocsátási tényezőjű fal hőátbocsátása mindössze 3–5%-kal változik, ha a külső hőátadási tényező átlagos értékének kétszeresére nő.

A beeső napsugárzásból a felület által elnyelt hányad az  $a_N$  napsugárzásra vonatkozó abszorpciós tényezővel fejezhető ki:

**A beeső  
napsugárzás**

$$q_N = a_N I,$$

ahol  $I$  a napsugárzás intenzitása. A napsugárzásra vonatkozó abszorpciós tényezőt a felület színe, a felületet borító festék pigment-tartalma, a felület érdessége befolyásolja.

A visszavert sugárzás a felület hőmérsége szempontjából a továbbiakban általában már közömbös. Egyes sajátos vagy kivételes esetekben azonban (pl. ha az épület környékén nagy visszaverő képességű a felszín vagy az épület ún. lepenyrészeinek tetőfelülete, vagy a szemközti épület homlokzata), a környezetből visszaverődő napsugárzás, illetve a két „földi” felület között többszörösen oda-vissza verődő napsugárzás az energiamérleget már észrevehetően befolyásolhatja, ami tulajdonképpen az  $I$  értékének a visszaverődött hányaddal való megnövekedéséből adódik.

A napsugárzásra vonatkozó abszorpciós tényező a felület hőmérségében lényeges szerepet játszik. Vizsgálatára rendszerint akkor kerül sor, ha a feladat az épületbe nyáron bejutó hőáramok mérséklése és a hőhatás okozta alakváltozás, mozgás korlátozása. E területen sokáig az az álláspont érvényesült, hogy e célok elérésének egyetlen módja az  $a_N$  értékének csökkentése, vagyis világos, sima felületek kialakítása. E módszer valóban célravezető, de csak abban az esetben, ha ennek következtében a felület más tulajdonságai nem ellentétes értelmű összhatást kiváltó módon változnak meg. A felület hőmérségében ugyanis a felületről kisugárzott energia, a felület és a környezet közötti sugárzási hőcsere is fontos szerepet játszik.

A vizsgált felület hőmérséklete a sugárzási jellemzők szempontjából „szűk” határok között mozog (mert e tekintetben a  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$   $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$  közötti tartomány „szűknek” tekinthető), és e hőmérséklet a már elterjedt szóhasználat szerint „alacsonynak” minősül (mert a megadott tartományon belüli értékek a Nap felületi hőmérsékletéhez viszonyítva valóban „alacsonyak”). Az ilyen alacsony hőmérsékletű felületekről infravörös sugárzás lép ki. Emiatt a felület sugárzási jellemzői (az alacsony hőmérsékletű infravörös sugárzás tekintetében) csupán a felület anyagától és érdességétől függenek, de színétől nem.

**A kisugárzott  
energia**

Az e területen végzett részletes vizsgálatok [5] igazolták, hogy

az említett szűk hőmérséklet-tartományban az abszorpciós tényező hőmérsékletfüggése elhanyagolható,

az alacsony hőmérsékleti sugárzásra vonatkozó abszorpciós tényező és emisszióképesség gyakorlatilag azonos értékű.

Ezért az egységnyi felületről időegység alatt kisugárzott energia a

$$q = \varepsilon \left( \frac{T_f}{100} \right)^4 \quad (2.3)$$

összefüggéssel fejezhető ki, ahol

$\varepsilon$  az alacsony hőmérsékleti sugárzásra vonatkozó emissziós tényező,

$T_f$  a felület (abszolút) hőmérséklete [K].

A környezetben található földi felületek (a szomszédos épületek, az út- és járdaburkolatok, a talaj, a növényzet) hőmérséklete ugyanabba a tartományba esik, mint a vizsgált felületé. Ennek következtében a vizsgált felület és a többi földi felület között – az infravörös tartományban – sugárzásos hőcsere játszódik le, a vizsgált felületre érkező sugárzás  $a = \varepsilon$  hányadát a felület elnyeli.

#### A földi felületek közötti sugárzásos hőcsere

E sugárzásos hőcsere mérlege attól függ, hogy

a folyamatban szereplő felületeknek mekkorák a hőmérsékleteik, és mekkorák az alacsony hőmérsékleti abszorpciós (= emissziós) tényezők, továbbá, hogy

a szóban forgó felületek milyen térszög alatt „látják egymást” (vagyis, mekkora a kölcsönös besugárzási tényező).

A földi felületek között lejátszódó sugárzásos hőcsere a

$$Q_{1-2} = a_1 a_2 C_0 \phi_{1-2} \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \quad (2.4)$$

összefüggéssel fejezhető ki, ahol

$a$  az – alacsony hőmérsékleti – abszorpciós tényező,

$T$  a felületek – abszolút – hőmérséklete [K],

$\phi$  a kölcsönös besugárzási tényező,

$C_0$  állandó (5,67 W/m<sup>2</sup> K),

1, 2 a két felületre vonatkozó indexek.

A (2.4) összefüggés birtokában elvileg nem okoz nehézséget a földi felületek közötti sugárzásos hőcsere számítása. Ennek akkor van gyakorlati jelentősége, ha

a két felület hőmérséklet-különbsége – azok minősége és/vagy tájolása folytán – „tetemes” és emellett

e felületek kölcsönös besugárzási tényezője is jelentős.

(A „jelentős” kifejezés számszerűsítése attól is függ, hogy a szóban forgó falfelületen áthaladó áram a vizsgált épület egésze szempontjából mennyire fontos szerepet játszik.)

A felsorolt feltételek ritkán valósulnak meg együttesen, mert ha a két felület közötti kölcsönös besugárzási tényező „jelentős”,

akkor e felületek többnyire annyira takarják egymást, hogy — a hosszú időn át érvényesülő közvetlen napsugárzási behatás hiányában — még eltérő anyagi jellemzők mellett sem alakul ki közöttük „tetemes” hőmérséklet-különbség.

Abban a térszögben, amelyben a „vizsgált felület” nem más földi felületet, hanem az égboltot „látja”, a sugárzásos hőcserében részt vevő „másik felület” a levegőben lebegő vízgőz, az aeroszolok és a felhőzet együttese. E képzeletbeli „felület” diszperz és több ezer méter vastagságú lég rétegben szétszórta és

ha a szétszóródás „ritka”, akkor a nagy magasságokban elhelyezkedő elemi felületek szerepe is számottevő, míg

ha a szétszóródás „sűrű”, akkor az alsó rétegek már önmagukban meghatározó jelentőségűek (2.2. ábra).

A „ritkaság”, illetve „sűrűség” a levegőben levő vízgőz résznyomásától, a felhőzettől, a felhőzet fajtájától függ.

Miután a légkör hőmérséklete a magassággal arányosan csökken, e képzeletbeli felület képzeletbeli — egyenértékű — hőmérséklete attól függ, hogy e tekintetben még milyen magasságban levő lég-rétegek figyelembevétele indokolt.

Ezeknek az adatoknak ismeretében a hőcsere a

$$Q = aC_0(1 - cn) \phi \left[ \left( \frac{T_f}{100} \right)^4 - [1 - f(p)] \left( \frac{T_e}{100} \right)^4 \right] \quad (2.5)$$

összefüggéssel fejezhető ki, ahol az új jelölések:

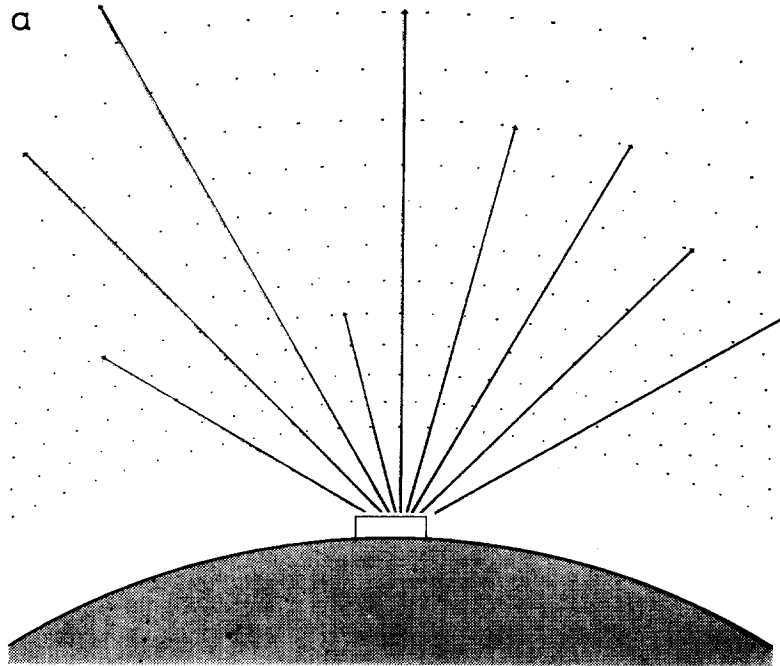
- $c$  a felhőzet fajtájától függő tényező ( $c = 0,7 - 0,8$ ),
- $n$  az átlagos felhőzet (az égbolt felhőzettel takart hányada),
- $f(p)$  tapasztalati függvény, értéke a párányomás növekedésével 0,4-ről 0,2-re csökken (2.3. ábra),
- $T_e$  a külső levegő — abszolút — hőmérséklete [K].

Az égbolt felé sugárzással leadott hőnek sok esetben nagyon is számottevő szerepe van. Például: e jelenség következtében felhőtlen téli éjszakákon a tetőfelületek hőmérséklete akár 10–12 °C-kal is a külső levegő hőfoka alá hűlhet.

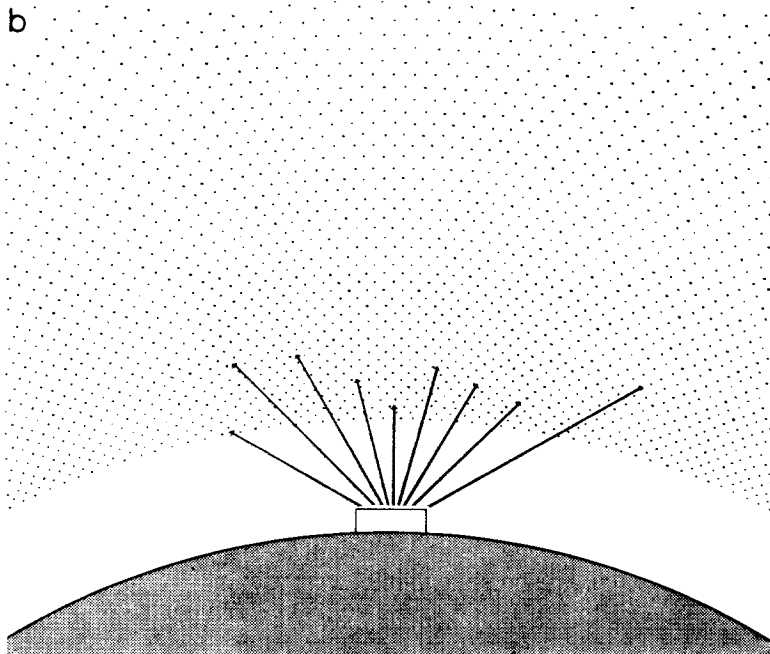
Az anyag és a felületkezelés módjának megválasztása mind a napsugárzásra vonatkozó, mind az alacsony hőmérsékleti abszorpciós tényezőre kihat. Ezért pl., ha a felület felmelegedésének mérséklésére a felület minőségét úgy változtatják meg, hogy a napsugárzásra vonatkozó abszorpciós tényező csökkenjen, ellenőrizni kell, hogy ennek következtében az alacsony hőmérsékleti abszorpciós tényező és a felület hőmérséklete hogyan változik meg. A felmelegedés legkisebb mértéke ugyanis nem a napsugárzásra vonatkozó abszorpciós tényező minimalizálásával, hanem a napsugár-

**Az égbolt és a földi felületek közötti sugárzásos hőcsere**

a) ha a vízgőztartalom kicsi  $\rightarrow$  a víz a levegőben ritka  $\rightarrow$  a parciális párányomás kicsi  $\rightarrow$  a találati valószínűség is kicsi, tehát a magasban levő vízgőz is szerephez jut  $\rightarrow$  a sugárzási partner hidegebb



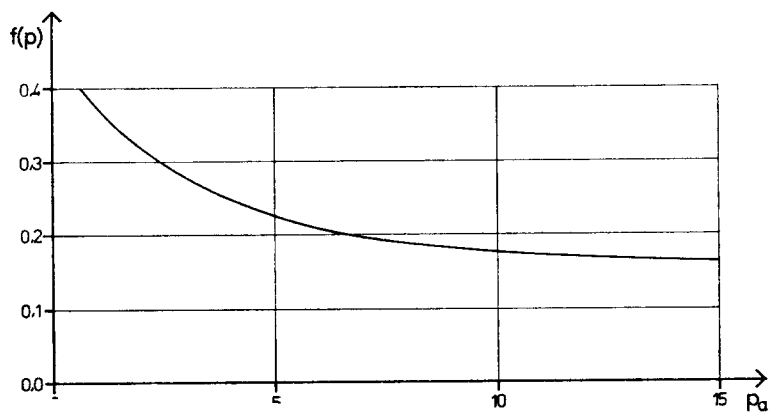
b) ha a vízgőztartalom nagy  $\rightarrow$  a víz a levegőben sűrű  $\rightarrow$  a parciális párányomás nagy  $\rightarrow$  a találati valószínűség is nagy, tehát csak az alsó rétegekben levő vízgőz játszik szerepet  $\rightarrow$  a sugárzási partner melegebb (párás időben az éjszakai lehűlés kisebb)



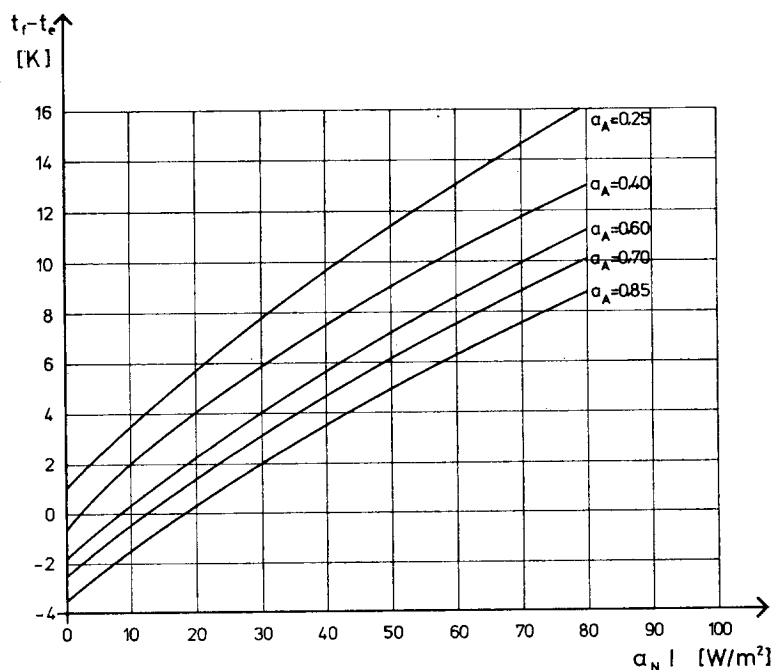
2.2. ábra. A levegő vízgőztartalmának szerepe

zásra vonatkozó és az alacsony hőmérsékleti abszorpciós tényező optimális viszonyának megteremtésével érhető el.

Az abszorpciós tényezők hatása számszerűen a 2.4. ábra alapján állapítható meg.

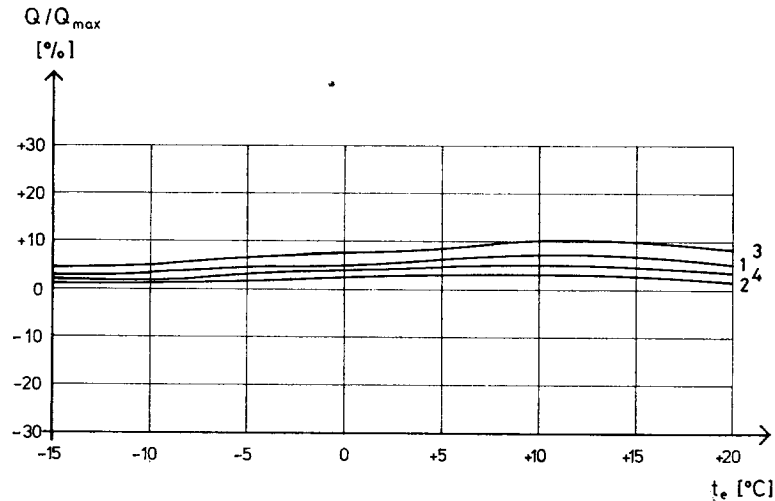


2.3. ábra. Az  $f(p)$  tapasztalati függvény



2.4. ábra. A határoló szerkezet külső felületi hőmérsékletének változása

Az abszorpciós tényezők szerepe a fűtési hőigény oldaláról nézve sem közömbös. A felület napsugárzás okozta felmelegedésének, a földi felületekkel és az égbolttal folytatott sugárzásos hőcseréjének hatását a  $k$  hőátbocsátási tényező látszólagos megváltoztatásával kifejezve a különböző feltételek mellett a 2.5. ábrán bemutatott számszerű eredmények adódnak.



2.5. ábra. A hőátbocsátási tényező látszólagos változása

1.  $a_N \geq 0,7$ ,  $a_A \geq 0,7$ ; 2.  $a_N \geq 0,7$ ,  $a_A < 0,7$ ; 3.  $a_N < 0,7$ ,  $a_A \geq 0,7$ ; 4.  $a_N < 0,7$ ,  $a_A < 0,7$

A felület hőmérsége a vezetéssel odaérkező (vagy onnan távozó) hőáramtól is függ. A kapcsolat egyértelmű, mert minél nagyobb áram érkezik a szerkezeten át a felülethez, a felületi hőmérséklet annál magasabb. E kérdés már a határoló szerkezet rétegtervével, hőszigetelésével, hőátbocsátási tényezőjével függ össze.

## 2.12 A hőátbocsátás

A fal- és födémszerkezet két szemben levő (a külső és belső) oldala rendszerint különböző hőmérsékletű levegővel érintkezik. A hő a melegebb oldalról a szerkezeten át levegőből → levegőbe megy át. E folyamatot a hőátbocsátási ellenállás, illetve ennek reciproka, a hőátbocsátási tényező jellemzi.

**A hőátbocsátási  
tényező**

A hőátbocsátási tényezőt – párhuzamos síklapokkal határolt – rétegekből álló szerkezetek esetén a

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_{j=1}^n \frac{\delta_j}{\lambda_j} + \frac{1}{\alpha_e}} \quad (2.6)$$

összefüggéssel szokás kifejezni, ahol

- $\alpha_i$  a belső oldali hőátadási tényező,
- $\alpha_e$  a külső oldali hőátadási tényező,
- $\delta$  a rétegvastagság,
- $\lambda$  a réteg anyagának hővezetési tényezője,
- $n$  a rétegek száma.

A (2.6) összefüggés érvényessége több, részben kimondott, részben hallgatólagos feltételhez kötött.

Az összefüggés időben állandósult állapotot tételez fel, és olyan párhuzamos síklapokkal határolt szerkezetekre vonatkozik, amelyekben a hőáram egyirányú, tehát

egy-egy réteg homogén,

a vastagsági méretre merőleges (felületi) méretek — elvileg — végtelen nagyok (de gyakorlatilag már a nagyságrendi különbség is elegendő).

A szerkezet mindkét (külső és belső) felülete sugárzásos hőcserében áll más felületekkel. E sugárzásos hőcsere nincs közvetlenül kapcsolatban a hőátadással. A gyakorlatban  $\alpha_i$  és  $\alpha_e$  helyébe rendszerint olyan számértékeket helyettesítenek be, amelyek nemcsak a konvektív hőátadási tényezőt tartalmazzák, hanem több-kevesebb közelítéssel a sugárzásos hőleadás hatását is tükrözik (a konvektív hőátadási tényező látszólagos megnövelése révén). E közelítésnek kizárólag a számítás egyszerűsítése a célja, és a valóságos fizikai folyamatokhoz nincs is köze.

Az elmondottakból következik, hogy a hőátbocsátási tényező nemcsak a szerkezet jellemzője, hanem még attól is függ, hogy a szóban forgó szerkezet milyen környezeti feltételek között, milyen helyzetben és milyen befoglaló méretekkel készül. A konvektív hőátadási tényezők ugyanis szabad áramlás esetén a hőmérsékletviszonyok, a hőáramlás iránya és a geometriai méretek függvényében változnak, kényszeráramlás esetében pedig közreható tényezőként még a szélesebbesség is jelentkezik.

A felületek sugárzásos hőcseréjét szintén számos — az előzőekben (2.1 alfejezetben) részletezett és — a vizsgált szerkezettől független tényező befolyásolja. Magára a szerkezetre nézve tulajdonképpen csak az

**A hővezetési ellenállás**

$$R_v = \sum_{j=1}^n \frac{\delta_j}{\lambda_j} \quad (2.7)$$



hővezetési ellenállás jellemző. A (2.6) összefüggésből azonban az is világosan kitűnik, hogy a hőátbocsátási tényező szempontjából a felületeken lejátszódó jelenségek annál kevésbé jelentősek, minél nagyobb a szerkezet hővezetési ellenállása.

A valóság feltételei között időben állandósult állapotok nem alakulnak ki, és még a felsorolt feltételek is ritkán fordulnak elő.

#### A téli feltételek

A (2.6) összefüggés mégis — méghozzá különösebb gond nélkül — számos feladat megoldására alkalmazható, mert

téli feltételek között a külső léghőmérséklet napi ingadozása és az egymást követő napok középhőmérsékletének megváltozása (az ún. interdiurnus változékonyság) egyaránt csekély (3 K alatti),

a hagyományos építés szerkezetei — aránylag kis hibát elkövetve — nagyjából és egészében homogénként kezelhetők, ami a mai könyvű és több rétegű térelhatárolásokról már egyáltalán nem mondható el,

a hagyományos szerkezetek a környezeti hatások időbeli változásaira „lustán” válaszolnak és a kisebb változásokra gyakorlatilag „érzéketlenek” maradnak, ami a mai ún. korszerű szerkezetek esetében igazán nem állítható.

A felsorolt okok következtében a (2.6) összefüggés a téli feltételek között kialakuló hőáramok számítására általában alkalmas, csak a kistömegű szerkezetek esetében kell — a később kifejtésre kerülő — kiigazításokat is figyelembe venni.

#### A nyári feltételek, követelmények

A nyári feltételek mellett a helyzet azonban már egészen más, nyáron ugyanis a befolyásoló tényezők egy, a téli feltételek között elhanyagolható csoportjának hatása annyira felerősödik, hogy számításbavétele már elengedhetetlenné válik.

E tényezők egyike a napsugárzás. A napsugárzás hatása az előző fejezetben ismertetett eljárás alapján számítható, és a szerkezet hőmérlege egy egyenletrendszerrel írható le. Az eljárás viszonylagos nehézkessége miatt a feladat megoldására, vagyis a nyári feltételek között kialakuló hőáram számítására egy olyan eljárást dolgoztak ki, amely formailag a (2.6) összefüggés felhasználását jelenti. Ennek alapja az, hogy — részletes számításokkal — előre megállapítják a határoló szerkezet felmelegedését a napsugárzás hatására.

#### A „naplég-hőmérséklet”

A felmelegedés hatását egy fiktív külső hőmérséklet (az ún. „naplég-hőmérséklet”:  $t_s$ ) segítségével fejezik ki.

Ezzel az eljárással az egységnyi felületre a hőáram a

$$q = k(t_s - t_i) \quad (2.8)$$

összefüggéssel számítható.

Az összefüggés pontosságát a napsugárzás hatását is kifejező fiktív külső hőmérséklet számításának pontossága határozza meg. Nagyon lényeges azonban annak felismerése, hogy a  $t_s$  nem kizárólag meteorológiai jellemző, mert bár függ a napsugárzás intenzitásától (ezáltal a tájolástól, a délkörtől, a naptári és a napi időponttól, valamint a külső léghőmérséklettől), emellett azonban a szerkezet jellemzőinek (az abszorpciós tényezőknek) is függvénye. Ezért a naplég-hőmérséklet adatokat közlő források használhatósága korlátozott, az adatok mindegyike csak konkrét *meteorológiai feltételekre és konkrét szerkezetekre* vonatkozik.

Nyári viszonyok között jelentős a napsugárzás intenzitásának és a külső léghőmérsékletnek napi ingadozása. Az e feltételre érvényes (és később közlésre kerülő) számítási eljárások egyszerűsítésére olyan eljárást is kidolgoztak, amely formailag ugyancsak a (2.6) összefüggés alkalmazását jelenti, és a

$$q = k(t_{ekv} - t_i) \quad (2.9)$$

kifejezésben szereplő  $t_{ekv}$  (= *ekvivalens külső hőmérséklet*) számértékében érvényesíti a napi periódusban változó napsugárzás intenzitás és a külső léghőmérséklet hatását. A számítás pontosságára és érvényességi körére vonatkozóan a naplég-hőmérséklettel kapcsolatban e tekintetben elmondottak értelemszerűen érvényesek.

A hőátbocsátási tényező olyan szerkezetekre is értelmezhető, amelyek a bevezetőben felsorolt (a homogenitásra, a vastagsághoz képest nagy méretekre vonatkozó) feltételeknek nem felelnek meg. A hőáramot ebben az esetben részletes számítások vagy kísérletek segítségével állapítják meg. A kapott értéket a felülettel és a hőmérséklet-különbséggel osztva egy olyan átlagos hőátbocsátási tényező adódik ki, amely nem a szerkezet egy-egy metszetére, hanem a szerkezet egészére vonatkozik, s így nem alkalmas a szerkezeten belüli hőmérséklet-eloszlás meghatározására, de megfelel a szerkezet egészén átjutó hőáram számítására. Ez az átlagérték a gyakorlatban rendszerint valamilyen adott szerkezetfajtára, annak valamiféle egységére (pl. egy panelra) vonatkozik. Hasonló módon képezhető az átlagos hővezetési ellenállás is.

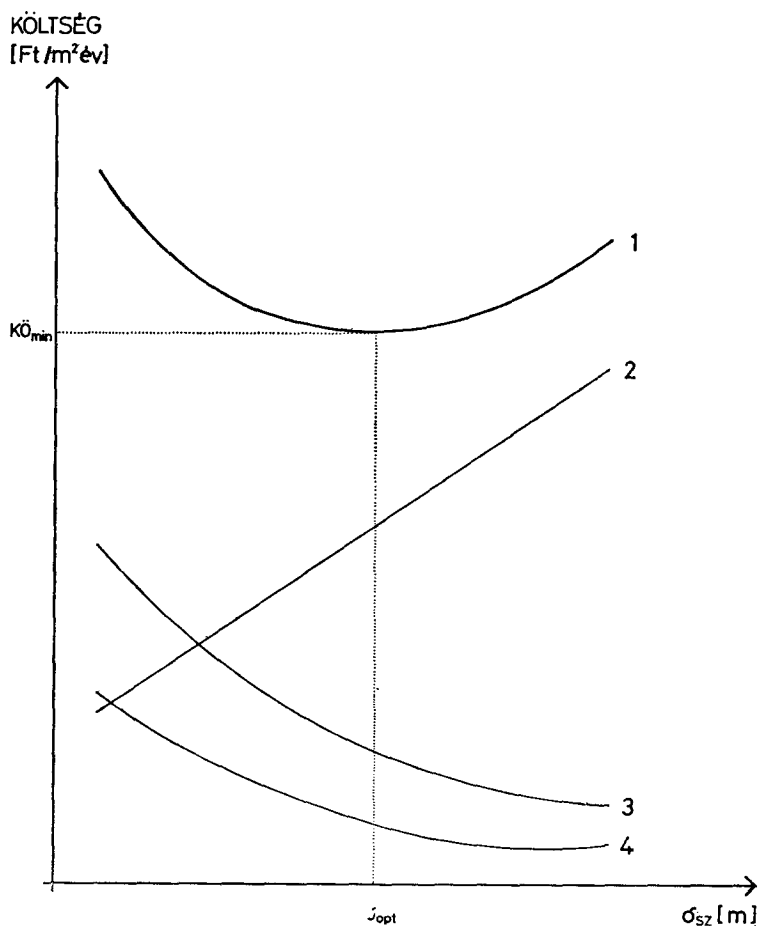
**Az átlagos  
hőátbocsátási  
tényező**

A hőátbocsátási tényező (vagy a hővezetési ellenállás) értéke és a szerkezet ára között közvetlen összefüggés van, mert a nagyobb hővezetési ellenállás adott anyag esetén a hőszigetelő réteg vastagításával, vagy egy jobb, nemesebb hőszigetelő anyag használatával, azaz mindkét esetben csak többletköltséggel érhető el. E többletköltséggel szemben azonban számottevő megtakarítás mutatkozhat az épületgépészeti berendezések beruházási és üzemeltetési költségeiben. Ebből a három tényezőtől (amortizálással vagy disz-

kontálással) képezett eredő költség minimalizálása útján határozható meg – adott anyagra nézve – az a hőszigetelő rétegvastagság, amelyet „optimálisnak” szokás nevezni.

**Az optimális  
hőszigetelő  
rétegvastagság**

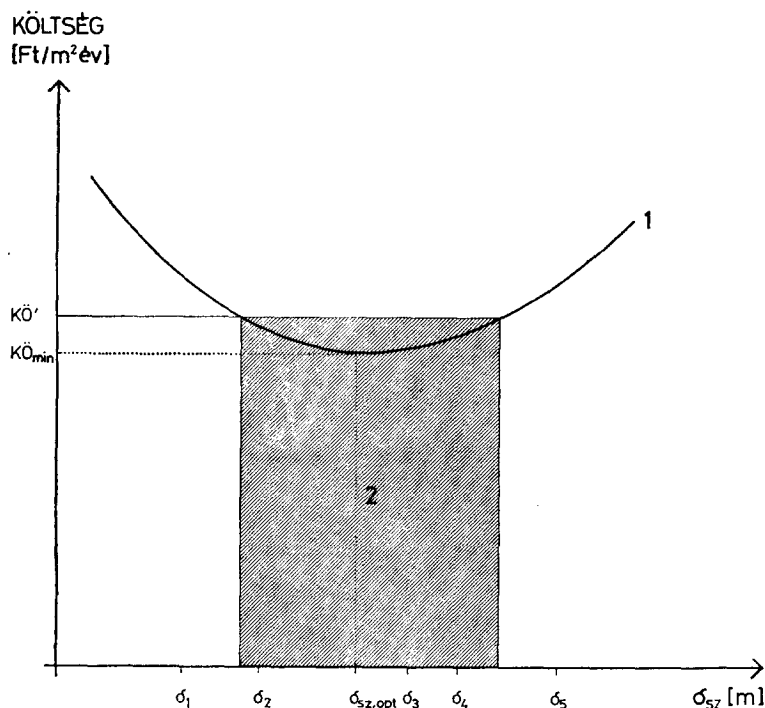
Az eljárás gondolatmenetét a 2.6. ábra szemlélteti. A szerkezet költségei két részből tevődnek össze, mégpedig a hőszigetelés költségeiből és az egyéb költségekből. A hőszigetelés ára adott anyag esetén a rétegvastagsággal arányos, de a zérus vastagságú szigetelésnek is van ára (ami a kellősítésből, a szomszédos rétegek kialakításából, az átkötésből stb. adódik ki).



2.6. ábra. Az optimalás alapelve

1. az összköltség görbéje; 2. a határoló szerkezet beruházási költségének görbéje; 3. a fűtőberendezés beruházási költségének görbéje; 4. a fűtés üzemeltetési költségének görbéje

Az épületgépészeti beruházási költségek a hőátbocsátási tényező növekedésével arányosan nőnek, és ugyanez vonatkozik az egy évre vetített üzemköltségre is. A számítás elvét az, hogy a beruházási költségeket vetítjük-e egy évre, vagy, hogy az üzemeltetési



2.7. ábra. Az optimális vastagságú hőszigetelés tartománya

1. az összköltség görbéje; 2. az optimumtartomány

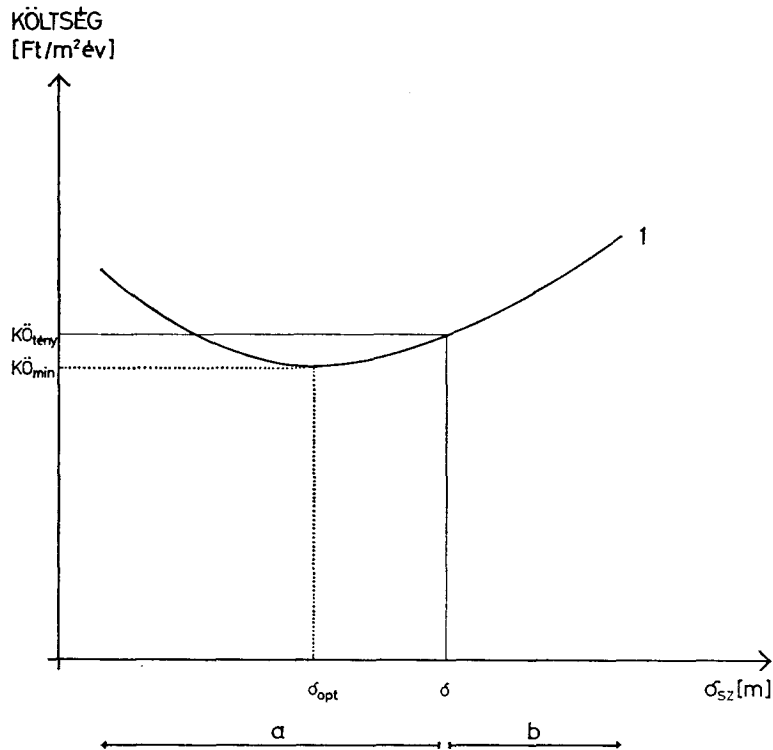
költségeket halmozzuk fel egy időszakra (előírt kamatláb, eszközlekötési járulék alkalmazásával) nem befolyásolja.

Az eljárás korlátai nyilvánvalóak, hiszen ezzel a módszerrel csak azt lehet eldönteni, hogy *valamilyen*, adott hőszigetelő *anyag* használatakor annak *milyen rétegvastagsága* mellett érhető el a költségek minimuma (egyéb tényezőktől – pl. a hőhidaktól – eltekintve).

A megoldandó feladat azonban a valóságban általában korántsem ilyen egyértelmű és egyszerű, mivel a hőszigetelés (az anyag vonatkozásában) *másból*, (a szerkezethez képest) *máshol*, (a kialakítás módja tekintetében) *másként* is készíthető.

A hőszigetelés kérdése

A „másból”, „máshol” és „másként” kérdése emellett még szorosan összefügg, sőt egymással többszörös kölcsönhatásban is van, hiszen a hőszigetelő anyag megválasztásának (éppen azok nagyon is különböző jellege, eltérő tulajdonságai és hőtechnikai jellemzőik



2.8. ábra. Példa arra az esetre, amikor az optimális vastagságú hőszigetelés nem elégíti ki a hővédelmi követelményértéket

1. az összköltség görbéje; a) a követelményértéknek nem megfelelő szerkezetek tartománya; b) a követelményértéknek megfelelő szerkezetek tartománya

következtében) messzemenően nemegyszer meghatározó, (sőt nem is ritkán még építészeti) következményei is vannak.

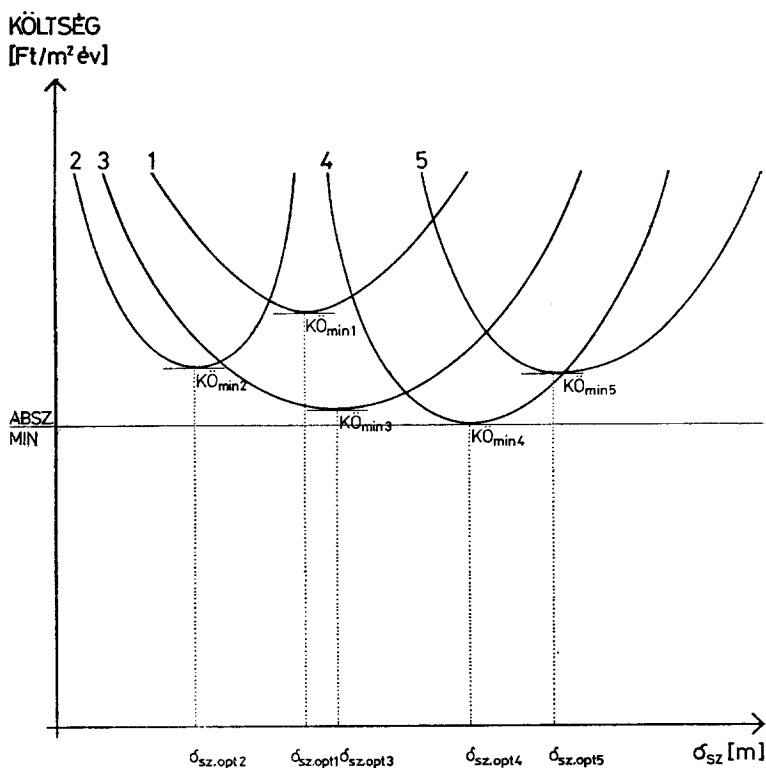
Ennek bemutatására: az anyag kiválasztása befolyásolja (esetleg el is döntheti)

a vele szomszédos (kívül-belül érintkező) szerkezetek (vagy rétegek) anyagának (árának) megválasztását, e szerkezetek (rétegek) feladatát(aít), kialakításuk, egymás közti és peremmenti kapcsolataik módját, továbbá egymásra (egymás mellé) építésének vagy

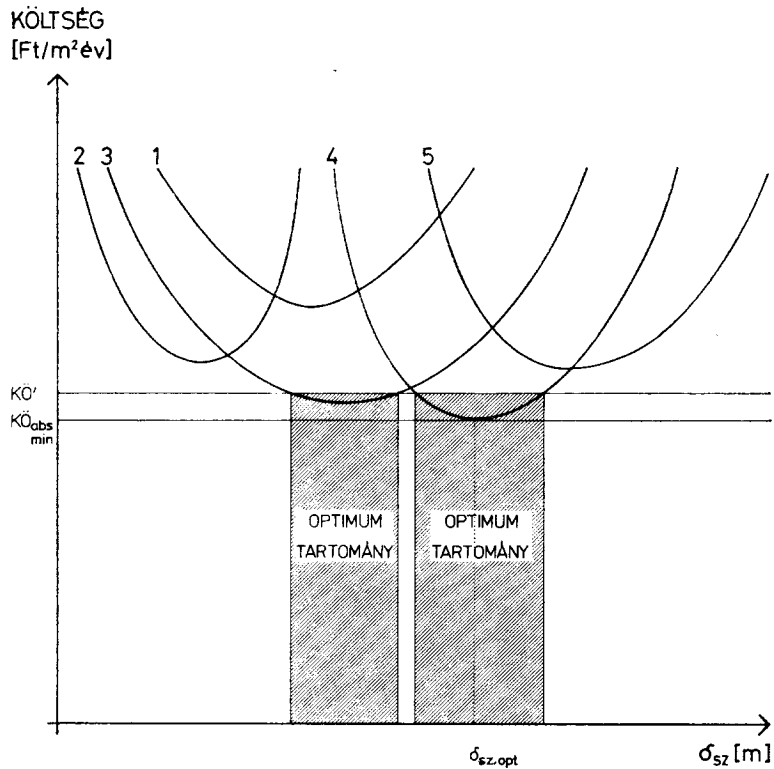
szerelésének, vagy gyártásának rendjét és mikéntjét, esetleges védelmének megoldását, majd

az egyéb áramokkal (a párával, a nedvességgel, a levegővel) kapcsolatos jelenségekből adódó tennivalókat, például új (párazáró vagy párafékező) réteg beépítésének szükségét, ezt követően

a térelosztó szerkezet végleges rétegeinek és rétegrendjének megállapítását, az azonos és eltérő síkú (pl. fal) vagy más (pl. födém vagy harántfal) szerkezetekhez való illeszkedés és csatlakozás megoldását, végül szükségszerűen a falba kerülő nyílászáró szerkezetekkel szemben (az igényszintek szükséges közelítésére, vagy a közel egyenértékűség elvére épülve) támasztott követelmények mértékét, következésképpen azok méretének, anyagának, működtetési módjának, szerkezetének stb. megállapítását, az esetleg szükségessé váló kiegészítő (pl. fényzáró, árnyékoló stb.) szerkezetek jellegét, helyét, elrendezését.



2.9. ábra. A különböző hőszigetelő anyagokkal készített külső határoló szerkezetek összköltséggörbéinek összehasonlítása, az optimális megoldás kiválasztása



2.10. ábra. A különböző hőszigetelő anyagokkal készített külső határoló szerkezetek összköltséggörbéinek összehasonlítása, az optimumtartomány (ok) kiválasztása

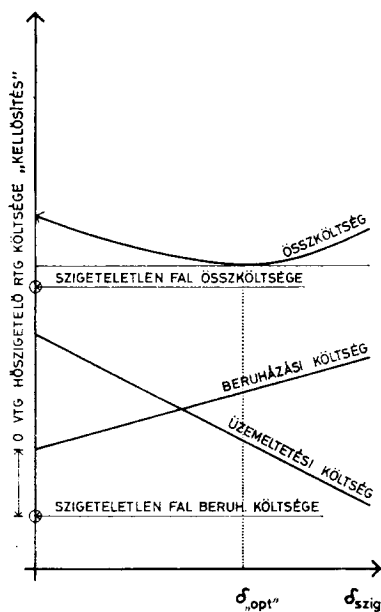
Tovább elemezve és bontva a kérdést, de annak sokféleségét és összetettségét csupán magára a hőszigetelőrétegre (annak anyagára, térbeli helyzetére, üzemi vagy helyszíni beépítési helyére és módjára) vonatkozó változatokkal és lehetőségekkel példázva:

a hőszigetelés lehet] valamilyen gyártott falszerkezet része, és készülhet:

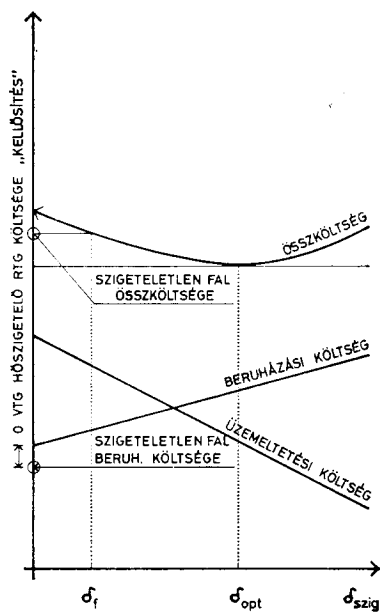
többnyire a (pl. panel) falszerkezet két (külső és belső) szilárd rétege közé magában a gyártó helyen beépített (az anyag jellegétől és előállítási módjától függően) tetszés szerinti vagy az adott méretlépcsőkhöz igazodó vastagságú réteggént (betétként);

újabban és egyre gyakrabban az ún. könnyűszerkezetes építési rendszerek térelhatároló falaiban, azok kétoldali (külső és belső) felületképző szerkezetei közé behelyezett, (beszerelt, fel-függesztett) hővédelmi réteggént (betétként, paplanként);

KÖLTSÉG



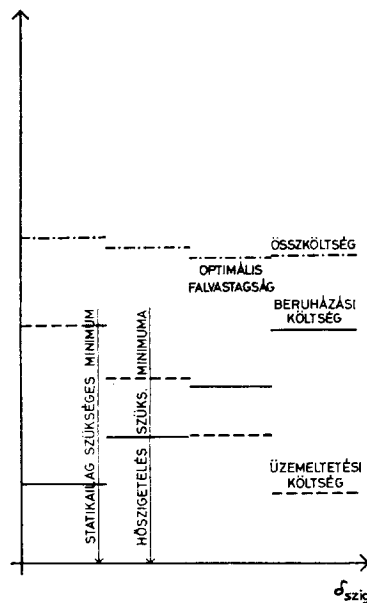
a KÖLTSÉG



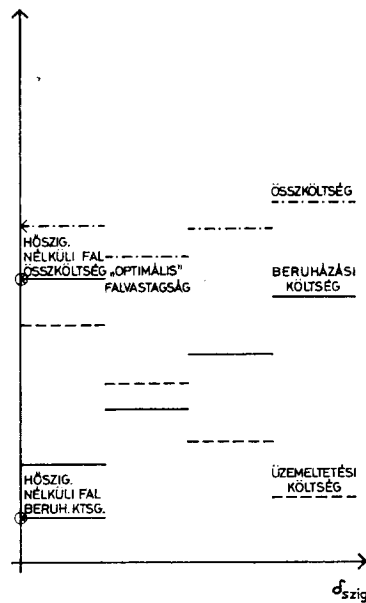
b

a, b) az összköltségek alakulása a járulékos hőszigetelő réteg vastagságának függvényében; a hőszigetetlen fal esetleg kedvezőbb (a), illetve bizonyos  $\delta_h$  vastagság alatti hőszigetelő réteg káros (b); a  $0 - \delta_R$  közötti vastagság csak akkor alkalmazható, ha a műszaki követelményérték másképp nem elégíthető ki (de ez előnytelen kényszermegoldás)

KÖLTSÉG



C KÖLTSÉG



d

c, d) az elemekből épített fal összköltségének alakulása a falvastagság (elemsorok száma) függvényében (c); az elemekkel hőszigetelt fal összköltségének alakulása a hőszigetelés vastagságának függvényében (d)

2.11. ábra. A költségek alakulása járulékos hőszigetelő réteggel és elemekből épülő fal esetén



elvétve magára a viszonylag nehéz térelhatároló falszerkezetre, annak külső oldalára, az üzemben rágyártott sajátos (a hővédelem, a csapadékvédelem és az építészeti felületképzés céljára egyaránt megfelelő) anyagú burkolati kéregként;

a hőszigetelés szerepét maga a térelhatároló szerkezet is betöltheti, ha a fal anyaga, készítési eljárása és vastagsági mérete következtében a teherhordási és a hővédelmi feladat teljesítésére egyaránt alkalmas, sőt vastagsági méretének és/vagy anyagszerkezetének változtatásával, vagyis a  $\delta$  és  $\lambda$  megfelelő megválasztásával, azok külön-külön és közös optimumának megkeresése is lehetővé válik;

a hőszigetelés lehet valamilyen helyszínen megépített térelhatároló vagy teherhordó (tégla, kő, beton stb. anyagú) falnak kiegészítő szerkezete is, és készülhet arra lehetőleg a külső oldalon felragasztott, esetleg annak két rétege közé beépített vagy (ha pl. az anyag fizikai jellemzői miatt más lehetőség nincs) arra a belső oldalon felragasztott egy (ritkábban egymáshoz képest hézagcserében készített két-)rétegű kéregként is;

a hőszigetelés kérdése nem vizsgálható az annak hatékonyságával és kritikus szakaszával, pontjaival, sávjaival szorosan összefüggő hőhíd, illesztési rés, csatlakozási hézag, építési (habarcs) hézaghálózat figyelmen kívül hagyásával és nem értékelhető a hőszigetelő réteg kialakításával kapcsolatos valamennyi szerkezeti és technológiai gond, valamint (gyártott szerkezet esetén még az ún. zérus vastagságú réteg feltételezésekor is jelentkező) költségtényező, gazdasági kihatás számításbavétele nélkül.

#### **A talajra fektetett padló**

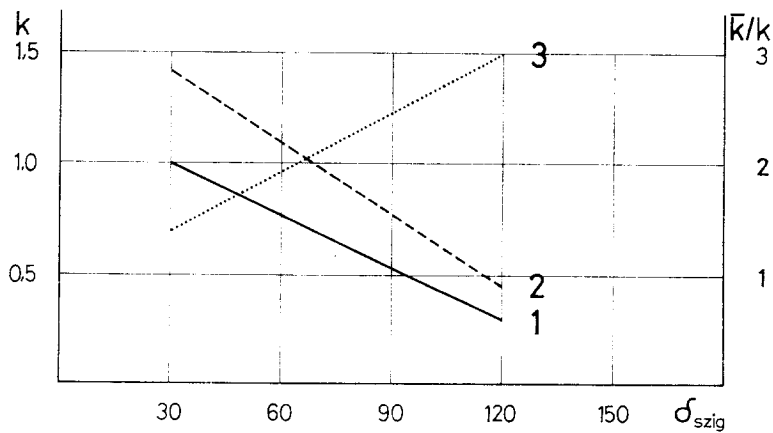
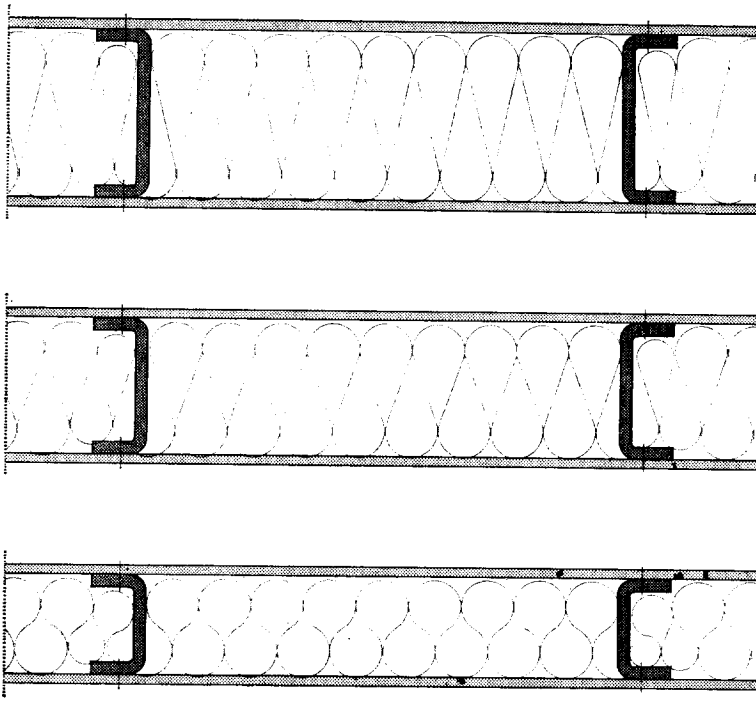
A határoló szerkezetek egy sajátos fajtája a talajra fektetett padló. E padló hőtechnikai viselkedése a következőkben tér el az egyéb határoló szerkezetekétől:

a határoló szerkezet, vagyis a padlót alkotó rétegek egy olyan szilárd közeggel érintkeznek, amely gyakorlatilag végtelen féltérnek tekinthető;

a talaj hőmérséklete a mélyebb rétegekben kevésbé változik és néhány méterrel a felszín alatt már az egész év folyamán gyakorlatilag állandó;

ha a talajra fektetett padló területe minden határon túl nő, a padló és a talaj között egydimenziós hőáram alakul ki;

ez a hőáram kezdetben (a helyiség fűtő- vagy hűtőberendezésének üzembe helyezésekor) viszonylag nagyobb, de az idő folyamán csökken, mégpedig annak megfelelően, hogy a padló alatti talaj egyre inkább felmelegszik vagy lehűl;



**2.12. ábra.** A hőhidak hatása az eredő hőátbocsátási tényezőre ( $\bar{k}$ )

1. az általános rétegterv szerinti  $k$ ; 2. az átlagérték  $\bar{k}$ ; 3. a  $\bar{k}/k$  viszony. A hőszigetelőréteg vastagságának növelésével elért eredményt a hőhidak lényegesen leronthatják, mégpedig viszonylag annál inkább, minél jobb a hőhídmentes részek hőszigetelése

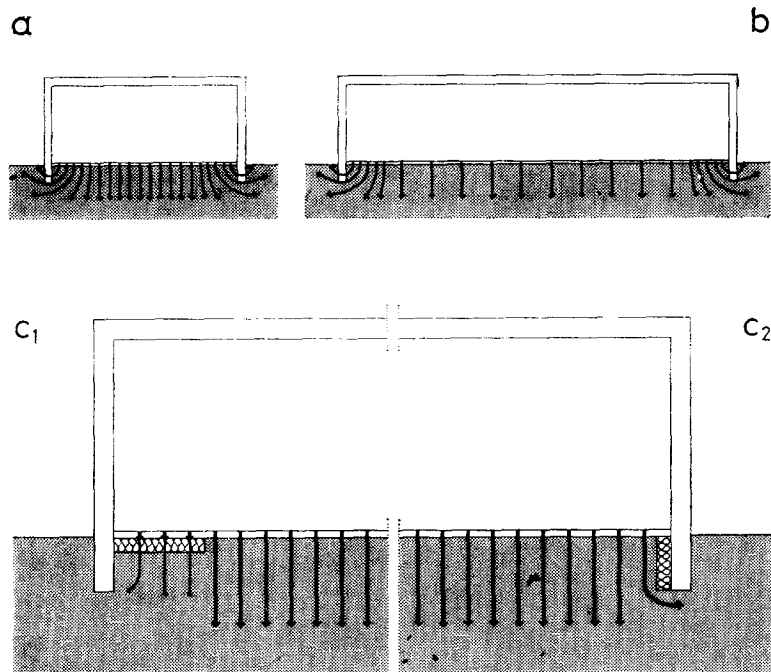
egy-két hét után a talajba hatoló hőáram a kezdeti érték néhány százalékára csökken.

A padló alatti átmelegedett vagy áthűlt talajtömeg rendkívül jelentős hőmérséklet-stabilizáló hatást gyakorol a helyiségre, amely ennek következtében kevésbé érzékennyé válik a rövid ideig tartó hideg (illetve hőség) hullámokra, a napi periódusú vagy a hétvégi üzemszünetekre.

A padlónak az épület kontúrjához közel eső sávjai (szakaszai) és a talaj között több dimenziós hőáramok alakulnak ki, az épület alapterületén kívül eső talajtömegek és a talaj felszíne irányában. Miután e helyeken az egységnyi padlóterülethez viszonylag nagyobb talajtömeg tartozik és a talajfelszínhez közeli talajrétegek „élénkebben” követik a külső légköri jellemzők változásait, a körrajzhoz közelebbi padlósávokon áthaladó hőáramok nagyobbak (2.13. ábra).

A geometriai  
adottságok  
szerepe

Az eddigiekből következik, hogy a talajra fektetett padló egészen áthaladó hőáram a padló alapterületének nagyságától, az alapterület és a körvonalméret viszonyától függ, és pedig minél nagyobb



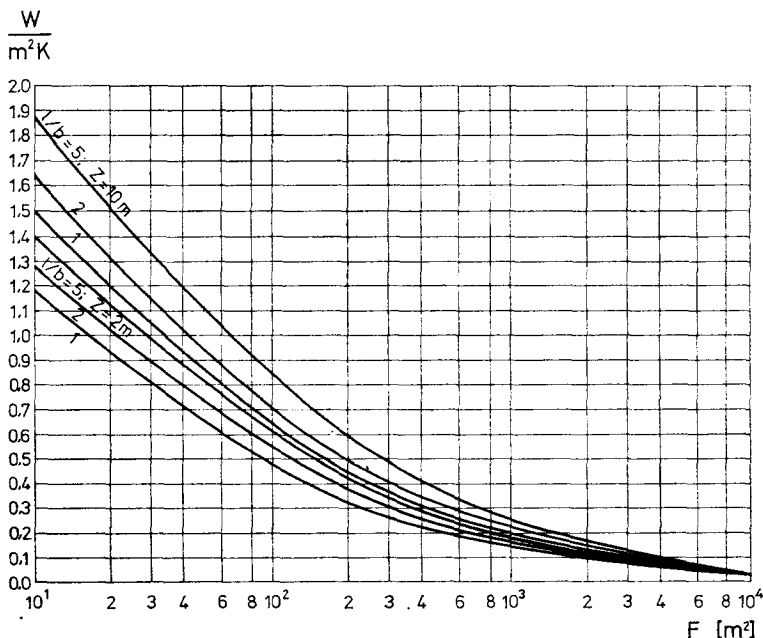
2.13. ábra. A talajra fektetett nagy felületű padló

a, b) a méretek hatása a hővesztésre; c<sub>1</sub>, c<sub>2</sub>) a hőszigetelés elhelyezésének két lehetséges módja

a padló és minél kisebb az egységnyi alapterületre jutó körvonal-méret, annál kisebb az egységnyi alapterületre jutó átlagos hőáram-sűrűség. A nagy alapterületű padló belső részében, magjában a hő-szigetelés inkább csak a talaj átmelegedését vagy áthűlését késlelteti és a kezdeti időszak után a padlóba hatoló hőáramot lényegében nem befolyásolja. A hőszigetelés elsősorban a kerület menti néhány méter szélességű sávban, és/vagy a lábazat és az alapozás felmenő részeinek függőleges felületein elhelyezve hatékony.

A talajba jutó hőáram nagyságát befolyásolja a talajvíz jelenléte és szintje. A nedves talaj fajhője nagyobb, mint a szárazé, tehát átmelegedése vagy áthűlése több hőtartalom-változással jár. Adott esetben a talajvíz mozoghat, áramolhat is, így a padló alatti talaj hőtartalma konvektív úton is változhat. E hatások nyilván annál erősebbek, minél közelebb van a talajvízszint a padlószinthez. Bizonyos esetekben a talajvíz jelenléte hőtechnikai beavatkozást is követel: pl. egy hűtőház alatti talajtömeg átfagyása jégencseképződéshez s ezáltal szerkezeti károsodáshoz vezethet, ami ellen a padló alatti tér melegebb levegővel való átszellőztetésével, fűtésével lehet védekezni.

#### A talajvíz szerepe



2.14. ábra. A padló egyenértékű hőátbocsátási tényezője

$l/b$  élarány,  $z$  a talajvíz szintje,  $F$  a padlófelület

**A hőáram** A padlón át a a talajba jutó hőáram számítása analitikus összefüggésekkel csak jelentős egyszerűsítések árán lehetséges. Viszonylag pontosabb adatok csak tetemes számítástechnikai apparátussal és időráfordítással határozhatók meg. A gyakorlati feladatok megoldására közelítő összefüggések szolgálnak. Jól használható közelítő összefüggés a

$$Q = F \left[ k_e(t_i - t_t) + \frac{\lambda_t}{h} (t_i - t_f) \right], \quad (2.10)$$

ahol

$F$  a padló felülete,  
 $k_a$  az egyenértékű hőátbocsátási tényező, értéke az alapterület és az oldalméretek arányának függvényében a 2.14. ábrából olvasható le [15],  
 $t_i$  a belső hőmérséklet,  
 $t_t$  a talaj hőmérséklete,  
 $\lambda_t$  a talaj hővezetési tényezője,  
 $h$  a talajvízszint távolsága a padlószinttől,  
 $t_f$  a talajvíz hőmérséklete.

Pontosabb adatok hiányában  $t_t = 0^\circ\text{C}$ ,  $t_f = 10^\circ\text{C}$ ,  $\lambda_t = 1,2 \text{ W/m K}$  értékek vehetők figyelembe.

### 2.13 A hőhidak

**A több dimenziós hőmérsékletmezők kialakulása**

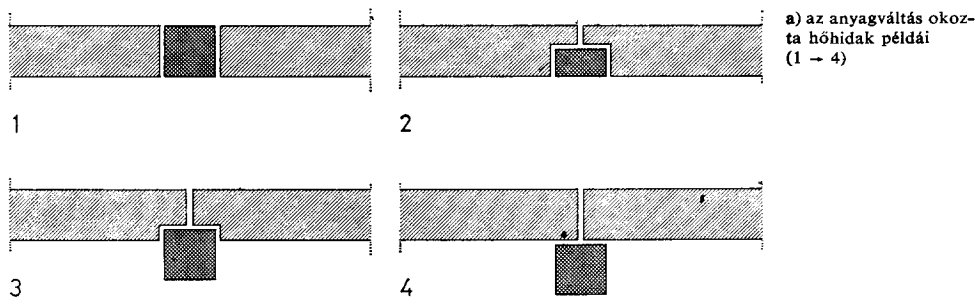
Az egydimenziós hővezetés kialakulásának feltételei meglehetősen szigorúak, ritkán teljesülnek és ez nemcsak elvileg van így, de a gyakorlati számítások szempontjából is igaz, a valóságos körülmények között ugyanis mindig vannak a határoló szerkezetnek olyan részei, amelyek mentén az egydimenziós hővezetés még közelítő feltételezésként sem fogadható el.

Ennek lehet oka az, hogy

a szóban forgó épületszerkezetet, szerkezeti részt nem két párhuzamos síkfelület határolja (pl. ha falsarokról, falkereszteződésről, fal- és födémcsatlakozásról van szó);

a határoló szerkezet egy-egy szakasza, része, rétege anyagában nem homogén (pl. ha a falba más anyagú pillér vagy merevítő borda kerül, a falra kerülő hőszigetelő réteg anyaga vált);

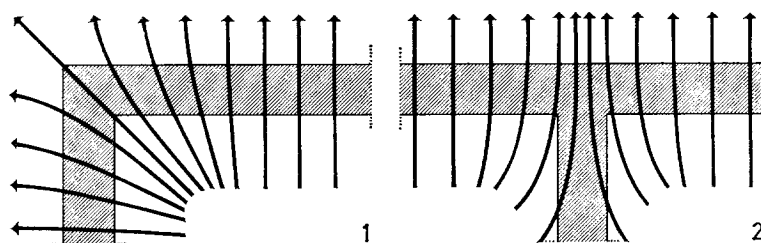
a szerkezet keresztmetszet- vagy szelvényváltása és heterogenitása társultan (vagyis egy helyen és együtt) jelentkezik (pl. ha különböző anyagú falak csatlakoznak, kereszteződnek).



a) az anyagváltás okozta hőhidak példái (1 → 4)

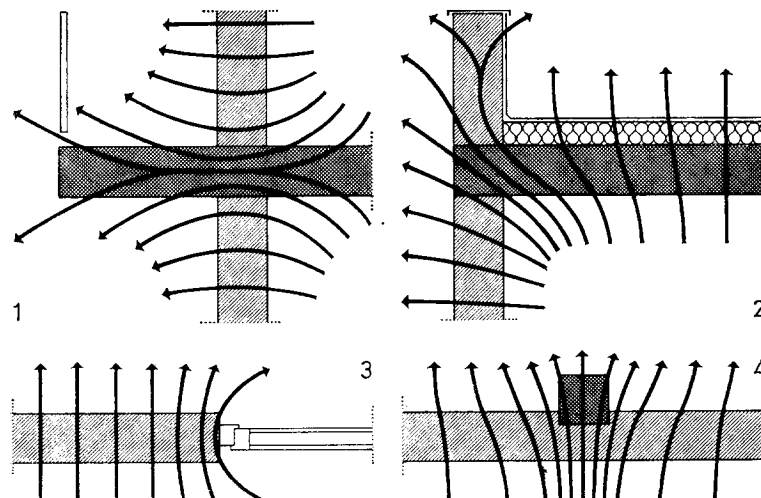
a

b



b) a forma okozta hőhidak példái (1,2)

c



c) az anyagváltás és a forma okozta hőhidak példái (1 → 4)

2.15. ábra. A hőhídtípusok

A határoló épületszerkezeteknek azokat a helyeit (pontjait, sávjait, szakaszait) ahol – *a geometriai viszonyok és/vagy a különböző fajtájú és tulajdonságú anyagok együttes alkalmazása következtében – két- vagy háromdimenziós hőáramok alakulnak ki, „hőhidak”-nak nevezik (2.15. ábra).*

**A hőhidak hatása**

A hőhidak hatása, gyakorlati következménye kettős, mert

a hőhidak (belső) felületi hőmérséklete a határoló szerkezet hőhidmentes általános felületének hőmérsékleténél alacsonyabb, akár lényegesen alacsonyabb is lehet, ami a szerkezet állapotát, használati értékét rontja, akár veszélyeztetheti is (hiszen e helyeken páralecsapódással, elszíneződéssel vagy más elváltozással is számolni kell);

a hőhidakon áthaladó hőáramok nagyobbak, mint a határoló szerkezet ugyanakkora hőhidmentes felületén áthaladó hőáramok, s ennek következtében a hőhidak következményeként a szerkezet egészen áthaladó hőáram lényegesen nagyobb, akár 50–100%-kal is több lehet, mint az ugyanakkora felületű, de hőhidmentes szerkezeteké.

**A hőhidak elkerülhetetlensége**

A hőhidak – még az épületfizikai szempontból leggondosabb tervezés esetén is – elkerülhetetlenek,

hiszen egy valóságos szerkezet mindig végződik valahol, ahhoz mindig csatlakozik valami, abba mindig beleépül valami, arra mindig ráépül valami;

hiszen még homogén anyagú szerkezet esetén is: a falvégek, a falsarkok, a falkávák, a fal- és földemcsatlakozások stb. mindenképpen hőhidat jelentenek.

**A hőhidmentes szerkezet**

A gyakorlat szóhasználatában „hőhidmentes”-nek azokat a szerkezeteket nevezik, amelyekben az inhomogén szerkezet, a különböző hőtechnikai tulajdonságú anyagok beépítése (az anyagok megválasztása és a szerkezeti kialakítás módja következtében) alig, vagy csak elhanyagolható mértékben idéz elő változást a belső felület hőmérsékletében, illetve a hőáram nagyságában. Az e fajtájú hőhidmentesség – a lehetőleg homogén rétegekből való szerkesztésre törekvés mellett – a hőtechnikai kiegyenlítést megkísérítő szerkezettervezés segítségével közelíthető meg, jó esetben érhető el. Például, ha a térelhatároló falba tartószerkezeti okból nagy teherbírású és a falétől nagymértékben eltérő hőtechnikai tulajdonságú (nagy hővezetési tényezőjű) acél vagy vasbeton pillérek (oszlopok) kerülnek, akkor ennek az elrendezésnek kedvezőtlen hatása – éppen a szerkezeti inhomogenitás fokozásával – kitűnő hőszigetelő anyagú réteg(ek), sáv(ok) beépítésével csökkent-

hető, esetleg ki is küszöbölhető. Ehhez azonban (természetesen) olyan geometriai kialakítás (szerkezeti elrendezés) szükséges, amely lehetővé teszi, hogy a hőszigetelő réteg(ek) a hő fő áramlási irányára merőleges helyzetben legyen(ek).

A szerkezeti inhomogenitásból adódó hőhidak leginkább és leggyakrabban a több rétegű térelhatároló szerkezetekben fordulnak elő. E szerkezetek tervezési elve ugyanis az, hogy a térelhatárolás egészére értelmezett (és vonatkozó) valamennyi követelményt azok külön-külön kielégítésére szolgáló (felületképző, csapadékvédelmi, hőszigetelő, párazáró stb.) rétegek összessége teljesíti, míg a teherhordás vagy e rétegek (e célra alkalmas) valamelyikének, vagy gyakran magába a térelhatároló szerkezetbe beépülő, illetve (sűrűbben) a mögé, (ritkábban) az elé kerülő függőleges vázszerkezeti elemek, vagy a térelhatárolás síkjára merőleges helyzetű harántfalak sorának feladata.

A teherhordási és térelhatárolási funkciók szétválasztása, továbbá a térelhatárolás többféle feladatának elkülönítése egy sor különböző tulajdonságú (szilárdságú, sérülésérzékenységgű, tartósságú, hőszigetelő értékű, párazárású, csapadékkellenállású) réteg

szerkezeti szempontból: káros elváltozás- és alakváltozásmentes, míg

építészeti szempontból: (minden értelemben) értékcsökkenés nélküli,

össze- és egymás mellé, vagy egymásra építését, s ahol szükséges együttműködését tételezi fel, sőt követeli meg.

A hőhidat okozó elem hatását annak szerkezetbeli helyzete, átmenő vagy megszakított volta, egyszerű vagy összetett alakja és két vagy háromirányú (de főként a befogadó szerkezet síkjával párhuzamos) mérete (karcsúsága) határozza meg.

A hőhid hatása annál kedvezőtlenebb, minél „szélesebb” a fal vastagsági méretéhez képest (2.16. ábra). Egyszerű alak esetén a szélesség/vastagság hányadost a hőhid „karcsúságának” nevezik. Összetett alak esetén a méretfelvétel és -értelmezés esetenkénti és megállapodásszerű. Ezért a „karcsúság”, mint mérőszám csak azonos formatípusú hőhidak jellemzésére használható (2.17. ábra).

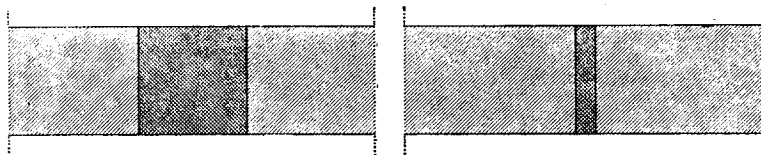
A hőhidat létrehozó elem hatása jelentős mértékben függ attól, hogy a szóban forgó elem a határoló szerkezet teljes vastagságán „átmegy”-e vagy sem (2.18. ábra). Magától értetődik, hogy az „átmenő” hőhid hatása jóval kedvezőtlenebb.

**A hőhid és az építési mód**

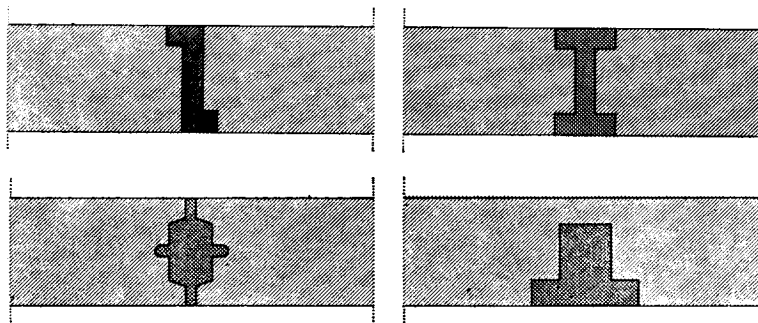
**A hőhid „karcsúsága”**

**Az „átmenő” hőhid**

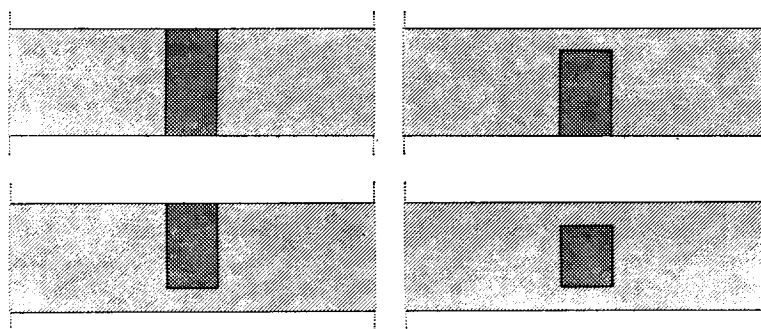




2.16. ábra. A hőhidak ún. karcsúsága



2.17. ábra. Példák a hőhid alaki változataira

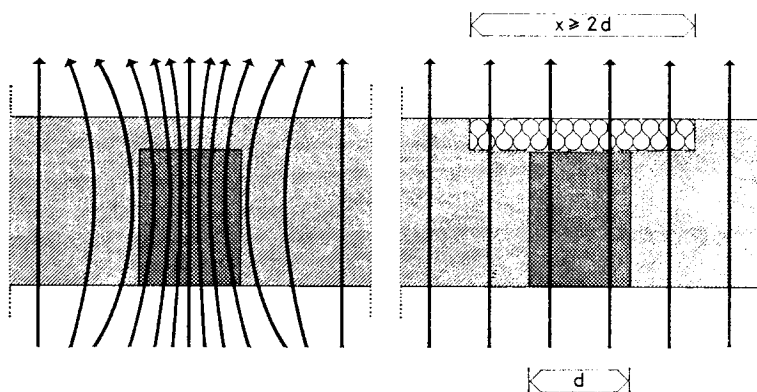


2.18. ábra. Az átmenő és nem átmenő hőhidak

A „nem átmenő”,  
a megszakított  
hőhid

Az „átmenő hőhid” hatása az „átmenő” jelleg megszüntetésével, azaz a hőhid megszakításával számottevően mérsékelhető, javítható. Ennek legegyszerűbb és legkevésbé hatékony példája az, ha a térelhatároló szerkezetek egy saját anyagú sávja – a hőhid előtt (mögött) átmenve – azt megszakítja. A „nem átmenő” hőhidak hatása a szerkezet inhomogenitásának fokozásával, vagyis – a hőhid előtt vagy mögött, esetleg előtte és mögötte is – hőszigetelő sávok beépítésével még tovább javítható, esetleg még ki is küszöbölhető. E megoldás azonban csak akkor hatékony igazán, ha a hőszigetelő sávok szélessége a hőhidat jóval meghaladja, mert a hő-

áram — képletesen szólva — nem a geometriailag, hanem a hővezetési ellenállás szempontjából legrövidebb utat keresi és találja is meg (2.19. ábra).



2.19. ábra. A hőhid menti hőszigetelés alkalmazása (a túlnyúlás szükségességének bemutatásával)

A hőszigetelő sáv szükséges szélessége ezért a térelhatároló (fal) szerkezet vastagságának kb. kétszerese, a tapasztalat szerint ugyanis ez az a sávzsélesség, amelyen kívül a hőhidat okozó elem hatása gyakorlatilag „elhal”, vagyis a hővezetés már egydimenziósnak tekinthető.

**A hőszigetelő sáv szükséges szélessége**

A 2.17., 2.18. ábrákon bemutatott hőhídtípusok elsősorban a szilikátbázisú (főként vasbeton) vázas és táblás (paneles) építési módokra, szerkezeti rendszerekre jellemzőek. Ezek néhány egyszerűbb formatípusára a szabványok egyszerű, közelítő számítási összefüggésekkel szolgálnak.

**A szilikátbázisú épületek hőhídjai**

A szilikátbázisú szerkezeti rendszerekkel kapcsolatban tárgyalhatók a nagy elemek (nagy blokkok, panelek) illesztési hézagai, ahol a több dimenziós hőmérsékletmező kialakulásának és a hőáram változásának — azaz hatásában egy hőhídszerű jelenség kialakulásának — a hézagon keresztül beáramló levegő az oka.

A levegő áramlását a légnyomáskülönbség idézi elő, amely a felhajtóerő, a szél vagy a szellőztető berendezés következtében alakul ki. (A száraz levegő parciális nyomáskülönbségéből származó légáramlás elhanyagolható.)

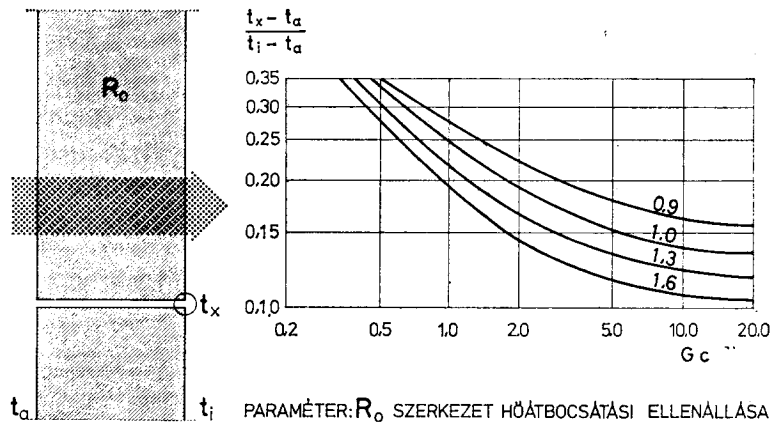
A résen átjutó, egy folyóméterre vonatkozó fajlagos légtömegáram, ha a  $\Delta p$  nyomáskülönbség ismert, a

$$V = \frac{\Delta p}{R} \quad (2.11)$$

összefüggésből határozható meg, egyébként az épület filtrációs levegőforgalmának számítása során határozható meg. Az összefüggésben  $R$  az egységnyi hosszúságú rés fajlagos légáteresztési ellenállása.

#### A felületi hőmérséklet

Ha a hideg levegő áramlik a résen át a helyiségbe, a légáram az elemek bütüfelületét lehűti, a beáramló levegő felmelegszik, de a belső felület hőmérsékletét nem éri el. A fal belső felületi hőmérséklete a rés mellett alacsonyabb lesz, mint a réstől távolabb. Értéke a 2.20. ábra segítségével határozható meg.



2.20. ábra. A belső felületi hőmérséklet a légrés tövében

Minél jobb hőszigetelésű a fal, annál alacsonyabb lesz a rés melletti sarok hőmérséklete és a helyiségbe bejutó levegő hőmérséklete. A jó hőszigetelés miatt ugyanis kevesebb hő áramlik a fal síkjával párhuzamosan az elem bütüfelülete felé.

A résen bejutó levegő helyiség-hőmérsékletre való felfűtése további forrást – fűtőteljesítményt – igényel. (Ez a szellőzési vagy filtrációs hőigény egyik összetevője.) Megjegyzendő, hogy a hideg légáram – különösen, ha fal- és padlófelület csatlakozásánál jut a helyiségbe – kielégítő átlagos mikroklíma feltételek mellett is hőérzeti panaszokat okozhat.

A ma egyre inkább elterjedő fém- és műanyagbázisú könnyűszerkezetes építési rendszerekre jellemző hőhídtípusok — az előzőkben említett fajtáknál — már jóval nehezebben kezelhetők. Ennek oka és magyarázata az, hogy e szerkezeti rendszerek térelhatároló falainak tömör részei két — egymástól nagyon is eltérő hőtechnikai tulajdonságú — anyagfajtából készülnek, éspedig

A könnyűszerkezetes épületek hőhídjai

a falak keretezését, peremezését, merevítését és felületképzését általában fémből szerkesztik, tehát olyan anyagból, amelynek hővezetési tényezője „százás” nagyságrendű, míg

e falak hőszigetelését valamilyen fajtájú kitűnő szigetelőértékű műanyaghab-rétegekből, paplanokból alakítják ki, tehát olyan anyagból, amelynek hővezetési tényezője csupán „század” nagyságrendű,

következésképpen két olyan fajtájú anyag társításáról van szó, amelyek közül az egyik hővezetési tényezője több ezerszerese a másikénak (a hagyományos anyagok és szerkezeti rendszerek alkalmazásakor ilyen arányok nem fordulnak elő, sőt el sem képzelhetők).

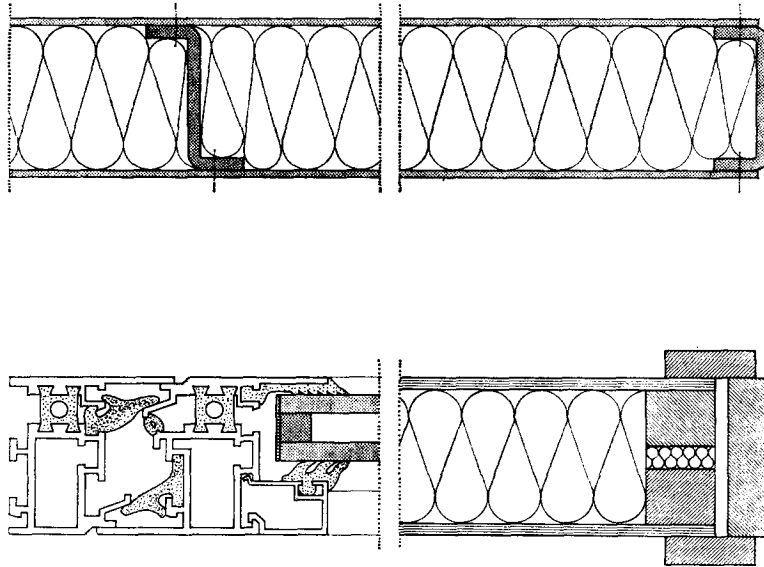
A hővezetési tényezők eltérése, aránya

Magától értetődik, hogy ilyen körülmények között nincs különösebb jelentősége annak, hogy ez esetben a hőhidat alkotó elemek (éppen a fémek nagy szilárdsága és szerkezeti kialakításának adott lehetősége következtében) „karcsúak”, vagy akár „nagyon karcsúak” is, hiszen a karcsúság csak akkor játszhatna szerepet, ha a hőhidat okozó elemek felülete csak ezred-tízezred része lenne a vizsgált fal felületének (2.21. ábra).

A hővezetési tényezők közötti több nagyságrendi eltérés miatt a hőátbocsátási tényezők közötti eltérés is nagyságrendi, s így ott, ahol „átmenő” fémes hőhíd keletkezik, a hőátbocsátási tényező gyakorlatilag csak a hőátadási tényezők függvénye. Ezért — a jelenség megengedhető egyszerűsítésével — az egész szerkezet átlagos hőátbocsátási tényezője becsléssel úgy állapítható meg, hogy ahány százalékát teszi ki az átmenő fémes hőhidak felülete az egész szerkezet homlokfelületének, annyiszor tíz százalékkal lesz nagyobb az átlagos hőátbocsátási tényező a — hőhídmentes helyre a rétegeterv alapján — számított hőátbocsátási tényezőnél.

A hőátbocsátási tényezők eltérése, növekedése

A fém anyagú felületképző rétegeket összekötő fémes hőhidak — nagy karcsúságuk ellenére is — másfél-kétszeresére növelhetik a vizsgált falszerkezet átlagos hőátbocsátási tényezőjét. Emellett a hőhidat okozó elemek hatása — a felületképző rétegek nagyon jó hővezető képessége folytán — az elem helyétől viszonylag nagy távolságban is észlelhető. Ez csupán átmenő fémes összeköttetések nélküli „hőhídmentes” szerkezet kialakításával kerülhető el. Az eddig elmondottakból következik, hogy az átmenő fémes össze-



2.21. ábra. A szerelt könnyűszerkezetek hőhidjai (közből és a perem mentén)

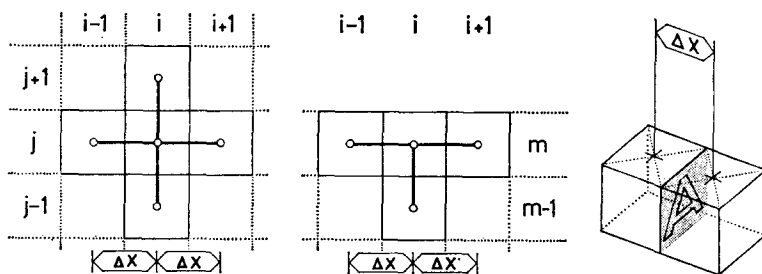
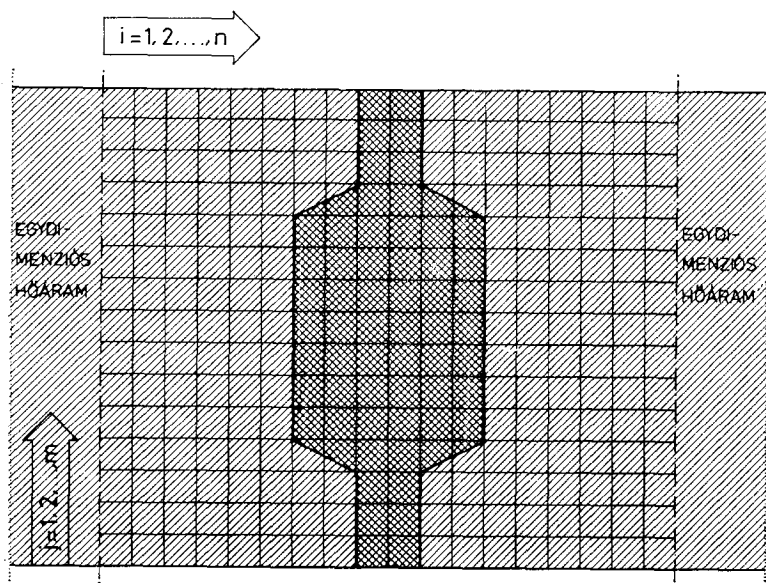
kötések megszakításával olyan hatás érhető el, amely egyenértékű a teljes hőszigetelő-réteg vastagságának megkétszerezésével a szerkezet teljes felületén.

A közelítő  
összefüggések  
eredete

A hőhidak hatását gyakran vizsgálják kísérleti úton. Ilyenkor rendszerint egy nagyobb szerkezeti egységet helyeznek egy olyan vizsgáló berendezésbe (klímakamrába), amelyben a szerkezet két oldalán a légállapotok szabályozhatók. A mérési eredményekből a hőáramok meghatározhatók és a hőmérséklet-eloszlás is megállapítható. A hőmérséklet-eloszlásból a szerkezet állagvédelmére lehet következtetni, míg a hőáramokból rendszerint egy a szerkezet egészét (általában annak valamilyen természetes egységét) jellemző átlagos hőátbocsátási tényezőt (vagy átlagos hővezetési ellenállást) lehet meghatározni.

A szerzett tapasztalatok alapján néhány olyan tájékoztató összefüggés kidolgozására is sor került, amelyek segítségével egyes fal (pl. panel) típusok hőátbocsátási tényezője előre megbecsülhető, mégpedig a kerület és terület viszonyának, az átmenő fémes kapcsolatok hossza és a terület viszonyának függvényében.

A kísérleti eredmények feldolgozásából származó és bizonyos formatípusokra korlátozódó érvényességű közelítő összefüggések mellett léteznek a két- és háromdimenziós hőáramok és hőmérséklet-eloszlások számításának általános érvényű módszerei is. Az



2.22. ábra. A szerkezet képzeletbeli egyenletes felosztása a hőmérség számításához

ezekre épülő eljárások hosszadalmassága azonban már számítástechnikai berendezések alkalmazását teszi szükségessé.

Ezeknek az eljárásoknak az az alapja, hogy a vizsgálandó épület-szerkezetet vagy annak egy kiragadott részét képzeletbeli lehatárolásokkal – egyenesekkel, síkokkal – számos „elemi” részrendszerre bontják, darabolják (2.22. ábra). Az egyes elemi részrendszerekre a mérlegegyenletek felírhatók, annak feltételezésével, hogy egy-egy elemen belül az intenzív jellemzők (ez esetben a hőmérséklet) egyetlen átlagértékkel megadhatók. E mérlegegyenletek összefüggő egyenletrendszer alkotnak, amelynek megoldása adja a végeredményt.

**Az általános érvényű számítási eljárások**

A képzeletbeli felbontással, osztással létrehozott részrendszerek számát úgy kell megállapítani, hogy

az egy elemen belüli hőmérséklet-eloszlás elhanyagolása az eredményben még ne lépje túl az elfogadható hiba határát;

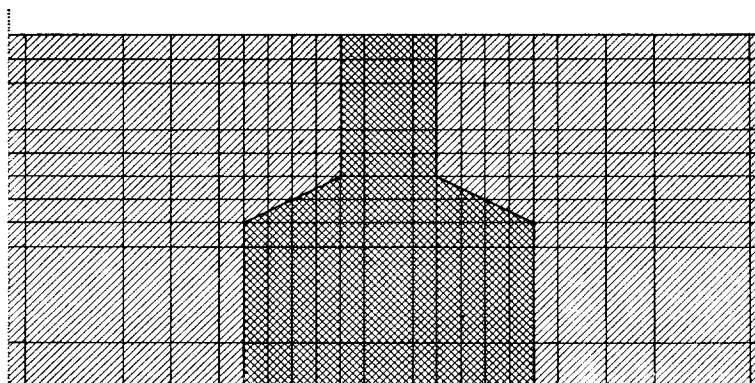
az elemek számának növelésével együttjáró (az adatelőkészítésre és a számításra fordított) munka- és időbefektetés ne legyen aránytalanul sok a számítási hiba csökkenésének mértékéhez képest;

az elemek geometriai méretei arányos összhangban legyenek a vizsgált épület szerkezetével.

A képzeletbeli felbontással kapcsolatban azonban nem követelmény, hogy négyzet, illetve kocka alakú elemek jöjjenek létre. A vizsgált szerkezet alakjától és kialakításától függően ugyanis esetleg más alakú elemek, vagy akár változó méretű elemek alkalmazása is indokolt, sőt még kedvezőbb is lehet. Ez utóbbi bontás akkor kedvező, ha az ún. „érdekesebb” helyeken az elemek „kiseb-  
bek”, mint a kevésbé érdekes helyek elemei (2.23. ábra).

Ha a vizsgálat tárgya a szerkezet egy kiragadott része, akkor annak határain – a feltételezés szerint – a hőáramlás egydimenziós. Ez a feltétel azonban gyakorlatilag csak akkor teljesül, ha a kiragadott rész szélessége legalább a falvastagság kétszerese. E feltevés a hőmérséklet-eloszlás vizsgálatakor kapott eredmények alapján ellenőrizhető, sőt – szükség esetén – ki is igazítható.

A „darabolás” elvégeztével nagyszámú részrendszer keletkezik. A rendszeren belül minden elem kapcsolatban áll a szomszédos elemekkel, emellett egyes elemek a környezettel is érintkeznek.



2.23. ábra. A szerkezet képzeletbeli nem egyenletes (a finomabb szakaszon sűrűbb, a durvább részen ritkább) felosztása a hőmérséklet számításához.

Az egyes elemekre a hőmérséklet, kapcsolataikra pedig a hővezetési tényező (vagy ellenállás) a jellemző. Az elemek – ezeknek az adatoknak alapján és függvényében – csoportosíthatók, és a kiindulási adatok ily módon összevonva is megadhatók.

Miután ez esetben időben állandósult és forrásmentes jelenségről van szó, az egy-egy elemre vonatkozó egyensúlyi állapot a befolyó és távozó áramok egyenlőségét jelenti, vagyis

**Az alapösszefüggés**

$$V_{(i,j),(i-1,j)}(t_{(i,j)} - t_{(i-1,j)}) + V_{(i,j),(i+1,j)}(t_{(i,j)} - t_{(i+1,j)}) + \\ + V_{(i,j),(i,j-1)}(t_{(i,j)} - t_{(i,j-1)}) + V_{(i,j),(i,j+1)}(t_{(i,j)} - t_{(i,j+1)}) = 0. \quad (2.11)$$

(Háromdimenziós hőmérséklet-eloszlás esetén egy elemnek hat szomszédja van, s így az azokkal való kapcsolatának kifejezéséhez az egyenlet még két további hasonló taggal bővül ki.)

A fenti összefüggésben a  $V$  vezetőképességek a

$$V = \frac{A\lambda}{\Delta x} \quad (2.12)$$

összefüggéssel számíthatók, és ha a  $\Delta x$  méreten belül többféle anyag fordul elő, akkor

$$V = A \Sigma \frac{\lambda}{\delta}. \quad (2.13)$$

A környezettel is érintkező elemek esetében

$$V = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \frac{\Delta x}{2\lambda}} \quad (2.14)$$

alakú vezetőképességek is előfordulnak, ahol  $\alpha$  a hőátadási tényező.

A (2.11) összefüggésnek megfelelő mérlegegyenletek felírásával lineáris egyenletrendszer keletkezik, amelynek megoldására többféle eljárás is alkalmazható.

**A hőáram és a szállítási feladat**

Igen hatékony és a valódi fizikai tartalomtól, valamint a konkrét vezetési törvények formájától független megoldási módszer a probléma szállítási feladatként való kezelése. Ehhez fel kell írni az egyes részrendszerek – „csúcsok” – közötti „élek” mentén az áramló extenzív mennyiség által az ellenállás legyőzésére fordított – ún. disszipációs – munkát, vagyis az áram és az ellenállástörvény szorzatának az áram szerinti integrálját (ami egyébként a szál-



lítási feladatoknál szereplő költségfüggvény megfelelője). A vizsgált esetre

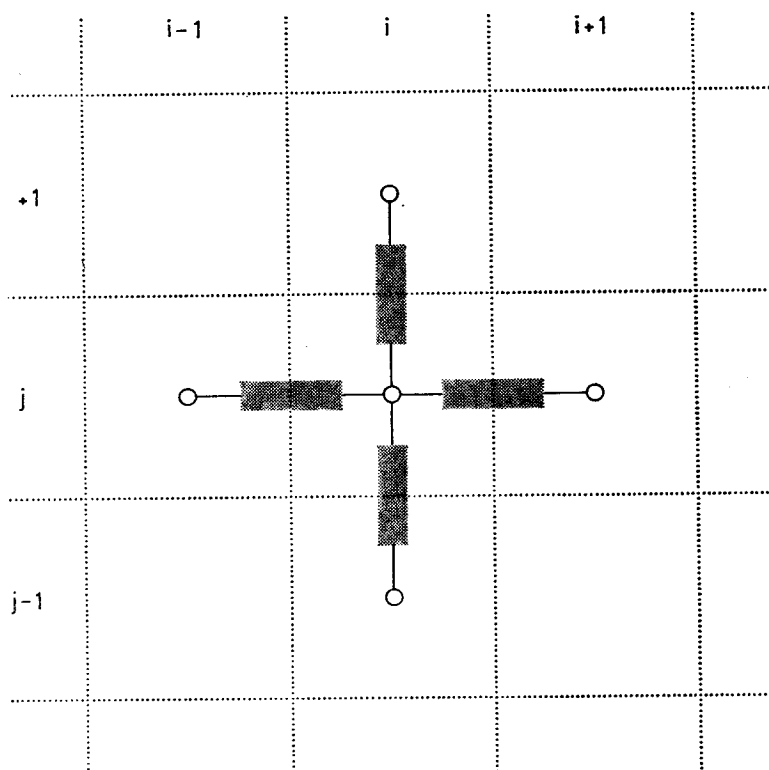
$$c'_{(i,j)}(f_{(i,j)}) = R_{(i,j)}(f_{(i,j)}) . \quad (2.15)$$

A disszipációs munkának az egész rendszerre – valamennyi élre – kiterjedő összegzésével az ún. célfunkcionál:

$$\Sigma c_{(i,j)}(f_{(i,j)}) = \Sigma \int R_{(i,j)}(f_{(i,j)}) df . \quad (2.16)$$

A célfunkcionál minimalizálásával a megoldás előállítható. Az állítás könnyen belátható: a valódi fizikai áramok és az intenzív jellemzők eloszlása úgy alakul, hogy az áram által a rendszerben levő ellenállások legyőzésére fordított munka a lehető legkisebb legyen.

A „csúcsok” és „élek” említése egyben utalás is arra, hogy az egyes elemi részrendszerek szomszédsági viszonyai és kapcsolatrendszere egy gráf segítségével is felírhatók.



2.24. ábra. A szerkezet hőtani viselkedésének villamos modellje

A célfunkcionál minimalizálására a szállítási feladatok problémaköréből ismert hatékony eljárások (pl. a duális gradiens módszer) alkalmazható.

A vezetési törvények azonos formája, a jelenségek hasonlósága folytán ugyanez az eljárás alkalmazható a két- és háromdimenziós parciális vízgőznyomás-eloszlás számítására is. Ennek feltétele, hogy a vízgőzáramlás lecsapódásmentes legyen, viszont a lecsapódás ténye amúgyis a szerkezet alkalmatlanságát jelzi.

**Analógiák**

Ugyancsak a vezetési törvények azonos formája, a jelenség hasonlósága alapján a hőmérséklet-eloszlás analóg modellezéssel is meghatározható. A 2.22., 2.23. ábrákon feltüntetett „hálózat” hasonmását — pl. elektromos vezetők, ellenállások (2.24. ábra) felhasználásával — kialakítva a csúcsbeli feszültségek egyszerűen mérhetők, a feszültségeloszlás és a hőmérséklet-eloszlás pedig egymásnak kölcsönösen megfeleltethető.

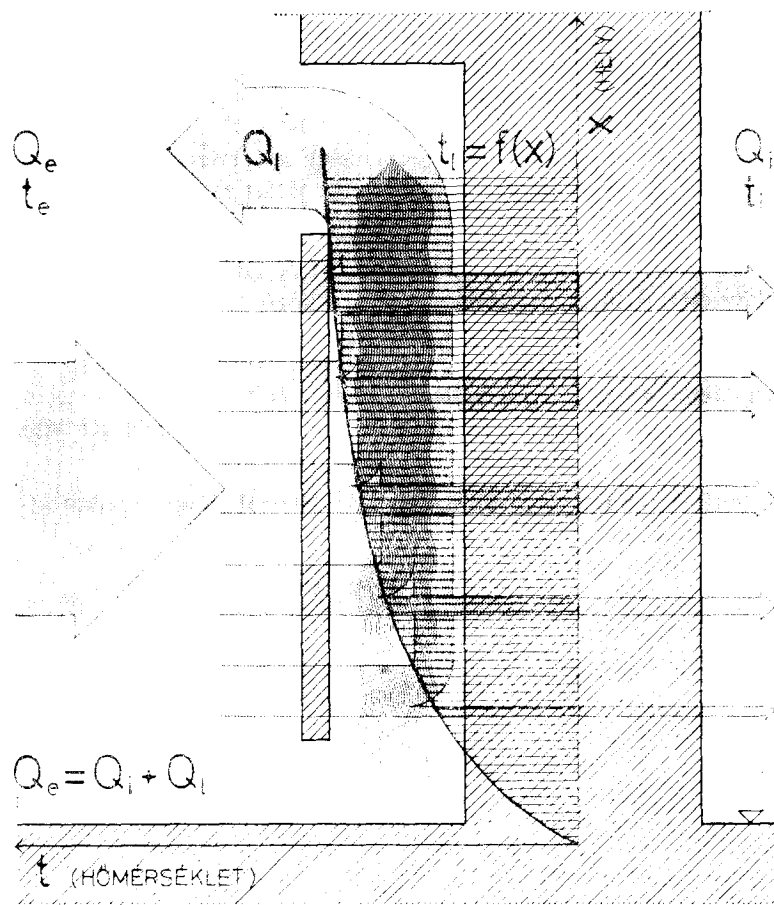
#### 2.14 A szellőztetett határoló szerkezetek

A környezetből a helyiségbe (térbe) bejutó hőáramok csökkentésének egyik hatékony módszere, építészeti-épületszerkezeti eszköze a határoló szerkezet *kéthéjú, kiszellőztetett légrétes* kialakítása.

Ennek legegyszerűbb esete, ha a határoló szerkezet két héja között áramló levegő mozgását a sűrűségkülönbségből származó felhajtó erő és a szél hatására kialakuló nyomáskülönbség idézi elő. A felhajtó erő hatása értelemszerűen a falak és a nagyhajlású (meredek) tetők esetén érvényesül, a szél hatása pedig főként a kishajlású és a lapos tetők esetében használható ki. Míg a felhajtóerő kialakulása mondhatni „automatikus”, addig a szél hatása nagyon is esetleges. Ezért a mesterséges kiszellőztetés elsősorban a lapostetők esetében indokolt.

**A légréteg  
levegőjének  
mozgása**

A legegyszerűbb és leggyakoribb változatokban a két héj közötti légrétegbe ún. kezeletlen külső levegő kerül. Abban az esetben, ha az épületben légtechnikai berendezés is működik, további célszerű változatok is kialakíthatók, így pl. nyáron az épületszerkezetek az éjszakai hidegebb levegővel előhűthetők, télen pedig a belülről távozó melegebb szellőző levegővel átöblíthetők. E folyamatba nemcsak a külső, hanem a belső határoló szerkezetek, sőt az ablakszerkezetek is bevonhatók. (Az utóbbiakon keresztül sugárzásos hőtranszport is lejátszódik, ezért vizsgálataukra a sugárzást átbocsátó szerkezetek tárgyalásával együtt kerül sor.)



2.25. ábra. A kiszellőztetett határoló szerkezet hőmérlegének sémája

Legyen a vizsgálat tárgya egy olyan falszerkezet egységnyi szélességű,  $h$  magasságú sávja, amelynek homloksíkjait a valóságos felületek határolják. A hőáramlás a metszet síkjában (2.25. ábra) játszódik le, és a feltételezés szerint a „bütük” irányában hőáramlás nincs.

**A jelenség  
lefolyása**

A határoló szerkezet külső héja a felületét érő napsugárzás következtében felmelegszik. Ennek következményeként egyrészt sugárzásos hőátzármaztatás jön létre a két héj egymással szembenéző felületei között, másrészt hőátadás alakul ki e felületek és az általuk közrezárt rétegben levő levegő között. Az utóbbi hatás következtében a levegő hőmérséklete megnő, sűrűsége csökken, a légréteg és a környezet között pedig légkörzés alakul ki. A légréteg-

ből távozó levegővel együtt a szerkezetből konvektív hőáram jut ki a környezetbe, ami által a helyiségbe (térbe) kerülő hőáram csökken.

A folyamat az „elemi” mérlegegyenletek módszerével követhető. Az előzőkben (2.3 alfejezet) ismertetett eljárást az alábbiak szerint kell bővíteni.

A folyamat követése elemi mérlegegyenletekkel

A külső héj külső felületén lejátszódó hőátadásra, napsugárzás-elnyelésre és sugárzásos hőcserére vonatkozó kifejezésekben nincs változás. Hasonló alakú kifejezés írja le a külső héj belső felületén lejátszódó hőátadást. A sugárzásos hőcserét leíró kifejezéssel kapcsolatban pedig annyi a változás, hogy a folyamatban a vizsgált felület „társa” a belső héj külső felülete, továbbá, hogy a két felület egymással párhuzamos.

E feltételekre a sugárzással egységnyi felületről időegység alatt átszármaztatott hő:

$$Q_{1-2} = \frac{1}{\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} + 1} \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \quad (2.17)$$

ahol

$a$  az alacsony hőmérsékleti abszorpció tényező,  
 $T$  a felület — abszolút skálán mért — hőmérséklete.

A külső héj hőszigetetlen, gyakran csekély vastagságú és lemezszerű, ezért mindkét felületén azonos hőmérséklet tételezhető fel.

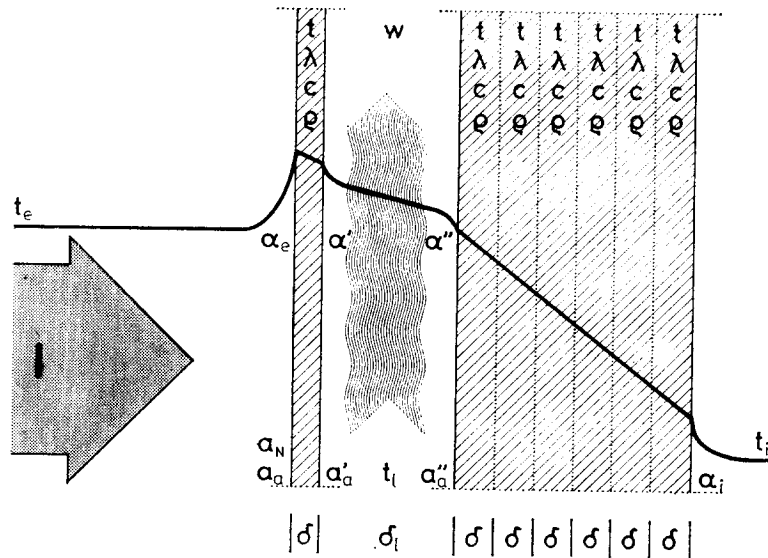
A belső héjra felírt összefüggésekben a változás mindössze annyi, hogy természetszerűleg nem szerepel benne a napsugárzás elnyelésére vonatkozó tag, a sugárzásos hőcserét pedig a (2.17) egyenlet fejezi ki (2.26. ábra).

A légréteg egy  $dx$  magasságú elemi térfogatára a hőmérleg:

$$\alpha_1(t_{1,x} - t_{1,x}) dx + \alpha_2(t_{2,x} - t_{1,x}) dx - Av \rho c(t_{1,x+dx} - t_{1,x}) = 0, \quad (2.18)$$

ahol a jelölések:

$\alpha$  a hőátadási tényező,  
 $t$  a hőmérséklet,  
 $v$  a légsebesség,  
 $\rho$  a levegő sűrűsége,  
 $c$  a levegő fajhője,  
 $A$  az egységnyi szélességű légréteg áramlási keresztmetszete.



2.26. ábra. A kiszellőztetett határoló szerkezet hőmérlegének számítása az elemi mérlegegyenletek módszerével

A (2.18) összefüggés analitikusan megoldható:

$$t_x = \frac{\alpha_1 t_{1,x} + \alpha_2 t_{2,x} + [(\alpha_1 + \alpha_2) t_e - \alpha_2 t_{2,x} - \alpha_1 t_{1,x}] \frac{-(\alpha_1 + \alpha_2)}{v \rho c A}}{\alpha_1 + \alpha_2} \quad (2.19)$$

A levegő áramlási sebessége a nyomáskülönbségből és az áramlási ellenállásból számítható, és ha a nyomáskülönbség a hőmérsékletkülönbség függvénye (azaz a levegő a felhajtóerő hatására mozog), akkor a számítás iterációs.

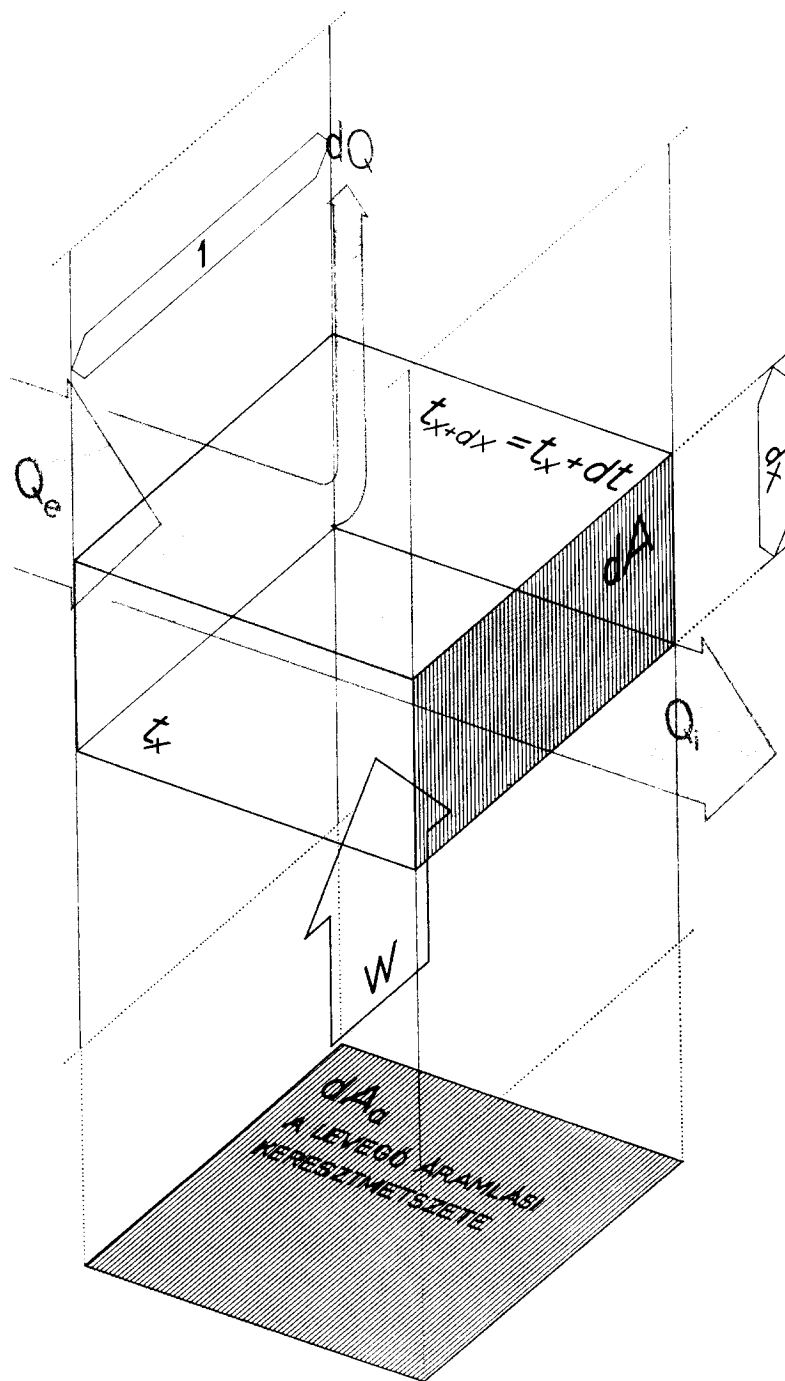
A feladat az elemi mérlegegyenletek módszerével elvi nehézség nélkül megoldható, de a megoldás – hosszadalmassága folytán – számítógép alkalmazását teszi szükségessé.

**A folyamat követése közelítő számítással**

Tekintettel arra, hogy a szellőztetett légréteges határoló szerkezetek egyszersmind általában könnyű szerkezetek is,

amelyekben az állandósult állapothoz közeli hőmérséklet-eloszlás rövid idő alatt kialakul,

a folyamat az állandósult állapotot leíró egyszerűsített összefüggésekkel is kielégítő pontossággal kezelhető.



2.27. ábra. Az elemi levegő-térfogatelem hőmérlegének sémája

A légrétegben áramló levegő hőmérsékletének lehetséges felső határértéke (nagyon hosszú légréteg vagy nagyon kicsiny áramlási sebesség esetén) állandósult állapotban:

$$t_h = \frac{k_b t_i + k_k t_e}{k_b + k_k}, \quad (2.20)$$

illetve a külső és a belső hőmérséklet különbségére vonatkoztatott sajátléptékben

$$\Theta_h = \frac{t_i - t_h}{t_i - t_e} = \frac{k_k}{k_b + k_k}, \quad (2.21)$$

ahol

$k_b$  a belső héj hőátbocsátási tényezője,  
 $k_k$  a külső héj hőátbocsátási tényezője.

Az elemi mérlegegyenletek módszeréhez képest az elhanyagolás itt abban jelentkezik, hogy a  $k_k$  és a  $k_b$  értékeiben a légréteg és a felületek közötti hőátadási tényező mellett a szembenéző felületek sugárzásos hőcseréje csak a hőátadási tényező fiktív megnövelésével vehető figyelembe [1].

A konvektív hőátadási tényező átlagos értéke a szembenéző felületek és a légrétegben áramló levegő között az

$$\alpha_1 = \left( 3,51 + 0,02 \frac{t_1 + t_2}{2} \right) \left( \frac{v\rho}{2\delta_1} \right)^{0,2} \quad (2.22)$$

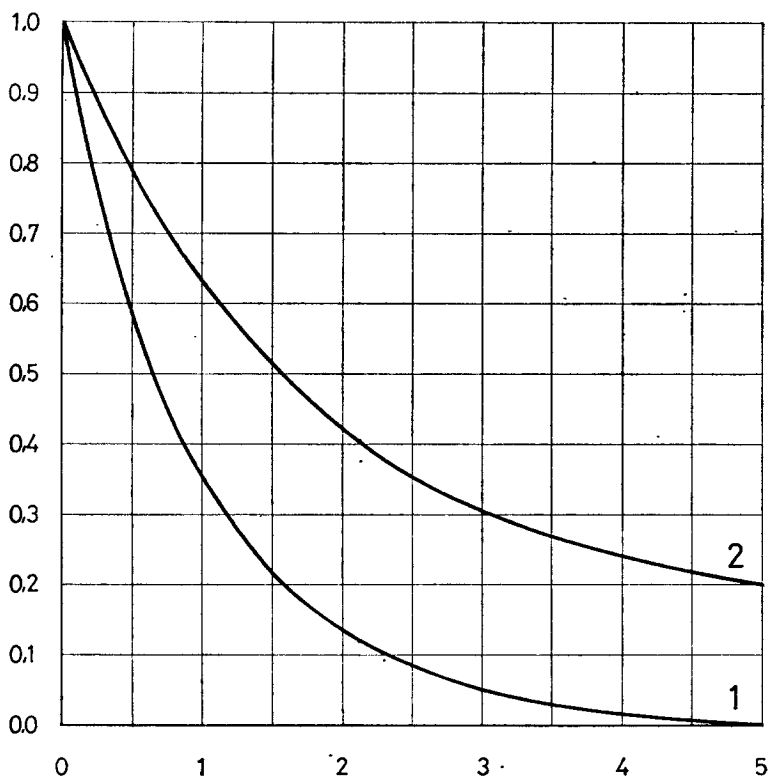
összefüggéssel számolható, ahol

$t_1$  a külső héj belső felületének hőmérséklete,  
 $t_2$  a belső héj külső felületének hőmérséklete,  
 $v$  az áramlási sebesség,  
 $\rho$  a sűrűség,  
 $\delta_1$  a légréteg vastagsága.

A szokásos feltételek mellett  $\alpha_1 = 5 - 8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ .

A rendszer hőmérlege abból a megfontolásból írható fel, hogy a külső héjon áthaladó és a belső héjon áthaladó hőáramok különbsége egyenlő a levegővel távozó konvektív hőárammal. A légrétegben áramló levegő hőmérséklete (a vezetés mellőzésével) sajátléptékben a beömlő nyílástól számított  $x$  magasságban:

$$\Theta_x = e^{-\frac{k_b + k_k}{V\rho c} x}, \quad (2.23)$$



$$\frac{k_i + k_e}{L \rho c} x$$

HELYI ÉRTÉKEK: 1

ÁTLAGÉRTÉK: 2

2.28. ábra. A kiszellőztetett légréteg hőmérsékletének sajátléptékben mért változása

ahol az új jelölések:

$V$  a légrétegben áramló levegő tömegárama (a határoló szerkezet egységnyi sávjára vonatkozó érték),  
 $c$  a levegő fajhője.

Az  $x$  helyébe a belépő és a kilépő nyílás közötti magasságkülönbséget írva a távozó levegő sajátléptékben mért hőmérséklete adódik (2.28. ábra).

A levegő sajátléptékben mért átlaghőmérséklete a

$$\bar{\theta} = \frac{1 - e^{-\frac{k_b + k_k}{V \rho c} h}}{\frac{k_b + k_k}{V \rho c} h} \quad (2.24)$$

összefüggésből, illetve a 2.28. ábrából határozható meg.



A sajátléptékben mért hőmérsékletből:

$$t_1 = t_i - \Theta_1(t_i - t_a). \quad (2.25)$$

Ha a levegő áramlását a felhajtóerő okozza, akkor a számítás iterációsan végzendő, a felhajtó erő ugyanis a távozó levegő hőmérsékletének függvénye:

$$\Delta p = \frac{h}{2} g(\rho_e - \rho_i), \quad (2.26)$$

ahol

- $\rho$  a levegő sűrűsége,
- $g$  a gravitációs gyorsulás,
- $t$  index a légrétegből távozó levegőre utal.

A távozó levegő hőmérséklete ugyanakkor a (2.23) összefüggés szerint a légtömegáramnak, vagyis — miután az áramlási keresztmetszet adott — a légsebességnek függvénye.

A nyomáskülönbségből a légsebesség a

$$v = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho \Sigma \zeta}} \quad (2.27)$$

összefüggéssel számítható, ahol  $\zeta$  az alaki ellenállás tényező.

Ha az alaki ellenállás csak a belépésből, a kilépésből és az e két helyen bekövetkező irányváltatásból származik, akkor a (2.27) egyenlet helyett az egyszerűbb

$$v = 0,15 \sqrt{\frac{h}{2} (t_i - t_1)} \quad (2.28)$$

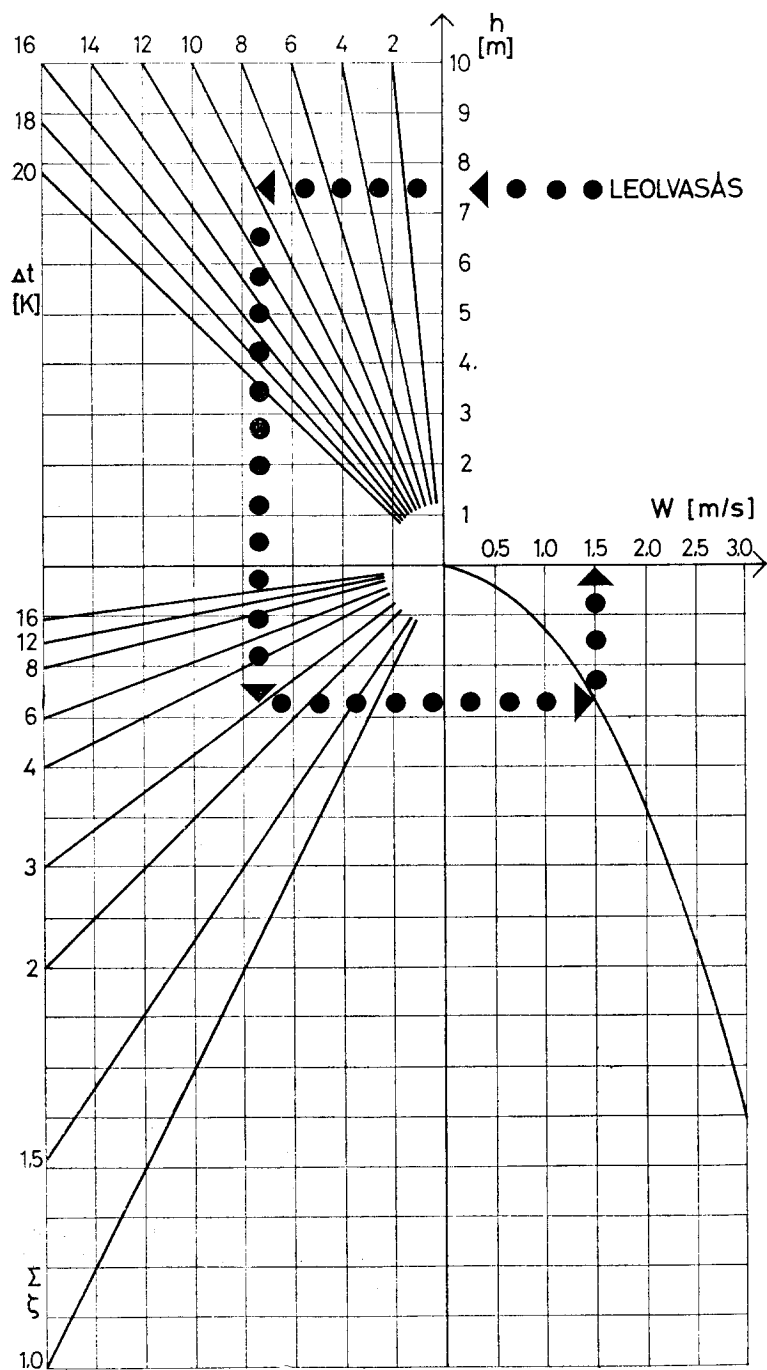
összefüggés alkalmazható.

Ha a levegő áramlása a szél vagy a mesterséges szellőztetés hatására jön létre, iterációra nincs szükség, a légtömegáram és az áramlási sebesség független a hőmérséklet-különbségtől.

A helyiségbe jutó hőáram a légtérben kialakult közepes hőmérséklet és a belső hőmérséklet-különbségből, továbbá a belső héj hőátbocsátási ellenállásából határozható meg az ismert

$$Q = Ak_b(\bar{t}_1 - t_i) \quad (2.29)$$

összefüggés alapján.



2.29. ábra. A kiszellőztetett légrétegben kialakuló légsebesség számítása

A hőmérséklet exponenciális eloszlása elhanyagolható, ha a (2.23) és a (2.24) összefüggésekben szereplő kitevőre nézve teljesül a

$$\frac{k_b + k_k}{V \rho c} h \geq 3$$

feltétel (ami kis áramlási sebesség vagy az áramlás irányában hosszú légréteg esetén tételezhető fel). Ebben az esetben ugyanis – egy elhanyagolhatóan rövid kezdeti szakasztól eltekintve – gyakorlatilag a légréteg teljes hossza mentén a levegő hőmérséklete a  $t_h$  határhőmérséklettel (2.20) egyenlő.

#### **A szellőztetett falak**

Egy adott szerkezetű kiszellőztetett külső fal egyetlen hőtechnikai adattal nem jellemezhető, mivel a szerkezet viselkedése: a külső héjon, a belső héjon áthaladó és a levegővel távozó hőáramok viszonya a meteorológiai jellemzők és a tájolás függvénye. A kiszellőztetés a keleti tájolású falaknál a leghatékonyabb, mert a napsugárzás legnagyobb (maximális) intenzitása és a külső lég-hőmérséklet csúcsa (maximuma) időben távol esik egymástól, hiszen a legnagyobb sugárzás intenzitásnak kitett szerkezetet még viszonylag hideg levegő öblíti, amikor pedig legnagyobb a levegő hőmérséklete, a szerkezetet már nem éri közvetlen napsugárzás.

Ugyaneme megfontolás alapján kevésbé hatékony a déli, és legkevesbé az a nyugati tájolású falak kiszellőztetése.

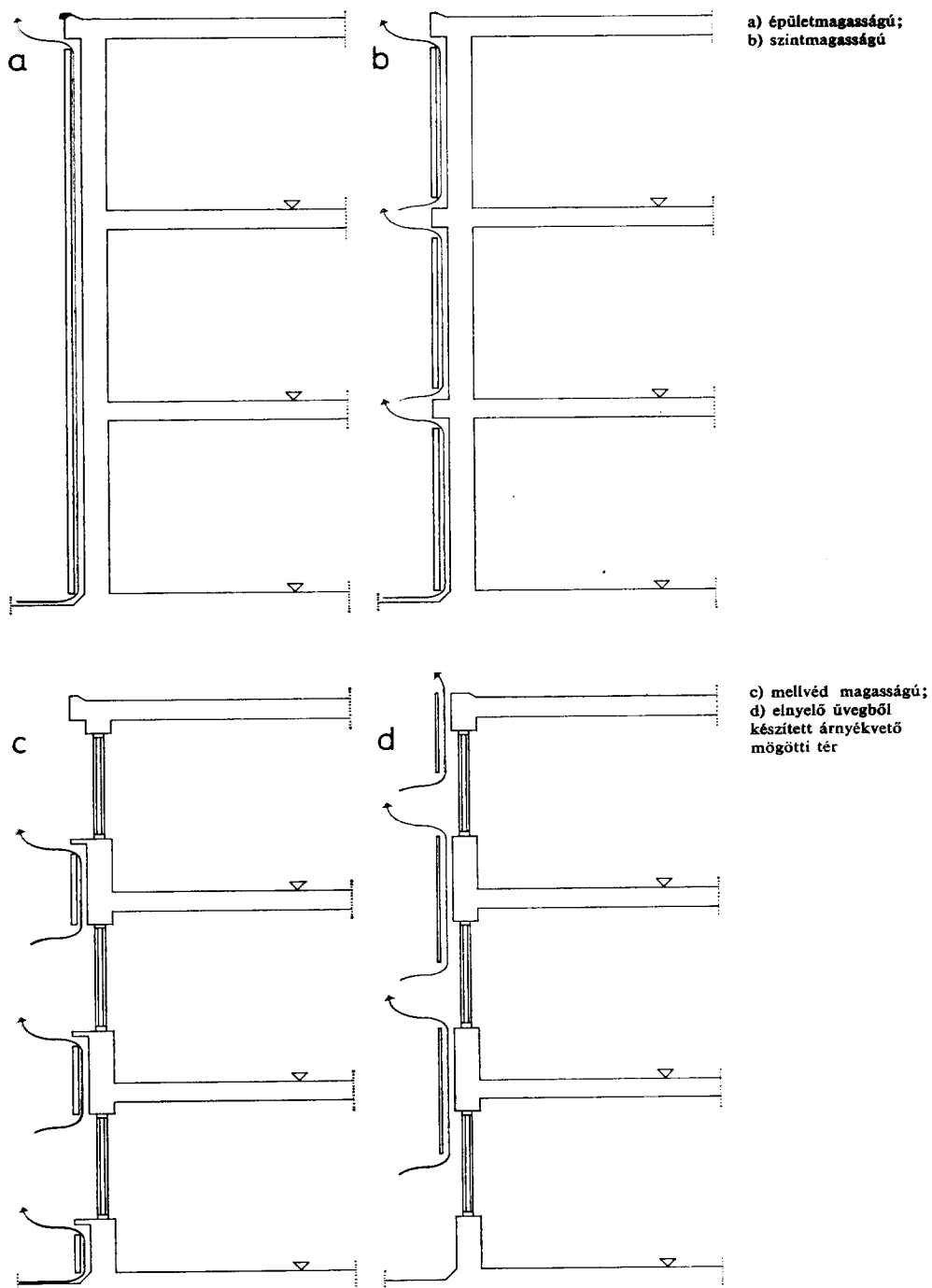
A hatékony kiszellőztetés mellett a szembenéző felületek sugárzási tulajdonságai is jelentős szerepet játszanak. Előnyös, ha ezek alacsony hőmérsékleti abszorpciós tényezői kicsinyek. E követelményt a gyakorlatban használt anyagok közül a nyers alumínium, a festékek közül pedig az alumínium-bronz festékek elégítik ki.

A kiszellőztetés hatékonysága azon mérhető le, hogy a belső héj külső felületéről mennyivel kevesebb hőáram jut be az épületbe, mint a kiszellőztetés és a külső héjjal létrehozott árnyékolás nélküli megoldás esetén. Ez a napi átlagérték szempontjából is figyelemreméltó lehet, de különösen a csúcserték vonatkozásában jelentős.

A kiszellőztetés „csúcselkenő” hatása jelentős, kivéve a délnyugati-nyugati tájolási tartományba eső szerkezetek esetét.

#### **A szellőztetett alapok**

Az alapincézetlen, egyszintes épületek legnagyobb hőtároló képességű határoló szerkezete a talajra fektetett padló, és a padló alatti



2.30. ábra. A szellőztetett külső falak sémái

talajnak az a része (rétege), amelyben a különféle, időben változó hőhatások még érzékelhető hőmérséklet-változást okoznak. Egy-szintes, könnyűszerkezetes épületek esetében a padlónak meghatá-rozó szerepe van abban, hogy a helyiség az időben változó hőhatá-sokra hogyan „válaszol”.

A padló nagy hőtároló képessége aktivizálható és előnyösen ki-használható ún. szellőztetett alap kialakítása révén. Ennek lényege egy, a padló alá terített, 40 – 50 mm szemcsenagyságú, egyszemcsés kőzúzalék vagy kavicságy, amelyen a szellőző levegő nem túlzot-tan nagy ventilátormunkával átszívható. A kavicságy hőtároló képességének aktív felhasználása a következő példákon mutat-ható be:

a padlófelület által elnyelt hő az éjszakai hűvösebb levegővel elszállítható,

a kavicságy előhűtése után napközben a helyiségbe befűjt vagy a szellőztetett tetőszerkezetbe bejuttatott levegő hőmér-séklete csökkenthető a kavicságyon való átszívással,

télen a helyiségből távozó levegővel a kavicságy felmelegít-hető, vagyis az épület lehűlése éjjel, vagy fűtési üzemszünet-ben a kavicságy hőtartalmának rovására mérsékelhető.

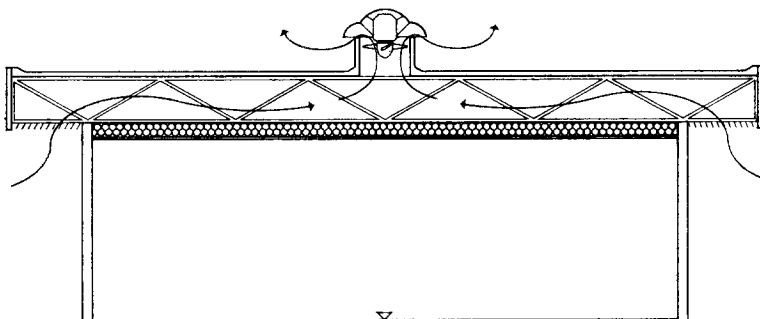
A felsorolt egyszerűbb eseteken kívül még további változatok is kialakíthatók. Ezek lényege az, hogy a szellőztetett alap (az ágya-zás) az épületgépészeti rendszer (a szellőztetés, az adiabatikus hűtés, a hőtároló fűtés) egyik elemévé válik. Kavics- vagy kőágy helyett olyan — műanyag edényekbe zárt — vegyi anyagok, hőtároló töl-tetek is alkalmazhatók a hőtárolás céljára, amelyek a hőfelvétel hatására „megolvadnak”, a hőelvonás következtében pedig vissza-dermednek. (A valóságos folyamat ennél bonyolultabb, pl. kristá-lyosodás, illetve kristályvíz felszabadulása, de a lényege az, hogy állandó hőmérsékleten játszódik le.)

#### **A szellőztetett lapos tetők**

Méretezési szempontból különleges esetnek minősülnek a kéthéjű szellőztetett lapos tetők.

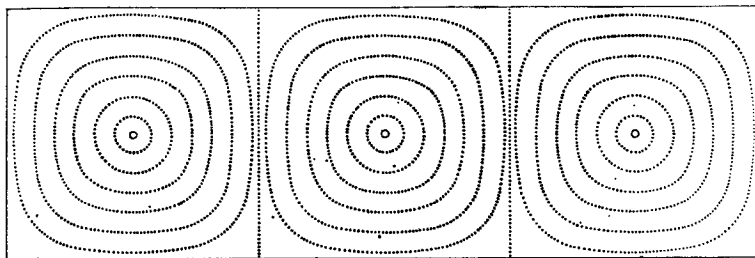
Ha a kiszellőztetés a szél hatására jön létre, akkor a számítás mód-szere nem különbözik a korábban ismertetett módszertől: a levegő az egyik homlokzaton kiképzett belépőnyílástól a másik szembe-néző homlokzaton kialakított kilépőnyílásig egy irányban áram-lik, a szél okozta torlónyomások különbsége és az áramlási út ellenállása által meghatározott sebességgel. A hőmérséklet-elosz-lás, a levegő által elszállított konvektív hőáram a (2.23)–(2.29) összefüggésekkel számítható.

Ha a kiszellőztetést gépi elszívással oldják meg, akkor a méretezési módszer lényegesen megváltozik. A gépi elszívás ugyanis gyakorlatilag pontszerűnek tekinthető, hiszen a tető alapterületéhez viszonyítva az elszívó ventilátor szívócsonkjának átmérője elhanyagolható (2.31. ábra).



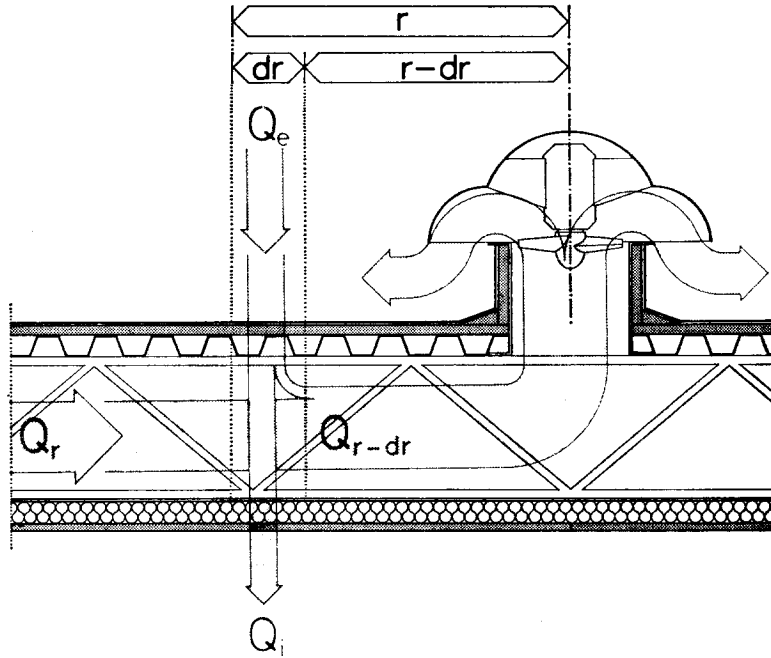
2.31. ábra. Tetőfödém kiszellőztetésének sémája

A két héj közötti térben a levegő sugárirányban áramlik az elszívás helye felé. Az azonos sebességű és azonos hőmérsékletű pontok mértani helyei közelítőleg az elszívó ventilátor köré írt koncentrikus körök (2.32. ábra). Ez a szabályosság nagyobb sugarak esetén már eltorzul: egy elszívó ventilátorhoz ugyanis rendszerint nem egy kör, hanem egy paralelogramma által határolt tetőfelület tartozik.



2.32. ábra. Tetőfödém kiszellőztető ventilátorok hatásterületének értelmezése

A szerkezet hőmérsége — egy  $r$  sugarú körhöz illesztett  $dr$  szélességű körgyűrűre (2.33. ábra) felírva — azt fejezi ki, hogy a körgyűrű felületén a külső héjazaton átjutó hőáram és a belső héjazaton átjutó hőáram különbsége megegyezik a két héj között



2.33. ábra. A kiszellőztetett tetőfödém hőmérlegének sémája

áramló szellőző levegő hőtartalmának növekedésével:

$$[k_k(t_k - t_r) - k_b(t_r - t_i)] 2\pi r dr = Gc dt. \quad (2.30)$$

Az egyenlet megoldása:

$$t_r = t_h - \frac{e^{Cr^2}}{e^{CR^2}} (t_h - t_e), \quad (2.31)$$

ahol

$$t_h = \frac{k_k t_k + k_b t_b}{k_k + k_b}, \quad (2.32)$$

azaz a légrétegben áramló levegő hőmérsékletének az a lehetséges felső határértéke, amely igen kis sebesség vagy igen nagy áramlási úthossz esetén alakul ki.

Az összefüggésekben az integrálási állandó

$$C = \frac{k_b + k_k}{Gc} \pi, \quad (2.33)$$

ahol az egyes jelölések:

$k_k$  a külső héj hőátbocsátási tényezője,

$k_b$  a belső héj hőátbocsátási tényezője,

$t_k$  a külső „naplég”-hőmérséklet,

$t_e$  a külső levegő hőmérséklete,

$t_i$  a belső hőmérséklet,

$t_r$  a légrétegben áramló levegő hőmérséklete az elszívás helyétől mért  $r$  távolságban,

$r$  a sugár,

$G$  az elszívott levegő tömegárama,

$c$  a levegő fajhője,

$R$  a belépőnyílás és az elszívócsonk közötti távolság.

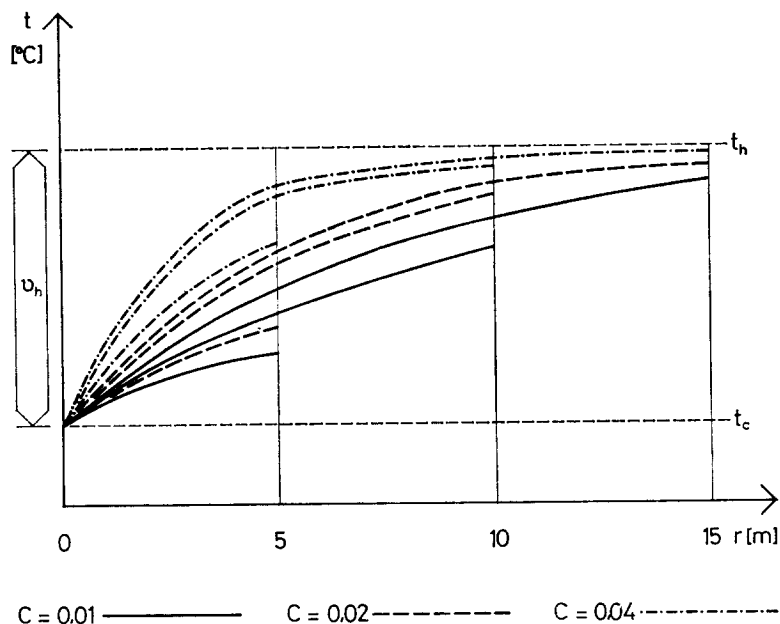
A távozó levegő hőmérséklete  $r = 0$  helyettesítéssel adódik. (Természetesen a valódi elszívócsonkméret is behelyettesíthető.)

Megjegyzendő, hogy az itt bemutatott közelítő összefüggésekből nem tűnik ki a két héjazat szembenéző felületeinek szerepe, de a korábban említettek alapján a hőterhelés szempontjából igen fontos, hogy ezek alacsony hőmérsékleti emissziós (= abszorpciós) tényezői lehetőleg kicsinyek legyenek.

A tetőfödémek kiszellőztetésével a szerkezeten átjutó hőterhelés felületmenti eloszlása egyenletesebb, mint a külső falak esetén. Ez a centrális elrendezés következménye. A belépéshez közel a levegő hőmérséklet-növekedése viszonylag gyorsabb, részben a nagyobb hőmérséklet-különbség, részben az egységnyi felületre jutó légtömegáram kisebb értéke miatt. A sugár mentén tovább haladva az elszívás helye felé, a hőmérséklet-különbség csökken, ugyanakkor az egységnyi felületre jutó légtömegáram nagyobb lesz. Így a sugár függvényében lassabban éri el az aszimptotikus jellegét (2.34. ábra).

A külső kerület (az épület párkánya) mentén 0,1 m/s nagyságrendű belépő légsebesség minden tekintetben reális érték. A külső kerület mentén e sebesség az áramlási ellenállás szempontjából kedvező. Az elvileg pontszerű elszívás helyére egy valóságos ventilátor szívócsonkját képzelve az áramlási sebesség a szívócsonk sugarának megfelelő henger palástfelületén 10 m/s nagyságrendű lesz, ami szintén megfelel az áramlási ellenállások, a kapcsolatos akusztikai problémák szempontjából, és megegyezik a légtechnikai rendszerekben szokásos értékkel. Az egész födémszerkezet hőterhelése szempontjából az a meghatározó, hogy ha 30–250 m<sup>2</sup> felületű födémszerkezetre számítanak egy elszívó ventillátort (melynek légszállítása 1500–6000 m<sup>3</sup>/h között van), akkor  $C$  értéke 0,01–0,04 nagyságúra adódik. A födém alapterületeknek megfelelő  $R$  értékeket behelyettesítve és  $r_0 = 0$  közelítő feltételezésből





2.34. ábra. A szellőző levegő túlhőmérsékletének változása a sugár mentén. (Pontszerű elszívás)

(pontoszerű elszívás) kiindulva a légréteget kiszellőztető levegő túlhőmérsékletének változására a 2.34. ábra szerinti görbék adódnak. (Az összehasonlíthatóság érdekében egy ábrán különböző sugarakra vonatkozó túlhőmérséklet-eloszlások szerepelnek egymásra rajzolva, a sugár függvényében.) Az ábrából megállapítható, hogy a hatékony hővédelem szempontjából a kis  $CR^2$  értékek kívánatosak. A  $CR^2 \leq 1$  feltételből kiindulva, ez azt jelenti, hogy az elszívó ventilátor légszállítását a

$$G \leq A_0 \frac{\alpha_1 + k_k}{C}$$

feltétel alapján kell megválasztani, ahol az új jelölések:

$A_0$  az elszívó ventilátorhoz tartozó födémterület,  
 $\alpha_1$  a hőátadási tényező a belső héj külső felületén.

Az egyenlőtlenségben szereplő hőátadási és hőátbocsátási tényezők átlagos értékét, a levegő fajhője és sűrűsége közepes értékeit figyelembe véve irányszámként az adható meg, hogy a födém kiszellőztetésére szolgáló légtömegáram ( $V \text{ m}^3/\text{h}$ ) számértéke a födém alapterületének mintegy harmincszorosa legyen, azaz pl.  $100 \text{ m}^2$

födémterületre 3000 m<sup>3</sup>/h. Ennél kisebb érték nem nyújt eléggé hatékony megoldást, ennél nagyobb érték esetén a ventilátor-munkában, a zaj- és rezgésproblémákban jelentkező többletgon-dok pedig egyre kevésbé állanak arányban az elérhető eredmé-nyekkel.

#### 2.15 A vízzel elárasztott és permetezett határoló szerkezetek

A lapos tetők (tetőfödémek) és más határoló szerkezetek vízzel elárasztása, illetve permetezése a hőtechnikai viszonyokat alapvetően három módon befolyásolja, éspedig

**Az elárasztás, permetezés hőtechnikai hatása**

a víz mint párolgó közeg jelentős hőmennyiség leadására képes;

a vízréteg megváltoztatja a szerkezet hővezetési ellenállását;

a víz az elárasztás esetén — mint egy újabb nagy hőtehetetlenségű réteg — növeli a tető (eredeti) hőtehetetlenségét, javítja hőcsillapítását.

Az elárasztás, illetve a permetezés a nyári időszakban

lényegesen csökkenti az épületek tetőfödémén, illetve falszerkeze-tein át a térbe (helyiségekbe) bejutó hőterhelést, és

lehetővé teszi a klímaberendezés teljesítményének és energia-fogyasztásának nagyon is számottevő mérséklését,

esetleg megoldhatja a kielégítő hőérzeti viszonyok — klímaberen-dezés alkalmazása nélküli — elérését.

A számítás elve a következő:

**A számítás elve**

A vízréteg hőmérlege:

$$q_v + q_k + q_p + q_s = 0, \quad (2.34)$$

ahol

$q_v$  a vízréteg alatti rétegbe vagy rétegből vezetéssel származta-tott hőmennyiség,

$q_p$  a párolgási hőmennyiség,

$q_k$  a víz és a levegő közötti konvekciós hőcsere,

$q_s$  a sugárzásos hőterhelés.

A felületről elpárolgó víz mennyisége a  $\beta'$  párolgási tényező beveze-tésével a

**Az elpárolgó víz mennyisége**

$$W = \beta'(p_w - p_a) \quad (2.35)$$

összefüggésből számítható, ahol

$p_w$  a vízfelület hőmérsékletéhez tartozó telítési parciális vízgőznyomás,

$p_e$  a külső levegőben uralkodó parciális vízgőznyomás.

A párolgási tényező a következő összefüggéssel fejezhető ki:

$$\beta' = 0,022 + 0,17 v,$$

ahol  $v$  a levegő sebessége a vízfelület fölött.

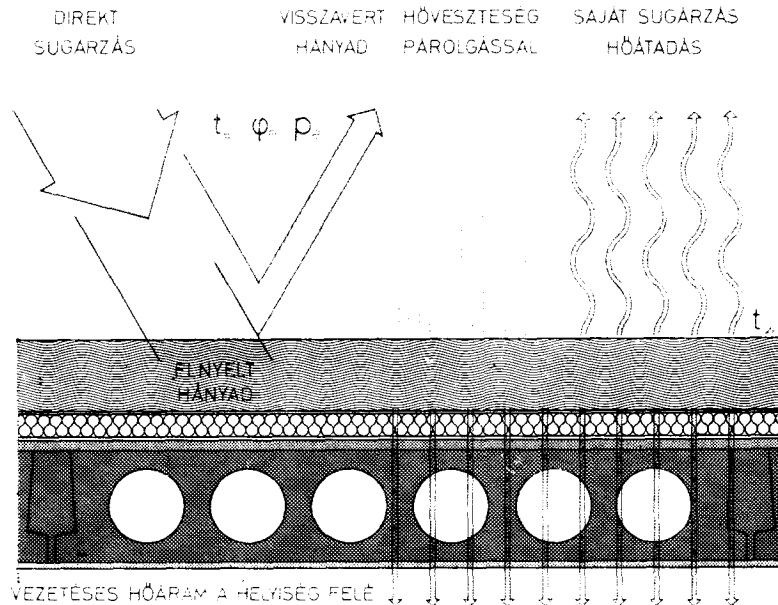
**A párolgással  
elvont hőmennyiség**

Az elpárolgó vízmennyiség ismeretében a párolgással elvont hőmennyiség:

$$q_p = W r, \quad (2.36)$$

ahol  $r$  a párolgási hőmennyiség.

A (2.36) egyenlet nem veszi figyelembe, hogy milyen hőmérsékletű víz került a tetőre. Gyakorlatilag ugyanis a párolgási hő mellett elhanyagolható az a hőmennyiség, amely a víz kb. 10 K-nel való felmelegítéséhez szükséges. (Permetezés esetén pedig a lecsorgó víz visszaforgatása miatt a külső levegő állapotjellemzőinek függvényében beáll a víz egyensúlyi hőmérséklete.)



2.35. ábra. Elárasztott lapos tető hőegyensúlyának sémája

Az egységnyi vízfelület és a levegő közötti konvektív hőcsere:

$$q_k = \alpha_e(t_w - t_e), \quad (2.37)$$

A vízfelület és a levegő közötti konvektív hőcsere

ahol

$\alpha_e$  a külső hőátadási tényező,

$t_w$  a víz hőmérséklete,

$t_e$  a külső léghőmérséklet.

A külső hőátadási tényező:

$$\alpha_e = 5,8 + 4 v. \quad (2.38)$$

A víztükör alatti rétegbe (vagy rétegből) vezetéssel átszármaztatott hőáram

$$q_v = \kappa(t_w - t_i), \quad (2.39)$$

A víztükör alatti rétegbe vezetéssel bejutó hőáram

ahol  $t_i$  a helyiség hőmérséklet,  $\kappa$  a hőátszármaztatási tényező, a belső tér és a vízréteg között, amelynek értéke

$$\kappa = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{\delta}{\lambda}}. \quad (2.40)$$

Elárasztott tető esetén a rétegekbe a vízréteg is beleértendő, és a vízréteg tényleges vastagságával és a nyugvó víz hővezetési tényezőjével kell számolni. Ezt az indokolja, hogy a méretezés szempontjából „érdekes” esetben a hőáram felülről lefelé halad, s így (+4 °C-nál magasabb hőmérséklet mellett) a vízben „stabil” rétegződés alakul ki.

Permetezett tetők és határoló szerkezetek esetén a vízréteg vastagsága elhanyagolható, tehát a (2.40) összefüggésbe csak a szerkezeti rétegek számítandók be.

A vízfelületre jutó napsugárzásból az egységnyi felület által elnyelt hő

$$q_s = aI, \quad (2.41)$$

A napsugárzásból elnyelt hő

ahol  $a$  a vízfelület abszorpciós tényezője,  $I$  a napsugárzás intenzitása.

A (2.34) összefüggést a (2.35)–(2.41) képletek alkalmazásával részletesen kifejtve:

A szerkezet hőmérlege

$$\kappa(t_w - t_i) = aI - \alpha_e(t_w - t_e) - \beta^* r(p_w - p_e). \quad (2.42)$$

Az összefüggésben gondot okoz a  $t_w$  víz hőmérséklet. Az egyszerű kezelhetőség céljából indokoltnak látszik – a naplég-hőmérséklet analógiájára – a „nedves naplég-hőmérséklet” fogalmának bevezetése, amelyben a (2.42) összefüggésben szereplő tényezők összefoglalhatók.

A (2.41) összefüggés átalakításával a „nedves naplég-hőmérséklet”:

$$t_e^+ = \frac{\alpha I + \alpha_e t_e + \beta' r p_e}{\alpha_e + \rho' r Y}, \quad (2.43)$$

következésképpen a szerkezeten áthaladó hőáram

$$q = k(t_e^+ - t_i), \quad (2.44)$$

ahol a korábbiak szerint a  $k$  értékében elárasztás esetén a vízréteg hővezetési ellenállása is szerepel).

Megjegyzés: az összefüggésekben  $Y$  a parciális vízgőznyomás és a hőmérséklet közötti lineáris közelítő összefüggésben szereplő együttható:

$$p_w = Y t_w. \quad (2.45)$$

A (2.43) összefüggés – a számszerű adatok behelyettesítésével – számításra alkalmas módon kifejtve:

$$t_e^+ = \frac{0,9 I + (5,8 + 4 v) t_e + (13,1 + 10,1 v) p_e}{19,5 + 14,5 v}. \quad (2.46)$$

#### A permetezett tető

Permetezett szerkezet esetén az alábbi körülmények tételezendők fel:

- a permetezés valóban elegendő vizet juttat a felületre ahhoz, hogy azon összefüggő vízréteg alakulhasson ki,
- a vízréteg vastagsága elhanyagolhatóan kevés,
- az elcsurgó víz (visszaforgatása után) a rendszerbe bevezetve permetként újra a tetőfelületre kerül,
- az öntöző- vagy porlasztófejeknek a szerkezet síkjától mért távolsága csekély.

Ez esetben az előző példa egyéb adatait változatlanak tekintve az alábbi közelítő módszer alkalmazható:

- $t_e^+$  számítása változatlan,
- $k$  számításánál a vízréteg elmarad.

#### A meteorológiai tényezők hatása

A közölt összefüggésekből megállapítható, hogy

a szélsébség fokozásával a párolgási és a konvektív hőleadás egyaránt nő, a helyiségbe jutó hőáram csökken;

a napsugárzás intenzitásának növekedésével a „nedves naplég-hőmérséklet” és a helyiségbe bejutó hőáram nő;

a külső hőmérséklet emelkedésével a „nedves naplég-hőmérséklet” növekszik;

a külső levegő páratartalmának fokozásával a párolgási hőleadás csökken, a „nedves naplég-hőmérséklet” értéke viszont nő;

de megjegyzendő, hogy a levegő páratartalmának növekedése a felszínre érkező napsugárzás intenzitásának csökkenését idézi elő, ami viszont csökkenti a „nedves naplég-hőmérséklet” értékét, s így a jelenség bizonyos fokig „önszabályozó” jellegű.

II. táblázat

$t_e$ [°C]	$a$	$v$ [ $\frac{m}{s}$ ]	$\phi$ [%]	$p_e$ [Pa]	$J$ [ $\frac{kJ}{m^2h}$ ]	$t_e$ [°C]
28	0,9	0	50	1933	2930	48,8
28	0,9	1	50	1933	2930	34,9
28	0,9	3	50	1933	2930	26,4
28	0,9	1	75	2800	2930	39,5

A nedves naplég-hőmérséklet nagyon nagy mértékben függ a különböző meteorológiai jellemzőktől. Értéke a külső léghőmérsékletnél még alacsonyabb is lehet. Ez a II. táblázatban található néhány adatsorral példázható.

## 2.16 Az időben változó hőhatások

A környezetben végbemenő változások sora, a forráserősség változása, vagyis az egyes épületgépészeti berendezések – valamilyen program szerinti – változó teljesítményű üzemeltetése, a spontán források erősségének időbeli változása maga után vonja a határoló-szerkezeteken áthaladó áramok változását.

A szerkezetek e változásokra az állapotukra jellemző intenzív mennyiség változása révén válaszolnak, a feladat tehát az extenzív és intenzív mennyiségek változása közötti kapcsolat felhasználásával oldható meg. Adott esetben a közölt hő és a hőmérséklet-változás közötti összefüggésre van szükség. Ez a legegyszerűbb és leggyakoribb esetben

$$\Delta Q = mc\Delta t, \quad (2.47)$$

ahol

$m$  a tömeg,

$c$  a fajhő,

$Q$  a közölt hő,

$\Delta t$  a hőmérséklet-változás.

A feladat általános bemutatása

Más összefüggés használandó akkor, ha a hőközlés hatására valamilyen fázisváltozás is lejátszódik, pl. a szerkezetben levő nedvesség elpárolog, vagy a szerkezetbe fűtőberendezést építettek be, vagy a szerkezetbe beépített töltetanyagban kémiai folyamat játszódik le.

**A nem állandósult állapot mérlegegyenlete**

A mérlegegyenlet nem állandósult állapotra:

$$\frac{dE}{d\tau} = Q - I. \quad (2.48)$$

A (2.48) összefüggés azt fejezi ki, hogy az extenzív mennyiség megváltozása a forráserősség és az áramok különbségével egyenlő.

A továbbiakban a vizsgálat tárgya a sugárzást át nem eresztő tömör külső határoló szerkezet. A vizsgált rendszer most tehát egy ilyen határoló szerkezetnek egy olyan egységnyi homlokfelületű darabja, amelyet a térből két valós homlokfelület és a bütük mentén négy képzeletbeli sík metsz ki. Egydimenziós jelenség esetén a képzeletbeli felületeken áram nem halad át.

A vizsgált rendszerben — az előzőekben említett sajátos eseteket kizárva — hőtartalom-változás csak a rendszerbe befolyó és az onnan távozó áramok különbségéből eredhet, a rendszeren belül pedig forrás vagy nyelő nem működik.

**A feladat megközelítése**

A feladat általános megközelítésének gondolatmenete:

a vizsgált rendszert képzeletbeli síkokkal elegendően nagyszámú, elegendően kicsiny térfogatú részrendszerekre darabolva egy-egy ilyen elemi részrendszeren belül az intenzív jellemzők térbeli változásától el lehet tekinteni, vagyis az elemi részrendszer hőmérséklete egy adattal jellemezhető,

az előbbieket szerint kialakított elemi részrendszeren belüli változások annál kisebbek, minél rövidebb a vizsgált jelenség időtartama, ezért

a rövid — elemi — időtartamok alatt lejátszódó változások az állandósult állapotokra vonatkozó összefüggéseket felhasználva — kielégítő pontossággal — leírhatók.

Elemi részrendszereket kialakítva és a folyamat időbeli lefutását elemi kis lépésekre aprózva e gondolatmenet alapján, az elemi hőmérlegek módszerével bármely jelenség követhető.

Abban az esetben, ha a vizsgált rendszer egy külső határoló fal egy egységnyi felületű darabja, az elemi részrendszereket a párhuzamos síkokkal határolt, elemi  $\Delta x$  vastagságú rétegek alkotják.

A felosztás tetszőleges, az egyes rétegek célszerűen sorszámmal —  $\Delta x_j$  — jelölhetők. A folyamatot  $\Delta \tau$  hosszúságú elemi időtartamokra felaprózva, egy adott időpont a folyamat kezdetétől eltelt —  $\Delta \tau$  — időegységek sorszámozásával —  $\Delta \tau_n$  — jelölhető.

Egy elemi rendszerre nézve — a hely és az idő jelölésére a most bevezetett eljárást alkalmazva — a mérlegegyenlet:

**Az elemi  
mérlegegyenlet**

$$\Delta Q_{j,n} = I_{j-1,n} \Delta \tau - I_{j,n} \Delta \tau. \quad (2.49)$$

Az  $I$  áramot és a hőtartamváltozást részletesen felírva:

$$\begin{aligned} c_j m_j (t_{j,n+1} - t_{j,n}) &= \frac{\lambda}{\Delta x_{j-1}} (t_{j,n-1} - t_{j,n}) A \Delta \tau - \\ &- \frac{\lambda}{\Delta x_j} (t_{j,n} - t_{j,n+1}) A \Delta \tau. \end{aligned} \quad (2.50)$$

Az  $A$  felület célszerűen egységnyre választandó.

Ha az elemi réteg a rendszer határán fekszik, úgy az összefüggésben a hővezetés helyett a hőátadás szerepel. Ha a vizsgált rendszerben a  $j$ -edik rétegben forrás (vagy nyelő) is működik, amelynek erőssége az  $n$ -edik elemi időtartamban  $F_n$ , akkor

$$\Delta Q_{j,n} = F_{j,n} \Delta \tau + J_{j-1,n} \Delta \tau - J_{j,n} \Delta \tau. \quad (2.51)$$

Forrásként kezelhető a felületre beeső sugárzás elnyelése, a szerkezetbe beépített hőleadó stb.

Elvileg nem, csak terjedelmében más feladat a két- és háromdimenziós jelenségre vonatkozó mérlegegyenletek felírása.

A megoldáshoz meg kell adni a peremfeltételeket és a rendszer kiinduló állapotát jellemző kezdeti feltételeket.

Az elemi mérlegegyenletek alkotta egyenletrendszer minden különösebb elvi nehézség nélkül, számítógéppel is megoldható. Gyakorlati kérdés a  $\Delta x$  és  $\Delta \tau$  értékek megválasztása, e két érték ugyanis nem adható meg egymástól függetlenül. Az eljárás stabilitása érdekében a  $\Delta x$  értékhez rendszerint igen kicsiny  $\Delta \tau$  értéket kell választani. Ez a pontosság szempontjából nem hátrány, de a számítás időtartama szempontjából igen.

A tárgyalt feladat megoldásához — a leíró egyenletek azonos formája, a jelenségek hasonlósága alapján — analóg modellek is felhasználhatók.

A részrendszerek méretét és az elemi lépések időtartamát minden határon túl csökkentve, a tömeg helyett a sűrűséget, a forrás-erős-



ség helyett a forrássűrűséget bevezetve a jelenséget leíró differenciálegyenlet adódik.

E differenciálegyenlet néhány speciális esetben analitikusan is megoldható. E megoldások közül néhány gyakorlati jelentőségű, és bemutatásukra a következőkben kerül sor.

#### Az ugrásfüggvény

Az egyik legegyszerűbb „szabályos” változású folyamat — amely bizonyos egyszerűsítések után analitikus megoldással követhető — úgy keletkezik, hogy a folyamatot kiváltó jellemző — hirtelen megváltozva — új értéket vesz fel. Ilyen ugrásfüggvényekkel bonyolultabb jelenségek is közelíthetők. A valóság körülményei között is előfordulnak „tisztá” ugrásfüggvények, pl. egy épületgépészeti berendezés leállításkor vagy megindításakor.

Legyen a vizsgálat tárgya egy egységnyi homlokfelületű fal. Állandósult állapotban a falban kialakuló hőmérsékleteloszlás egyszerűen meghatározható (2.36. ábra). A teljes keresztmetszetében  $t_0$  hőmérsékletű falhoz viszonyítva a feltárolt hő az egyes rétegekre vonatkozó

$$W_j = m_j c_j \vartheta_j \quad (2.52)$$

szorzatokkal fejezhető ki, ahol  $\vartheta$  a  $t_0$  értékhez viszonyított túlhőmérséklet.

E kifejezések összege  $W$  az adott viszonyítási alaphoz mérten a szerkezetben feltárolt hőmennyiséggel egyenlő.

Ha e kifejezések összegét a szerkezet két oldalán levő közegek egységnyi hőmérséklet-különbségére vonatkoztatják, akkor az a szerkezet hőtároló képességét adja meg.

Ha a túlhőmérséklet elemi  $d\vartheta$  változást szenved, akkor a tárolt hő rovására a szerkezeten elemi  $dz$  időtartam alatt áthaladó hőáram:

$$W d\vartheta = k \vartheta dz. \quad (2.53)$$

Átrendezve:

$$dz = \frac{W}{k} \frac{d\vartheta}{\vartheta} = Z \frac{d\vartheta}{\vartheta}. \quad (2.54)$$

A megoldás:

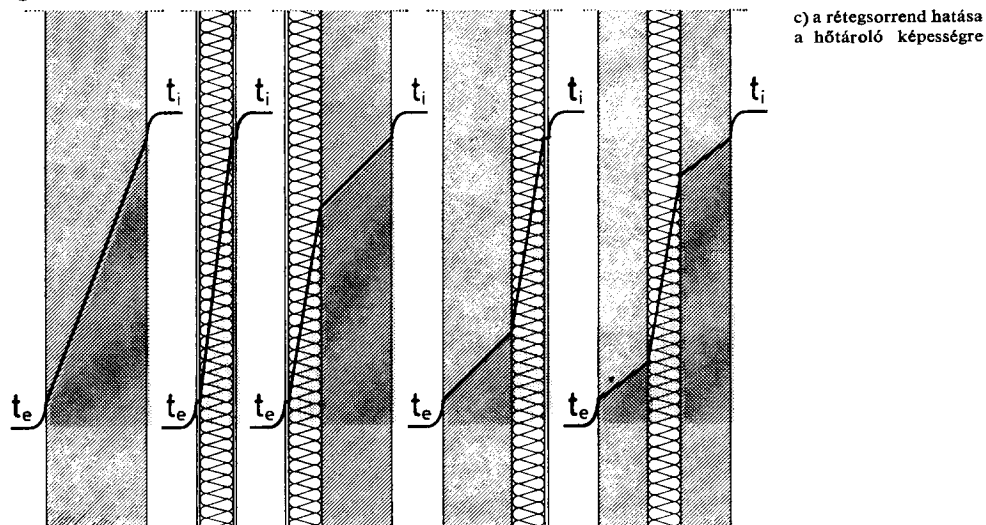
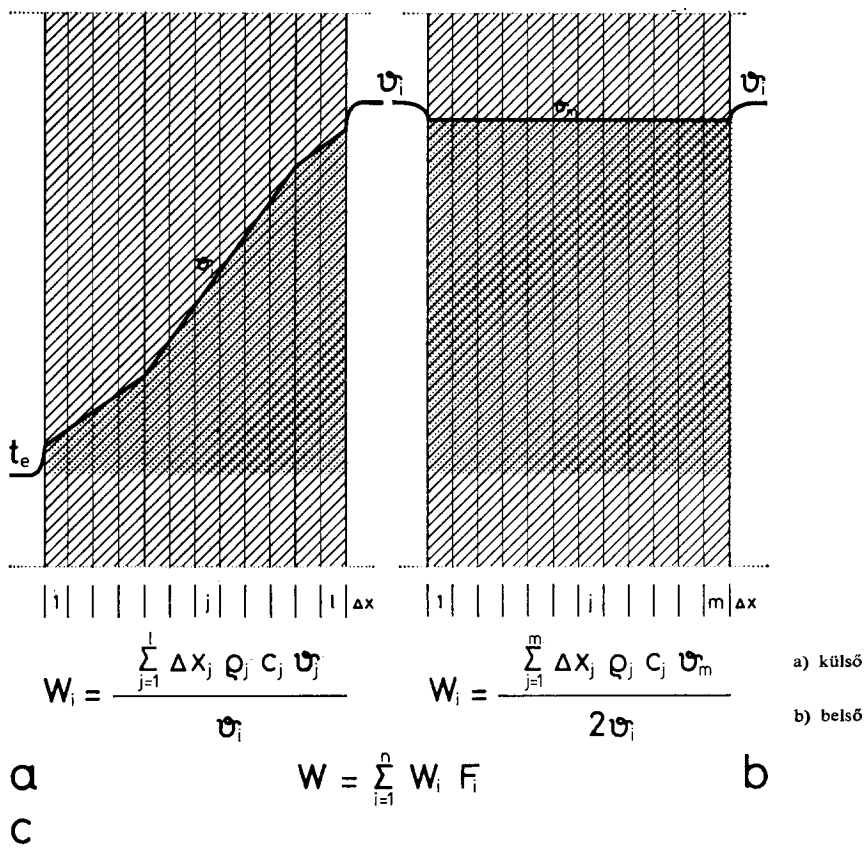
$$\vartheta = \vartheta_0 e^{-\frac{z}{Z}}, \quad (2.55)$$

ahol

$\vartheta_0$  a kezdeti túlhőmérséklet [K],

$Z$  a szerkezet időállandója [h].

A 2.36. ábra tanúsága szerint a hőtároló képesség a rétegsorrendtől és a hőátadási tényezőktől is függ, éppen ezért az időállandó



2.36. ábra. A határoló szerkezet hőátadó képessége

attól is függ, hogy az ugrásfüggvény szerinti változás a szerkezet melyik oldalán játszódott le.

A nagy időállandójú szerkezetek az időben változó hatásokra *lustán* válaszolnak. A nagy időállandó többnyire kedvező, mert a lustán változó áramok kompenzálása könnyebb.

#### A lineáris változás

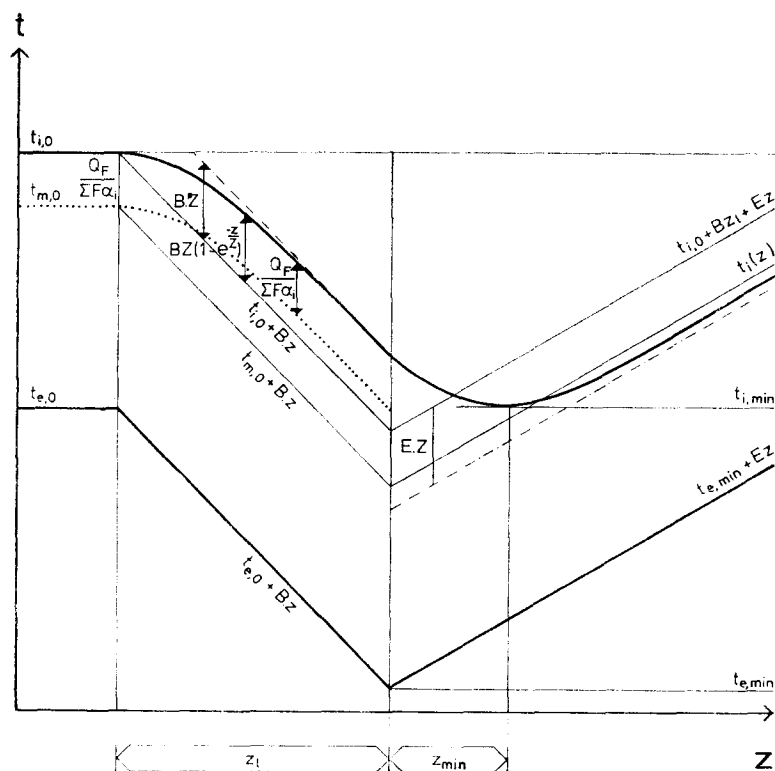
Hasonló eljárással oldható meg a feladat, ha a változás nem ugrásfüggvény szerinti, hanem lineáris.

A kiinduló összefüggés ez esetben

$$W d\vartheta = k(\vartheta_0 + Bz) dz, \quad (2.56)$$

ahol  $B$  a hőmérséklet-változás sebessége.

A megoldás egy, a  $\vartheta_0 + Bz$  egyenletű egyeneshez simuló exponenciális függvény. Ezek között a  $\Delta\vartheta_0$  kezdeti különbség az idő függvényében  $(1 - e^{-\frac{z}{Z}})$ -szeresen csökken (2.37. ábra).



2.37. ábra. A helyiség hőmérsékletének változása időben lineárisan változó hőhatás következtében

Az időben nem állandósult hatások egyik leggyakoribb és legtipikusabb esete a napi periódusú, kvázistacioner változás. Ilyen jelleggel változik számos, a környezetre jellemző mennyiség, az épületben, térben, helyiségben működő spontán források többsége, gyakran az épületgépészeti berendezések teljesítménye.

**A kvázistacioner változás**

Legyen a vizsgált rendszer először egy egységnyi homlokfelületű, homogén sík fal. A hővezetés differenciálegyenlete erre

$$\rho c \frac{\partial t}{\partial \tau} = \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}. \quad (2.57)$$

Ennek egy megoldása:

$$t(x, \tau) = e^{-\frac{2\pi i \tau}{\tau_0}} \left( \Theta_0 \operatorname{ch} \frac{xs \sqrt{i}}{\lambda} + \frac{q_0}{s \sqrt{i}} \operatorname{sh} \frac{xs \sqrt{i}}{\lambda} \right). \quad (2.58)$$

Az összefüggésekben

- $t$  a hőmérséklet,
- $q$  a hőáramsűrűség,
- $\tau_0$  a periódusidő,
- $x$  a vizsgált sík koordinátája,
- $\lambda$  a hővezetési tényező,
- $i$  a képzetes egység,
- $s$  a szerkezet anyagának hőelnyelési tényezője,
- $\Theta_0$  a hőmérséklet-ingadozás amplitúdója,
- a „0” index az  $z = 0$  síkra vonatkozik.

Egy anyag hőelnyelési tényezője az

$$s = \sqrt{\frac{2\pi}{\tau_0}} \lambda c \rho \quad (2.59)$$

érték, ami azt fejezi ki, hogy az adott anyagból készített végtelen vastag fal felületén milyen a hőáram-ingadozás és a hőmérséklet-ingadozás kapcsolata, vagyis hány  $\text{W/m}^2$  amplitúdójú, szinuszgörbe szerinti ingadozás okoz egységnyi hőmérséklet-ingadozást. A hőáram- és a hőmérséklet-ingadozás között egynyelcad periódusnyi időbeli eltérés van.

Látható, hogy a (2.58) összefüggés két függvény szorzata: az első a hőmérsékletnek az időtől, a második a helytől való függését fejezi ki. Az exponenciális tag a hőmérséklet-ingadozásnak az időtől való függését fejezi ki. Az exponenciális tag a komplex számsíkon egy olyan vektorral jellemezhető, amelynek abszolút értéke mindig 1, fázisszöge pedig úgy változik, hogy egy periódus alatt  $2\pi$ -vel nő, vagyis a vektor egy periódus alatt egy teljes fordulatot tesz meg. Az exponenciális taggal szorozva a zárójeles tagot az

**Az általános megoldás**

utóbbi abszolút értéke (egy adott  $x$  helyen) nem változik. Változik azonban fázisszöge és valós értéke, ami megfelel annak, hogy bármely  $x$  helyen a hőmérséklet-ingadozás egy periódus lejátszódása során egyszer eléri maximumát, egyszer minimumát, és a periódus végén ugyanazt az értéket veszi fel, mint ahonnan a 0 időpontban kiindult.

Egy időpont meghatározása esetén, tehát az exponenciális tag értékét rögzítve, mintegy pillanatfelvétel keletkezik arról, hogy az adott időpontban a hely függvényében a hőmérséklet hogyan változik. Így pl. a  $\tau = 0$  időpontban az  $x$  koordinátájú síkban a hőmérséklet-ingadozás amplitúdója:

$$\Theta_x = \Theta_0 \operatorname{ch} \frac{xs \sqrt{i}}{\lambda} + \frac{q_0}{s \sqrt{i}} \operatorname{sh} \frac{xs \sqrt{i}}{\lambda}. \quad (2.60)$$

Az összefüggés egyszerű módszert kínál egy adott határoló szerkezet minőségének megítélésére: a szerkezet ugyanis azzal jellemezhető, hogy az egyik felületén ( $x = \delta$ ) lejátszódó hőmérséklet-ingadozás hogyan viszonyul a másik felülettel érintkező térben lejátszódó hőmérséklet-ingadozáshoz:

$$\beta = \frac{\Theta_x}{\Theta_0} = \operatorname{ch} Rs \sqrt{i} + \frac{q_0}{\Theta_0 s \sqrt{i}} \operatorname{sh} Rs \sqrt{i}. \quad (2.61)$$

#### A csillapítás

A (2.61) összefüggéssel megadott  $\beta$  viszonyszám a vizsgált homogén réteg *csillapítási tényezője*, és mint látható, komplex szám. Abszolút értéke azt fejezi ki, hogy az  $x = \delta$  helyen a hőmérséklet-ingadozás amplitúdója *hányszorosa* az  $x = 0$  helyen lejátszódó hőmérséklet-ingadozásénak, fázisszöge pedig azt, hogy a két ingadozás maximuma között mekkora időbeli eltérés, vagyis *késleltetés* mutatkozik. (Egy periódus:  $2\pi$  (vagy  $360^\circ$ ) 24 órának felel meg.) Az egyenlet felírásakor felhasználásra került a hővezetési ellenállásra vonatkozó (2.7) összefüggés.

Az építési gyakorlatban a feladat annak megállapítása, hogy a külső hatások által okozott hőmérséklet-ingadozás a határoló szerkezet belső síkján mekkora hőmérséklet-ingadozást okoz. A koordináta-rendszer  $x = 0$  helye ekkor a határoló szerkezet belső síkja. Felhasználva a belső síkra vonatkozó

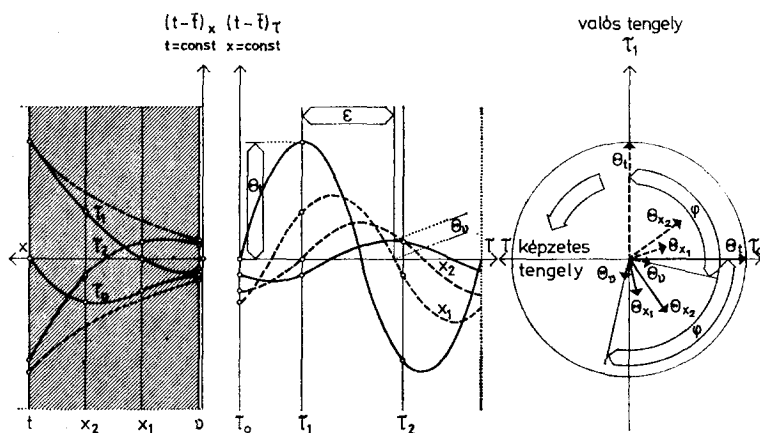
$$q_0 = \Theta_0 \alpha, \quad (2.62)$$

összefüggést,

$$\beta = \operatorname{ch} Rs \sqrt{i} + \frac{\alpha}{s \sqrt{i}} \operatorname{sh} Rs \sqrt{i}. \quad (2.63)$$

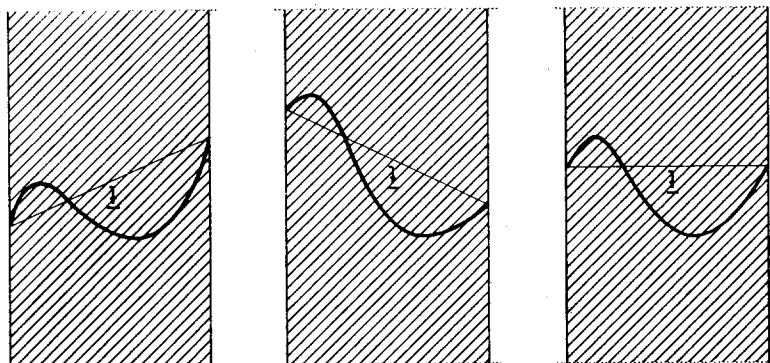
Megemlítendő, hogy az összefüggésben szereplő  $Rs$  kifejezést a szakirodalom általában *hőtehetetlenségi tényezőnek* nevezi. (Előfordul a hőinercia, illetve az orosz irodalomban a „látszólagos vastagság” elnevezés is. Szokásos jele:  $D$ .)

Tekintettel arra, hogy a hőmérséklet a helynek és időnek egyaránt függvénye, grafikus ábrázolása meglehetősen nehéz. A fentiekben leírt jelenséget a 2.38. ábra szemlélteti. Az ábra bal oldalán a fal metszetében a hely függvényében a hőmérséklet-eloszlás néhány „pillanatfelvétele” látható, különböző rögzített időpontokban. Az egyes  $x$  értékekhez tartozó maximumok a rajzolt két burkológörbével köthetők össze. Középen az ábra az idő függvényében azt mutatja, hogy egy-egy konkrét, rögzített helyen hogyan változik a hőmérséklet. Az ábrán az időbeli fáziseltolódások jól megfigyelhetők. A jobb oldal a (2.58) egyenlet megoldásait ábrázolja. Az amplitúdócsökkenés a hosszak arányából, a fáziskésés a közbezárt szögekből jól látható.



2.38. ábra. A hőmérséklet térbeli és időbeli változása (időben szinuszosan változó hőhatás következtében)

Általában külön határozzák meg a középértéket és külön az ingadozásokat. Ennek megfelelően a tárgyalt összefüggések is csak az ingadozás: a középértéktől való eltérés meghatározására szolgálnak. A középhőmérséklet vonala a fal két oldalának napi átlaghőmérsékletéből az ismert stacioner összefüggéssel határozható meg. A hőmérséklet-ingadozás a középhőmérséklet-vonal körül játszódik le (2.39. ábra).



2.39. ábra. Az átlagértékek és az ingadozások szuperpozíciója

#### A hőelnyelés

A (2.60) egyenlet deriválásával felírható az egységnyi felületre vonatkozó hőáram – azaz a hőáramsűrűség – ingadozása. Ez a vizsgált homogén réteg jellemzésére egy további lehetőséget kínál. Az  $x = \delta$  helyére a hőáramsűrűség ingadozásának és a hőmérséklet ingadozásának viszonya:

$$\frac{q_\delta}{\Theta_\delta} = \frac{\text{sh } Rs \sqrt{i} + \frac{q_0}{\Theta_0 s \sqrt{i}} \text{ch } Rs \sqrt{i}}{\text{ch } Rs \sqrt{i} + \frac{q_0}{\Theta_0 s \sqrt{i}} \text{sh } Rs \sqrt{i}} s \sqrt{i} = M_\delta s \sqrt{i}. \quad (2.64)$$

E viszonyszám a véges vastagságú szerkezet *hőelnyelési tényezője*. Abszolút értéke azt fejezi ki, hogy hány  $\text{W/m}^2$  amplitúdójú, szinuszgörbe szerinti ingadozás okoz a felületen egységnyi amplitúdójú hőmérséklet-ingadozást.

A gyakorlati feladatokban a kérdés az, hogy a helyiségből a határoló szerkezetbe behatoló, időben változó hőáramok a belső felületen mekkora hőmérséklet-változást okoznak. Ezért ez esetben  $x = \delta$  a belső sík, a koordináta-rendszer  $x = 0$  síkja pedig a szerkezet külső síkja.

#### A több rétegű szerkezetek

Ha a szerkezet több, különböző anyagú és tulajdonságú rétegből áll, akkor a számítás abból a megfontolásból indul ki, hogy a réteghatárokon a hőmérséklet és a hőáramsűrűség értékében nincs ugrásszerű változás (mert a réteghatáron sem forrás, sem nyelő nem működik).

A hőáram behatolásával ellentétesen irányítva az  $x$  tengelyt, a hőáram behatolása felőli oldalt „támadott”, míg a másikat „vé-

dett” oldalnak nevezve és ennek megfelelően  $t$  és  $v$  indexekkel jelölve, a rétegeket pedig az  $x$  tengely irányításának megfelelően sorszámozva a  $j$ -edik réteg csillapítása:

$$\beta_j = \operatorname{ch} R_j s_j \sqrt{i} + M_{j,v} \operatorname{sh} R_j s_j \sqrt{i}, \quad (2.65)$$

ahol

$$M_{( )} = \frac{q_{( )}}{\Theta_{( )} s_{( )} \sqrt{i}}. \quad (2.66)$$

A (2.65) és (2.66) összefüggések felhasználásával

$$M_{j-1,t} = \frac{q_{j-1,t}}{\Theta_{j-1,t} s_j \sqrt{i}} = \frac{\operatorname{sh} R_{j-1} s_{j-1} \sqrt{i} + M_{j-1,v} \operatorname{ch} R_{j-1} s_{j-1} \sqrt{i}}{\operatorname{ch} R_{j-1} s_{j-1} \sqrt{i} + M_{j-1,v} \operatorname{sh} R_{j-1} s_{j-1} \sqrt{i}}. \quad (2.67)$$

Részletesen felírva az

$$\frac{M_{j,v}}{M_{j-1,t}}$$

hányadost, átrendezés után:

$$M_{j,v} = M_{j-1,t} \frac{s_{j-1}}{s_j}. \quad (2.68)$$

A (2.68) összefüggés felhasználásával a több egymásra következő réteg csillapítási tényezői rekurzív módon számíthatók. A rétegek együttesének eredő csillapítási tényezője az egyes  $\beta$  csillapítási tényezők szorzata.

Ha a szerkezetet érő hatás a külső közeg hőmérsékletének ingadozása, akkor számítani kell a közeg és a felület közötti

$$\beta_n = 1 + \frac{M_{m,t} s_m \sqrt{i}}{\alpha_e} \quad (2.69)$$

csillapítást is.

A határoló szerkezet csillapítási tényezője a rétegek csillapítási tényezőjének, továbbá a közeg és a felület közötti csillapítási tényezőnek a szorzata. Ez azt fejezi ki, hogy a külső közeg mekkora hőmérséklet-ingadozása okoz a szerkezet belső felületén egységnyi hőmérséklet-ingadozást.

A több rétegű szerkezet hőelnyelési tényezőjének számítása ugyanilyen módon történik, de az  $x$  tengely irányítása fordított (kívülről befelé) hiszen ez esetben azt a kérdést kell megválaszolni, hogy hogyan változik a határoló szerkezet belső felületének hőmérséklete a helyiség felől bejutó hőáram ingadozása következtében.



A hőelnyelési tényező

$$U = M_{m,t} s_m \sqrt{i}, \quad (2.70)$$

ahol  $m$  az utolsó (itt legbelső) réteg sorszáma.

Megjegyzendő, hogy ha valamelyik rétegre nézve  $Rs > 1$ , akkor az gyakorlatilag végtelen vastagnak tekinthető. Ez esetben a számítást csak e rétegtől a „támadott” oldalig kell elvégezni. Ha e réteg sorszáma  $f$ , akkor

$$M_{f+1} = \frac{s_f}{s_{f+1}}. \quad (2.71)$$

Ha e réteg a legutolsó, támadott felületnél levő réteg, akkor a szerkezet hőelnyelési tényezője:

$$U = s_f \sqrt{i}. \quad (2.72)$$

A közölt rekurzív összefüggések alapján a csillapítás és a hőelnyelés kézi úton és számítógéppel egyaránt meghatározható. A kézi számítás hosszadalmassága következtében a feladat megoldására különböző közelítő összefüggéseket dolgoztak ki. Az egyrétegű szerkezetekre kimunkált diagramok (2.40., 2.41. ábrák) pontos eredményt adnak. A több rétegű szerkezetekre kidolgozott közelítő számítási módszerek egy része csak bizonyos feltételek teljesülése esetén alkalmazható, az általános érvényűség igényével kidolgozott közelítő összefüggések pedig teljesen megbízhatatlanok, az eredményekben még az 50–100%-os hibák is gyakoriak.

A gyakorlati munkát ma már megkönnyítik a számítógépeken meghatározott adatokat táblázatos formában rendszerező segédletek [6].

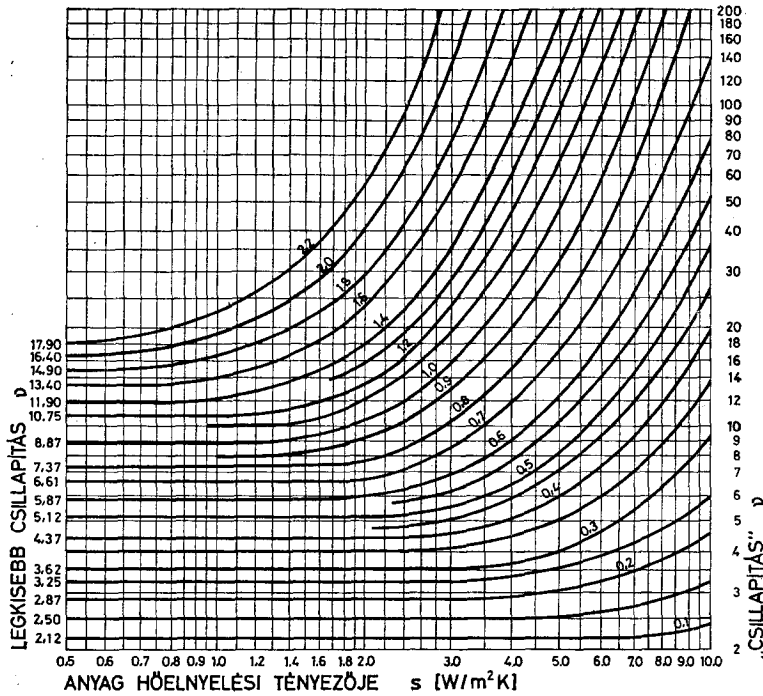
**Az egyenérték  
hőmérséklet-  
különbség**

A számítási nehézségek megkerülésére elterjedten alkalmazzák az *egyenértékű hőmérséklet-különbségek* módszerét, amelynek lényege az, hogy a hőáramsűrűség a

$$q = k(t_{ekv} - t_i) \quad (2.73)$$

alakú összefüggésből adódik (lásd az 1.3 alfejezetben).

A  $t_{ekv}$  természetesen egy képzeletbeli jellemző, amelynek értékeit a határoló felület sugárzási jellemzőinek, a napsugárzás intenzitásának, a hőmérséklet-amplitúdók csillapításának és késleltetésének függvényében kell meghatározni. A módszer a tervezési gyakorlatot azzal és annyira segíti, amennyire a rendelkezésre bocsátott adatok száma ehhez elégséges, és a segédletekben történő



PARAMÉTER: HŐVEZETÉSI ELLENÁLLÁS R

2.40. ábra. Egyrétegű határoló szerkezet csillapítási tényezője

rendszerezése is megfelelő. A segédletek használata természetesen annál könnyebb, minél inkább „kész” adatokat tartalmaznak (azaz a  $t_{ekv}$  értékét minél kevesebb lépésben lehet meghatározni). A „teljesen kész” adatokat tartalmazó segédletek használhatósága azonban korlátozottabb, mivel a táblázatba foglalt  $t_{ekv}$  vagy  $(t_{ekv} - t_i)$  értékek tényleges szerkezetekre vonatkoznak, tehát alkalmazási lehetőségeiket és feltételeiket tisztázni, ellenőrizni kell.

Ha ismert egy külső falszerkezet csillapítási tényezője, továbbá a külső (egyenértékű, „naplég”) hőmérséklet átlaga  $\bar{t}_k$  és ingadozása  $\Theta_k$ , akkor a szerkezet egységnyi felületén át a helyiségbe jutó hőterhelés

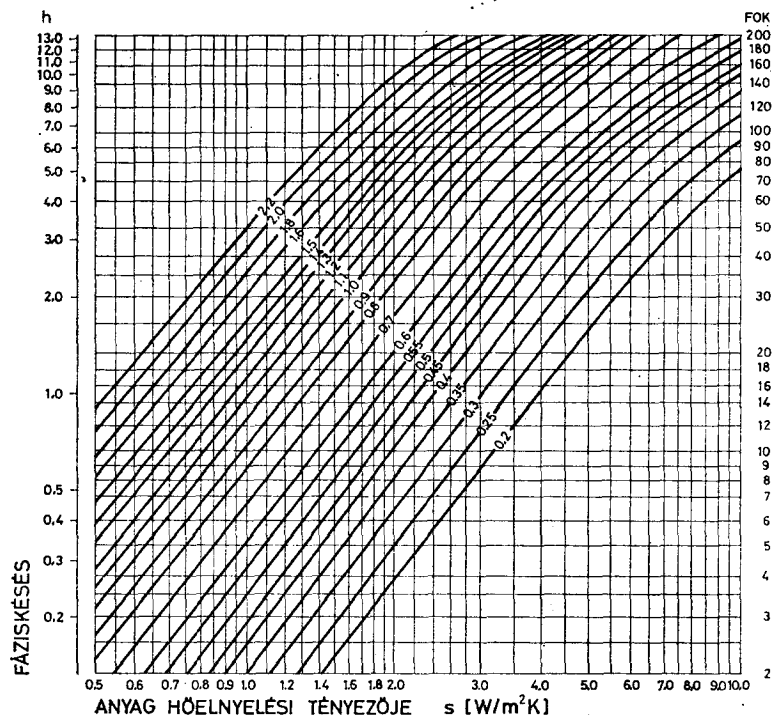
**A hőáram  
számítása**

átlagértéke a

$$\bar{q} = k(\bar{t}_k - t_i), \quad (2.74)$$

az átlagtól való pillanatnyi eltérése a

$$\Delta q(z) = \alpha_i \frac{\Theta_k(z - \varepsilon)}{v} \quad (2.75)$$



PARAMÉTER: HÖVEZETÉSI ELLENÁLLÁS  $R$

2.41. ábra. Egyrétegű határoló szerkezet késleltetése

összefüggéssel határozható meg, ahol

- $k$  a hőátbocsátási tényező abszolút értéke,
- $\varepsilon$  a csillapítási tényező fázisszöge, a késleltetés,
- $\alpha_i$  a belső hőátadási tényező,
- $\Theta_k(z - \varepsilon)$  a külső hőmérséklet eltérése az átlagtól a vizsgált időpont  $(z)$  előtt  $\varepsilon$  órával.

Mint látható, a határoló szerkezeten átjutó

$$q(z) = \bar{q} + \Delta q(z) \quad (2.76)$$

hőáram egyaránt lehet pozitív és negatív, előjele a nap folyán is változhat.

**A szerkezet értékelése**

A gyakorlatban általában azt az esetet tekintik kedvezőnek, amikor mind a csillapítási tényező, mind a hőelnyelési tényező nagy.

Ha a *csillapítási tényező nagy*, akkor a környezetben lejátszódó hőmérséklet-ingadozások hatása legyengítve jelentkezik a helyiségben. A határoló szerkezeteken át a helyiségbe bejutó hőáramok csúcscsértéke kisebb, s így az áram kompenzálására szolgáló forrás erőssége — az épületgépészeti berendezés csúcsteljesítménye — is kevesebb lehet, illetve — ha a hőáram ingadozása okozta hatás a tűréstartományon belül marad, kompenzálásra nincs is szükség.

Ha a *hőelnyelési tényező nagy*, akkor a helyiségben működő különféle források erősségének változására a határoló szerkezet „lustán” válaszol. A határoló szerkezet felületi hőmérsékletének adott mértékű megváltozását csupán a szerkezetbe jutó hőáram jelentős mérvű megváltoztatásával lehet előidézni.

Az időben változó hőáram egy szerkezetbe annál könnyebben hatol be, és a behatolás oldalán — a támadott belső felületen — annál kisebb hőmérséklet-változást okoz,

minél jobb hővezetésű rétegeken kell áthatolnia,

minél nagyobb e rétegek tömege és fajhője.

Ez azt jelenti, hogy egy külső határoló szerkezet *hőelnyelése nagy lehet, ha*

a beépített *anyagok tömege és fajhője nagy*, mert ezek hőmérsékletének megváltoztatásához jelentős hőáram változtatásra van szükség,

a szerkezet *hővezetési ellenállása kicsiny*, mert ekkor a szerkezeten áthaladó hőáram jelentős megváltoztatásával érhető csak el a belső felületi hőmérséklet egységnyi megváltozása.

Az *időben változó hőáram* egy szerkezeten annál nehezebben hatol át és a behatolás oldalával szemközti, védett belső felületen *annál kisebb hőmérséklet-ingadozást okoz*

minél nagyobb a beépített *anyagok tömege és fajhője*,

minél nagyobb a szerkezet *hővezetési ellenállása*.

Az elmondottakból világos, hogy a nagy tömeg és a nagy fajhő mind a hőelnyelés, mind a csillapítás szempontjából előnyös. Gyakorlatilag tulajdonképpen itt csak a tömegről van szó, mert a fától és néhány más nem jellemző kivételtől eltekintve az építőanyagok fajhői között nincs lényeges eltérés.

A hővezetési ellenállás tekintetében a megítélés már nem ilyen egyértelmű, hiszen itt a most tárgyalt két jellemzőszámokon kívül egyéb tényezőket is figyelembe kell venni.

A közölt összefüggésekből kiderül, hogy a csillapítás és a hőelnyelés egyaránt függ a szerkezet rétegrendjétől. Ha a nehéz réteg

kívül van, az elsősorban a csillapítási tényezőt, míg ha belülről kerül, elsősorban a hőelnyelési tényezőt növeli.

A könnyű külső határoló szerkezetek csillapítási tényezőjével kapcsolatban le kell szögezni azt, hogy azok – a közhiedelemmel ellentétben – elfogadható nagyságúak, de nem szabad szem elől téveszteni azt, hogy *a csillapítási tényező* – meghatározása szerint – *a hőmérséklet-ingadozások és nem a hőáramok viszonyát fejezi ki.*

Legyen egy szerkezet olyan mértékben könnyű, hogy tömegének és fajhőjének szorzata elhanyagolható. Egy ilyen szerkezetben a stacioner állapot azonnal beáll. Tehát ha a külső hőmérséklet  $\Theta_e$  értékkel megváltozik, a hőáramsűrűség megváltozása:

$$\Delta q = k \Theta_e = \alpha_i \Theta_i . \quad (2.77)$$

A stacioner viszonyok folytán a belső felületen áthaladó hőáram ugyanakkora, mint a szerkezetbe belépő hőáram, hiszen a zérus tömegű szerkezet felmelegítéséhez nincs hőre szükség.

A (2.77) összefüggésből

$$\frac{\Theta_e}{\Theta_{bf}} = \beta = \frac{\alpha_i}{k} , \quad (2.78)$$

tehát a jó hőszigetelésű könnyű határoló szerkezetek csillapítási tényezője tíznél nagyobb szám, emellett a valóságos érték ennél mindig kedvezőbb, mivel még a legkönnyebb határoló szerkezetek tömege sem elhanyagolható.

A (2.78) összefüggés egyébként megadja a bármilyen szerkezet csillapítási tényezőjének elvileg lehetséges alsó korlátját is.

A (2.78) összefüggés tulajdonképpen a hőátbocsátási ellenállás okozta csillapítást fejezi ki. Erre bevezetve az

$$\frac{\alpha_i}{k} = \beta_R \quad (2.79)$$

jelölést, egy szerkezet csillapítási tényezője

$$\beta = \beta_R \beta_m \quad (2.80)$$

alakban is felírható, ahol  $\beta_m$  a tömeg okozta csillapítás. (Megjegyzendő, hogy az angolszász szakirodalom ez utóbbit nevezi a csillapítási tényezőnek.)

## 2.2 A sugárzást átbocsátó szerkezetek

A sugárzást átbocsátó szerkezetek (ablakok, ablakszerű ajtók, üvegfalak, különleges üvegek és üvegszerkezetek stb.) hőtechnikai szempontból alapvetően abban különböznek a sugárzást át nem bocsátó tömör (falszerű) határoló szerkezetektől, hogy az átbocsátó szerkezeteknél (a vezetéssel hűvös és a légátteresztés következményeként esetleg létrejövő konvektív hűvös mellett) a látható fény és a (3–4  $\mu\text{m}$ -nál rövidebb hullámhosszúságú tartománybeli) infravörös sugárzás átbocsátása útján is történik hőátvezetés.

A sugárzást átbocsátó szerkezetek hőtechnikai viselkedését az – alább következő – sajátosságokból kiindulva helyes és célszerű vizsgálni:

**A hőtechnikai sajátosságokról általában**

A homlokzati falnyílást elzáró szerkezetek felületjellegű sugárzást átbocsátó elemeit (a különböző minőségű, tulajdonságú, vastagságú szerves és szervetlen üvegtáblákat, üvegtéglákat, üvegszerkezeteket) valamilyen befogadó szerkezetbe

nem mozgatható szerkezetek esetében (kő, beton, vasbeton, fém, fa, műanyag) vázelemekbe, keretbe, tokba,

mozgatható (nyíló, bukó, toló, billenő, forgó stb.) szerkezetek alkalmazásakor pedig (fa, fém, műanyag) szárnykeretbe

szerezik, építik be. A befogadó szerkezet anyagának hővezetési tényezője általában lényegesen eltér a sugárzást átbocsátótól, lehet annál kisebb (pl. fa esetén), de sokkal nagyobb is (pl. alumínium esetében).

A sugárzást átbocsátó határoló szerkezetekben (vagy szerkezeti részekben) gyakran viszonylag nagy szélességi és magassági méretű légrétegek adódnak. Ezekben (sugárzásból, hőátvezetésből, hővezetésből és – a légközés következményeként – konvektív hűvösből összetevődő) összetett hőátvezetési folyamatok játszódnak le.

A sugárzást átbocsátó szerkezetek nagy többsége ún. nyílászáró szerkezet. Ezek beépítése, de különösen működtetése nem képzelhető el illeszkedési rések, ütközési hézagok kialakítása nélkül (pl. a tok és az azt befogadó fal, a szárnyak és az azokat hordozó tok között). Az épületen (a rendszeren) belüli légnyomás és a környezetben uralkodó légnyomás különbsége következtében a levegő ezeken a réseken, hézagokon keresztül ki- vagy beáramlik, tehát ex-, illetve infiltráció jön létre. A levegő áramlása konvektív hűvösök kialakulásával jár együtt. E jelenség bonyolultabbá válik, ha a folyamatba a szerkezeten belüli légréteg is bekapcsolódik.

A napsugárzás átbocsátása azonban nemcsak hőtechnikai, hanem világítástechnikai szempontból is jelentős és értékelendő. A hőtechnikai és a világítástechnikai követelmények között időszakos ellentétek adódnak.

Az előzőekben ismertetett összetett hőátszármaztatási folyamat egyes összetevői gyakorlatilag egymástól függetlenül változnak, következésképpen a szerkezet viselkedését sem lehet egy vagy két részfolyamat alapján nyomon követni. Az egyes részfolyamatok azonos jelentőségűek, súlyúak lehetnek, s így a környezeti feltételek térbeli és időbeli változásától függ az, hogy közülük hol, mikor és melyik játszik uralkodó szerepet.

A sugárzást átbocsátó szerkezet tömege (a kevés számú és nem is jellemző kivételtől eltekintve) csekély, ezért

az időben állandósult állapotra jellemző hőmérséklet-eloszlások már viszonylag nagyon rövid időn (fél-egy órán) belül kialakulnak,

a jóformán hőtehetetlenség nélküli szerkezet a környezeti feltételek változását nagyon gyorsan követi (és természetesen közvetíti is az épületbe),

következésképpen a sugárzást átbocsátó szerkezetek leírására az állandósult állapotot tükröző összefüggések alkalmazhatók.

## 2.21 A hőátbocsátás

A sugárzást átbocsátó szerkezetek hőátbocsátási tényezője a (2.6) összefüggéssel formailag megegyező

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \Sigma \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e}} \quad (2.81)$$

alakú egyenlettel írható le. A (2.81) összefüggés alkalmazása során azonban számos nehézség is felmerül. Ezek a következők:

A szerkezet üvegtábláinak vastagsága kicsiny, hővezetési tényezője pedig nagy, s így azok hővezetési ellenállása nagyon kicsiny, gyakorlatilag szinte elhanyagolható.

Ha a szerkezeten belül légréteg van, abban — az előzőekben elmondottak szerint — összetett hőátszármaztatás játszódik le. (A gyakorlati számítások megkönnyítésére a légrétegekre fiktív egyenértékű hővezetési ellenállási adatokat dolgoztak ki. Ezek — a talán megtévesztő elnevezés dacára — a hőátadás, a légrétegben

kialakuló légkörzés és a sugárzás hatását is tükrözik. A megfelelő adatokat a légréteg vastagságának függvényében és a hőáram iránya szerint rendezve a vonatkozó műszaki előírások, a kézikönyvek tartalmazzák. Az adatok pontosságát a légréteget határoló felületek sugárzásos jellemzői és hőmérsékletei befolyásolják.)

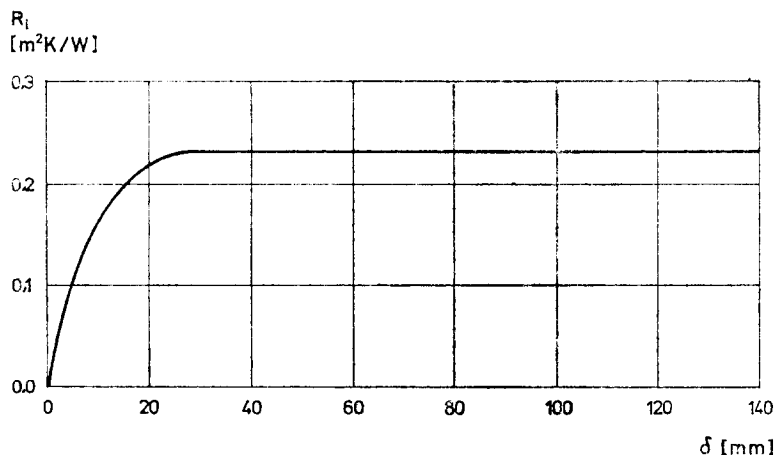
A hőátbocsátási ellenállás értékét – miután az üvegtáblák hővezetési ellenállása elhanyagolható, a légrétegé pedig ugyancsak csekély ( $0,1 - 0,23 \text{ K m}^2/\text{W}$ ) – a hőátadási tényezők számértékei jelentősen befolyásolják. Üvegezett felületek esetén – a hőátadási tényezőre nézve korábban elmondottakból következően – nagyobb számértékű hőátadási tényező várható (a nagyobb hőmérsékletkülönbség miatt) mint a falszerkezeteknél. Ennek a külső oldalon kisebb a jelentősége (mivel ott a kényszeráramlás – a szél – hatása dominál), mint a belső oldalon, (ahol egyáltalán nem közömbös, hogy a levegő áramlását a fűtőtestek elhelyezése, a szellőző levegő mozgása befolyásolja-e).

Meg kell jegyezni azt, hogy a hazai gyakorlat a nyílászáró szerkezetek hőátbocsátási tényezője helyett olyan fiktív értékeket használ, amelyek – a szó eredeti értelmében vett – hőátbocsátáson kívül egy bizonyos – közelebbről meg nem határozott – mértékű infiltrációból származó konvektív hőáram hatását is kifejezik. Ez a feltételezés és az arra épülő eljárás azonban teljesen megalapozatlan és téves. *A réseken bejutó levegő tömegárama ugyanis nyilvánvalóan a nyomáskülönbség függvénye és semmi köze nincs a hőátbocsátáshoz.* Az pedig, hogy az adott környezeti feltételek mellett a réseken át infiltráció vagy exfiltráció játszódik-e le, az a nyílászáró szerkezetnek az adott épületben elfoglalt helyzetétől függ. Az eljárásnak – az elvi hibán túlmenően – gyakorlati következményei is vannak, amelyek a fűtőteljesítmények hibás, aránytalan meghatározásában, s ebből eredően hőérzeti panaszokban, vagy éppen többlet-energiafogyasztásban mutatkoznak meg.

Az üvegfalak tábláit befogadó, hordozó, merevítő vázelemek (tartók, bordák), illetve a nyílászáró szerkezetek üvegtábláit keretező, befoglaló, hordozó tok- és szárnykeretek felülete az üvegfal, illetve a nyílászáró szerkezet teljes homlokfelületének csupán kis hányadát teszi ki. Ez az – egyébként hőhídként működő – hányad az értelmesen szerkesztett és gyártott szerkezeteknél általában nem haladja meg a homlokfelület 15 – 20%-át, szerkezeti szemléletű karcsú szerkesztéskor pedig 10%-ra, sőt még az alá is leszorítható, a technológia elsőbbségéből kiinduló szerkesztéskor azonban a 20%-ot is meghaladhatja, sőt még a 25%-ot is elérheti. Ez utóbbi esetben a felületnek már akkora részéről van szó, hogy arról szinte már nem is lehet hőhídként beszélni, hanem azt falként kellene

**A befogadó  
(befoglaló)  
szerkezet**





2.42. ábra. Az üvegtáblák közötti légréteg egyenértékű hővezetési ellenállása

kezelni, és természetesen a falra vonatkozó követelményeknek megfelelően kellene kialakítani.

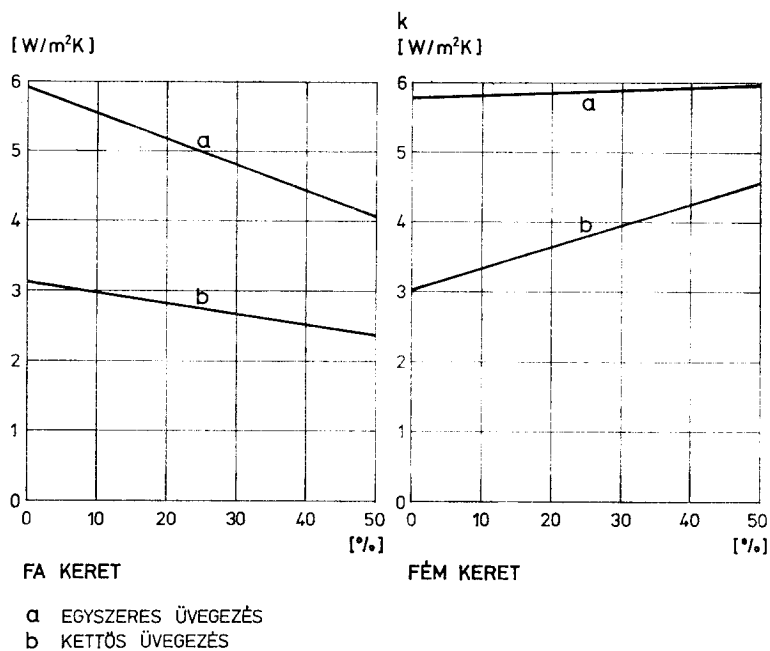
A hőhid fogalmába a nem egydimenziós hőáram és a nem egydimenziós hőmérséklet-eloszlás tartozik. Adott esetben tehát az a szerkezeti elem is „hőhidat” okoz, amelynek hővezetési ellenállása nagyobb, mint a környező határoló szerkezetéi. Üvegezett felületek esetében ilyen helyzet alakul ki, ha a befogadó keretező szerkezet fából, műanyagból készül. Ezekben az esetekben a hőhidak homlokfelületének növelése az egész szerkezet hőátbocsátási ellenállásának növekedését eredményezi. Fordított helyzet adódik természetesen akkor, ha a befogadó szerkezet hővezetési ellenállása kisebb, mint az üvegezetté.

Érthető és indokolt igény az, hogy a sugárzást átbocsátó szerkezetek hőátbocsátási tényezője az e szerkezetek gyártmány egységében (ablakban, ajtóban, kapuban, panelben stb.) levő hőhidak hatását is tükrözze. Ezért gyakran kerül sor a hőhidak hatását is kifejező, a „természetes egységre” — ablakra, ajtóra — vonatkozó átlagos hőátbocsátási tényezők megadására és használatára.

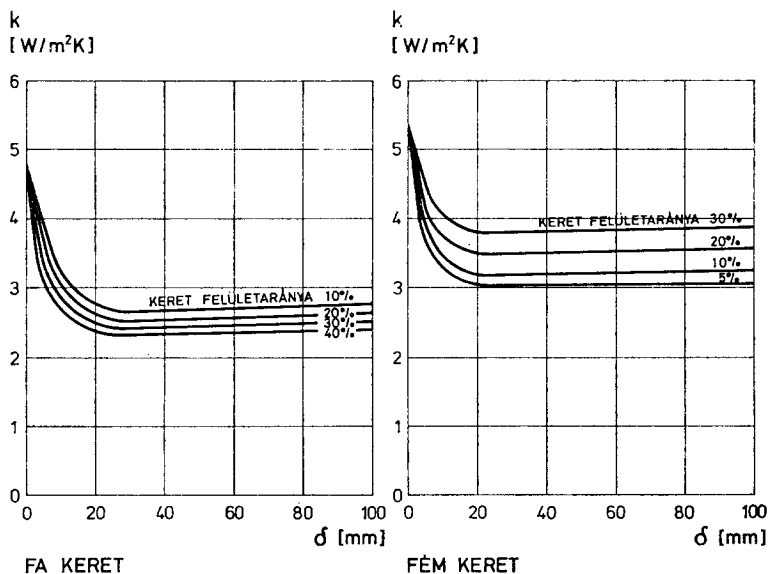
Az elmondottakat a 2.42. — 2.44. ábrák igazolják, amelyeken a légréteg vastagságának hatása, továbbá a befogadó (keretező) szerkezet homlokfelületi arányának hatása külön-külön is, de együttesen is értékelhető.

#### A kiegészítő, árnyékoló, fényzáró szerkezetek hatása

Az árnyékoló és fényzáró szerkezetek a sugárzást átbocsátó szerkezetek szerves kiegészítő (gyakran elválaszthatatlan) részeként kezelendők, részben a fizikai folyamatokban megnyilvánuló hasonlóság, részben pedig a szigorú szerkezeti összetartozás alapján.



2.43. ábra. A hőátbocsátási tényező a keret felületarányának függvényében



2.44. ábra. A hőátbocsátási tényező a keret felületarányának és a légréteg vastagságának függvényében

E szerkezeteknek a hőátbocsátásra gyakorolt hatását — bár teljesen indokolt volna — mégsem szokás figyelembe venni. Ez az eljárás a mozgatható árnyékoló- és fényzáró szerkezetek esetében még csak magyarázható azzal, hogy ezek hatása esetleges, a szerkezetek működése csak feltételezhető, de nem biztosítható, de fix beépítésű szerkezetek alkalmazásakor már semmiképpen sem indokolt.

Abban az esetben,

ha az árnyékoló szerkezet az üvegezés belső oldalára kerül, az üvegezett szerkezet hőátbocsátási ellenállása — a légmozgás korlátozása, s ezáltal a hőátadási tényező csökkenése révén — javul, azaz nagyobb lesz;

ha az árnyékoló szerkezet az üvegtáblák között helyezkedik el, az üvegezett szerkezet hőátbocsátási tényezője — a légmozgás és az alacsony hőmérsékleti sugárzásos hőcsere korlátozása folytán — kisebb lesz;

ha az árnyékoló szerkezet kívülre, az üvegezés elé kerül, akkor az gátolja az alacsony hőmérsékleti sugárzásos hőleadást, tehát a hőátbocsátási tényező csökken.

**A hőérzet** A sugárzást át bocsátó szerkezetek hőátbocsátási ellenállása nemcsak a szerkezeten áthaladó hőáram tekintetében, hanem a belső felületek hőmérsékletének a hőérzetre gyakorolt hatása szempontjából is érdekes. Az üvegezett felületekre irányuló, túlzott mértékű egyoldali sugárzásos hőleadás ugyanis hőérzeti panaszokat vált ki még olyan helyiségekben is, ahol egyébként a mikroklímára jellemző összes egyéb tényező megfelel a követelményeknek.

Az 1.4. ábra a különböző méretű és hőátbocsátási tényezőjű ablakok előtt különböző külső hőmérsékletek mellett kialakuló diszkomfort zónákat mutatja (amelyek az 1.2 alfejezetben szereplő (1.7)–(1.8) összefüggések alapján állapíthatók meg). Az ábra szemléletesen bizonyítja, hogy

a diszkomfort zóna (pl. lakás, iroda, tanterem esetén) a helyiség alapterületének számottevő részét teheti ki, helyes lenne e zónákat figyelembe venni a helyiség berendezési tervének elkészítésekor, a bútorzási sávok és az állandó tartózkodásra szánt helyek kijelölésekor.

**A hőszigetelés** Az üvegezett szerkezetek hőátbocsátási tényezője a rétegek — s ezáltal a közbezárt légrétegek — számának szaporításával mérsékelhető. Ennél azonban jóval hatékonyabb — és még a befogadó szerkezetek (tokok, szárnykeretek) két oldalról is kedvező, sokkal karcsúbb kialakítását is lehetővé tevő — módszer a hőszigetelő üvege-

zés alkalmazása. Hőszigetelő üvegezésnek a kerülete mentén forrasztással, ragasztással légmentesen összeépített két (esetleg három) réteg üvegből álló táblák alkalmazását nevezik. A táblák közötti légréteg vastagsága elég nagy ahhoz, hogy hővezetési ellenállása jelentős legyen, de elegendően kicsiny ahhoz, hogy az egymással szemben elmozduló levegőrétegek egymást fékező hatása folytán erőteljesebb légkörzés ne alakulhasson ki. A táblák közötti teret a páralecsapódás elkerülésére száraz levegővel vagy semleges gázzal töltik ki (utóbbi esetben a hőszigetelő képesség a levegőénél rosszabb hővezető képességű gáz alkalmazásával még fokozható is).

## 2.22 A légáteresztés

A sugárzást átengedő szerkezetek nagy többsége nyílászáró szerkezet. E szerkezetek beépítése, részekből összeépítése, teljes vagy részleges mozgatása (nyitása, buktatása, billentése, forgatása, tolása stb.) nem képzelhető el illesztési, csatlakozási és ütköztetési részek, hézagok nélkül. Ezeken keresztül a külső és belső légnyomás különbsége miatt lég be-, illetve kiáramlás játszódik le. Ehhez a filtrációs levegőforgalomhoz konvektív hőáramok kialakulása járul, ha a külső és a belső hőmérséklet nem egyforma. Ezek a konvektív hőáramok a helyiség, tér, épület teljes energiaforgalmának igen jelentős hányadát tehetik ki. E hőáramok energetikai szempontból azért is kedvezőtlenek, mert tehetetlenség (inercia) nélkül változnak, s így nagyon nehéz a források erősségét (az épületgépészeti berendezések teljesítményét) úgy szabályozni, hogy az áramok kiegyenlítődése mindig a belső hőmérséklet előírt értéke mellett következzen be.

A rések légáteresztésére vonatkozó vezetési (légáteresztési) törvény alakja:

$$V = a \Delta p^n, \quad (2.82)$$

ahol

- $V$  az egységnyi réshosszra vonatkozó térfogatáram,
- $\Delta p$  a nyomáskülönbség,
- $a, n$  a típustól függő állandók.

Kis nyomáskülönbségek mellett a résekben lamináris jellegű áramlás alakul ki ( $n = 1$ ). A rések alakjától és méretétől függően egy bizonyos nyomáskülönbség felett turbulens áramlás jön létre ( $n = 0,5$ ). A gyakorlat szempontjából leginkább érdekes nyomáskülönbségek e határérték körül adódnak. Miután a határérték pontos megállapítása nehéz, a számítás pedig e feltétel ellenőrzésével és a különféle összefüggések alkalmazásával túl hosszadal-

Az áramlás  
jellege

mas lenne, az ellenállásfüggvények e szakaszát egyetlen, a (2.82) egyenletnek megfelelő függvénnyel írják le. A „vegyes” jellegnek megfelelően a kitevő értéke  $n = 0,5 - 1$  között van, és leggyakoribbak az  $n = 0,63 - 0,75$  tartományba eső értékek.

Az  $a$  állandó a rés méretétől és kialakításától függ. Szokásos elnevezése: fajlagos légáteresztési tényező. E tényező néhány jellemző értéke a III. táblázatban látható.

### III. táblázat

A fajlagos légáteresztési tényező jellemző értékei

Nyílászáró szerkezet típusa	$a$ [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h Pa]
Fakeretes, egyszeres ablak	0,30
Fakeretes, kapcsolt szárnyú ablak	0,25
Fakeretes, kettős ablak	0,20
Fémkeretes, egyszeres ablak	0,15
Fémkeretes, kettős ablak	0,12
Küszöb nélküli ajtó	4,00
Ajtó, küszöbvel	1,50
Jó minőségű, tömített ablak	0,02—0,04

E számok csak tájékoztatásul szolgálnak, az egyes gyártmányfélések között ugyanis igen nagy eltérések lehetségesek, sőt — a technológiai fegyelemtől, az anyagminőség egyenletességétől függően — az adatok még egy gyártmányfajtán belül is jelentősen szórhatnak.

#### A konkrét légáteresztési törvények

Az egyes réstípusok légáteresztési törvényeinek általános érvényű számszerű adatai nem ismeretesek. Ennek az az oka, hogy az ellenállástörvény nem köthető egyértelműen egy rés kialakításához: a rés-méretek ugyanis a nyílászáró szerkezet anyagától, méreteitől, működési módjától, az alkalmazott szelvények erősségétől, várható alakváltozásának mértékétől, emellett a vasalások fajtájától, minőségétől, beépítési szabatoságától stb. is függenek. Ennek következtében a (2.82) összefüggésben szereplő  $a$  és  $n$  állandókat nyílászáró gyártmányfajtánként kísérleti úton lehet és kell meghatározni.

Ha a vizsgálat tárgya csak egy résmodell, akkor az ellenállástörvény általában független az áramlás irányától. A nyílászáró szerkezetek egyes fajtáinál azonban az ellenállástörvény irányfüggősége is megfigyelhető. Ennek az oka azonban nem a rés áramlástechnikai tulajdonságaiban keresendő, hanem abban a könnyen belátható és igazolható tényben, hogy a szárnykeret a nyomáskülönbség hatására (természetesen a mérettől, a mozgathatóságtól, a vasalat jellegétől

és minőségétől is függően) másként fekszik be a tokba, ha a külső illetve a belső oldali nyomás a nagyobb.

Az eddigiekben, a légáteresztési törvényről, mint a nyílászáró vagyis egy gyártmány tulajdonságáról volt szó. Bár kétségtelen, hogy a légáteresztési tulajdonságok a gyártmány megítélése, minősítése szempontjából alapvetően fontosak, de legalább annyira nyilvánvaló az is, hogy a valóságban az épület határoló felületének tulajdonságai a beépített nyílászáró szerkezetek viselkedésétől is függenek. A beépített szerkezet légáteresztése viszont és magától értetődően a tok és a fal illeszkedése mentén kialakuló csatlakozási rések légáteresztésétől is függ. Ez utóbbi szerepe egyébként a tok és a szárny közötti ütköztetési rések szerepével akár egyenrangú is lehet.

A beépített szerkezetek légáteresztési törvényei csak kísérleti úton állapíthatók meg. A lehetséges nagy különbségek miatt egy-egy feladat megoldása során feltétlenül tisztázni kell, hogy a számítás-hoz felhasznált légáteresztési adatok *csupán a gyártmányra, vagy már a beépített szerkezetre* vonatkoznak-e.

A filtrációs levegőforgalom a rések, hézagok légáteresztő képességének csökkentésével (vagyis a légáteresztési ellenállás növelésével) mérsékelhető. Az áram nagysága azonban a nyomáskülönbségtől és az áramlás útjában levő egyéb ellenállásoktól is függ, s ezért a filtrációs levegőforgalom elemzésekor *az épület egészét* kell vizsgálni.

A nyílászáró szerkezetek légáteresztési tulajdonságainak javítása, ha nem is az egyetlen, de az egyik, sőt talán legfontosabb építészeti–épületszerkezeti eszköz a filtrációs levegőforgalom mérséklésére.

A filtrációs levegőforgalom befolyásolására, mérséklésére alkalmas építészeti–épületszerkezeti lehetőségek és eszközök a következők:

a nyílászáró szerkezet méreteinek, vagyis a homlokzati nyílásarányának módosítása (csökkentése),

a nyitható működtetett hányad mértékének változtatása (csökkentése),

a működtetési mód megválasztása,

a kedvező működtetés vasalatainak megfelelő kiválasztása,

a beépítés módjának javítása (kávával, tömítéssel),

a szárny és a tok ütköztetése számának és módjának helyes megválasztása (növelése, illetve tömítése),

az üvegtáblák megfelelő (résmentes, tömítéssel) ágyazása stb.

**A filtrációs  
levegőforgalom  
befolyásolása**

## 2.23 A napsugárzási hőterhelés

### A sugárzás átbocsátása

Míg az előzőkben (2.21), (2.22) tárgyalt folyamatok — méghozzá lényegében azonos fizikai tartalommal, ha más és más konkrét feltételek mellett is — a sugárzást át nem bocsátó valamennyi határoló szerkezetben (a falakban, a födémekben, a tömör nyílászáró szerkezetekben) is lejátszódtak, addig a sugárzás átbocsátása már csak az üvegezett szerkezetek, az árnyékoló és a fényzáró szerkezetek (és ezek együtteseinek), továbbá az egyes szerves üveg- és műanyag szerkezeteknek sajátossága.

A felületre beeső sugárzás egy része a szerkezeten átjut, egy része elnyelődik, egy része pedig visszaverődik. Az átbocsátott  $t$ , az elnyelt  $a_N$  és a visszavert  $r$  hányadokra a

$$t + a_N + r = 1 \quad (2.83)$$

összefüggés érvényes.

E hányadok viszonya a szerkezet anyagától, felületképzésétől, vastagságától, a sugárzást átbocsátó rétegek számától, sorrendjétől és a beesési szögtől függ.

### A beesési szög

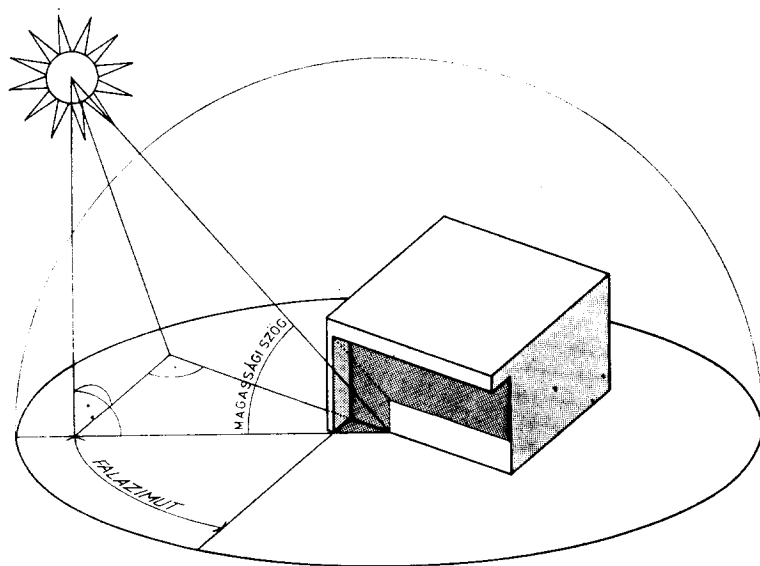
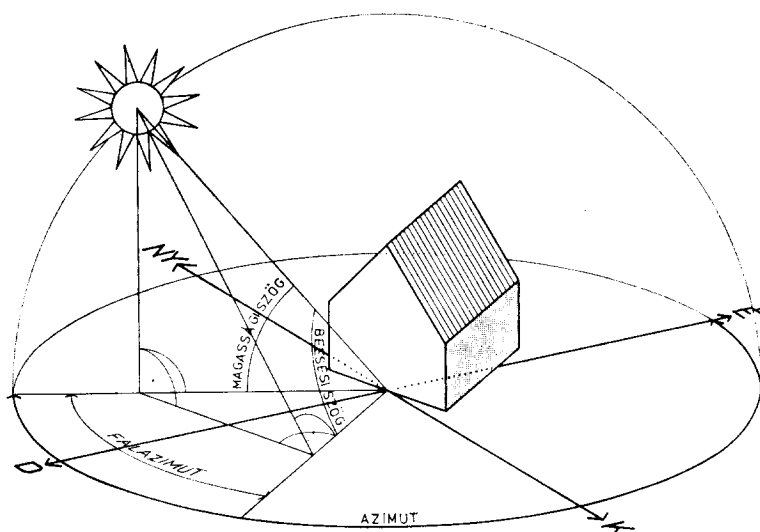
A beesési szög a határoló szerkezet normálisa és a közvetlen napsugárzás iránya által bezárt szög (2.45 ábra). A beesési szöggel kapcsolatban tudni kell, hogy sík üveglap esetében az áteresztett hányad  $0-65^\circ$  között csak elhanyagolhatóan kis mértékben változik, az áteresztés csak az egészen „lapos” beesési szögek esetén csökken számottevően. A  $t$ ,  $a_N$  és  $r$  értékek és a beesési szög összefüggését a 2.46. ábra példázza.

### Az átbocsátott spektrum

Az átbocsátott hányad a beeső sugárzás hullámhosszának is függvénye. Ez az összefüggés a közönséges ablaküvegre nézve a 2.47. ábra szerint alakul. Miután a napsugárzás intenzitásában a  $2,5 \mu\text{m}$ -nél nagyobb hullámhosszhoz tartozó hányad már elhanyagolható szerepű, a 2.47. ábra szerinti függvénykapcsolatnak a napsugárzás áteresztése tekintetében semmi szerepe nincs. Nagyon lényeges viszont, hogy — amint ezt a 2.47. ábra is mutatja — a közönséges üveg gyakorlatilag teljesen átlátszatlan a földi felületek által kibocsátott hosszúhullámú ( $8-12 \mu\text{m}$ ) hősugárzással szemben (2.48. ábra).

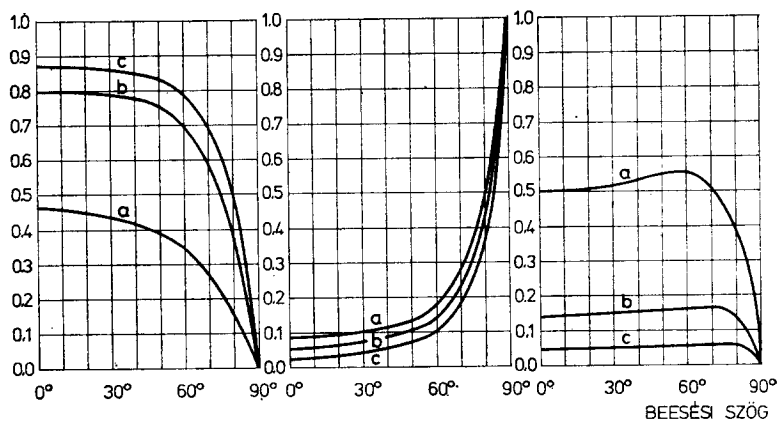
### A hőátszármaztatás módja

A sugárzás átbocsátása révén egyrészt közvetlen, másrészt több különböző (járulékos) közvetett hőátszármaztatás megy végbe a környezet és a helyiség között.



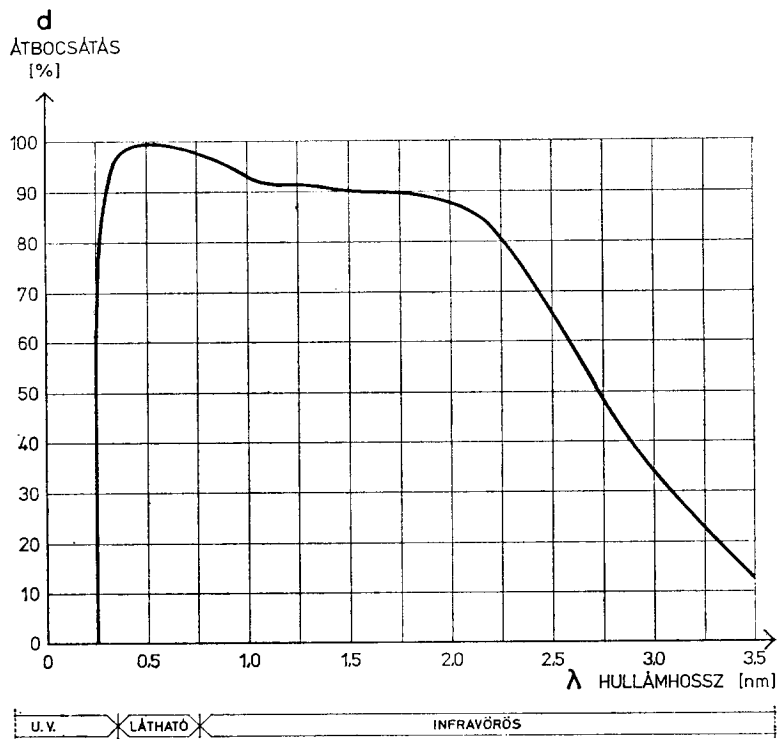
2.45. ábra. Az árnyékszögek értelmezése



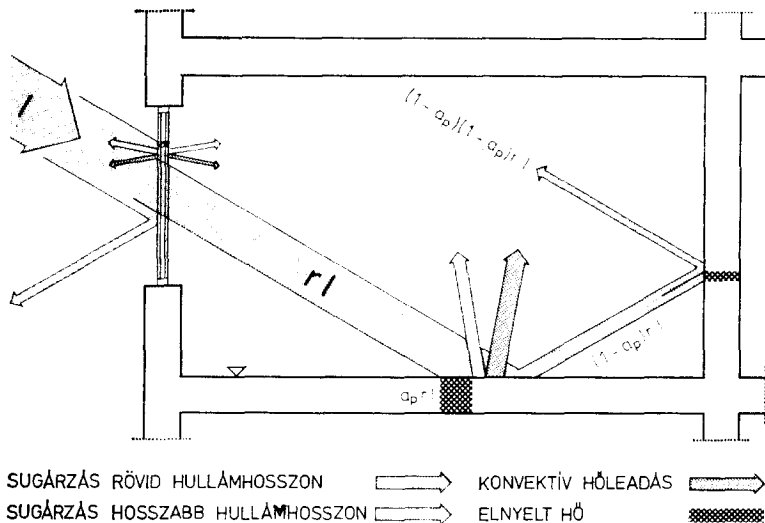


2.46. ábra. Az áteresztési ( $r$ ), az elnyelési ( $a$ ) és a visszaverési ( $r$ ) hányadok változása a beesési szög függvényében

a) elnyelő üveg esetén; b) 6 mm vastag normál üveg esetén; c) 3 mm vastag normál üveg esetén



2.47. ábra. Az áteresztési hányad változása a hullámhossz függvényében



2.48. ábra. Az üvegházhatás

Az elsődleges jelenség az, hogy az átbocsátott sugárzás továbbhaladva – a rendszeren (épületen, helyiségen, téren) belül – a sugárzást át nem bocsátó szerkezetekre (falra, padlóra, bútorra stb.) esik, amelyek azt – részben azonnal, részben többszöri visszaverődés után – elnyelik. Ezzel a rendszer hőtartalma természetszerűleg növekszik (2.48. ábra).

Az áteresztés

A beeső sugárzásnak a külső felületről visszavert hányada az épület közvetlen energiamérlegét általában nem befolyásolja (egyes kivételt jelentő ellenpéldákat a 2.49., 2.50. ábrák mutatnak). A visszavert sugárzás az épület közvetlen környezetének mikroklimájára, a szomszédos épületek energiamérlegére esetleg azonban hatással lehet.

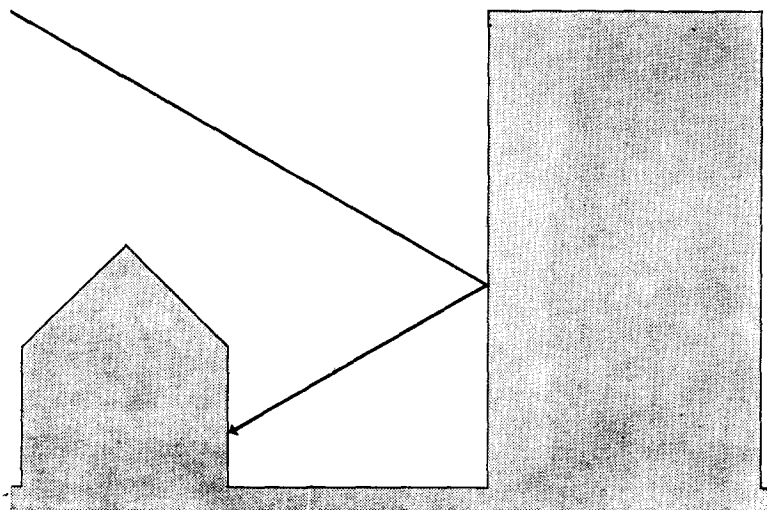
A visszaverés

A beeső sugárzásból a szerkezet által elnyelt hányad annak felmelegedését okozza. Miután kis tömegű szerkezetekről van szó, ez a felmelegedés jelentős. A felmelegedett felület – hőmérsékletétől és alacsony hőmérsékleti abszorpciós tényezőjétől függő mértékben – sugárzásos hőcserébe lép részben a rendszeren belüli felületekkel, részben a környezettel.

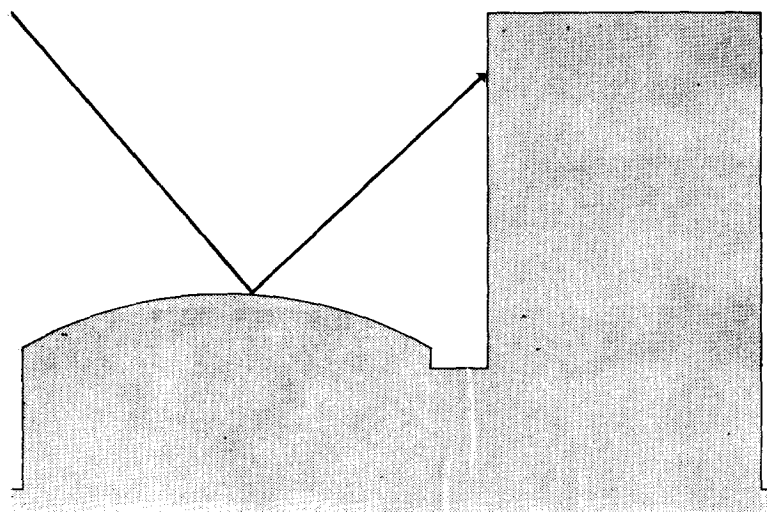
Az elnyelés

A befelé és kifelé – hosszuhullámú – sugárzással leadott hő a „partnerként” szereplő felületek sugárzási paramétereitől, hőmérsékletétől, a kölcsönös besugárzási tényezőktől függ. A „partnerek”

A hosszuhullámú sugárzás



**2.49. ábra.** Példa a környező épületekről visszaverődő sugárzás hőterhelést növelő hatására



**2.50. ábra.** Példa az épület alacsonyabb részéről visszaverődő sugárzás hőterhelést növelő hatására

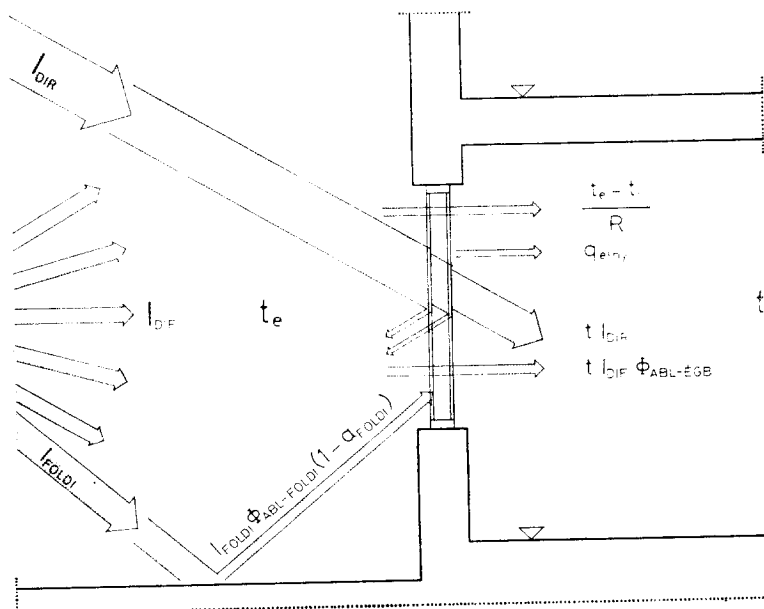
a belső oldalon a helyiséget határoló felületek, az ott levő bútorzat, az ott tartózkodó emberek stb., míg a külső oldalon a természetes vagy burkolt felszín, a szomszédos épületek, az égbolt.

A felmelegedés következtében a felület és a környező közegek között hőátadás jön létre. A hőátadás révén az épületbe, illetve a környezetbe jutó hő arányát a belső, illetve külső léghőmérséklet, továbbá a hőátadási tényezők határozzák meg, ez utóbbi pedig a geometriai méretektől, kényszeráramlás (szél, gépi szellőzés) esetén pedig még a légsebességtől is függ. Az elmondottakat a 2.51. ábra szemlélteti.

A hőátadás

Az eddigi rövid ismertetés is talán elegendő annak érzékeltetésére, hogy a sugárzást átbocsátó szerkezetekben lejátszódó hőátszármaztatás rendkívül összetett és bonyolult folyamat, amelyet nagyon sok, gyakran az adott szerkezettől is teljesen független tényező befolyásol, alakít. Ehhez még azt is hozzá kell tenni, hogy emellett a hivatkozott leírás a valóságos folyamatot még mértéktelenül le is egyszerűsíti, hiszen maga „a sugárzást átbocsátó szerkezet” is többnyire több „rétegből” (általában két üvegtáblából, egy árnyékoló és egy fényzáró rétegből) tevődik össze. Az átbocsátás tehát több rétegben ismétlődik. A visszavert hányad egy részét a többi réteg át-

A folyamat összetettsége



2.51. ábra. Az üvegezésen át bejutó hőterhelés sémája

ereszti, más részét elnyeli, a maradék ismételt visszaverődést szenved stb. Az elnyelt hányad következtében felmelegedett rétegek a közéjük „bezárt” réteg levegőjét felmelegítik, míg a „nyitott” rétegben légkörzés megy végbe stb.

Ezeknek — még csak nem is a teljesség igényével felsorolt — összetett és egymással kölcsönhatásban levő folyamatoknak a számítása — még jelentős egyszerűsítések alkalmazása esetén is — annyira hosszadalmas és munkaigényes, hogy — a sajátos kutatási feladatoktól eltekintve — a gyakorlati tervezési feladatok megoldására más eljárást kell keresni.

#### A naptényező

A gyakorlatban adódó feladatok megoldására használható eljárás alapja az a tény, hogy két különböző szerkezetre nézve az ismertett folyamatok együttes hatásának eredményeként a helyiségbe jutó energiaáramok — a napsugárzási hőterhelések — aránya állandó. (E megállapítás alól csak az egészen „lapos” s így a gyakorlat szemszögéből kevésbé érdekes beesési szögek jelentenek kivételt.)

A közölt tény alapján a sugárzást átbecsátó szerkezetek bármelyike, vagy azok akármilyen kombinációja a következő gondolatmenet alapján értékelhető:

Első lépésként: ki kell választani a viszonyítási alapként szolgáló — lehetőleg egyszerűen és könnyen előállítható, beszerezhető — szerkezetet. E szerkezet az árnyékolatlan, közönséges, tiszta 3 mm vastag ablaküveg.

Második lépésként: meg kell egyszer határozni a viszonyítási alapul szolgáló szerkezetre, különféle beesési szögek mellett (azaz különböző szélességi körökre, tájolásokra, hajlásszögekre, időpontokra nézve) a rajta keresztül — az előzőekben ismertetett folyamatok eredményeként — a helyiségbe bejutó napsugárzási hőterhelést. (Magyarországra nézve ezek az adatok segédlet formájában [12] beszerezhetők és e segédletben ezeknek a hőterhelés adatoknak a jelölése  $I_{SRG}$ .)

Harmadik lépésként: meg kell egyszer határozni egy beesési szög mellett a vizsgált szerkezetre nézve a rajta keresztül a helyiségbe bejutó napsugárzási hőterhelést.

Negyedik lépésként: meg kell határozni a harmadik lépésként megállapított napsugárzási hőterhelésnek és a viszonyítási alapul szolgáló szerkezet ugyanilyen beesési szöghöz tartozó adatának hányadosát. Ez a *naptényező* ( $N$ ).

Ötödik lépésként (de a tervezési munka egyetlen lépéseként, hiszen a korábbiak egy egyszeri előzetes kísérleti vagy minősítési eljárás részét képezték): meg kell határozni a naptényező segítségével a

bejutó napsugárzási hőterhelést, ami — miután a naptényező gyakorlatilag állandó, a vizsgált szerkezetre jellemző szám — a viszonyítási alapul szolgáló szerkezeten át azonos beesési szög mellett bejutó hőterhelésnek és a naptényezőnek szorzata:

$$q = NI_{\text{SRG}} \quad (2.84)$$

Miután a viszonyítási alapul választottnál kedvezőtlenebb szerkezet nincs,  $N \leq 1$ .

Az elmondottakból teljesen nyilvánvaló, hogy a naptényező egy összetett folyamat hatására jellemző, nem pedig a sugárzás átbocsátására. A hosszúhullámú sugárzás és a hőátadás — vagyis a szerkezet abszorpciója — miatt mindig igaz, hogy  $N > 1$ .

A napsugárzásból származó hőterhelésnek nemcsak a meghatározása, hanem a megítélése is bonyolult feladat.

A napsugárzásból  
származó hőterhelés  
megítélése

Nyilvánvaló ugyanis, hogy a téli hónapokban e hőterhelés kedvező az egyéb hőáramok kiegyenlítése szempontjából, hiszen kisebb teljesítményű fűtőberendezés beépítését teszi lehetővé. Magától értetődik továbbá az is, hogy az átmeneti időszakokban — részben a külső és belső hőmérséklet különbségének csökkenése, részben pedig a nagyobb intenzitás következtében — a napsugárzási hőterhelés hatása fokozódik, majd teljesen kiegyenlíti az egyéb hőáramokat. Sőt az is világos, hogy az átmeneti szakaszt követően a napsugárzási hőterhelés — önmagában vagy a spontán források hatásával összegeződve — olyan helyzetet teremthet, amelyben már szükséges hűtés.

A napsugárzási hőterhelés a természetes megvilágítással is kapcsolatos. Az intenzívebb megvilágítás — egészen a „fénylárma”, a káprázás határáig — az évszaktól függetlenül előnyös.

Kiindulva abból, hogy a magyarországi klimatikus körülmények mellett fűtőberendezésre rendszerint szükség van, mesterséges hűtésre viszont csak egyes esetekben,

a téli hónapok napsugárzási hőterhelése tekintetében a kérdés „csupán” az, hogy kisebb vagy nagyobb lesz-e a fűtőberendezés teljesítménye és energiafogyasztása,

a nyári hónapok esetében azonban a hűtőberendezésre vonatkozó hasonló kérdést jogosan egy másik kérdés előzi meg, és pedig az, hogy egyáltalán szükség van-e mesterséges hűtésre.

E kérdés feltevését egyrészt az indokolja, hogy a hűtés beruházási és üzemeltetési költségei többszörösét teszik ki a fűtésre vonatko-

zóaknak, másrészt az magyarázza, hogy a napsugárzási hőterhelés csökkentésével jelentős megtakarítások érhetők el. A szóba jöhető megoldások áttekintése során azonban mindig értékelni és mérlegelni kell, hogy az adott megoldás milyen fűtési következményekkel és milyen világítási kihatással jár.

**Az üvegezési  
arány megválasz-  
tása**

A napsugárzási hőterhelés csökkentésének legkézenfekvőbb módja az üvegezett felületek nagyságának ésszerű, a szóban forgó helyiség, tér funkciójával, használati módjával összhangban álló megválasztása. A napsugárzási hőterhelés ugyanis egyenesen arányos a sugárzást átbocsátó szerkezet felületével. E felület csökkentése egy bizonyos határig még nem veszélyezteti a szükséges (kielégítő) természetes megvilágítást. A napsugárzási hőterhelés csökkentése a téli hónapokban ugyan hátrányos, de ezt ellensúlyozza az a körülmény, hogy a falszerkezetek hőátbocsátási tényezője — a szokásos szerkezetek esetében — kedvezőbb, mint az üvegezeteké.

**A tájolás**

A napsugárzási hőterhelés alakulása — aránylag egyszerű módon — az üvegezett felületek okos tájolásával is kedvezően befolyásolható. E tekintetben a déli tájolás a legkedvezőbb, többek között azért,

mert ez esetben a napsugárzási hőterhelés nyáron viszonylag kisebb (ami csökkenti a túlmelegedés veszélyét), a tavaszi-őszi hónapokban pedig nagy (csúcserőtekeit márciusban és szeptemberben éri el, ami az átmeneti időszak mérlegét számottevően javítja), de még a téli hónapokban is igen jelentős (ami a mérleget még kedvezőbbé teszi),

mert ez esetben és ily módon a fűtési, a hűtési és a világítási szempontok közötti ellentmondások viszonylag kisebbek,

a keleti és nyugati tájolás pedig kedvezőtlenebb,

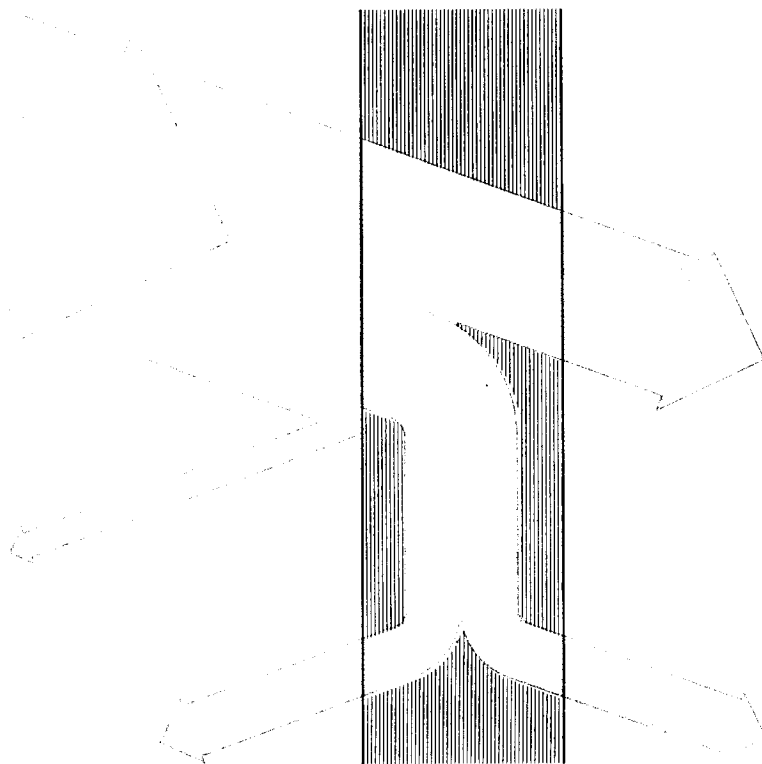
mert a napsugárzási hőterhelés éves „menetrendje” korántsem ilyen előnyös.

**Az árnyékvetés**

A napsugárzási hőterhelés értéke az üvegezett felületre eső (az épület valamely része, eleme, a szomszédos épületek, a környező növényzet által vetett) árnyékkal számottevően befolyásolható, csökkenthető. E kérdés elemzése, az ebben rejlő lehetőségek számításba vétele a település- és az építészeti tervezés feladata, része. A környezet ilyen értelmű hatása — a körülményektől függően — kedvező, de kedvezőtlen is lehet.

**Az üveg**

A napsugárzási hőterhelés mérséklésének egyik lehetősége olyan üvegek alkalmazása, amelyeknek sugárzásátbocsátó és egyéb hőtechnikai tulajdonságai előnyösebbek, mint az általánosan használt közönséges ablaküvegeké.



2.52. ábra. Az elnyelő üvegezés hőmérlegének sémája

Megjegyzés: A hőtechnikai szempontból szóba jöhető üvegek színének (ami szürke, sötétszürke, kék, zöld, bronz, arany stb. egyaránt lehet) helyes megválasztása mind az építészet szempontjából (hiszen számottevően belejátszik a homlokzat hatásába), mind a tér (helyiség) használati értéke szempontjából (hiszen befolyásolja a látásértéket, az ott tartózkodók hőérzetét, idegállapotát, munkakészségét, hangulatát) nagyon lényeges.

Az üveg sugárzásátbocsátó képessége elvileg két módon csökkenthető: az *elnyelő képesség* fokozásával vagy a *visszaverő képesség* növelésével. (Ennek megfelelően beszélnek hőelnyelő, illetve hővisszaverő „hővédő” üvegről.)

Az üveg hőelnyelő képességét az anyagba a gyártás során belekevert fém „szennyezés” növeli. Ez az üveg visszaverő képességét gyakorlatilag nem változtatja, de az elnyelési tényező az  $a_N = 0,5$  értéket is elérheti, tehát a sugárzásból áteresztett hányad ily módon fele-

Az elnyelő üveg

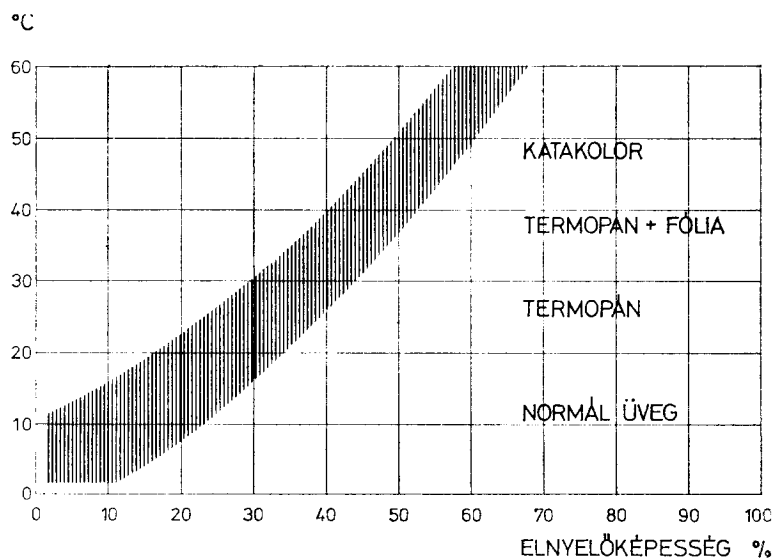


akkora, mint a közönséges ablaküvegeknél. (A hőegyensúly sémáját az 2.52. ábra mutatja.)

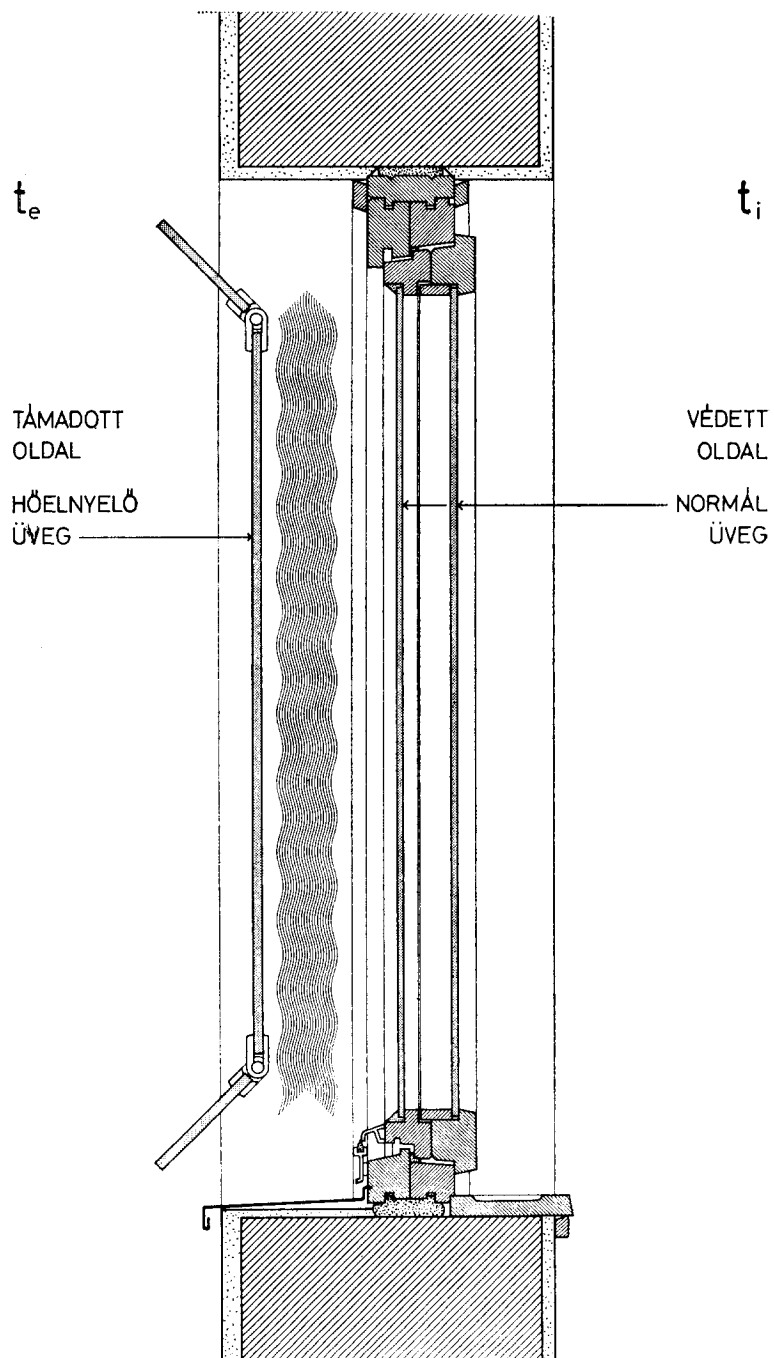
A helyiséget érő napsugárzási hőterhelés azonban már nem ilyen kedvezően alakul, mivel az elnyelt nagyon jelentős hőmennyiség hatására az üvegtábla erősen felmelegszik s így hőmérséklete a környező levegőét akár 30–50 K-nel is meghaladhatja (lásd a 2.53. ábra – tájékoztató jellegű – görbét). Az üvegtábla magas hőmérséklete következtében nagy lesz a hőátadás és a hosszuhullámú sugárzás révén a helyiségbe jutó hőterhelés, vagyis *a napsugárzási hőterhelés korántsem csökken olyan mértékben, mint maga a sugárzásátbocsátó képesség*. Gondot okoz továbbá az is, hogy a – szokásos fűtőtest-hőmérsékletű – üvegtábla sugárzó fűtőként működik, tehát környezetében nyáron diszkomfort (kedvezőtlen hőérzeti) zóna alakul ki.

A helyiségbe jutó napsugárzási hőterhelés valamelyest mérsékelhető az elnyelő üvegek és a – hőátbocsátás szempontjából amúgy is szükséges – szokásos üveg(ek) ésszerű együttesének alkalmazásával, továbbá az elnyelő üvegtábla mögötti légréteg kiszellőztetésével (2.54. ábra).

Az elnyelő üveg alkalmazásakor a sugárzásátbocsátó képesség csökkenésének megfelelően mérséklődik a természetes megvilágítás



2.53. ábra. Az elnyelő üvegek felmelegedése



2.54. ábra. Az elnyelő és a normál üveg együttes alkalmazása

erőssége is. Ez a nyári hónapokban még nem jelent hátrányt, de az év tekintélyes számú órájában — a természetes világítás nem kielégítő volta következtében — már a mesterséges világítás bekapcsolását teszi szükségessé. A természetes világítás szempontjából az elnyelő üveg színének megválasztása is szerepet játszik.

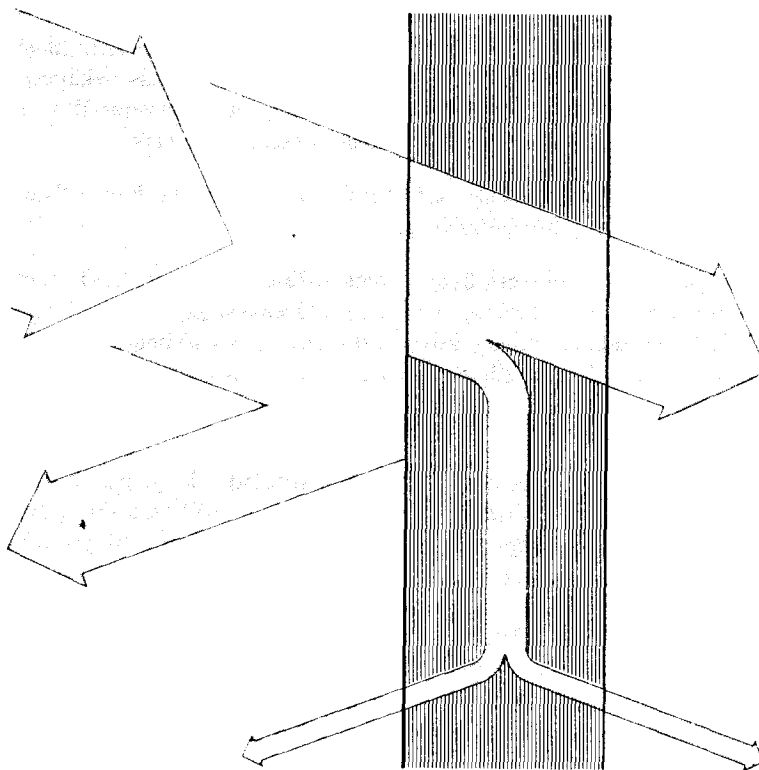
A napsugárzási hőterhelés csökkenése a téli hónapokban a fűtési üzem szempontjából hátrányos.

Megjegyzés: Az elnyelő üveg felmelegedése épületszerkezeti szempontból is gondokat okoz, mert az üvegtábla a szokásost jóval meghaladó mértékben mozog, következképpen megnő beültetési igénye, nehezebben oldható meg ágyazása és annak repedésmentessége is.

**A fotorop üveg** Az elnyelő üveg sajátos fajtája az ún. fototrop üveg. Ez az üveg — az anyagába a gyártáskor bekevert „szennyező” ezüst-halogenidek viselkedése folytán — a napsugárzás intenzitásától függő mértékben megváltoztatja áteresztő képességét, vagyis minél erősebb a napsugárzás, annál inkább elsötétül, tehát áteresztő képessége annál kisebb és fordítva, ha a napsugárzás intenzitása csökken — a csekély késéssel fordított irányban is lejátszódó folyamat következtében — áteresztő képessége megnő. Az üveg e tulajdonsága következtében — mondhatni önműködően — maga igazodik a feltételek megváltozásához (amire természetesen csak nyáron lenne szükség).

**A visszaverő üveg** Az üveg sugárzásvisszaverő képességét a felületére felhordott vékony fém- vagy műanyagréteg fokozza. Ezzel az abszorpciós tényező gyakorlatilag nem változik, a visszaverési tényező azonban a 0,5 értéket is elérheti az áteresztett hányad rovására. Ezeknek az üvegeknek az előállítása bonyolultabb és drágább, mint az elnyelő üvegé. (A nagy pontossággal síkra csiszolt táblákra igen vékony rétegben — a rétegvastagság nagyon kis túrése mellett — ionporlasztással, vákuumban végzett felgőzöléssel fém- vagy nemesfémbevonatot hordanak fel.) Az üveg színárnyalata a felhordott réteg anyagától és vastagságától függ. Ezért van az azonos rétegvastagságnak nagy jelentősége, hiszen egyébként az üveg színe egy táblán belül változna (ún. „foltos” lenne).

A visszaverő üveg hőegyensúlyának sematikus képét a 2.55. ábra mutatja. A napsugárzási hőterhelés egyébként nagyon kedvezően alakul, egyrészt, mert az áteresztett hányad kicsiny, másrészt, mert — a csekély elnyelés folytán — az üveg felmelegedése jelentéktelen s így felületéről hosszúhullámú sugárzással és hőátadással csak kevés hő jut be a helyiségbe.



**2.55. ábra.** A visszaverő üvegezés hőmérlegének sémája

Az üvegfajta fejlesztése során olyan bevonatolást is kimunkáltak, amellyel az átbocsátó képesség szelektívvé tehető: kisebb mértékben csökken a látható fény tartományában és erősebben az infravörös tartományában.

A visszaverő üvegezés naptényezője kicsiny, ami a nyári hónapokban (a kis napsugárzási hőterhelés következtében) előnyös; az pedig, hogy ez a téli hónapokban hátrányos, szükségszerű.

A sugárzást visszaverő üveg közösleges üvegtáblával (táblákkal) összeépítve, azaz a két- (vagy több) rétegű hőszigetelő üvegezés részeként is jól alkalmazható, s így a visszaverésből adódó előny a hőátbocsátási ellenállás növeléséből származó haszonnal jól társítható. Ez esetben a visszaverő bevonat a légréteggel határos belső felületre kerül.

Magától értetődik, hogy a hővédő üvegezés (fajtájától függetlenül) csak akkor hatékony, ha az ablak (ablakszerű ajtó) zárva van, kö-

vetkezéséppen alkalmazásának csak akkor van értelme, ha az épület (tér) nyári szellőzése a nyílászáró szerkezetek zárt állapotában is megoldható, de az is természetes, hogy e feltétel teljesülése esetén még számos egyéb tényezőt is mérlegelni kell, hiszen a hővédő üvegezés ugyan mérsékli a napsugárzási hőterhelésből származó gondokat, de nem kevésbé komoly következményekkel és költségekkel jár a fűtés és a világítás területén.

#### **Az árnyékoló és árnyékvető szerkezetek**

A nyílászáró szerkezetekhez viszonyított térbeli helyzetük alapján belső (a helyiség felőli oldalra kerülő), közbenső (a nyílászáró szerkezet üvegrétegei, táblái közé beépített) árnyékoló szerkezetek és külső (a külvilág felőli oldalra helyezett) árnyékoló szerkezetek különböztethetők meg. Ez utóbbiak változatai az ún. árnyékvető szerkezetek.

#### **A belső árnyékoló szerkezetek**

A belső árnyékolók jellegzetesen több funkciós szerkezetek, hiszen a napsugárzási hőterhelés csökkentése mellett a belátás megakadályozása, a védettség érzésének megteremtése, egyes esetekben még a belső tér építészeti értékének növelése, hangulati hatásának fokozása is feladatuk. E szerkezetek jellegük és használati módjuk következtében csak mozgathatóan készíthetők.



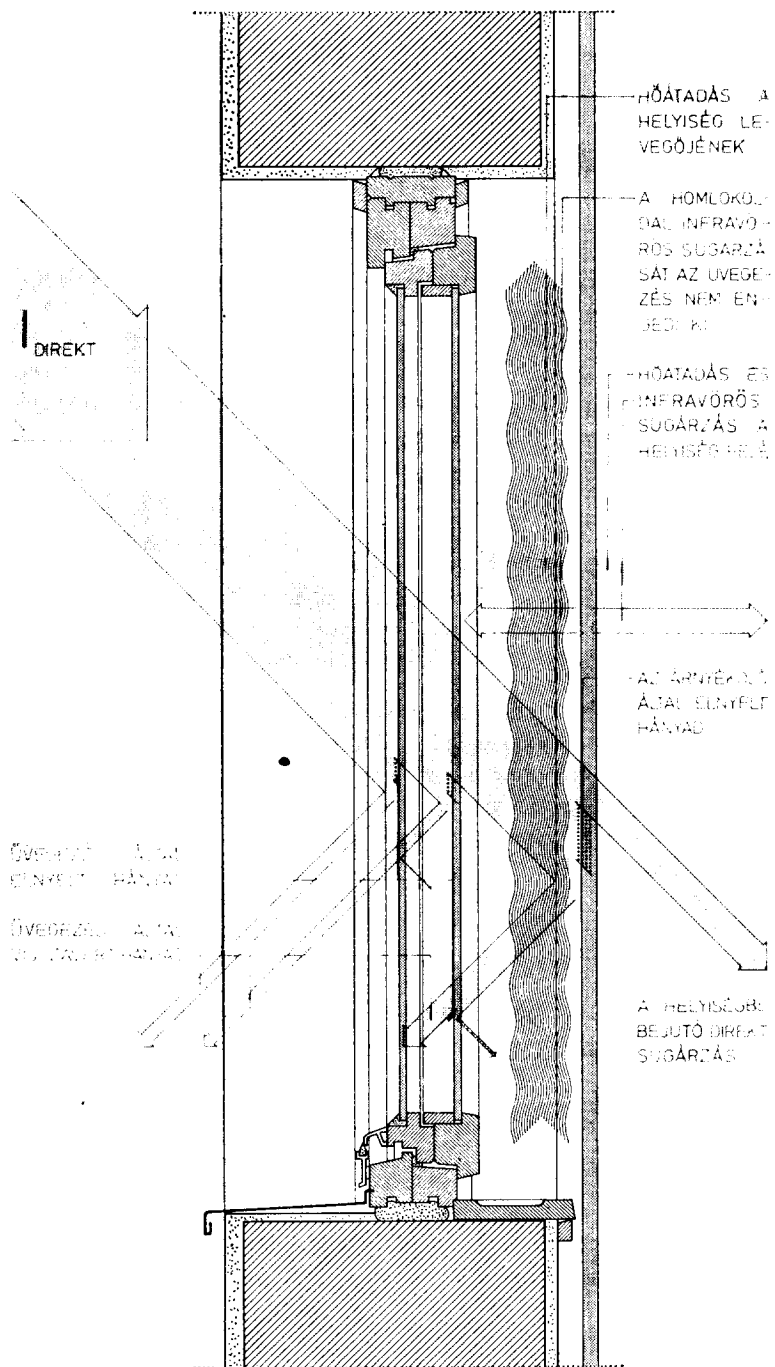
A belső árnyékolók közül a napsugárzási hőterhelés szempontjából a nagy visszaverő képességűek a hatásosabbak. A visszavert sugárzás nagy része ugyanis az üvegezésen keresztül ismét a környezetbe jut. Az elnyelt napsugárzás által felmelegített árnyékoló viszont mindkét oldalán a helyiség levegőjének hőt ad át és a helyiséget határoló szerkezetek felületeivel is – hosszúhullámú – sugárzásos hőcserébe lép. A hőegyensúly sematikus képét a 2.56. ábra mutatja. A belső árnyékoló szerkezetek anyaguk, szerkezetük és mozgatható módjuk alapján osztályozhatók és eszerint

leereszthető, illetve felhúzható (színes vagy szintelen vászon) redőnyök (fa, fém, műanyag), zsaluziák, továbbá

elhúzható (áttetsző, alig átlátszó, át nem látszó, különböző szövésű, hurkolású, színű, rajzú, textúrájú, textil anyagú), egy- vagy kétrétegű függönyök különböztethetők meg.

A vászonredőnyök fényzárási hatékonysága és építészeti megjelenése azok színétől és két oldali (szabad vagy horonyban csúszó) vezetési módjától függ.

A zsaluziák fényzárási hatékonyságát és (a kitekintés, a külvilággal való kapcsolat lehetőségét is figyelembe vevő) építészeti értékét a lamellák színe és átállíthatósága (azaz egymásra takartatása, illetve párhuzamosra állítása) határozza meg.



2.56. ábra. A belső árnyékoló szerkezet hőmérlegének sémája

A függönyök építészeti és épületfizikai értékelése már jóval összetettebb feladat, hiszen ebben az esetben (a belső oldali elhelyezés miatt amúgyis erősen korlátozott mértékű) épületfizikai funkciót gyakran (és joggal) háttérbe szoríthatja az az építészeti elképzelés, amely a tér színesítésében, élénkítésében, hangulatosabbá, meghittebbé vagy akár éppen védettebbé tételében az alkalmazandó függönynek, függönyöknek is komoly szerepet szán.

Ez a magyarázata annak, hogy az

építészeti és épületfizikai igény nem mindig és nem is könnyen egyeztethető össze,

sokszor kétféle függöny együttes alkalmazására kerül sor,

a kétféle követelmény kielégítésének feltételei is külön vizsgálandók.

A függöny építészeti hatása elsősorban anyagának minőségétől (színétől, fényétől, hullásától, esetleges rajzától, mintázottságától stb.) függ, míg fényzárása (s ezzel összefüggésben átlátszósága) mértékét a készítéséhez felhasznált fonalak (szokásosan világos, közepes és sötét kategóriákba sorolt) színe és szövésének-hurkolásának (szokásosan ritka, közepes és sűrű csoportokba sorolt) szálvezetése határozza meg. A napsugárzási hőterhelés csökkentésére a világos fonalból sűrű szövással előállított függöny a kedvezőbb. A kitekintés tekintetében a sötét fonalból ritka szövással készített függöny, míg a belátás vonatkozásában a világos fonalból sűrű szövással gyártott függöny az előnyösebb (amelyen át ugyanis a tárgyak nem láthatók, még közepes sűrűségű szövés esetén a nagyobb tárgyak körvonalai már felismerhetők, ritka szövés esetén pedig a függöny a látást mondhatni nem, vagy csak alig nehezíti, zavarja.)

A belső árnyékoló szerkezetekkel felszerelt szokásos üvegezésű nyílászáró szerkezet naptényezője 0,5 – 0,8 közé esik. Ebből az adatból már nyilvánvaló, hogy a belső oldali árnyékoló szerkezetek a napsugárzási hőterhelés csökkentésének nem éppen a leghatékonyabb eszközei. Alkalmazásukat egyszerű szerkezetük, könnyű kezelhetőségük, a változó igényhez mindig igazodni tudó mozgathatóságuk, több feladat egyidejű ellátására alkalmas voltuk indokolja. Előnyük továbbá, hogy az üvegezés körüli ún. diszkomfort zónát (télen és nyáron egyaránt) csökkentik.

#### **A közbenső árnyékoló szerkezetek**

A közbenső árnyékolók a nyílászáró szerkezetek két üvegtáblája (rétege) közé épülnek be. Közülük a napsugárzási hőterhelés szempontjából (a belső árnyékoló szerkezetekhez hasonlóan) a jó visszaverő képességűek a hatásosabbak. Az árnyékolók által elnyelt hő az üvegtáblákat és a közöttük levő levegőt melegíti s így alkalmazásuk valamivel előnyösebb, mint a belső oldali árnyékolóké. Naptényezőjük 0,2 – 0,3 közé esik.

A napsugárzási hőterhelés csökkentésére szolgáló külső oldali szerkezetek síkjuktól függően két csoportra oszthatók, és pedig a homlokzati síkkal párhuzamos (közel párhuzamos) síkban elhelyezettek az árnyékolók, az arra merőlegesen (közel merőlegesen) beépülők pedig az árnyékvetők.

**A külső árnyékoló és árnyékvető szerkezetek**

Az üvegezés síkjával párhuzamos síkba kerülő, de attól eltérő síkú elemeket is tartalmazó külső árnyékoló (fényzáró) szerkezetek anyaguk és szerkezetük szerint a következők:

**A külső árnyékoló szerkezetek**

tömör, fix táblák: jóval a homlokzati sík elé szerelt és helyzetükből adódóan állandó légáramlást (és öntisztulást is) lehetővé tevő főként D-i, DK-i, DNy-i tájolásra alkalmas (fém, vasbeton, üveg) szerkezetek;

tömör, mozgatható táblák: keskeny légrés közbeiktatásával (vízszintes vagy függőleges irányban) tolható (fa, ritkán fémanyagú), esetleg résekkel, áttört vagy leveles kialakítású, minden tájolási irányban védő szerkezetek;

függőleges síkban szerkesztett, vízszintes és függőleges lamella-sorok: fix (vasbeton, fém- vagy faanyagú), illetve mozgatható (többnyire fémből készülő) és légáteresztésre alkalmas módon kialakított szerkezetek, amelyek fix kialakítással K-i, Ny-i, míg a mozgatható változatban még DK-i és DNy-i tájolásra is alkalmasak;

zsaluziák: leeresztve — a (fém vagy műanyag) lamellák elfordításával a fényzárás mértékének szabályozását lehetővé tevő vékony lamellasorokból készített, elsősorban D-i, DK-i, DNy-i homlokzatokon alkalmazható, de — zárt állapotban minden tájolási irányból védő szerkezetek;

ponyvák: vezetékben mozgó és az ablak előtt leengedhető (felhúzható) színes vászon és minden tájolási irányból védő szerkezetek;

kitámasztható gördülő ponyvák: leeresztés után kitámasztható s így légcserét és kitekintést is lehetővé tevő, kitámasztva D-i tájolás esetén, leeresztve minden irányban védő színes vászon szerkezetek;

gördülő és kitámasztható redőnyök: leeresztés esetén teljesen fényzáró, de leengedett állapotban ritkítható (tehát kismértékű légcserét engedő), kitámasztás esetén szellőzést és kitekintést is lehetővé tevő (fa, fém vagy műanyag) lécsoros szerkezetek, kitámasztva főként D-i tájolás esetén, sűrűre zárva minden irányból védő árnyékolók;

függőleges síkú rácsok: (beton, műkö, kerámia vagy fém) elemek sorolásával kialakított, a felület rajzától, az elemek lyukbőségétől, nagyságától, mélységi méretétől, dőlési szögétől függő hatékonyságú szerkezetek.





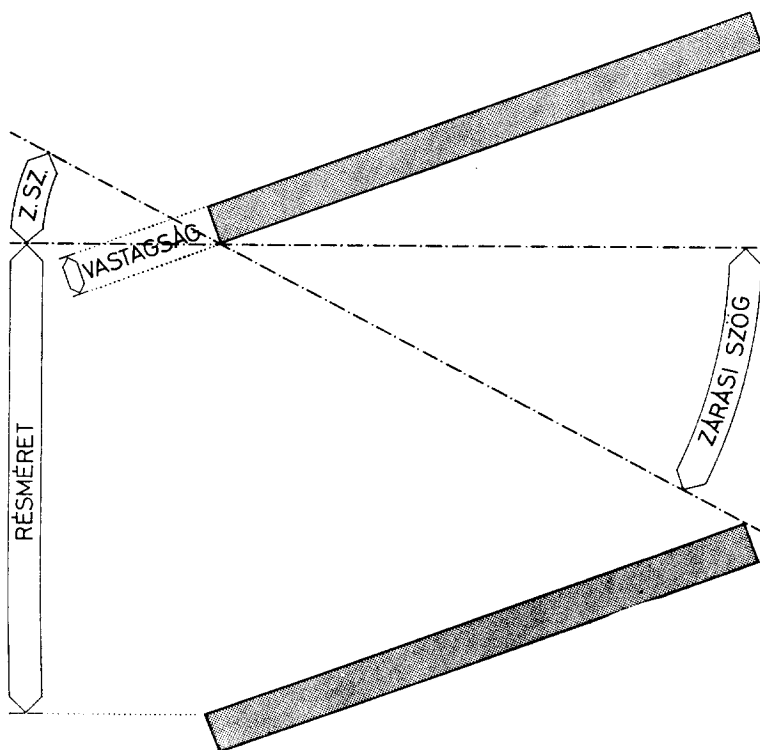
A napsugárzási hőterhelés csökkentésére a külső árnyékoló szerkezetek a leghatékonyabbak. Ezeknél ugyanis az elnyelt hőtől felmelegedett szerkezet hőátadással csak a külső levegőt melegíti, a hosszuhullámú sugárzás az egyik felületéről a környezet felé irányul, igaz, hogy a másik felületéről az ablak felé, de azon áthatolni nem tud és csak kismértékben melegíti az üvegtáblát. Emellett e hatás is csökken, ha az árnyékoló szerkezet épület felé néző felületének alacsony hőmérsékleti abszorpciós tényezője kicsiny (2.57. ábra).

A lamellás – zsalus szerkezetek sugárzás átbocsátásának három lehetséges módja:

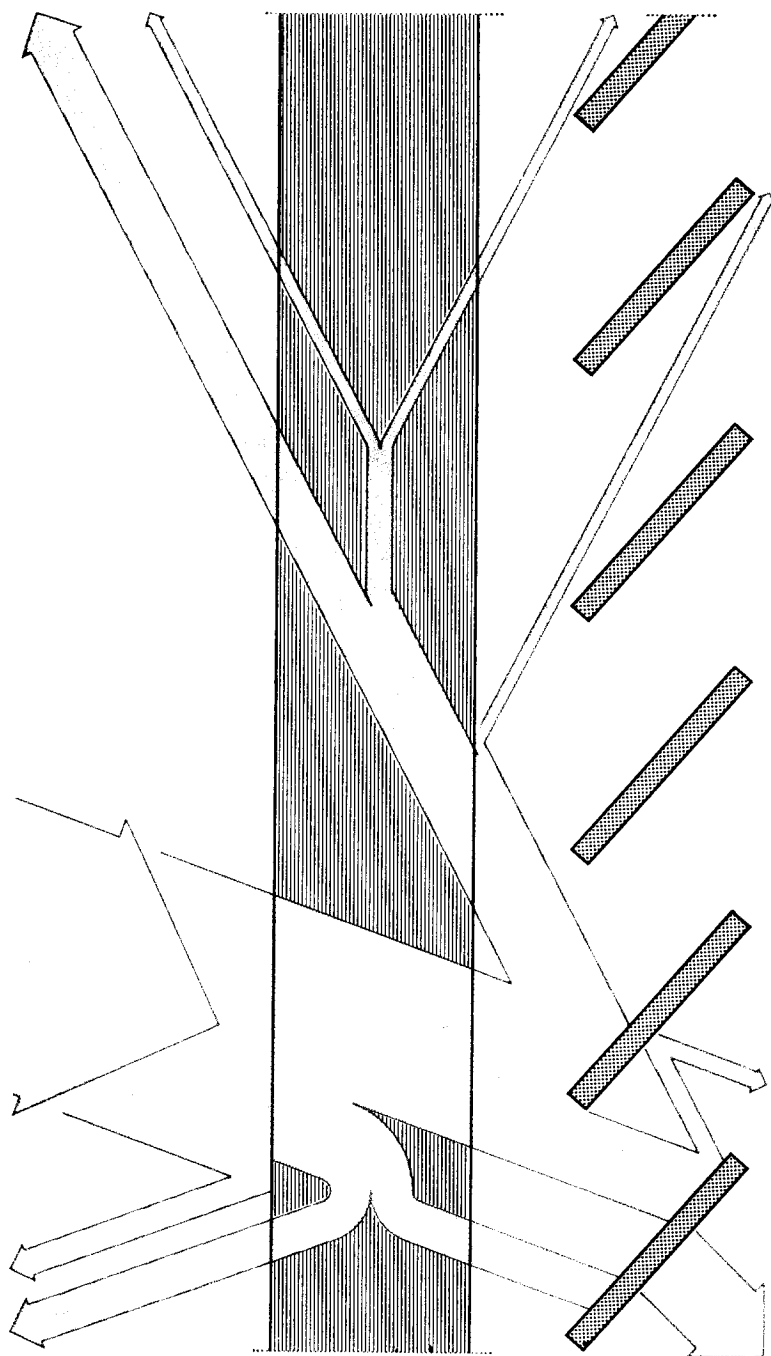
a lamellák – zsalulevelek anyaga sugárzásátbocsátó;

a lamellák – zsalulevelek állásszöge lehetővé teszi a közvetlen sugárzás egy részének átjutását (2.58. ábra);

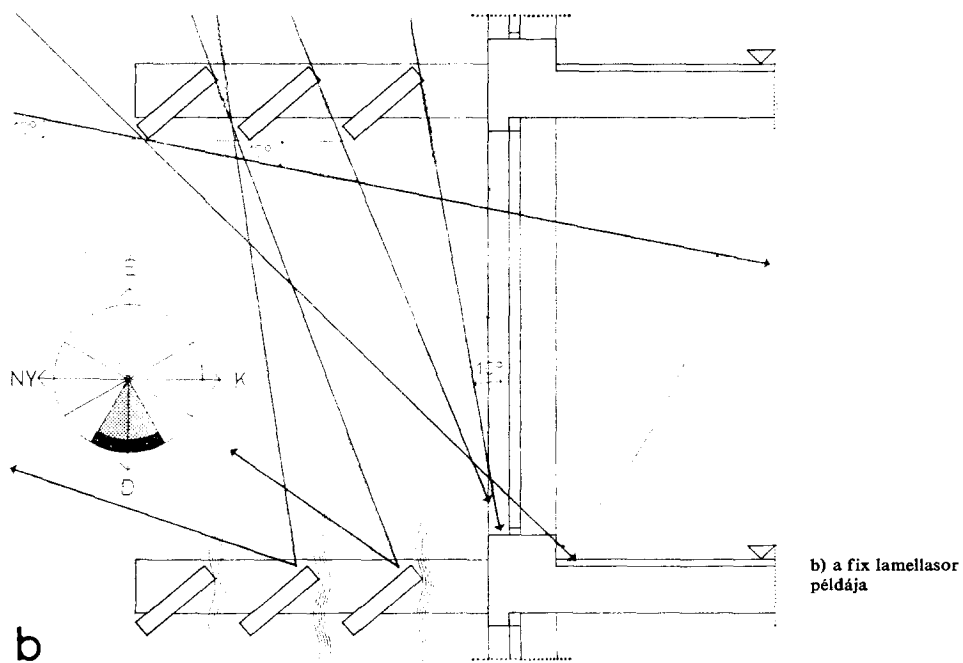
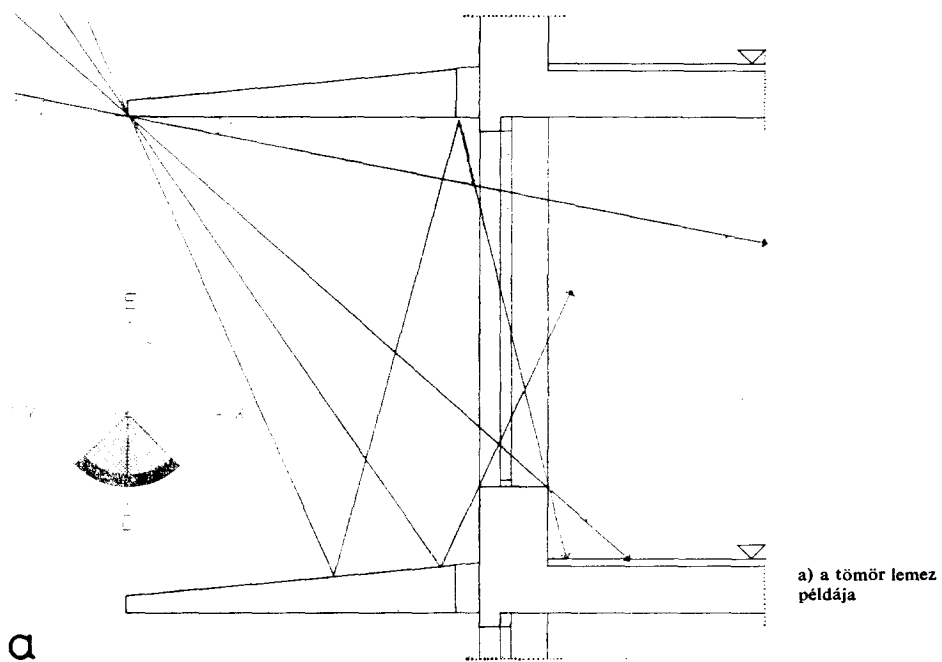
a közvetlen sugárzás egy része a lamellák – zsalulevelek felületéről egyszeri vagy többszöri visszaverődés után (2.59. ábra) részben mint visszavert közvetlen, részben mint diffúz (szét-szórt) sugárzás jut át.



2.58. ábra. A zárási szög



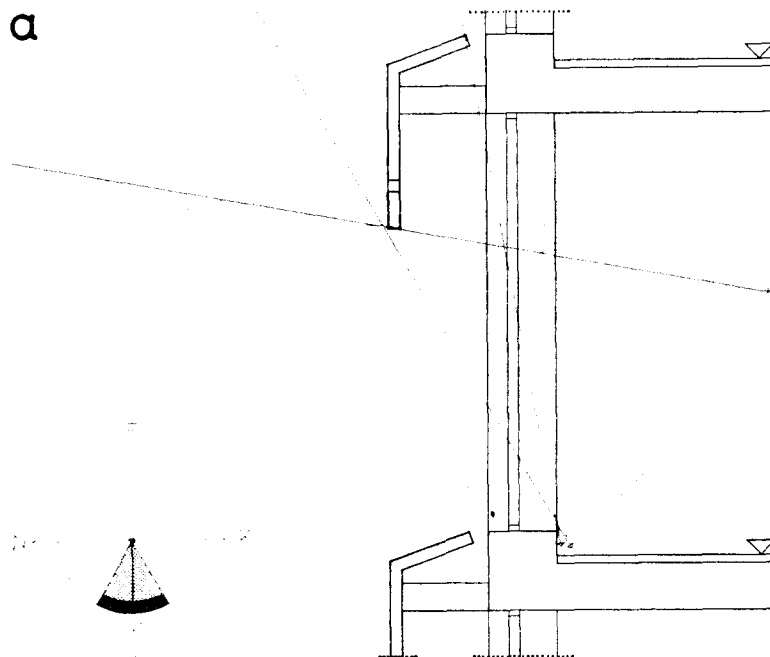
2.59. ábra. A zsalsus árnyékolón át bejutó hőterhelés sémája



2.60. ábra. A homlokzati síkra merőleges vízszintes árnyékvetítő szerkezetek

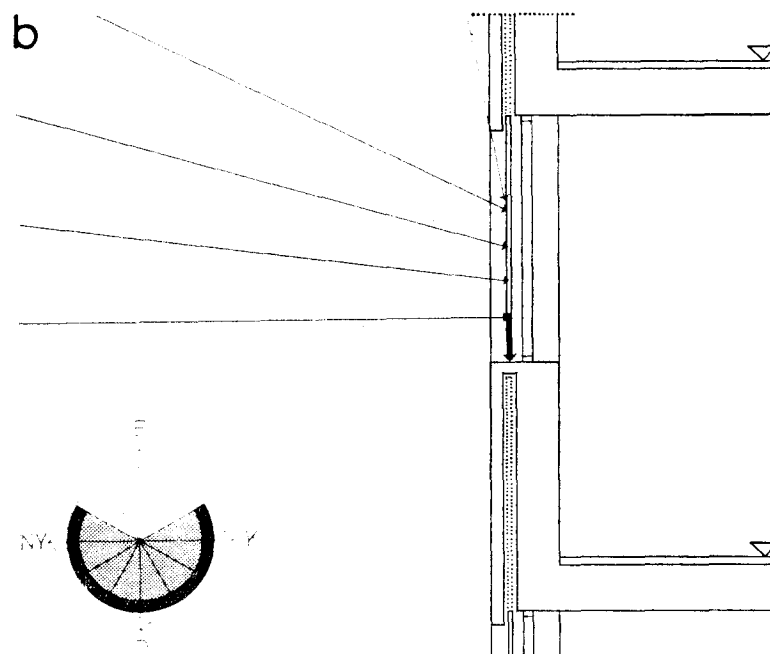
a) a tömör fix tábla  
példája

a

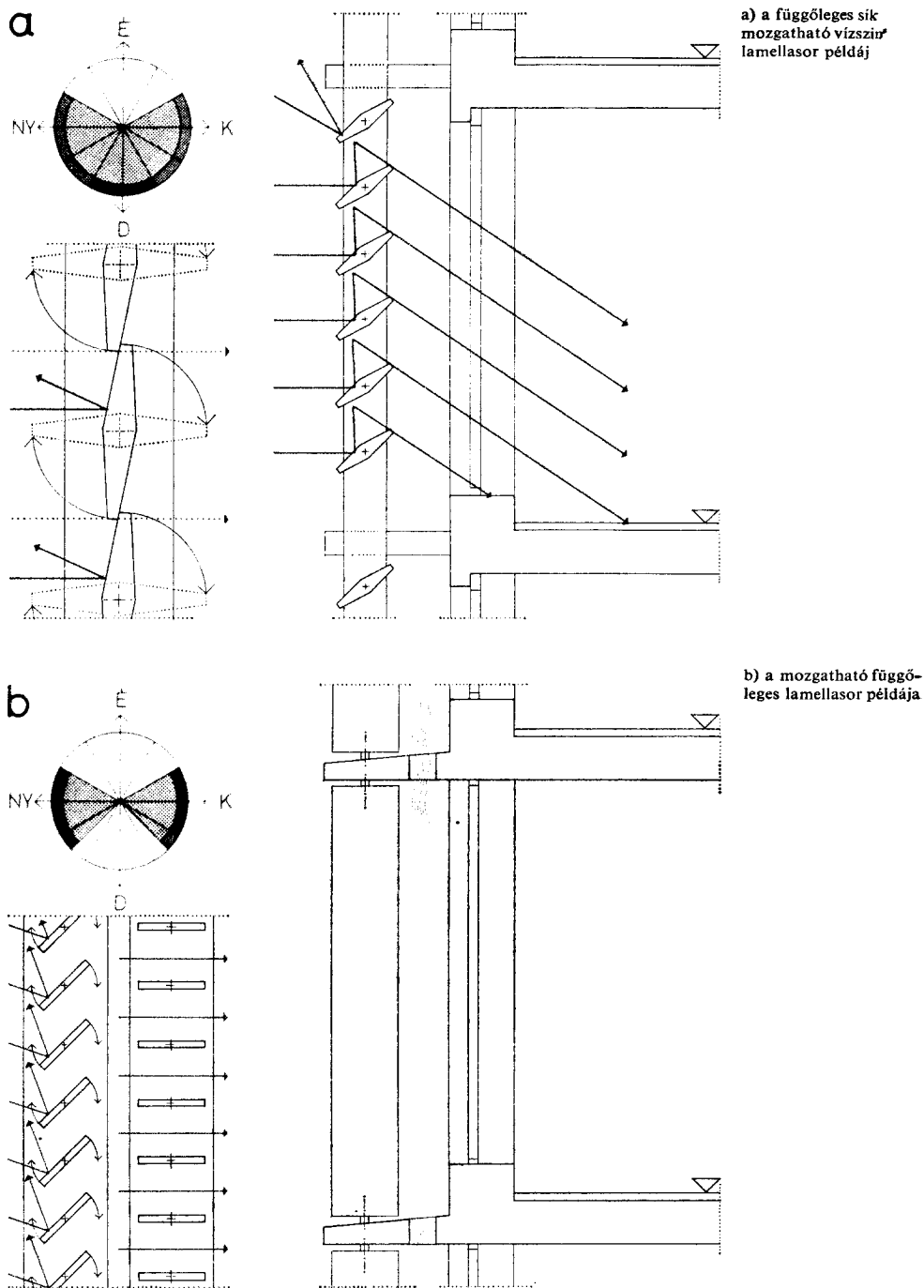


b) a tömör mozgatható  
tábla példája

b

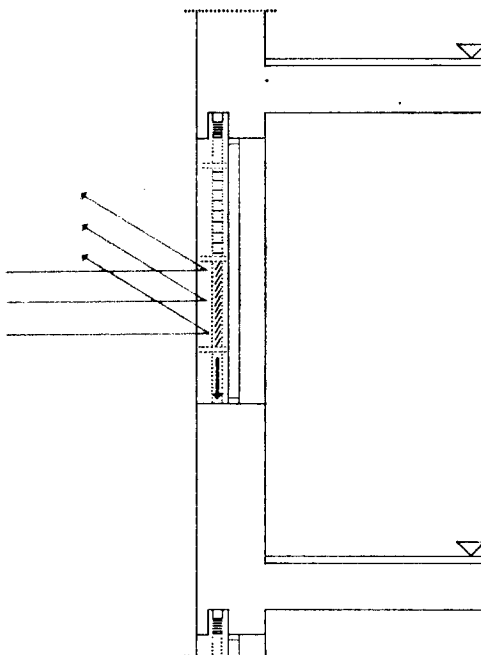
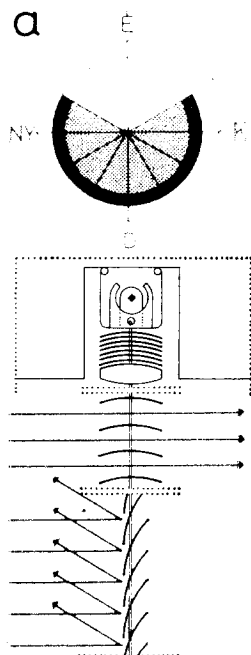


2.61. ábra. A homlokzati síkkal párhuzamos függőleges árnyékoló és fényzáró szerkezetek

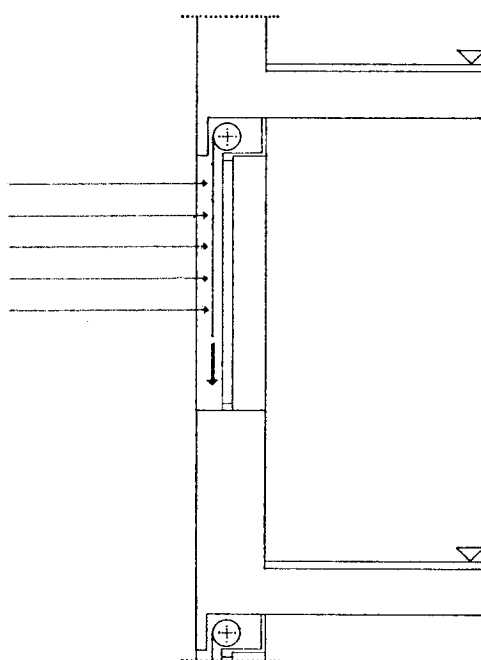
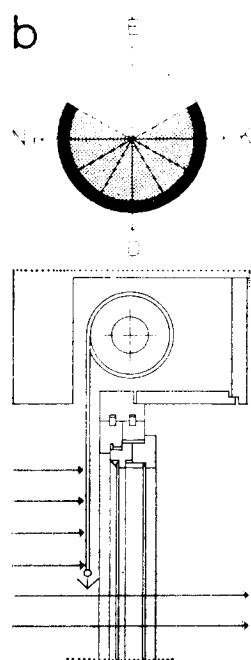


2.62. ábra. A homlokzati síkkal párhuzamos függőleges árnyékoló és fényzáró szerkezetek

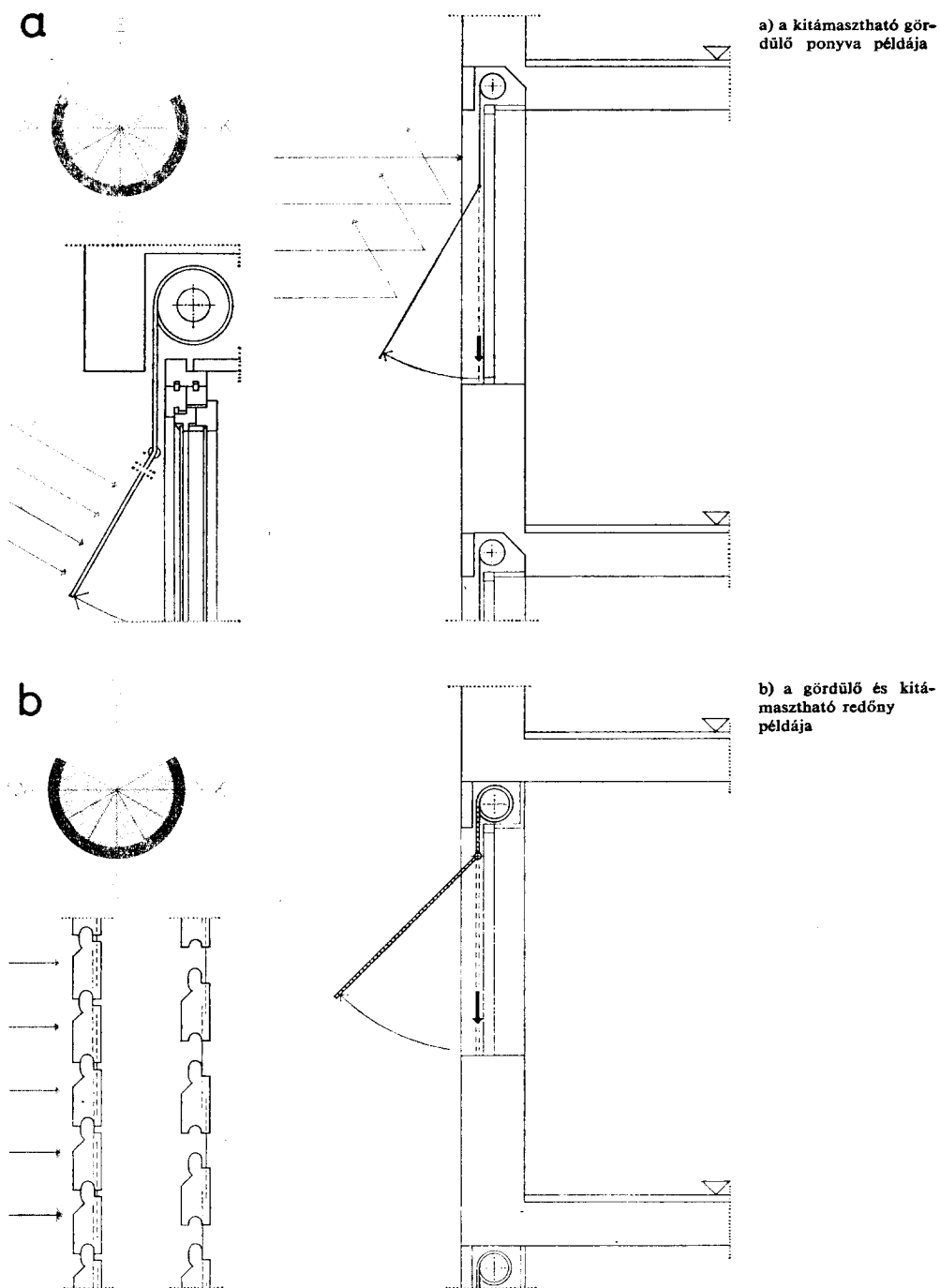
a) a külső zsaluzia példája



b) a külső ponyva (vászonredőny) példája

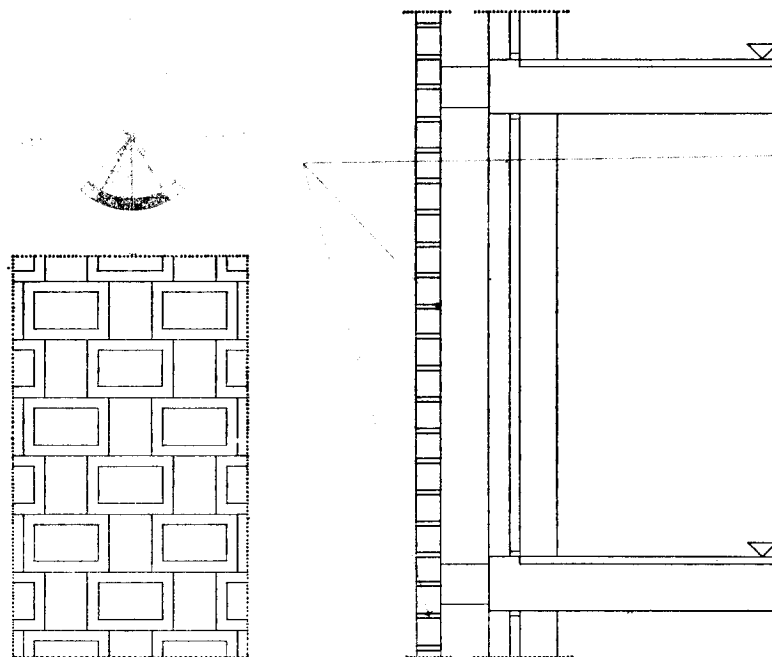


2.63. ábra. A homlokzati síkkal párhuzamos függőleges árnyékoló és fényzáró szerkezetek



2.64. ábra. A homlokzati síkkal párhuzamos függőleges árnyékoló és fényzáró szerkezetek





2.65. ábra. A homlokzati síkkal párhuzamos függőleges árnyékoló rács példája

A mondottakból következik, hogy a lamellák – zsalulevelek „külső – felső” felületén a jó visszaverés és a nagy alacsony hőmérsékleti abszorpciós tényező, „belső – alsó” felületén pedig a rossz visszaverés és – a korábbiak szerinti – kicsi alacsony hőmérsékleti abszorpciós tényező az előnyös.

A IV. táblázat néhány tájékoztató jellegű naptényezőadattal szolgál. Bár a napsugárzási hőterhelés csökkentésére valóban a külső árnyékolók a leghatékonyabbak, mégis nem mozgatható kialakításuk esetén a fűtés és a világítás energiaigényének növelése miatt legalább olyan károsak télen (és az átmeneti időszakban), mint amennyire hasznosak a nyári hűtési igény szempontjából. Ezen a mozgatható kialakítás segít ugyan, mert lehetővé teszi a változó igényekhez való igazodást, de csak a bonyolultabb szerkezetből, a nehezebb kezeléssel és a gyakoribb karbantartásból származó jóval magasabb költség árán.

## IV. táblázat

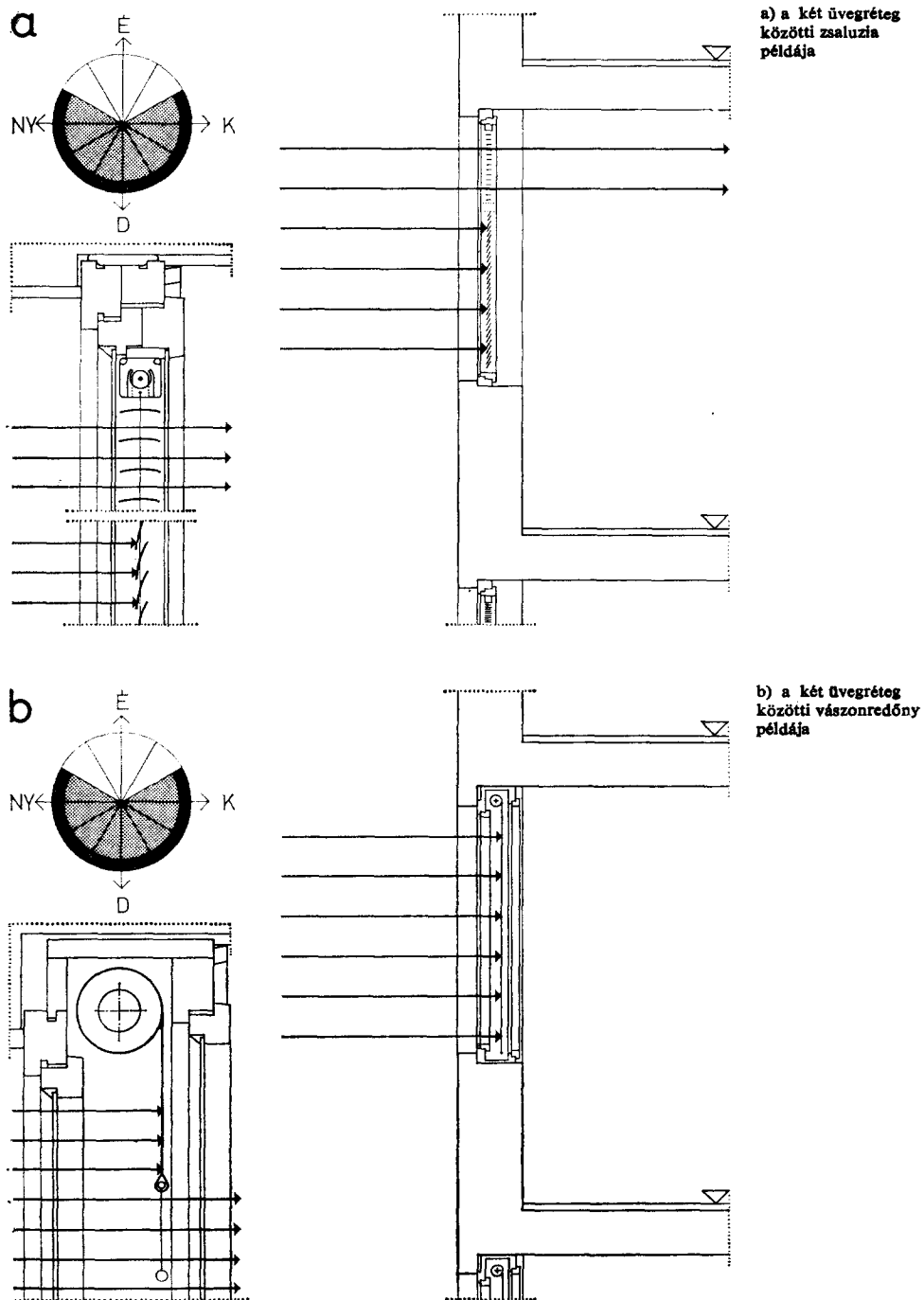
Különböző üvegezés—árnyékolás kombinációk naptényezője a [20] irodalom alapján

Típus		Árnyékolás nélkül	Belső velencei redőny		Belső vászon redőny			Közbenő velencei redőny		Külső függőleges fém árnyékoló zsalu		Külső ponyva napernyő		Függöny-nyel kombi-nált üvegezés	Külső velencei redőny	
			világos	közép	nem átlátszó		átlátszó világos	világos	közép	közép	sötét	világos	közép v. sötét		világos	kívül világos
					világos (fehér)	sötét										
Egyrétegű üvegezés 3—12 mm vastag		1,0—0,88	0,55	0,64	0,25	0,59	0,39	—	—	—	—	0,19—0,20	0,24—0,25	0,35—0,8	—	—
Hőelnyelő üveg	3—6 mm vastag	0,67—0,71	0,53	0,57	0,3	0,45	0,36	—	—	—	—	0,12—0,16	0,16—0,2	0,3—0,6	—	—
	10 mm vastag	0,57	0,52	0,54	0,28	0,40	0,32	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	12 mm vastag	—	0,50	0,51	0,28	0,36	0,31	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Kettős üvegezés	Normál üveg 3 mm vastag	0,9	0,51	0,57	0,25	0,6	0,36	0,33	0,36	—	—	0,18	0,22	—	—	—
	Normál üveg 6 mm vastag	0,83										0,16	0,20	0,35—0,65	—	—
	6 mm vastag a külső hőelnyelő üveg	0,56	0,36	0,39	0,22	0,40	0,30	0,28	0,30	—	—	0,10	0,13	0,30—0,50	—	—
	6 mm vastag a külső üveg külső bevonattal	0,42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	6 mm vastag a belső üveg belső bevonattal	0,29	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Háromrétegű üvegezés	Rétegenként 3 mm vastag	0,83	0,48	0,56	0,64	—	—	—	—	0,18	0,12	0,16	0,2	—	0,12	0,11
	Rétegenként 6 mm vastag	0,69	0,47	0,52	0,57	—	—	—	—	0,15	0,1	0,14	0,17	—	0,10	0,10

## IV. táblázat (folytatás)

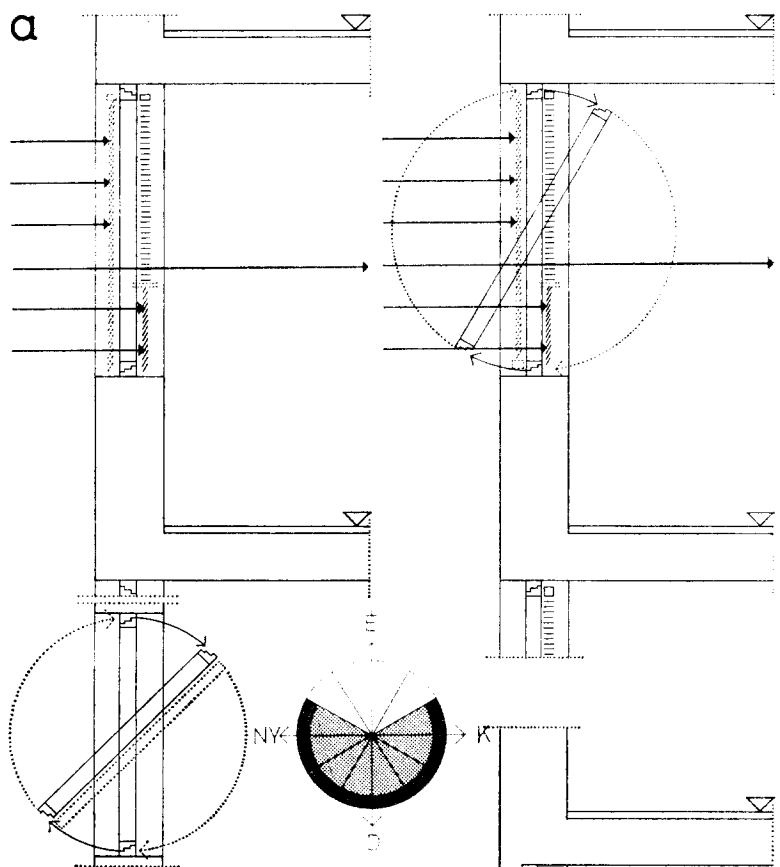
Különböző üvegezés—árnyékolás kombinációk naptényezője a [20] irodalom alapján

Típus		Árnyékolás nélkül	Belső velencei redőny (45° víz- szintes vagy függőleges) vagy belső függöny			Külső velencei redőny (45° vízszintes)		Külső árnyékoló zsalu (17° vízszintes)		Külső ponyva- napernyő	
			világos	közép	sötét	világos	közép v. sötét	közép	sötét	világos	közép v. sötét
Normál üveg		1,0	0,56	0,65	0,75	0,15	0,13	0,22	0,15	0,20	0,25
Tábla üveg 6 mm vastag		0,94	0,56	0,65	0,74	0,14	0,12	0,21	0,14	0,19	0,24
Abszorbens üveg	40—48 % abszorpció	0,80	0,56	0,62	0,72	0,12	0,11	0,18	0,12	0,16	0,20
	48—56 % abszorpció	0,73	0,53	0,59	0,62	0,11	0,10	0,10	0,11	0,15	0,18
	56—70 % abszorpció	0,62	0,51	0,54	0,56	0,10	0,10	0,14	0,10	0,12	0,16
Kettős üvegezés	Normál üveg	0,90	0,54	0,61	0,67	0,14	0,12	0,20	0,14	0,18	0,22
	Tábla üveg 6 mm vastag	0,80	0,52	0,59	0,65	0,12	0,11	0,18	0,12	0,16	0,20
	Kívül 48—56 % abszorpciójú, belül normál üveg	0,52	0,36	0,39	0,43	0,10	0,10	0,11	0,10	0,10	0,13
	Kívül 48—56 % abszorpciójú, belül tábla üveg	0,50	0,36	0,39	0,43	0,10	0,10	0,11	0,10	0,10	0,12
Hármas üvegezés	Normál üveg	0,83	0,48	0,56	0,64	0,12	0,11	0,18	0,12	0,16	0,20
	Tábla üveg	0,69	0,47	0,52	0,57	0,10	0,10	0,15	0,10	0,14	0,17

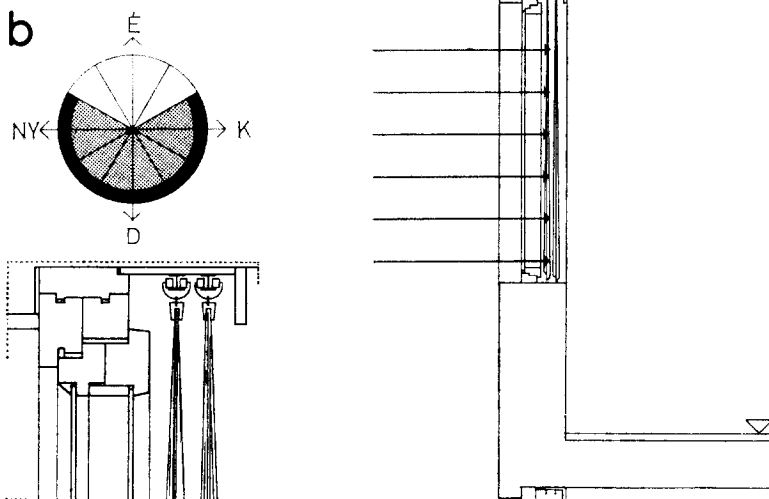


2.66. ábra. A közbülső árnyékolók és fényzárók

a) az átfordítással külső  
oldalra kerülő belső  
zsakuzia két változata  
(forgó és billenő  
ablakok esetén)



b) a belső függöny  
példája



2.67. ábra. A belső oldali árnyékolók és fényzárók

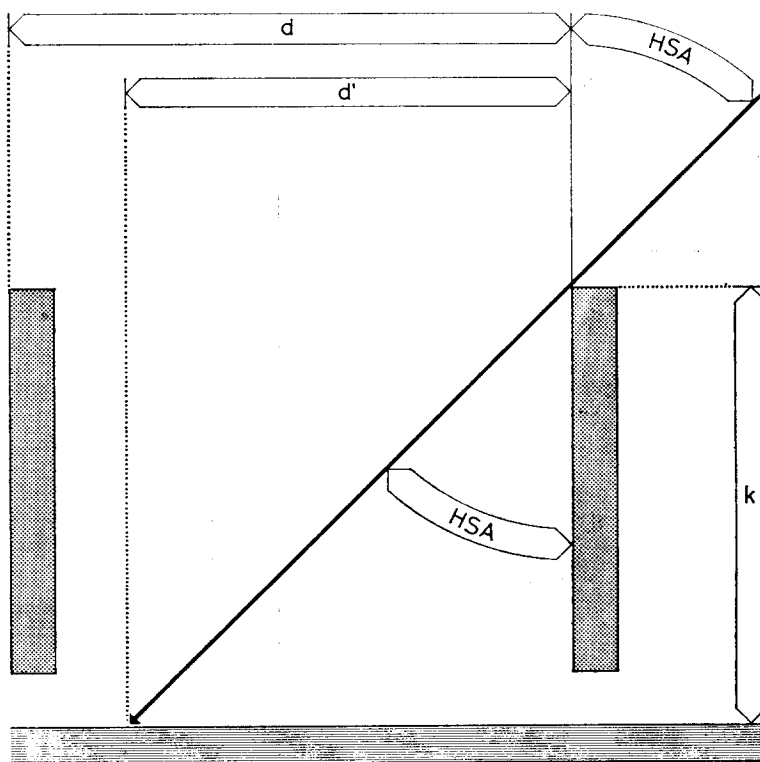
A külső árnyékvető szerkezetek az üvegezés síkjára merőleges (közvetlen merőleges) helyzetük következtében korlátozzák a közvetlen napsugárzásnak az üvegfelületre való beesését. Szerkezetük más síkú, sőt az üveg síkjával párhuzamos helyzetű elemeket is tartalmazhat.

A külső  
árnyékvetők

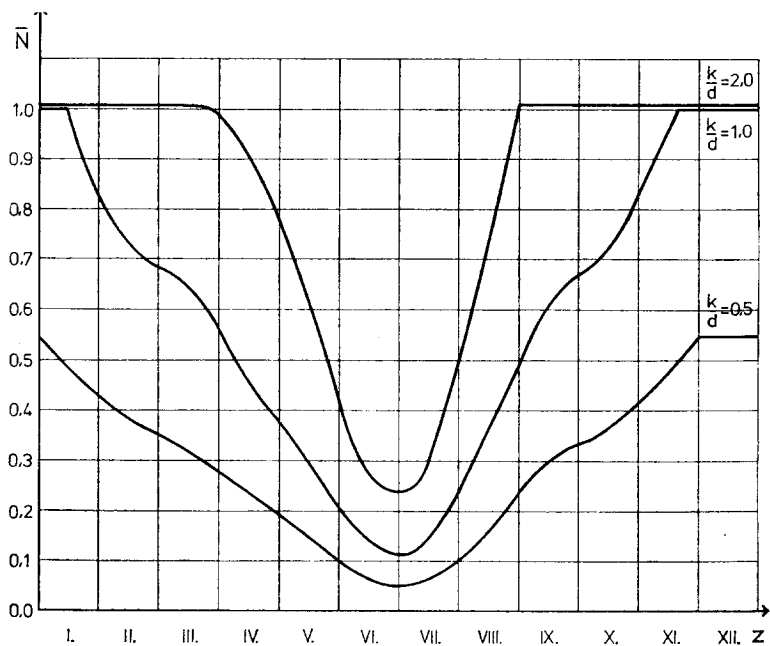
E szerkezetek anyaguk és kialakításuk alapján a következők:

tömör lemezek: enyhe kifelé lejtésű, a homlokzati csatlakozás mentén levegő átöblítésre szolgáló légréssel kialakított (csaknem mindig vasbeton anyagú) D-i, DK-i, DNY-i tájolás esetén hatékony szerkezetek;

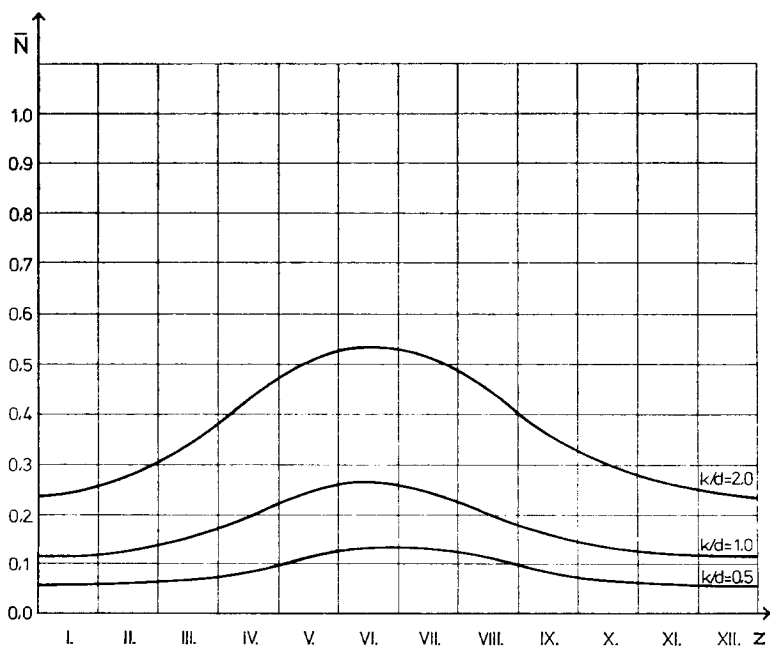
fix lamella sorok: állandó levegőátöblítést engedő, öntisztulásra alkalmas szelvénnel és sorolással készített (fém, fa vagy vasbeton anyagú), D-i, DK-i, DNY-i tájolás esetében célszerű szerkezetek.



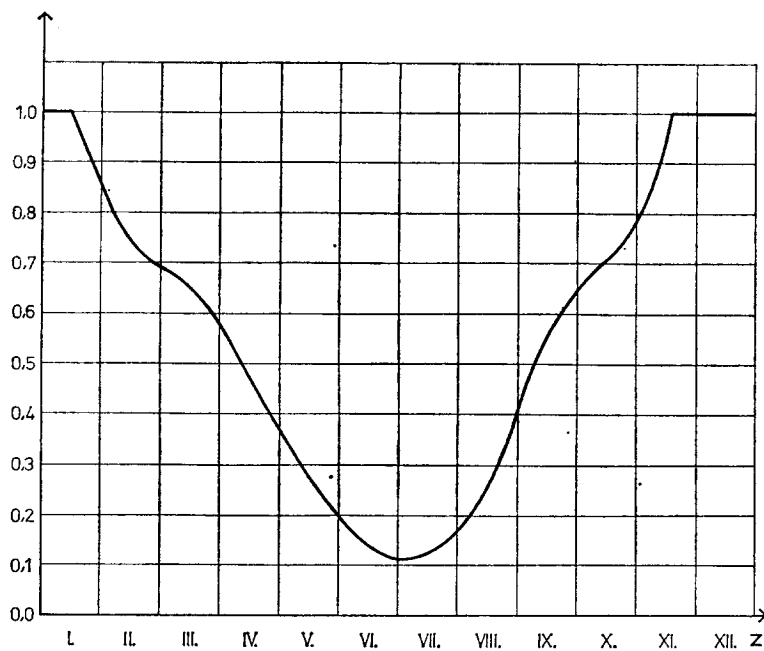
2.68. ábra. A lamellás fix árnyékvető méreteinek értelmezése



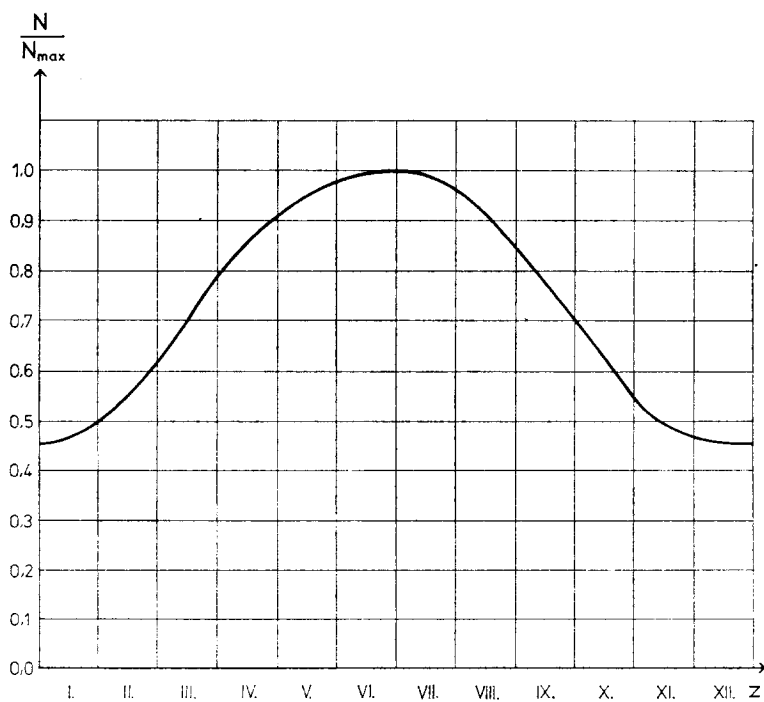
**2.69. ábra.** A lamellás fix árnyékvető átlagos naptényezőjének éves változása keleti tájolás esetén



**2.70. ábra.** A lamellás fix árnyékvető átlagos naptényezőjének éves változása déli tájolás esetén

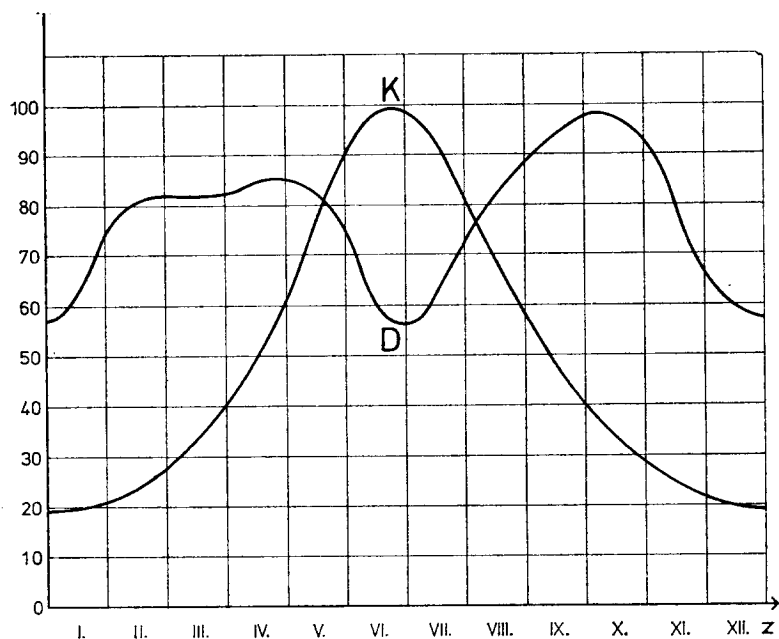


**2.71. ábra.**  
A lamellás fix  
árnyékvető relatív  
naptényezőjének  
évi menete keleti  
tájolás esetén



**2.72. ábra.**  
A lamellás fix  
árnyékvető relatív  
naptényezőjének  
évi menete déli  
tájolás esetén





2.73. ábra. A lamellás fix árnyékvetőn át bejutó hőterhelés várható értékének évi menete

Árnyékvetők beépítése esetén a napsugárzás a következő módokon juthat el az üvegfelületre:

az árnyékvető szerkezet körvonalának geometriai méretei, továbbá az üvegezéshez viszonyított térbeli helyzete lehetővé teszik, hogy az üvegezés felületére vagy annak egy részére közvetlen napsugárzás jusson az árnyékvető által nyitva hagyott térrészben (2.60. ábra),

az árnyékvető szerkezet körvonalának helyzete a közvetlen napsugárzás behatolását ugyan meggátolja, de

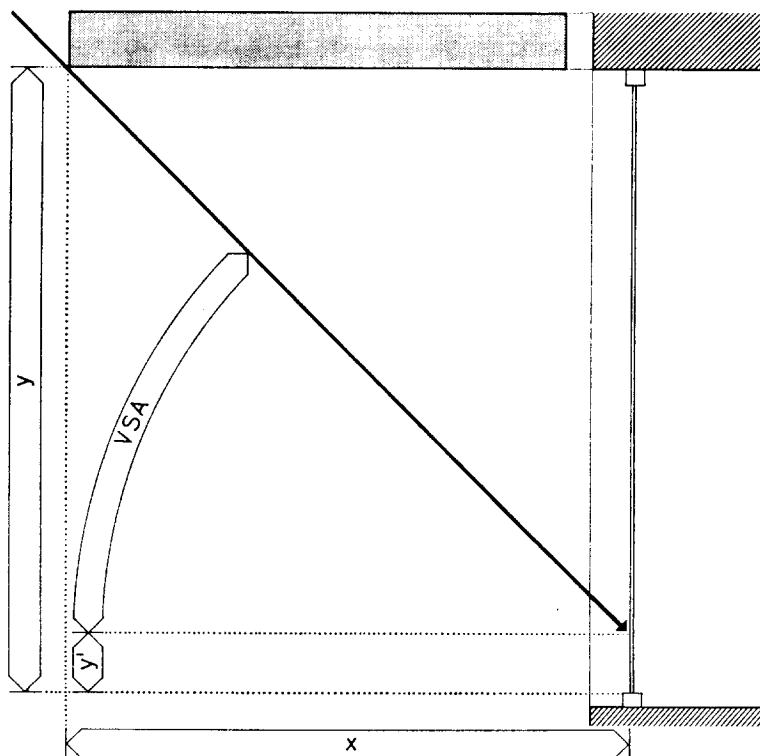
több árnyékvető felülete közötti egyszeres vagy többszörös visszaverődést követően visszavert közvetlen és szétszórt sugárzás jut el az üvegezésre (2.60a. ábra),

egy árnyékvető elemei között egyszeres vagy többszörös visszaverődés után visszavert közvetlen és szétszórt sugárzás esik az üvegezésre (2.60b. ábra),

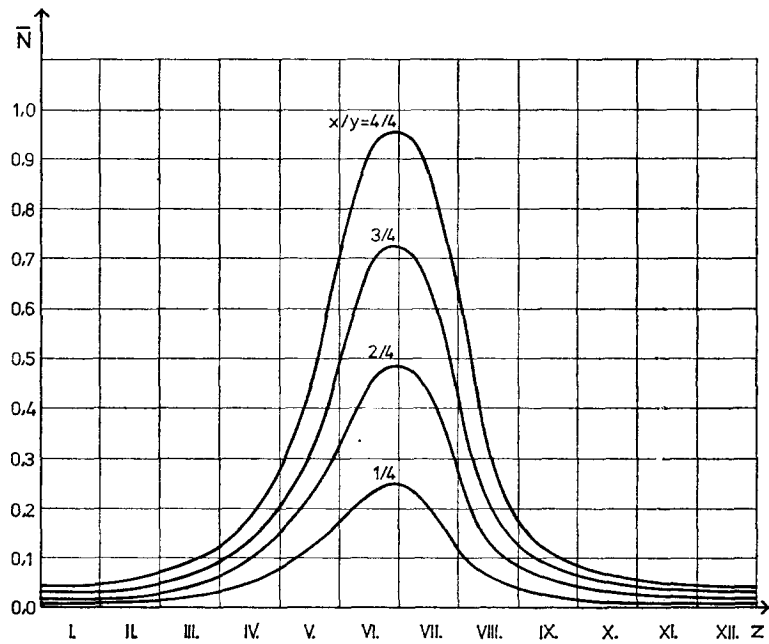
az árnyékvető sugárzást átbecsátó anyagból készül.

Az árnyékvetőkkel a napsugárzási hőterhelés jelentős csökkenése érhető el. Ez azonban magától értetődően és arányosan a természetes megvilágítás csökkenésével is jár. Azt pedig meghatározni, hogy a téli fűtési és a nyári hűtési igények közötti ellentmondások – amelyek nyilvánvalóan az árnyékvető és az üvegezett felület geometriai viszonyaitól függenek – hogyan alakulnak, a geometriai viszonyok alapos elemzését követeli meg, méghozzá nemcsak a nyári méretezési állapotokra nézve, hanem az átmeneti és a téli hónapok tekintetében is. Az elemzést az ismert árnyékmaszk szerkesztéssel vagy az árnyékszögek ismeretében trigonometrikus összefüggések alapján lehet elvégezni [12, 13].

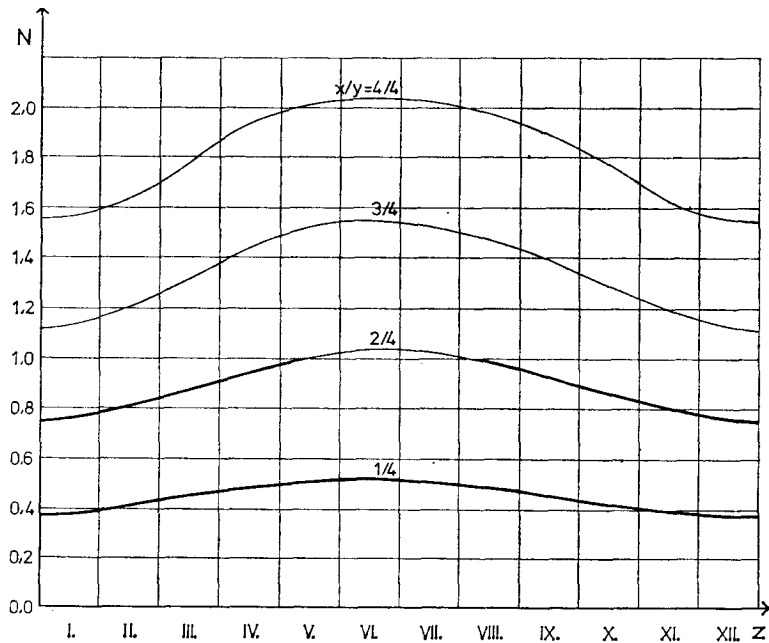
A néhány jellemző esetre elvégzett elemzés eredményeit a 2.68. – 2.78. ábrák mutatják. Ezekből látható, hogy bizonyos esetekben az árnyékvetők a téli hónapokban – amikor ez egyébként teljesen felesleges, sőt kifejezetten hátrányos is – hatékonyabb védelmet nyújtanak, mint a nyári hónapokban. Ez a tény is azt bizonyítja, hogy az árnyékvetők alkalmazási feltételeinek, geometriai méretei-



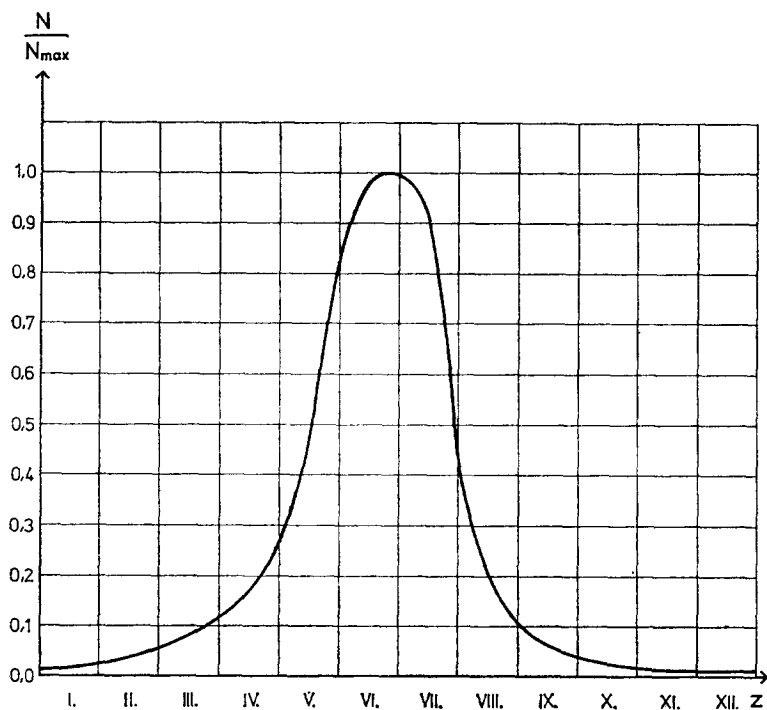
2.74. ábra. A vízszintes fix árnyékvető méreteinek értelmezése



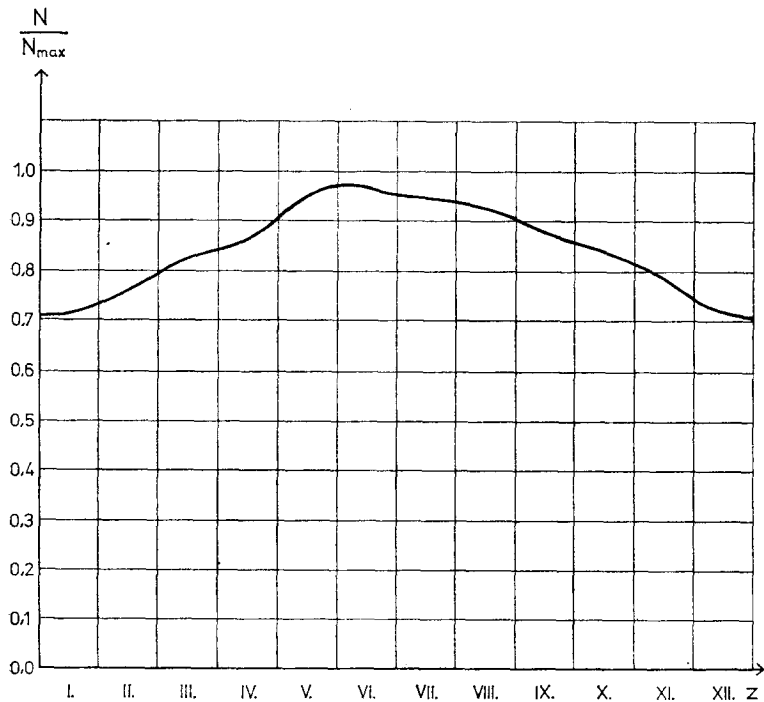
2.75. ábra. A vízszintes fix árnyékvető átlagos naptényezőjének évi menete déli tájolás esetén



2.76. ábra. A vízszintes fix árnyékvető átlagos naptényezőjének évi menete keleti tájolás esetén



2.77. ábra.  
A vízszintes fix  
árnyékvető relatív  
naptényezőjének  
évi menete déli  
tájolás esetén



2.78. ábra.  
A vízszintes fix  
árnyékvető relatív  
naptényezőjének  
évi menete keleti  
tájolás esetén

nek, tájolási összefüggéseinek vizsgálatához egyáltalán nem elegendők a nyári adatok.

Több szinten egymás felett sorakozó árnyékvetők esetében az árnyékvetők közötti terek átszellőzéséről feltétlenül gondoskodni kell. Az árnyékvetők ugyanis az elnyelt napsugárzás következtében felmelegednek, s így a kellő légmozgás hiányában a közöttük pangó levegő hőmérséklete a külső léghőmérsékletnél észrevehetően magasabbra emelkedhet.

#### 2.24 A szellőztetett ablakok

##### A működési elv

A szellőztetett ablak az ablak funkcióinak ellátása mellett a légtechnikai rendszer egyik eleme is. Ebből természetesen következik, hogy alkalmazására csupán légtechnikai rendszerrel ellátott (elsősorban köz-) épületekben kerülhet sor.

Az ablak szerkezeti szempontból egy külső és egy belső „részből” áll, az előbbi célszerűen hőszigetelő üvegezésű, az utóbbi pedig közönséges egyrétegű üvegezésű. A két rész között alakul ki az ablaknak az a tere, amely *a légcsatornahálózat egy elemeként működik*. E térbe rendszerint mozgatható árnyékoló szerkezet is beépítésre kerül.

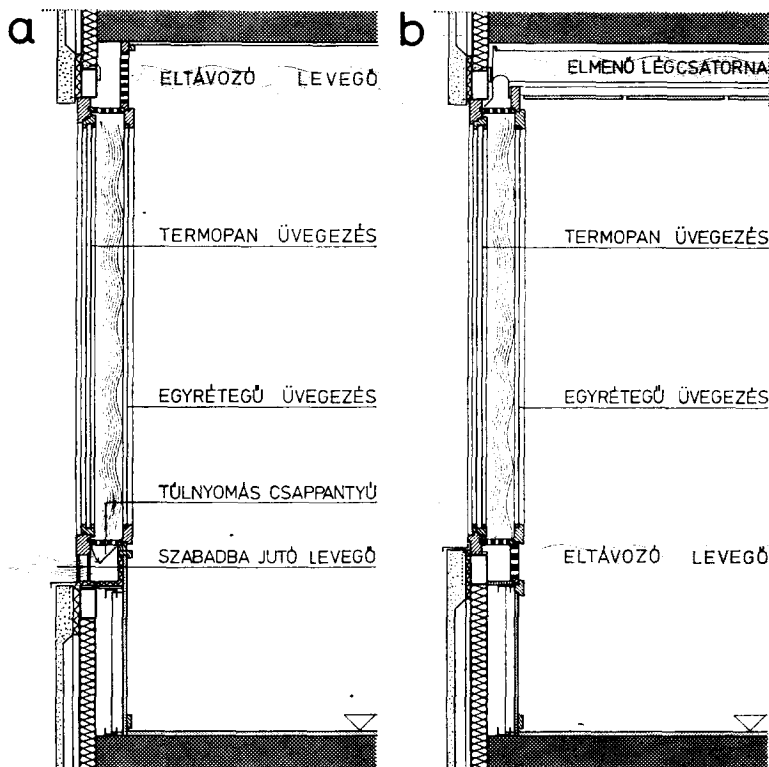
Az ablakszárnyaknak – miután tulajdonképpen egy légcsatorna „falai”-nak feladatát teljesítik – igen jól kell zárniok, de a megfelelő működésnek a nem mozgatható beépítés nem feltétele. Ez egyébként a karbantartást, tisztítást is megnehezítené. Az pedig teljesen magától értetődik, hogy miután a helyiség légtechnikai rendszerrel el van látva, az ablaknyitására szellőztetés céljából sincs szükség.

A szellőztetett ablakba a helyiségből távozó levegő kerül. Ez a levegő vagy a klímaközpontba jut vissza, vagy az ablak átöblítése után a szabadba távozik. Az első esetben „zárt”, a másodikban „nyitott” rendszerű szellőztetett ablakról van szó (2.79. ábra). A szellőztetett ablak szellőztetett mellvéddel (mellvédfallal) is összeépíthető (2.80. ábra).

A szellőztetett ablak működésének lényege az, hogy a rajta áthaladó levegő által szállított konvektív hőáram megváltozik és ez a helyiség hőmérsékletét mind télen, mind nyáron kedvezően befolyásolja.

##### A téli hővesztesség

Télen a szellőztetett ablak légterébe olyan levegő kerül, amelynek hőmérséklete a helyiség hőmérséklettel megegyezik. Ezt a levegőt a hagyományos kialakítású szellőztetőberendezés közvetlenül szívja el a helyiségből egy légcsatornahálózaton át, s így az elszívott levegő hőtartalma elveszne a helyiség számára. Jelen esetben azonban az



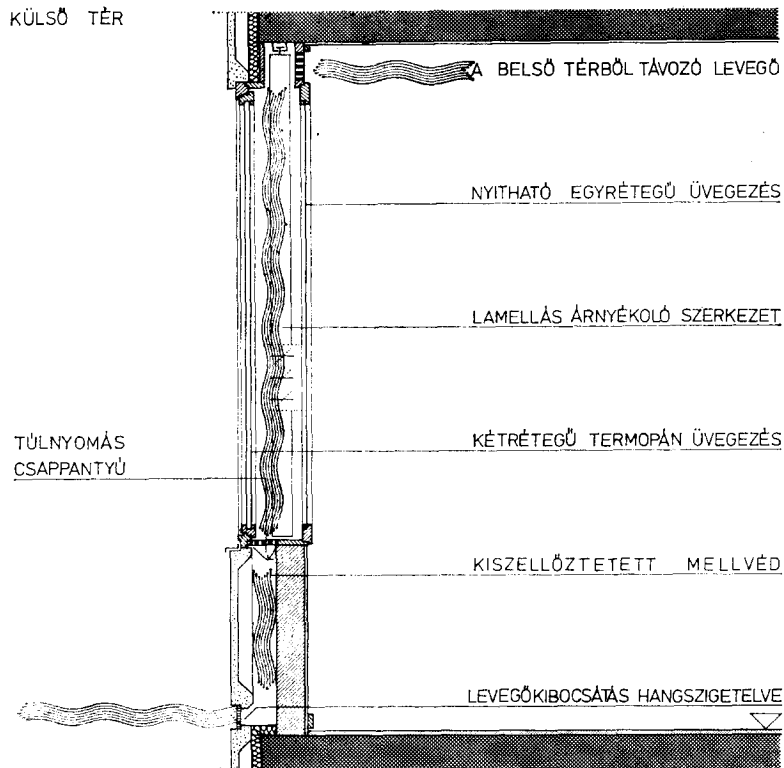
2.79. ábra. A szellőztetett ablak

a) a nyitott kivitel példája; b) a zárt kivitel példája

ablaktáblák között eltávozó levegő lehűl, s az így elvesztett hő tartalma lefedezi a külső táblán át a környezetbe távozó hővesztéséget. A lehűlés mértéke — adott szerkezetben — az átáramló levegő mennyiségének függvénye, de a két tábla közötti levegő átlaghőmérséklete nem sokkal alacsonyabb a helyiség-hőmérsékletnél. A helyiségből az „ablakba”, a belső szárnyon át transzmisszióval távozó hővesztés — ami ettől a hőmérséklet-különbségtől függ — igen csekély.

Az eddigiekből az is nyilvánvaló, hogy a szellőztetett ablak nem értékelhető és méretezhető a szokványos módon. A szellőztetett ablakon át távozó hőáram nagy részét a távozó levegő egyébként amúgy is veszendőbe menő hőtartalmának változása fedezi, a helyiségből transzmisszióval az ablakon át távozó hőáram pedig kicsiny. Ha ez utóbbit a méretezési hőmérséklet-különbségre vonatkoztatjuk, az így kapott látszólagos, egyenértékű hőátbocsátási tényező

A hőátbocsátási tényező



2.80. ábra. A szellőztetett ablak és a szellőztetett mellvéd

értéke:  $k = 0,5 - 1,0 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ! Így a szellőztetett ablak e tekintetben a fallal szinte egyenrangú homlokzati elemnek tűnik, valójában azonban annál is jobb, hiszen a napsugárzás jelentős részét is át-bocsájtja. Ennek következtében a téli félév hónapjaiban átlagosan várható napsugárzásból olyan hőnyereség jut a helyiségbe, amely a helyiségből transzmisszió révén az ablakon át távozó hőveszteséget még kedvezőtlen tájolás esetén és még decemberben is jelentősen csökkenti. Ezáltal még a nagy homlokzati üvegezési arány esete sem válik energetikailag hátrányossá. Ehhez járul a jobb természetes megvilágításból adódó valamennyi előny is.

A légtechnikai rendszer üzemeltetési költsége zárt rendszerű szellőztetett ablak esetén azzal csökkenthető, hogy az ablakokból elszívott távozó levegő megmaradt hőtartalmának egy jelentős további hányadát hővisszanyerőkben hasznosítják.

#### A nyári hőmérleg

A korábbiak alapján kialakított, előnyösnek nevezett nagy homlokzati üvegezési arány nyáron sem okoz különösebb problémát. A két

szárny közötti szellőztetett térbe beépített mozgatható árnyékoló szerkezet ugyanis lényegesen hatékonyabban működik, mint más közbenső (üvegtáblák között elhelyezett) árnyékoló, emellett általában egyszerűbb szerkezetű és építésű, mint a mozgatható külső árnyékoló szerkezetek, és karbantartása is jóval könnyebben oldható meg.

A külső üvegezésen bejutó napsugárzás az árnyékolóra jut, amely annak egy részét átengedi, más részét elnyeli, illetve visszaveri. Az elnyelt hányad az árnyékoló szerkezetet felmelegíti. Jelen esetben azonban az árnyékoló szerkezetet a helyiségből távozó levegő öblíti körül, amely a felmelegedett árnyékoló szerkezetet — és ugyanúgy a felmelegedett üvegtáblákat is — hűti. A levegő hőmérséklete ennek következtében ugyan megnő, de ez a levegő már elhagyta a helyiséget. Ezért a helyiségbe gyakorlatilag alig jut hőátadás vagy hosszúhullámú sugárzás révén hőterhelés. A naptényező értéke ezzel a módszerrel  $N = 0,11 - 0,15$  értékre leszorítható.

Az eddigiek a szellőztetett ablak energetikai előnyeit nyilvánvalóvá teszik. Adott esetben nem csekély előny az sem, hogy a homlokzati üvegezési arány az egyéb igényekhez igazodva szinte korlátozás nélkül növelhető, mégpedig az ésszerűség követelményének és a takarékoság kívánalmának megsértése nélkül. A bemutatott szerkezeti elem az épület és az épületgépészeti rendszerek összefüggését, integrálási lehetőségét is jól példázza, de nyilvánvalóan csak gondosan megtervezett épülethez, és légtechnikai rendszerhez illeszthető.



### 3. A helyiségek, terek

A különféle fal- és födémszerkezetek, üvegfelületek, üvegezések és nyílászárók helyiségeket (térreszeket) burkolnak, azok sorozatát szervezik épületté, méghozzá valamilyen adott funkció betöltésére és meghatározott igényszint kielégítésére alkalmas módon. A határolásra szolgáló egyes felületek energiagazdálkodási szempontból legfontosabb tulajdonságai – az előzőek során – már ismertetésre kerültek. E korábbi vizsgálat tárgya az volt, hogy a különböző állapotú tereket elválasztó szerkezetekben az intenzív jellemzők (pl. hőmérséklet) milyen eloszlása várható, az extenzív jellemzők milyen áramai alakulnak ki.

Amikor a burkoló felületek helyiségeket alakítanak ki, a határoló szerkezetek között lesz (vagy lehet) olyan, amely a helyiséget a külső tértől választja el. Más határoló felületek a teret más (szintén építészeti eszközökkel kialakított) térrészekről, szomszédos helyiségektől választják el. Ez utóbbiakban a vizsgált helyiségben uralkodó állapotokkal megegyező, vagy azoktól eltérő állapotok lehetnek. Ezek az alapvető különbségek természetesen a helyiség energiamérlegében is megmutatkoznak. Ugyancsak meghatározó szerepet játszik az is, hogy a helyiséget határoló valamely geometriai felület, idom egy azonos jellegű és felépítésű határoló szerkezettel van-e kitöltve, vagy egy-egy geometriai felület, idom letakarására esetleg többféle szerkezet (pl. fal, ablak, loggia-ajtó) együttese szolgál-e. Számottevő különbség származik abból is, ha a méretek és a szerkezet tekintetében egyébként teljesen azonos határoló felületek a külső térhez viszonyítva különféleképpen helyezkednek el, hiszen a külső határoló felületeket érő hatások egy része (a napsugárzás, a szél) irányfüggő.

A fentiekből következik, hogy egy helyiség energiamérlegének felírása összetett feladat, hiszen nemcsak a határoló felületek (és a szomszédos terek) sokféleségével kell számolni, hanem e határoló felületek egymásra gyakorolt hatását, a burkoló felület és a térreszen belüli levegő, a helyiségben tartózkodó emberek, technológia stb. összefüggéseit is figyelembe kell venni.

### 3.1 A válasz a különböző hőhatásokra

#### 3.11 Stacioner hőhatások

A helyiség energiamérlegének felírásakor első közelítésként elfogadható az a feltételezés, hogy az intenzív mennyiségek térbeli eloszlása a helyiségen belül egyenletes.

Kisebb méretű helyiségek (pl. lakószoba) esetében e feltételezésből kiindulva az energiamérleg kielégítő pontossággal meghatározható, és a térbeli eloszlás egyenlőtlenségét legfeljebb a hőérzeti ellenőrzés során kell figyelembe venni.

Nagyobb méretű, csarnok jellegű terek esetében azonban az energiamérleg felírása és a hőérzeti ellenőrzés során egyaránt és feltétlenül figyelembe kell venni azt, hogy az intenzív jellemzők a helyiség terében nem egyenletesen oszlanak el. E figyelembevétel szükségessége és a számítás megkívánt részletessége azonban nemcsak a tér-rész (tér, csarnok) méreteitől és alakjától függ, hanem az ebben lezajszódó funkciótól, az abban esetleg működő technológiai berendezésektől, továbbá a fűtés és a szellőztetés módjától is.

A legegyszerűbb eset az állandósult feltételekre vonatkozó hőmérleg. A számítás áttekinthetősége érdekében azonban még ebben az esetben is a következő egyszerűsítő feltételezéseket kell figyelembe venni:

- a helyiségben a léghőmérséklet térbeli eloszlása egyenletes;
- egy-egy határoló szerkezet külső felületén a hőmérséklet-eloszlás egyenletes;
- egy-egy határoló szerkezet hőátbocsátási tényezője olyan átlagérték, amely a szerkezetben levő hőhidak hatását is kifejezi;
- egy-egy határoló felület mentén a belső hőátadási tényező állandó.

A helyiséget belülről burkoló felületek mindegyikére felírható egy-egy egyenlet, amely azt fejezi ki, hogy az adott belső felület és a helyiséget belülről burkoló többi felület, valamint az esetleg a helyiségben levő fűtőtest(ek) közötti sugárzásos hőcsere, a felületen áthaladó hőáram, továbbá a felület és a helyiség levegője közötti hőcsere algebrai összege zérus (3.1. ábra):

$$A_j[\sum C_{j,h} b_{j,h}(t_{b,j} - t_{b,h}) \phi_{j,h} + \alpha_{i,j}(t_{b,i} - t_{b,i}) + \kappa_j(t_{b,j} - t_e)] + Q_j = 0. \quad (3.1)$$

A helyiség levegőjének hőegyensúlyi egyenlete tehát azt fejezi ki, hogy a levegő és a helyiséget burkoló felületek közötti hőcsere továbbá a levegővel konvektív úton közölt hő algebrai összege

zérus:

$$\sum A_j \alpha_{i,j} (t_{b,1} - t_{b,j}) + Q_1 = 0. \quad (3.2)$$

Az összefüggésekben

$A_j$  a  $j$ -edik belülről burkoló vagy fűtőfelület területe,  
 $\alpha_{i,j}$  a hőátadási tényező a  $j$ -edik belülről burkoló felület mentén,  
 $\phi_{j,h}$  a kölcsönös besugárzási tényező a  $j$  és  $h$  sorszámú felületek között,

$t_{b,j}$  a  $j$ -edik felület hőmérséklete,

$t_{b,1}$  a belső levegő hőmérséklete,

$t_e$  a külső hőmérséklet,

$Q_1$  a levegővel konvektív úton közölt hőáram,

$Q_j$  a  $j$ -edik felületen levő hőforrás pl. sugárzó fűtőfelület teljesítménye,

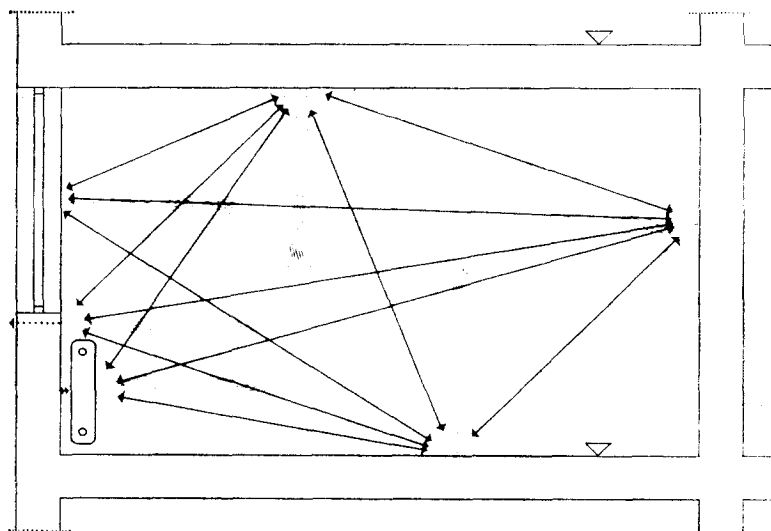
$C_{j,h}$  a kölcsönös sugárzási együttható,

$b_{j,h}$  a hőmérsékleti tényező:

$$b_{j,h} = \frac{\left(\frac{T_j}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_h}{100}\right)^4}{T_j - T_h}, \quad (3.3)$$

$T$  az abszolút hőmérséklet,

$\kappa_j$  a  $j$ -edik határoló szerkezet hőátbocsátási tényezője a belső



- a. SUGÁRZÁSOS HŐCSERE  
b. HŐÁTADÁS  
c. HŐÁTBOCSÁTÁS

3.1. ábra. Helyiség hőmérlegének sémája

felület és a külső közeg között:

$$\kappa_j = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_e} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}}, \quad (3.4)$$

ahol

$\alpha_e$  a külső hőátadási tényező,

$\delta$  a rétegvastagság,

$\lambda$  a hővezetési tényező.

Mint a (3.1 – 3.4) összefüggések is mutatják, még a legegyszerűbbnek minősülő eset is egy meglehetősen terjedelmes egyenletrendszerrel fejezhető csak ki. Az egyenletrendszerben az ismeretlenek egyikeként a konkrét feltételek alapján vagy a helyiség rendeltetésével összhangban értéket adva a többi ismeretlen is kiszámítható. Az egyenletek megoldása a következő adatokat szolgáltatja:

a belső levegő hőmérsékletét;

az egyes határoló szerkezetek belső felületi hőmérsékletét;

a léghőmérsékletből és a felületi hőmérsékletből számítható eredő helyiség-hőmérsékletet;

a határoló szerkezeteken át a külső környezetbe távozó hőáramokat;

a helyiség levegőjével, illetve burkoló felületeivel közölt fűtőteltjesítményt.

A felsorolt adatok alapján ellenőrizhető, hogy a helyiség hőérzeti szempontból megfelelő-e, kiszámítható, hogy mennyi hő távozik a helyiségből a környezetbe, hogy az állandósult állapot fenntartása mennyi fűtőteltjesítményt igényel.

Ilyen részletességű számításra van feltétlen szükség nagyméretű, csarnokjellegű helyiségek, terek méretezésekor. Kisebb helyiségek esetében azonban a méretezés a következő megfontolások alapján egyszerűsíthető:

az egyes burkoló felületek közötti hőmérséklet-különbségek többnyire csekélyek, sőt gyakran több burkoló felület hőmérséklete is azonos, hiszen a határoló szerkezetek többsége azonos vagy közel azonos hőmérsékletű, egymás mellé vagy fölé sorolt helyiségeket választ el,

következésképpen a burkoló felület és a helyiség levegőjének hőmérsékletei közötti különbség is csekély, hiszen a felületek között többnyire csak egy tartozik külső határoló szerkezethez.

Ilyen feltételek mellett a gyakorlati célokat szolgáló közelítő számításokban a (3.1) összefüggésben felírt, a sugárzásos hőcserét kifejező tagok elhanyagolhatók. A hőátadást és a hőátbocsátást kifejező tagok pedig összevonhatók. A külső határoló szerkezet belső felü-

lete és a többi, belső határoló szerkezet felülete közötti sugárzásos hőcsere hatását úgy veszik figyelembe, hogy  $\alpha_i$  értékét egy fiktív számmal: a „sugárzási hőátadási tényezővel” megnövelik.

Így a hőegyensúlyt egyetlen

$$\sum A_j k_j (t_i - t_a) + Q_f = 0 \quad (3.5)$$

alakú egyenlet fejezi ki, ahol  $Q_f$  fűtőteljesítmény (konvektív és sugárzó).

E közelítés a helyiségből a környezetbe távozó hőáramok tekintetében kielégítő pontosságú eredményt ad. Hőérzeti szempontból is csak akkor van szükség külön ellenőrzésre, ha egy, a külső határoló szerkezethez közeli hely vizsgálatára kerül sor.

E közelítés hiányosságai azonban rögtön nyilvánvalóvá válnak, ha az adott helyiségnek két vagy több külső határoló szerkezete van. Ilyen esetekben — a határoló szerkezet belső felületének alacsonyabb átlagos hőmérséklete miatt — a belső levegő hőmérsékletének megemelésére van szükség a megfelelő hőérzet biztosítása végett, amelynek szükséges mértékét egyes eljárások bizonyos korrekciós tényezők alkalmazásával veszik figyelembe.

Az a hőáram, amely a helyiséget burkoló felületeken át hőátbocsátás révén a helyiségből távozik, a *transzmissziós hőáram*. Az a transzmissziós hőáram, amely a méretezési hőmérséklet-különbség esetén és állandósult feltételek mellett lép fel, a helyiség alaphővesztesége.

A helyiségből hőátbocsátással távozó — transzmissziós — hőáram nagysága adott hőmérséklet-különbség esetén a burkoló felületek nagyságától és a határoló szerkezetek hőátbocsátási tényezőjétől függ. Ezekből az adatokból egyetlen helyiségjellemző szám, a  $q_t$  *transzmissziós hőkarakterisztika* képezhető.

A helyiség transzmissziós hőkarakterisztikája az a transzmissziós hőáram, amely egységnyi hőmérséklet-különbség mellett alakul ki, azaz

$$q_t = \sum_{\text{külső}} A_j k_j \quad (3.6)$$

ahol

$A_j$  az  $j$ -edik határolószerkezet felülete,  
 $k_j$  az  $j$ -edik határolószerkezet hőátbocsátási tényezője,  
 és a  $\sum_{\text{külső}}$  jelkép azt fejezi ki, hogy az összegezést a helyiség külső határoló felületeire kell elvégezni.

Kevésbé szabatosan fogalmazva a transzmissziós hőkarakterisztika tulajdonképpen a helyiség transzmissziós „hővesztőképességét” fejezi ki.

Az, hogy egy adott helyiséget burkoló felület a transzmissziós hőáram tekintetében milyen tulajdonságú, igen jól jellemezhető egy másik számmal is, amely szám a transzmissziós hőkarakterisztikának és a helyiséget határoló valamennyi belső felületnek, vagyis a „doboz” mind a hat oldalának hányadosa:

$$K = \frac{\sum_{\text{külső}} A_j k_j}{A_0}, \quad (3.7)$$

ahol  $A_0$  a helyiséget burkoló összfelület.

(Megjegyzendő, hogy e jellemzőszámot az 1963 előtti hőveszteségszámítási szabályzat alkalmazta és több ország hőveszteség-számítási előírása ma is használja a német eredeti után „D-Wert”, D-érték megnevezéssel.)

A  $K$  jellemzőszám annyival mond többet a transzmissziós hőkarakteristikánál, hogy nemcsak a külső határoló szerkezetek felületének és hőátbocsátási tényezőjének nagyságát, hanem a külső határoló szerkezetek felületének és az összfelületnek az arányát is kifejezi. Ily módon a helyiség körülépítettségéről, védett vagy a külső hatásoknak kitett helyzetéről is tájékoztat.

Ha  $K$  értéke *nagy*, akkor

a külső határoló szerkezetek hőátbocsátási ellenállása kicsiny, hőszigetelése gyenge, és/vagy a külső (lehűlő) felületek nagysága az összfelülethez viszonyítva nagy;

a belső hőforrások kikapcsolása, fűtési üzemszünet esetén a helyiség gyorsabban lehűl;

a belső hőforrások bekapcsolása, a fűtési üzem megindítása esetén a helyiség gyorsabban felmelegszik, a felfűtés viszonylag kevesebb energiát igényel;

a belső felületek átlagos hőmérséklete alacsonyabb, ennek ellensúlyozására — a megfelelő hőérzet biztosításához — tehát magasabb belső léghőmérséklet tartása szükséges.

Ha  $K$  értéke *kicsiny*, értelemszerűen az előző állítások ellentétjei érvényesek.

Részletes indoklás nélkül megállapítható, hogy energetikai szempontból a kicsiny  $K$  érték a kedvezőbb.

A helyiség viselkedését, a helyiség-hőmérséklet változását jelentősen befolyásolja a helyiség terében levő levegő és a helyiséget határoló felületek közötti konvektív hőátadás, amely arányos a helyiséget burkoló valamennyi határoló szerkezet területéből és a hőátadási

tényezőkből képezett jellemzőszámmal:

$$A = \sum A_j \alpha_{i,j}. \quad (3.8)$$

Az összefüggésben

$A_j$  a „ $j$ -edik” határoló szerkezet területe,  
 $\alpha_{i,j}$  a belső hőátadási tényező a „ $j$ -edik” felület mentén.

Az összegezés valamennyi, a helyiséget burkoló felületre elvégzendő.

A (3.8) összefüggésből adódó  $A$  jellemzőszám egy adott helyiségben elsősorban a fűtési és a légtechnikai berendezések függvénye.

Az ún. légfűtés esetén a fűtőteltjesítmény a levegő közvetítésével konvektív hőáramként jut a helyiségbe, és elsődlegesen hőátadással jut a határoló szerkezetbe. A légfűtés vagy a mesterséges szellőztetés következtében kialakuló intenzívebb légmozgás nagyobb hőátadási tényezőt eredményez.

A szokványos, ún. „konvekciós” fűtések (radiátor, bordáscső) esetében a fűtőteltjesítmény nagyobb hányada szintén konvektív hőáramként jut a helyiségbe, egy kisebb hányad (10–15%) azonban hősugárzás formájában, a fűtőfelület és a határoló szerkezetek közötti sugárzásos hőcsere révén. Ez utóbbit a helyiség levegője és határoló felületei közötti konvektív hőátadás közvetlenül nem befolyásolja.

Az ún. sugárzó fűtések esetében a fűtőteltjesítmény nagyobb hányada a fűtőfelületek és a helyiség határoló szerkezetei közötti sugárzásos hőcsere, egy kisebb hányad pedig konvektív hőáram formájában jut a helyiségbe.

A helyiség méretei szintén befolyásolják  $A$  értékét: nagyobb belmagasság mellett intenzívebb szabadáram alakul ki, a hőátadási tényező értéke nagyobb.

Ha  $A$  értéke *nagy*, akkor légfűtés vagy konvektív fűtés esetén is kicsi a helyiség levegőjének hőmérséklete és a helyiséget burkoló felületek hőmérséklete közötti különbség, ami hőérzetileg kedvező. A helyiség a belső hőforrások kikapcsolásakor, a fűtési üzem leállításakor viszonylag lassabban hűl le, de a fűtési üzem elindítása után viszonylag lassabban is melegszik fel.

Ha  $A$  értéke *kiseb*b, a helyiség levegőjének hőmérséklete és a helyiséget belülről határoló felületek hőmérséklete közötti különbség nagyobb, a helyiség levegője viszonylag gyorsabban lehűl, illetve gyorsabban felmelegíthető. Annak eldöntése, hogy melyik eset a kedvezőbb, általános érvénnyel nem lehetséges, az csak egy-egy adott esetre és több lényeges szempont mérlegelésével állapítható meg.

### 3.12 Ugrásfüggvény szerint változó hőhatások

Az állandósult állapotok feltételezésével számított adatok a valóságos viszonyokat csak durván közelítik meg, s így ez az eljárás csak bizonyos célokra alkalmas.

**A feladat  
megközelítése**

A valóságban a helyiség és a környezete közötti energiaforgalmat befolyásoló jellemzők az idő függvényében változnak. E változások oka, jellege, és időbeli lefutása (menetrendje) igen sokféle lehet. Egy teljesen általános megfogalmazás esetén a feladat – a mérlegegyenlet – megoldása nagy nehézségekbe ütközik, jelentős számítástechnikai felkészülést igényel. A különböző változásokban fellelhető több-kevesebb szabályszerűség alapján és a megoldás megkönnyítésére felírható a mérlegegyenletnek néhány olyan sajátos, egyszerűbb változata, amely az időben „szabályosan” változó hatásokra vonatkozik. A szabályos időbeli változás lehetővé teszi ugyanis a jelenség viszonylag egyszerű formájú függvényekkel való leírását és a mérlegegyenlet analitikus megoldását.

Az egyik legegyszerűbb időfüggvény az ún. ugrásfüggvény (3.2. ábra). Az ugrásfüggvény szerinti változás azt jelenti, hogy

**Az ugrásfüggvény**

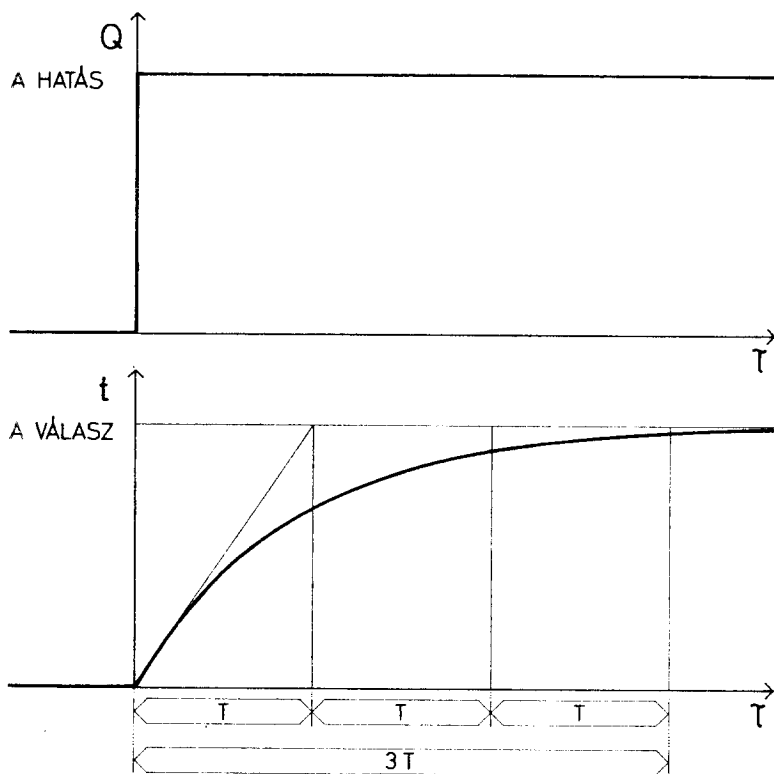
egy bizonyos időpont előtt a jelenséget (pl. a hőátbocsátást) befolyásoló paraméterek állandóak, a jelenség időben állandósult (stacioner);

egy bizonyos időpontban a jelenséget befolyásoló paraméterek egyike hirtelen „ugrásszerűen” megváltozik;

e bizonyos időpont után az a paraméter, amely ugrásszerűen egy új értéket vett fel, a továbbiakban ezen az értéken marad.

A kérdéses paraméter ugrásszerűen felvett új értéke következtében a korábbi – vagyis az ugrás időpontja előtti – állandósult állapot felborul, a jelenséget jellemző többi mennyiség időben változik. Mivel az ugrásszerű változás után a kérdéses paraméter ismét állandó marad, elvileg végtelen, gyakorlatilag elegendően hosszú idő után (amely a jelenség természetétől függően a néhány perctől a néhány napon át egészen a néhány évig terjedhet) egy új, állandósult állapot fog kialakulni, ami a kérdéses paraméter ugrással felvett új értékéhez fog majd igazodni. Az elegendően hosszú érték példázására: Egy villamos fűtőtest bekapcsolását (a feszültség ugrásszerűen változik) követően igen rövid idő alatt a fűtőszál hőmérséklete állandósul. Ugyanakkor az építési nedvesség, ami viszonylag rövid idő alatt (gyakorlatilag ugrásszerű jelleggel) kerül a szerkezetbe, igen hosszú idő alatt távozik, s így csak sokára alakul ki a légállapotnak megfelelő állandósult helyzet.





3.2. ábra. A helyiség válasza ugrásszerű hőhatásra:

$T$  az időállandó;  $3T$  időtartam alatt a folyamat „lecseng”, gyakorlatilag kialakul az új állapotnak megfelelő egyensúly

A gyakorlatban van néhány olyan eset, amikor a jelenség tényleg jól leírható ugrásfüggvénnyel. A vizsgált területen például ilyen:

a fűtő vagy légtechnikai berendezések üzemének beindítása, leállítása, általában a helyiségen belüli valamilyen forrás erősségének (épületgépészeti rendszer teljesítményének) hirtelen megváltoztatása;

a külső hőmérséklet hirtelen megváltozása.

A helyiségnek a példabeli hatásokra adott válasza az ugrásfüggvényre vonatkozó összefüggésekkel jó közelítéssel meghatározható. Ezek a szóban forgó esetek eléggé sajátosak és nem is nagy számban fordulnak elő. Az ugrásfüggvényre kidolgozott megoldás azonban felhasználható más, összetettebb, a valós feltételeket jobban megközelítő jelenségek, pl. az idővel arányos változás követésére is.

A konkrét feladat megoldásán kívül az ugrásfüggvényre vonatkozó megoldás azért is jelentős, mert viszonylag egyszerű módon olyan tájékoztatást ad a rendszerről (a helyiségről), amelynek alapján a rendszer „lustasága”, a helyiségnek az őt érő hatásokra adott válaszainak „hevessége”, „késése”, „élénksége”, „lustasága”, az egyes jellemzők változásának meredeksége vagy lanyhasága jól jellemezhető.

A 2.16 pontban már szó volt a határoló szerkezetek hőátaroló képességéről (lásd: (2.55) összefüggés: 2.36. ábra) és időállandójáról.

**A helyiség  
hőátaroló képessége**

Egy helyiség hőátaroló képességét határoló szerkezeteinek hőátaroló képessége alapján határozzák meg. A külső határoló szerkezetek hőátaroló képességét a korábban (2.16 pont) ismertetett módon kell megállapítani. A belső határoló szerkezetekben állandósult állapotban a hőmérséklet eloszlása egy vízszintessel jellemezhető — a hőmérséklet első közelítésben nem változik a hely függvényében —, feltételezve, hogy a szóban forgó szerkezet azonos hőmérsékletű helyiségeket választ el. Ez a közelítés akkor igaz, ha az egymással szomszédos helyiségek hőtechnikai jellemzői azonosak, mint ahogy ez a nagyobb méretű, cellás rendszerű épületekben a lakószobák, a szállodaszobák, az irodák esetében általában lenni szokott. Ha a szomszédos helyiségek hőtechnikai jellemzői különbözőek, a szuperpozíció elve alkalmazható, ha a helyiség-hőmérsékletek különbözőek, a belső határoló szerkezetekben kialakuló hőmérséklet-eloszlást ugyanúgy kell meghatározni, mint a külső határoló szerkezetek esetében.

A belső határoló szerkezetek hőmérsékletét a következő közelítő számítás alapján lehet meghatározni.

A helyiséget belülről burkoló (összes) felületek átlagos  $\bar{t}_f$  hőmérséklete a

$$Q_f = A_f(t - \bar{t}_f) \quad (3.9)$$

összefüggésből:

$$\bar{t}_f = t_i - \frac{Q_f}{A}, \quad (3.10)$$

ahol

$Q_f$  a fűtőteljesítmény,

$A$  a helyiség burkoló felületén lejátszódó hőátadásra jellemző szám.

A külső határoló szerkezetek belső felületének hőmérséklete az ismert

$$t_{f,k} = t_i - \frac{k}{\alpha_i}(t_i - t_e) \quad (3.11)$$

összefüggés alapján határozható meg. A belső határoló szerkezetek felületének  $t_{f,k}$  hőmérséklete a burkoló felület  $\bar{t}_f$  átlaghőmérsékletéből és a külső határoló szerkezetek belső felületének  $t_{f,k}$  hőmérsékletéből:

$$\bar{t}_{f,b} = \frac{A_0 \bar{t}_f - A_k t_{f,k}}{A_0 - A_k}, \quad (3.12)$$

ahol

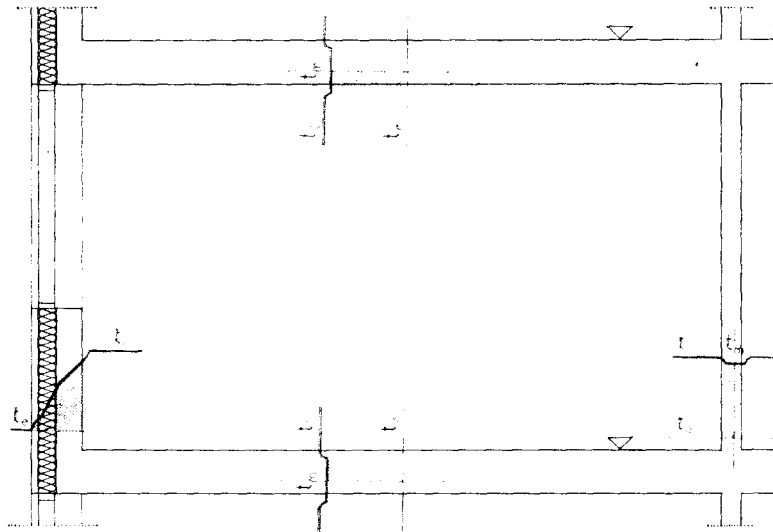
$A_0$  a helyiséget burkoló felület,

$A_k$  a külső határoló szerkezetek felülete.

Ha a belső határoló szerkezetek teljes vastagságában azonos hőmérséklet uralkodik, akkor a kapott hőmérséklet megegyezik a belső határoló szerkezet teljes vastagságában uralkodó  $t_m$  hőmérséklettel. Ennek ismeretében a belső határoló szerkezetben tárolt hő meghatározható, annak figyelembevételével, hogy az a két szomszédos helyiség között megoszlik (3.3. ábra).

#### A reguláris folyamatok elve

A korábban bevezetett (2.53)–(2.55) összefüggések alapján meghatározható, hogy hogyan válaszol egy határoló szerkezet egy, a vele határos közegben lejátszódó ugrásszerű hőmérséklet-változásra. Az egymással bonyolult hőtechnikai kapcsolatban álló külső és belső határoló szerkezetekből összetett rendszer viselkedése természetesen bonyolultabb, mint amilyen az egy külön vizsgált határoló szerkezeté volt. Ennek ellenére a gyakorlati szempontból érdekes feladatok viszonylag egyszerű eszközökkel vizsgálhatók.



3.3. ábra. A helyiség hőtároló képessége

A „reguláris folyamatok” alaptétele értelmében mind a homogén és izotrop testek, mind pedig a bonyolultabb, több különböző anyagból álló energetikai rendszerek valamely pontjának lehűlése (illetve felmelegedése) a

$$\vartheta = AUe^{-\frac{z}{Z}} + A_1U_1e^{-\frac{z}{Z_1}} + A_2U_2e^{-\frac{z}{Z_2}} + \dots \quad (3.13)$$

alakú kifejezéssel írható le, ahol

$$0 < \frac{1}{Z} \leq \frac{1}{Z_1} < \frac{1}{Z_2} \dots,$$

$U, U_1, \dots$  a vizsgált pont koordinátáinak véges függvényei,  $A, A_1, \dots$  állandó, véges, a koordinátáktól és az időtől független számok,  $\vartheta$  a túlhőmérséklet.

Egyszerűsítő feltétel az, hogy az anyagjellemzők és a hőátadási tényezők a vizsgált folyamat hőmérséklethatárain belül állandónak tekinthetők.

A kezdeti  $z = z_0$  időpont után  $z$  növekedésével a (3.13) kifejezés egyes tagjai a feltétel értelmében különböző „gyorsasággal” változnak. Bizonyos  $z = z_r$  időponttól kezdve a második és valamennyi további tag összege elhanyagolhatóan kicsiny lesz az első taghoz viszonyítva. Ez egyszerűen az exponenciális függvények természetéből következik. Így  $z > z_r$  esetén bármely pont túlhőmérsékletének változása a

$$\vartheta = AUe^{-\frac{z}{Z}} \quad (3.14)$$

exponenciális összefüggéssel írható le. Ez azt jelenti, hogy  $z > z_r$  esetén a túlhőmérséklet-mező „önmagához hasonlóan” változik, a bonyolult, összetett hőtechnikai rendszer is egy tárolós szakaszként kezelhető, a folyamat „reguláris” (szabályossá) válik.

Az a  $z_r$  időtartam, aminek letelte után a folyamat regulárisnak tekinthető, a helyiség adottságaitól függ. A folyamat kezdetétől a  $z_r$  ideig tartó szakasz nem reguláris jellegét elvileg elsősorban a helyiségben levő levegő hatása okozza, amelynek szintén van hőtároló képessége és ez a felírt összefüggésekben nem szerepel. A cellás épületek helyiségeiben levő levegő hőtároló képessége a határoló szerkezetekéhez viszonyítva tényleg elhanyagolhatóan kicsiny, a helyiség levegőjének felmelegedése vagy lehűlése gyakorlatilag tíz-húsz perc alatt lejátszódik, anélkül, hogy a levegőben tárolt hőmennyiség változása a határoló szerkezetekben tárolt hőmennyiséget észrevehetően megváltoztatná. Egy könnyűszerkezetes csarnok esetében ez az elhanyagolás már durva közelítést eredményez, mert a helyiség levegőjének hőtároló képessége ez esetben

már összemérhető a határoló szerkezetek hőtároló képességével. Gyakorlati szempontból a reguláris folyamat kialakulását zavarja még az a körülmény, hogy a jelenség kezdetén a határoló szerkezetekben uralkodó hőmérséklet-eloszlás nem pontosan egyezik az állandósult állapotoknak megfelelővel.

A valós körülmények között végzett megfigyelések és az elemi mérlegegyenletek módszerével elvégzett számítógépes elemzések egyaránt azt bizonyítják, hogy a reguláris szakasz a jelenség kezdete (az ugrás) után 1–3 órával gyakorlatilag már kialakul, és ettől kezdve az egyszerű analitikus összefüggések a folyamatot már kiélegítő pontossággal írják le.

#### A számítás alapjai

A folyamatot leíró analitikus összefüggések felírásának gondolatmenete a következő.

Legyen egy helyiség hőtároló képessége  $W$ , hőkarakterisztikája  $q_t$ . A helyiségben, annak határoló szerkezeteiben az állandósult állapotoknak megfelelő feltételek uralkodnak. A  $z = z_0$  pillanatban a helyiség és a környezet közötti hőmérséklet-különbség  $\vartheta_0$  értékkel ugrásszerűen megváltozik. Ez az ugrásszerű változás adott esetben, még a folyamat irreguláris szakaszában létrehozhat egy gyakorlatilag szintén ugrásszerű változást egy másik jellemző értékében, amely  $\vartheta_0$ -értékét  $\vartheta'_0$ -re módosítja.

Az ugrásszerű változás lezajlása utáni folyamatot leíró mérlegegyenlet alapja az a tény, hogy a helyiségből a környezetbe távozó hőáramot a helyiség által tárolt hő változása fedezi:

$$q\vartheta dz = -W d\vartheta, \quad (3.15)$$

azaz, amennyi hő távozott  $dz$  idő alatt a környezetbe, annyival csökkent a helyiség által feltárolt hőmennyiség.

Az összefüggés átrendezésével:

$$dz = -\frac{W}{q} \frac{d\vartheta}{\vartheta} = -Z \frac{d\vartheta}{\vartheta}. \quad (3.16)$$

A kezdeti feltétel szerint  $z_0 = 0$  időpontban  $\vartheta(z_0) = \vartheta_0$ . Ezzel a megoldás

$$\vartheta(z) = \vartheta'_0 e^{-\frac{z}{Z}} \quad (3.17)$$

Az összefüggésekben szereplő  $Z$  érték a helyiség (külső) *időállandója*. Minél nagyobb a helyiség hőtároló képessége ( $W$ ) és minél kisebb a hőkarakterisztikája ( $q_t$ ), annál nagyobb az időállandó, vagyis annál lustábban válaszol a helyiség.

A (3.17) összefüggésben szereplő  $z/Z$  hányados a *Fourier*-szám egy modifikációja. Az a  $z$  érték, amelytől kezdve a folyamat „regulárisnak” fogadható el, a  $z/Z \geq 0,12$  feltételből számítható [1]. E számértéknél a (3.17) összefüggés hibahatára 5%, amely növekvő értékekkel csökken. Tekintettel arra, hogy  $Z$  értéke kb. 24–48 óra, a (3.17) összefüggés a vizsgált, aránylag lassú folyamatok túlnyomó részét megfelelő pontossággal írja le. E megállapítást a számítógépes programok felhasználásával nyert eredmények, valamint a természetes körülmények között végzett mérések eredményei egyaránt igazolják [1, 7].

### 3.13 A helyiség válasza periodikus hőhatásokra

A helyiséget érő hatások között jelentős számban fordulnak elő olyanok, amelyek az idő függvényében több-kevesebb szabályszerűséggel periodikusan változnak. E hatások periódusideje rendszerint 24 óra.

**A periodikusan  
változó hatások**

Ilyen periodikus jelleggel változik a napsugárzás intenzitása: amennyiben a felhőzet mértékében közben nincs lényeges változás (pl. több derült nap követi egymást). A külső határoló szerkezetekre, üvegezett felületekre jutó napsugárzás intenzitásának időbeli változása kizárólag a földrajzi hely és az idő függvénye.

A meteorológiai jellemzők közül ugyancsak periodikus jelleggel változik a külső levegő hőmérséklete, a külső léghőmérséklet napi változása egy szinuszgörbével jól közelíthető.

Számos belső hőforrás időbeli változása is periodikus jellegű. A mesterséges világítás üzemeltetési menetrendje például a helyiség funkciójának és a természetes megvilágítás változásának függvénye. Miután ez utóbbi periodikusan változik, a mesterséges megvilágítás be és kikapcsolására is nagyjából szabályosan, ugyanazon órákban kerül sor. Ha a helyiségben valamilyen technológiai berendezés van, annak üzemeltetése a funkció és a munkabeosztás függvényében — legalább is a munkanapokon — szabályszerű periodikus jelleggel folyik. A helyiség rendeltetésétől függ, hogy az ott tartózkodó emberek hőleadásából származó hőterhelés mennyire szabályszerűen periodikus változású: például nyilvánvaló, hogy a szabályszerűség inkább kimutatható egy iroda esetében, mint egy szállodai szobával kapcsolatban.

Ha egy helyiséget periodikus hőhatások érnek, a feladat annak megállapítása, hogy

**A periodikus  
változások  
jellemzői**

milyen hőmérséklet-változással válaszol a helyiség az őt érő periodikus hatásokra,

a helyiség választását milyen építészeti, épületszerkezeti eszközökkel lehet a kívánt irányban és mértékben befolyásolni,

milyen — az üzemeltető által szabályozott forrásból származó — hőterheléssel lehet a helyiséget érő hatásokat úgy kompenzálni, hogy a válasz, a belső hőmérséklet egy megadott értéknek feleljen meg.

**A helyiség  
hőstabilitása**

A feladat lényege valamennyi esetben az, hogy kapcsolatot kell keresni egy adott hőtechnikai tulajdonságú helyiséget érő *hőterhelések ingadozása és a helyiség-hőmérséklet ingadozása* között. Ezt a kapcsolatot egy-egy határoló szerkezet és az azt érő hatások vonatkozásában a korábban (2.16) már tárgyalt hőelnyelési tényező és fajlagos hőstabilitás fejezi ki. E jellemzőszámok ismeretében a belső burkoló felület hőmérséklet-ingadozása és a burkoló felületbe behatoló hőáram-ingadozás közötti kapcsolatot a helyiség hőelnyelési tényezője:

$$Y = \sum A_j U_j, \quad (3.18)$$

a helyiség hőmérséklet ingadozása és a helyiségbe jutó hőáram-ingadozás közötti kapcsolatot pedig a helyiség hőstabilitása:

$$H = \sum A_j B_j \quad (3.19)$$

fejezi ki. Mindkét jellemzőszám azt adja meg, hogy mekkora — időben szinuszfüggvény szerint változó — hőáram-ingadozás okoz egységnyi amplitúdójú hőmérséklet-ingadozást:

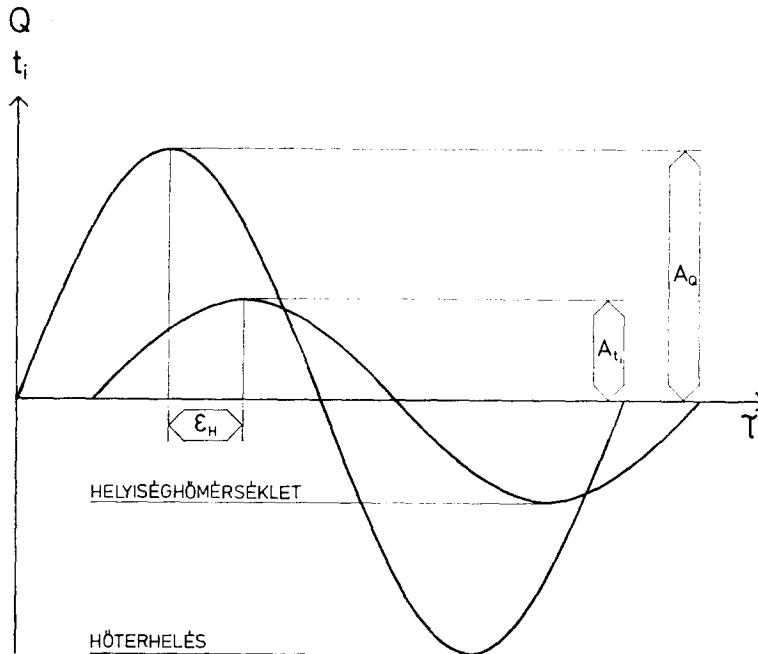
$$Y = \frac{A_Q}{A_{tb}}, \quad H = \frac{A_Q}{A_{ti}},$$

A fenti összefüggésekben

$A_j$  a  $j$ -edik határoló szerkezet felülete,  
 $A_Q$  a hőáram-ingadozás amplitúdója,  
 $A_{tb}$  a burkoló felület (súlyozott) átlaghőmérséklet-ingadozásának amplitúdója,  
 $A_{ti}$  a helyiség hőmérséklet-ingadozásának amplitúdója (3.4. ábra).

Az összegezés a helyiséget burkoló valamennyi felületre vonatkozik.

A (2.70)–(2.72) összefüggésekkel rokon módon  $Y$  és  $H$  egyaránt komplex számok, amelyeknek abszolút értéke az amplitúdók hányadosának abszolút értékét adja, fázisszöge pedig azt fejezi ki, hogy mennyi késéssel követi a hőmérséklet-ingadozás az őt kiváltó hőáram-ingadozásokat. A jellemzőszámok komplex volta az összefüggésekben azt jelenti, hogy az összegezés is komplex számokra vonatkozik, azaz vektorok összegezéséről van szó.



3.4. ábra. Az időben szinuszosan változó hőterhelés és az általa előidézett helyiség-hőmérséklet menete

$\frac{A_Q}{A_{t_i}} = |H|$  a helyiség hőstabilitásának abszolút értéke;  $\epsilon_H$  a hőmérséklet-változás késése a hőterhelés-változáshoz képest

A burkoló felületek hőelnyelésén kívül a méretezés pontosítása végett bizonyos esetekben még egyéb tényezőket is figyelembe kell venni a helyiség hőelnyelésének vagy hőstabilitásának számításakor.

**Az egyéb körülmények hatása a helyiség hőstabilitására**

Egy kisméretű helyiségben a levegő hőtartalmának változása a burkoló felületekéhez viszonyítva elhanyagolható. Ha azonban egy könnyűszerkezetes, csarnokjellegű helyiségről van szó, e két mennyiség már összemérhető, és a levegő hőtartalom-változásának szerepe viszonylag jelentős.

A helyiség térfogatában levő levegő hőstabilitása:

$$H_l = V \rho c \frac{2\pi i}{\tau_0}, \quad (3.20)$$

ahol

- $V$  a helyiség térfogata,
- $\rho$  a levegő sűrűsége,
- $c$  a levegő fajhője,
- $i$  a képzetes egység,
- $\tau_0$  a periódusidő.

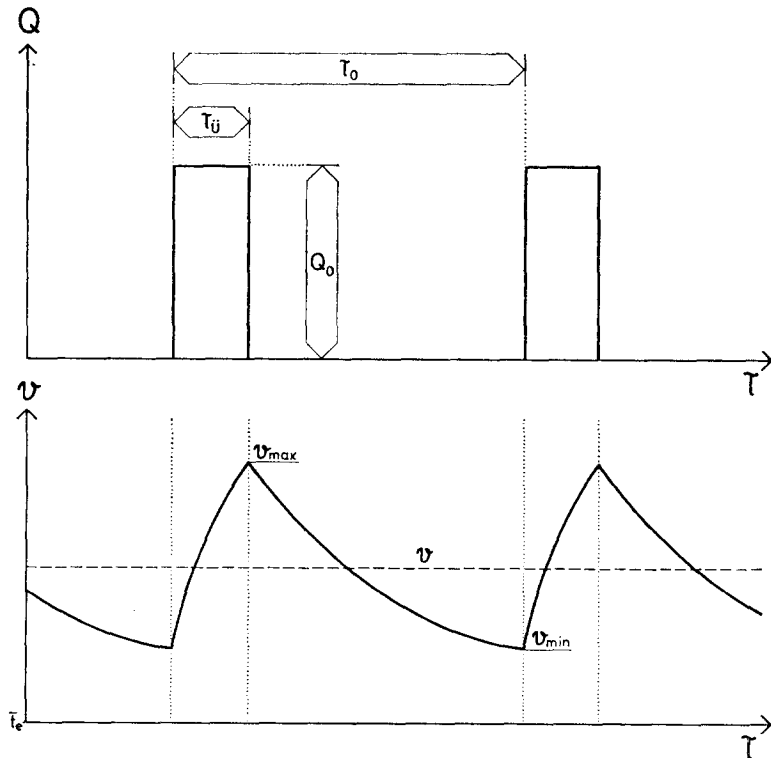


A hőstabilitást figyelemreméltóan befolyásolhatják egyes esetekben a helyiségben levő „berendezési tárgyak” (bútor, gép, raktározott áru) is az általuk elnyelt hő révén. Ezek vagy viszonylag vékony lemezekből állóknak, vagy vastag, tömör testeknek tekinthetők és úgy vehetők számításba, mint egy olyan vékony vagy vastag belső határoló szerkezet, amelynek minden felülete a vizsgált helyiségben nyel el hőt.

Adott esetben a helyiségnek az előzőek figyelembevételével értelmezett hőstabilitását úgy számítják, hogy a (3.17) összefüggés szerinti értékhez – a számok komplex volta miatt vektoriálisan – hozzáadják a levegő és a berendezési tárgyak hőstabilitását.

#### Pulzáló hőhatások

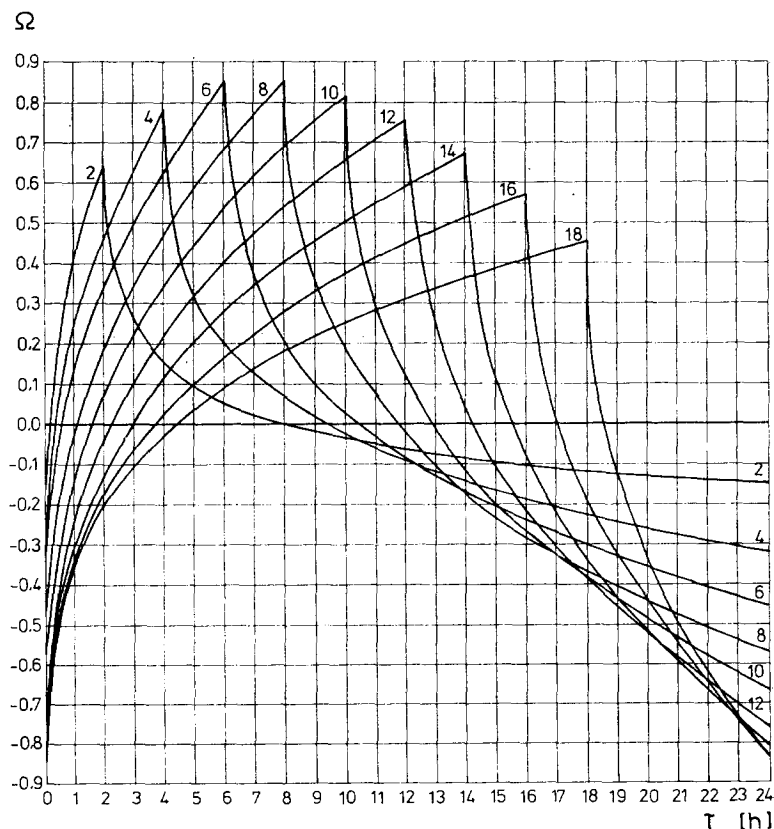
Az eddig vizsgált esetekben az időben szinuszosan változó hőhatások és hőmérséklet-ingadozások kapcsolatáról volt szó. Egyes hatások (pl. a külső léghőmérséklet változása) szinuszfüggvénnyel valóban jól közelíthetők, más hatásokra viszont nem a középérték körüli ingadozás, hanem a „vagy van, vagy nincs”, a megszakított



3.5. ábra. A pulzáló hőterhelés okozta túlhőmérséklet

lökésszerű, a pulzáló jelleg a jellemző (pl. a mesterséges világítás). A pulzáló hőhatások számításának gondolatmenete a következő:

A pulzáló hőterhelést jellemzi a hőáram nagysága ( $Q_p$ ), a hőterhelés időtartama ( $\tau_p$ ) és a periódusidő ( $\tau_0$ ). (Megjegyzendő, hogy a hűtés is hőterhelés, csak olyan hőterhelés, amely értelemszerűen ellentétes irányú hőmérséklet-változásokat okoz.) A 3.5. ábra szerinti függvény Fourier-sor segítségével felírható végtelen sok szinuszfüggvény szuperpozíciójával. E szinuszfüggvényekre – a hőelnyelési tényező és a periódusidő közötti kapcsolat jellege alapján – a hőáram-ingadozás és a hőmérséklet-ingadozás kapcsolata felírható. E művelet eredménye az  $\Omega$  jelölésű segédérték, amely a periódusidő ( $\tau_0$ ), a hőterhelés időtartama ( $\tau_p$ ) és a pillanatnyi időpont ( $\tau$ ) függvényeként adható meg és táblázatos, illetve grafikus feldolgozásban hozzáférhető (3.6. ábra) [1, 8]. Ezzel a felületen áthaladó hőáram és a  $t_b$  felületi hőmérséklet változásának kapcsos-



3.6. ábra.  $\Omega$  értékei (az egyes görbékre írt számok a pulzáló hőterhelés időtartamát jelentik)

lata:

$$\Delta t_b(\tau) = \frac{Q_P}{Y} \Omega(\tau, \tau_P). \quad (3.21)$$

A pulzáló hőterhelés átlagértéke a teljes periódusra:

$$\bar{Q}_P = \frac{\tau_P}{\tau_0} Q_P. \quad (3.22)$$

Ezzel a felület-túlhőmérséklet átlaga:

$$\bar{\vartheta}_b = Q_P \frac{\tau_P}{\tau_0} \left( \frac{1}{q} - \frac{1}{A} \right), \quad (3.23)$$

ami azt fejezi ki, hogy az a hőmennyiség, amely egy nap alatt a helyiségbe bejut, egy nap alatt onnan el is távozik. A helyiséget burkoló felületek napi átlaghőmérséklete annnyival kell, hogy nagyobb legyen a külső hőmérséklet napi átlagánál, hogy ennek következményeként a helyiség adott hőkarakterisztikája és burkoló felületének adott hőátadási viszonyai mellett a helyiségben jelentkező hőterhelés távozni tudjon.

Az alatt az idő alatt, amíg  $Q_P$  nem hat, hőterhelés nincs, a burkoló felületek (súlyozott) átlaghőmérséklete és a helyiség levegőjének hőmérséklete megegyezik: a viszonylag csekély hőtároló képességű levegő hőmérséklete az őt bezáró „dobozfelület” hőmérsékletét követi, azaz

$$t_i(\tau) = t_b(\tau) = \bar{t}_b + \Delta t_b(\tau). \quad (3.24)$$

Hogy ez az összefüggés hogyan módosul az alatt az idő alatt, amíg  $Q_P$  hat, ez a pulzáló hőterhelés minőségétől függ. Ha  $Q_P$  sugárzásos hőterhelés, az összefüggés változatlan marad, hiszen a hőterhelés a levegő közvetítése nélkül, közvetlenül éri a burkoló felületet. Ha a hőterhelés tisztán konvektív jellegű, akkor ahhoz, hogy az a levegőből a burkoló felületre jusson,

$$t_i(\tau) - t_b(\tau) = \frac{Q_P}{A} \quad (3.25)$$

értékkel kell a helyiség-hőmérsékletnek a burkoló felület hőmérsékleténél nagyobbnak lennie. Ennek alapján értelemszerűen, ha a hőterhelés  $r$  hányada sugárzó,  $(1 - r)$  hányada konvektív,

$$t_i(\tau) - t_b(\tau) = \frac{(1 - r) Q_P}{A}, \quad (3.26)$$

és így a helyiség túlhőmérséklete:

$$\vartheta_i(\tau) = Q_P \left( \frac{\Omega(\tau, \tau_P)}{Y} + \frac{\tau_P}{q} - \frac{\tau_P}{\Lambda} + \frac{1-r}{\Lambda} \right) \quad (3.27)$$

amíg  $Q_P$  hat és

$$\vartheta_i(\tau) = Q_P \left( \frac{\Omega(\tau, \tau_P)}{Y} + \frac{\tau_P}{q} - \frac{\tau_P}{\Lambda} \right) \quad (3.28)$$

amikor a hőterhelés nem hat.

Külön kérdés még, hogy mi az a napi átlagos külső hőmérséklet, amelyhez a  $\vartheta$  túlhőmérséklet viszonyítandó. A transzmisszió szempontjából ez lehet egy fiktív, egyenértékű „naplég-hőmérséklet” ( $\bar{i}_s$ ), filtráció szempontjából viszont nyilván a külső levegő hőmérsékletéről ( $t_e$ ) van szó. Miután a helyiségből mindkét úton távozik hő, a transzmissziós és filtrációs hőkarakterisztikák függvényében súlyozott átlag számítható, a

$$\bar{i}_k = \frac{q_t \bar{i}_s + q_f \bar{i}_e}{q} \quad (3.29)$$

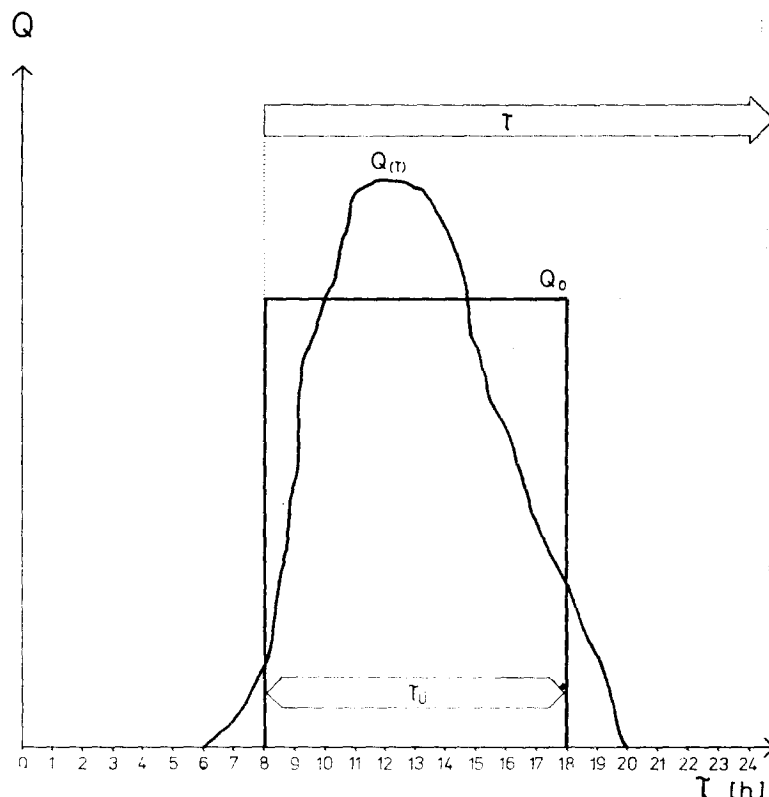
összefüggés alapján. Megjegyzendő azonban, hogy ha az üvegárány  $\bar{U} > 0,3$  vagy a légcsereszám  $n > 5$ , ennek a lépésnek különösebb jelentősége nincs, a viszonyítási alapként  $\bar{i}_e$  elfogadható, azaz

$$t_i(\tau) = \vartheta_i(\tau) + \bar{i}_e. \quad (3.30)$$

A konvektív és a sugárzó hőterhelések közötti különbség miatt pl. *egy sugárzó hőterhelés hatásának kompenzálására kisebb – és időben másként változó – konvektív hőterhelés szükséges.*

Bizonyos hőhatások valóban megfeleltethetők pulzáló hőterheléseknek, vagy legalábbis – a görbék alatti területek egyenlősége alapján – mód van arra, hogy a tényleges hatást pulzáló hőterheléssel közelítsék (3.7. ábra). A valóságos esetek nagy részében azonban a hőterhelésgörbe tényleges alakja jóval kevésbé szabályszerű, mint a pulzáló hőterhelésé (pl. a napsugárzás intenzitásának változása). Kielégítő pontosságú eredményt ekkor a szuperpozíció elvének alkalmazásával lehet kapni. Ehhez az adott periodikus hőterhelést elegendően sok „hasáb” (pulzáló hőterhelés) összetevésével kell előállítani. A válaszok, a helyiség-hőmérséklet változásai minden egyes összetevő pulzáló hőterhelésre külön-külön meghatároz-

**Periodikus  
hőhatások**



3.7. ábra. A hőterhelés közelítése egy pulzáló hőterheléssel

hatók. Az azonos időpontra eső értékek összegezésével az eredeti periodikus hőterhelés következtében kialakuló helyiség-hőmérséklet adódik ki (3.8. ábra).

Bár az eddigiek során a kérdés mindig úgy vetődött fel, hogy milyen hőmérséklet-változással válaszol a helyiség valamilyen hőterhelésre, külön részletezés nélkül is belátható, hogy ugyanezen összefüggésekkel határozható meg az is, hogy mekkora hőterhelés (hűtő vagy fűtőteljesítmény) szükséges egy megadott helyiség-hőmérséklet-változás létrehozásához.

#### A feladat általános megfogalmazása

A helyiséget érő hőterhelés és a helyiség-hőmérséklet kapcsolata bármilyen is az az idő függvényében, tetszőlegesen változó nem állandósult esetre is meghatározható. A jelenséget leíró egyenletrendszer formailag a (3.50) egyenletrendszerhez hasonlít, azzal az eltéréssel, hogy

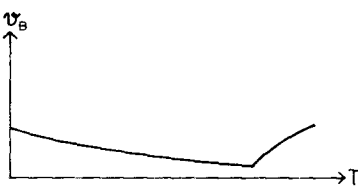
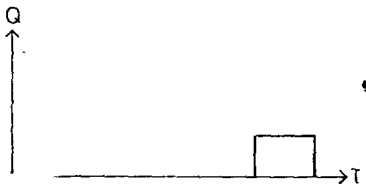
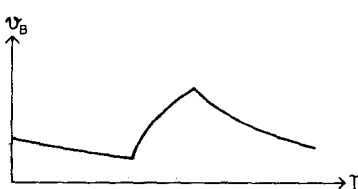
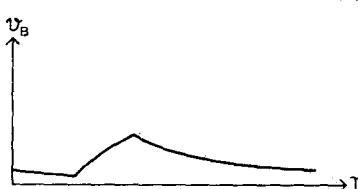
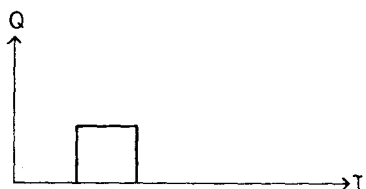
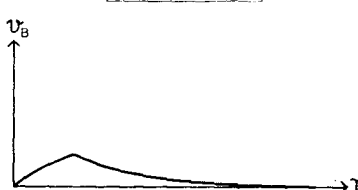
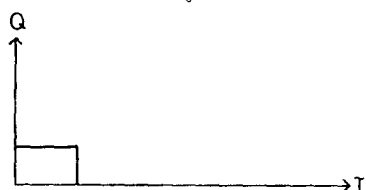
HATÁS

VÁLASZ



EREDŐ HATÁS  
FELBONTÁSA

VÁLASZOK  
ÖSSZEGEZÉSE



3.8. ábra. A szuperpozíció elvének alkalmazása

az állandósult hőáramok helyett mindenütt a hőáram pillanatnyi értéke szerepel;

a hőátbocsátást leíró tag helyett a (2.48) összefüggésnek megfelelően a határoló szerkezet egyes elemi rétegein áthaladó hőáramokat és e rétegek hőtartalom-változását kifejező tagok szerepelnek;

a helyiség levegőjének egyensúlyát leíró egyenletben megjelenik egy, a levegő hőtartalom-változását leíró tag is.

Általános esetben természetesen az egyenletrendszernek analitikus megoldása nincs, eredmény csak valamilyen közelítő eljárással kapható.

#### **Megoldási módszerek**

A periodikus vagy a tetszőleges instacioner változásokat leíró összefüggések közül a legegyszerűbbek analitikus megoldása ismert. A méretezés megkönnyítését a hőtechnikai jellemzők számértékeit tartalmazó táblázatok segítik [6].

Jelentős számítási munka takarítható meg a *hasonlóságelméleti* alapon kidolgozott méretezési eljárással [9].

A helyiségek hasonlósága ebben az esetben azt jelenti, hogy azonos fajlagos értékű pulzáló hőterhelésre azonos hőmérséklet-változással válaszolnak. A hőmérséklet-változások a hőterhelés időbeli változása alapján rendezve, a helyiség hőtechnikai jellemzőinek függvényében ábrázolva munkalapokról olvashatók le, a feladat mind-össze az azonosításra szolgáló három-négy hasonlósági kritérium kiszámítására korlátozódik.

A szuperpozíciós eljárás (3.8. ábra) lényegében kézi számításra is alkalmas, de időigénye aránylag nagy. E módszernek több számítógépes adaptációja ismert.

A teljesen általános esetre vonatkozó egyenletrendszer, tekintettel a hőterhelések tetszés szerinti változására, analitikus úton nem oldható meg. Az ismert számítógépes adaptációk differenciaegyenlet rendszerként, az elemi mérlegegyenletek módszerével oldják meg a feladatot [5].

Bármilyen esetre egyaránt alkalmazható az *analóg modellezés* módszere. Miután a jelenségeket leíró differenciálegyenletek azonos alakúak, a folyamatok lejátszhatók egy ellenállásokból és kapacitásokból összeállított modellben. A kölcsönös megfeleltetés alapján a feszültségek, áramok értékeiből a hőmérséklet- és hőáramadatok meghatározhatók.

## 3.2 A hőgyensúly esetei

### 3.21 A hőveszteség (transzmisszió)

Az alaphőveszteség a helyiség határoló szerkezetein át a méretezési hőmérséklet-különbség mellett és stacioner feltételek között hőátbocsátással távozó hőáramok összege.

**Az alaphőveszteség**

A stacioner viszonyok feltételezése természetesen csak fikció; a valóságos feltételek időben változóak és ez különösen így van a meteorológiai jellemzők szélsőséges értékeinek fellépésekor.

A meteorológiai jellemzők napi változásának elhanyagolása inkább indokolható. Egyrészt a fűtési idényben az egyes meteorológiai jellemzők (külső hőmérséklet, napsugárzási intenzitás) változása tényleg kisebb mértékű, mint az év más időszakában, másrészt a napi átlagértékekből számított transzmissziós hőveszteséghez viszonyítva — különösen, ha a külső hőmérséklet alacsony — az ingadozások hatása aránylag kicsiny. E közelítés természetesen már nem igaz a fűtési idény kezdetén és végén, az ún. átmeneti időszakokban, amikor a napi átlagértékekből számított alaphőveszteség és a meteorológiai jellemzők napi ingadozásának hatása azonos nagyságú, és így akár a helyiség határoló felületén áthaladó hőáram iránya is változhat a nap folyamán. E körülményt a rendszer méretezésekor, a szabályozás kialakításakor természetesen figyelembe kell venni. Ugyancsak további vizsgálatok szükségesek akkor, ha az épületgépészeti berendezések üzeme napi program szerint változik (pl. csökkentett vagy megszakított üzemű fűtés).

A korábban meghatározott transzmissziós alaphőveszteség — éppen azért, mert számítási módja igen sok egyszerűsítő feltételezésen alapul — még nem ad a valóságot megközelítő képet a határoló felületen áthaladó hőáram tényleges értékéről. A viszonylag pontosabb eredményt a gyakorlat az alaphőveszteség kiigazításával nyeri, az egyes korrekciókat a hőveszteséget befolyásoló tényezők függvényeként állapítják meg.

**A transzmissziós hőveszteséget befolyásoló egyéb tényezők**

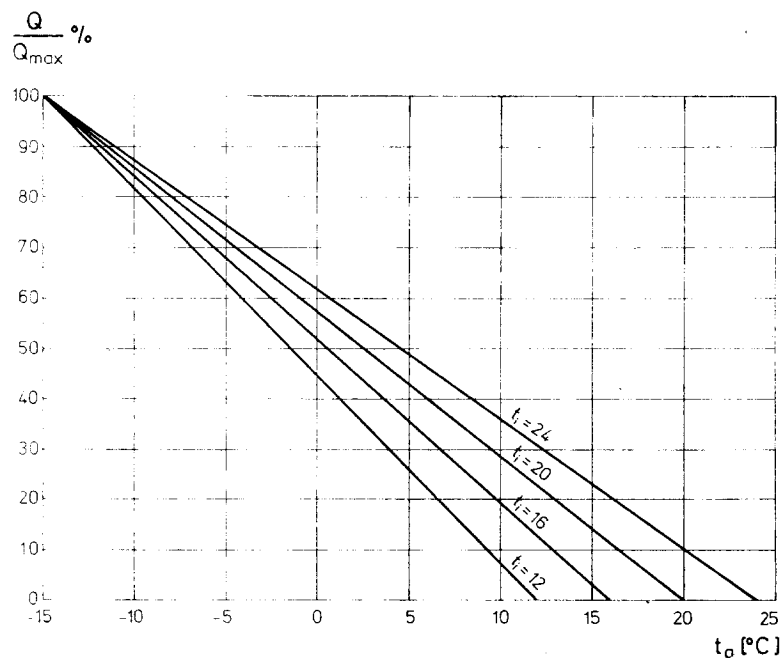
A transzmissziós alaphőveszteséget eredményező hőáramok között vannak vagy lehetnek olyanok, amelyek a külső határoló szerkezeten át a környezetbe távoznak, és vannak vagy lehetnek olyanok, amelyek a belső határoló szerkezeten át egyik helyiségből a másikba jutnak, ha e helyiségek hőmérsékletei egymástól eltérnek. Igen lényeges különbség, hogy az első esetben

**A helyiségek közötti hőáramok**

a hőáramok nagyságát a hőmérséklet-különbségen kívül még számos más környezeti és légköri tényező is közvetlenül befolyásolja, és hogy

a hőáramok a külső feltételek függvényében változnak.

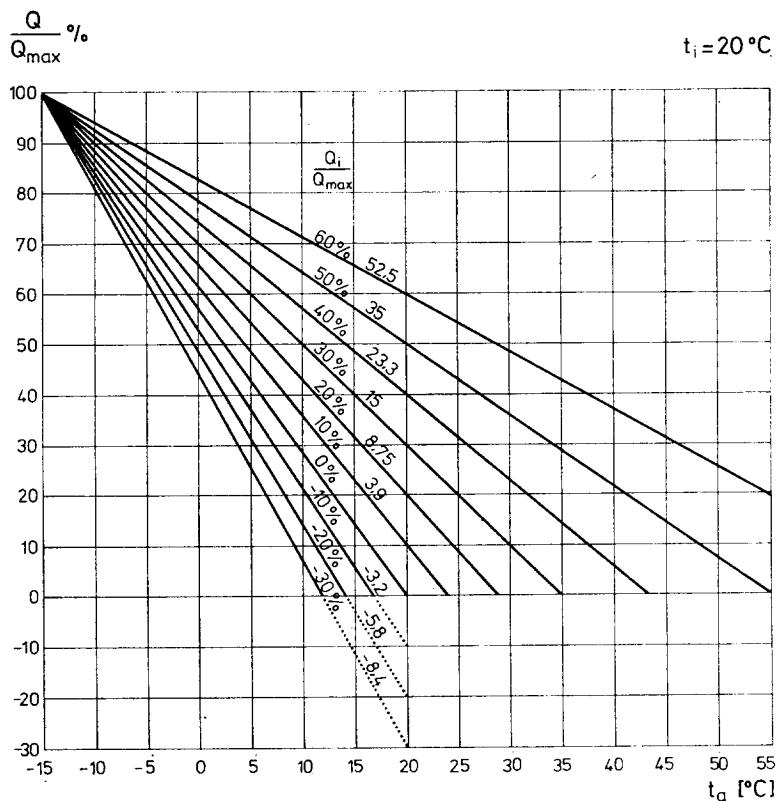




3.9. ábra. A relatív hőigény változása különböző helyiség-hőmérsékletek mellett

A helyiségek közötti hőáramok tekintetében közvetlen befolyásolásról nem lehet beszélni, a hőáram nagysága elvileg a teljes fűtési idényben állandó.

A mondottakból az következik, hogy a különböző helyiségek alaphővesztése a külső hőmérséklet függvényében különböző módon változik. Ha pl. a helyiségnek van külső határoló szerkezete és hőmérséklete a szomszédos helyiségekével megegyezik, transzmissziós alaphővesztése a belső és a külső hőmérséklet különbségével arányosan változik (3.9. ábra). Ha a helyiségnek csak belső határoló szerkezete van, transzmissziós hővesztése vagy hőnyeresége a teljes fűtési idény folyamán állandó. Abban az esetben, amikor a helyiségnek van külső határoló szerkezete, és ugyanakkor van eltérő hőmérsékletű szomszédos helyiség is, a transzmissziós alaphővesztés változása a legkülönbélebb meredekségű egyenesekkel ábrázolható, aszerint, hogy a belső határoló szerkezeteken áthaladó hőáram (nyereség vagy veszteség) hogyan aránylik a külső határoló szerkezeteken áthaladó hőáram egy kitüntetett (méretezési) értékéhez. Maga az arány is egyébként a külső hőmérséklet függvényében változik (3.10).

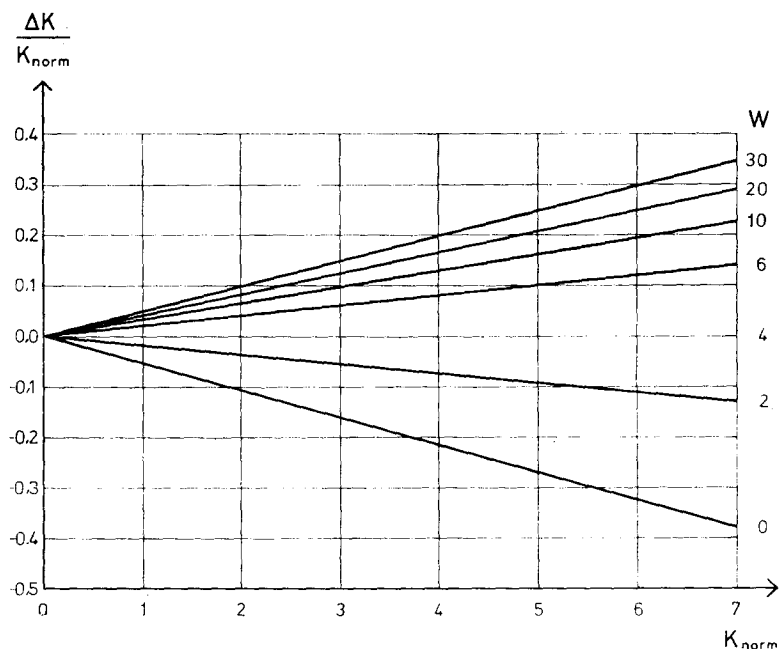


3.10. ábra. A relatív hőigény változása a szomszédos helyiségekkel folytatott hőcsere ( $Q_i$ ) függvényében

A külső határoló szerkezeteken áthaladó hőáramot lényegesen befolyásolhatja a szél hatása. A külső hőátadási tényező ugyanis többek között a szél sebességének függvénye. Minél kisebb a határoló szerkezet hővezetési ellenállása, annál inkább érvényesül a külső hőátadási tényező változásának hatása (3.11. ábra). Gyengébb hőszigetelésű szerkezet pedig szinte minden esetben előfordul: az üvegezett felületek és a külső nyílászárók hőátbocsátási tényezője a szél hatására jelentősen változik, és e változás hatása e szerkezetek kis hőtároló képessége következtében szinte azonnal érvényre is jut.

#### A szél hatása

A szél hatása tehát adott külső feltételek mellett a külső határoló szerkezetek hőszigetelésének, hővezetési ellenállásának függvénye. Az alaphővesztés változása szempontjából lényeges kérdés még,



3.11. ábra. A hőátbocsátási tényező változása a szélesebbesség ( $w$ ) függvényében

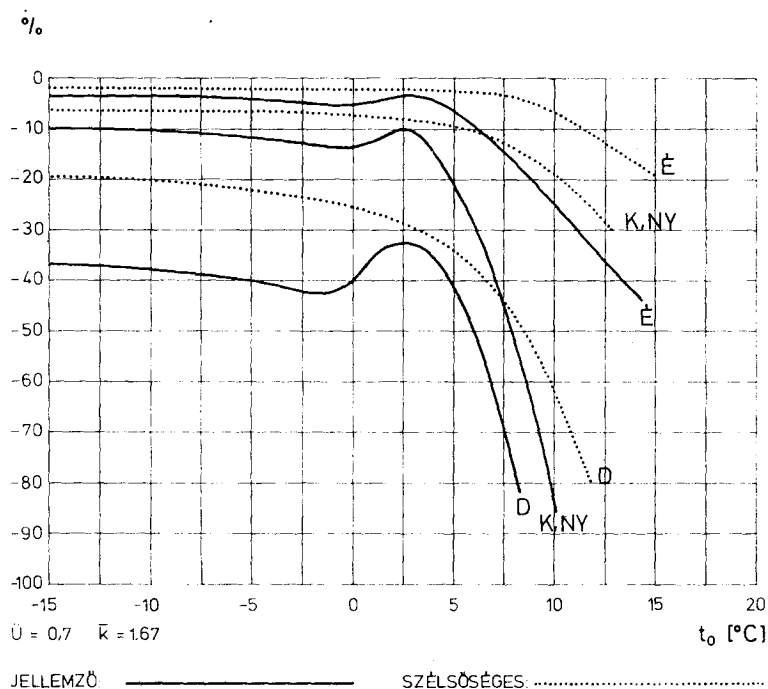
hogy annak mekkora hányada jut a külső és mekkora hányada a belső határoló szerkezetekre. Miután a külső hőmérséklet és a szélesebbesség közötti korreláció igen gyenge, nem rajzolható fel olyan függvény, amely a külső hőmérséklet, a szélesebbesség és a szél hatására módosuló alaphővesztés összefüggését ábrázolná. A szél hatása gyakorlatilag véletlenszerű.

A szél hatását az alaphővesztés kiigazításával az ún. szélpótlékkal fejezik ki. Ezt a műveletet nyilvánvalóan csak a külső határoló szerkezeten át távozó hőáramra lehet és kell alkalmazni. Helytelen minden olyan méretezési eljárás, amely a szélpótlékokat a belső határoló szerkezeteken át fellépő hőáramokra is alkalmazza.

Az alaphővesztésen kívül a szél hatása befolyásolja a helyiség filtrációs levegőforgalmát is, ez azonban, mint a transzmissziós hővesztéstől független jelenség, külön vizsgálatot igényel.

#### A napsugárzás hatása

A külső határoló szerkezeten áthaladó hőáramok nagyságát lényegesen befolyásolhatja a napsugárzás hatása is. Az épület külső határoló felületei ugyanis a beeső napsugárzásból elnyelt hányad

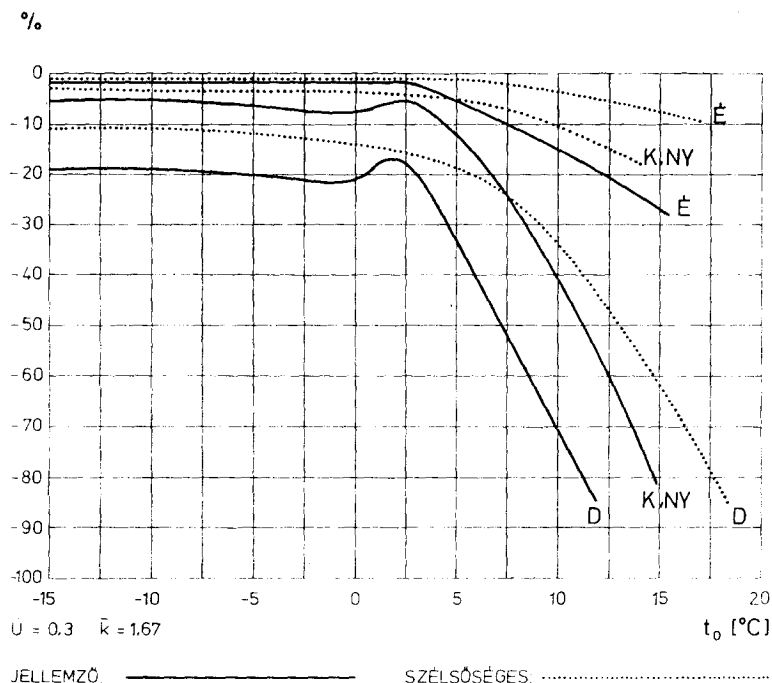


3.12. ábra. A relatív hőigény változása a napsugárzási hőterhelés függvényében

következtében felmelegednek, következésképpen csökken a rajtuk át a helyiségből a környezetbe távozó hőáram. E hatást fejezi ki a fiktív külső hőmérséklet, az ún. naplég-hőmérséklet (lásd 2.16 pont). Hogy a tárgyalt jelenség milyen mértékű hatást gyakorol a hőáramra, azt a hőátbocsátási tényező fiktív megváltozásával kifejezett formában a 2.5. ábra mutatja be. A jelenség az abszorpciós tényezők és a környezeti adottságok függvényében változóan a külső határoló szerkezeteken áthaladó hőáram korrekcióját teszi szükségessé.

Az alaphővesztés csökkenésén kívül igen jelentős a fűtési hőszükséglet csökkenése is. Ha ugyanis a helyiségnek sugárzást át-bocsátó külső határoló szerkezete is van, azon át a helyiségbe napsugárzásból származó hőterhelés jut. Ennek értékével a fűtőtellej-sítmény csökkenthető.

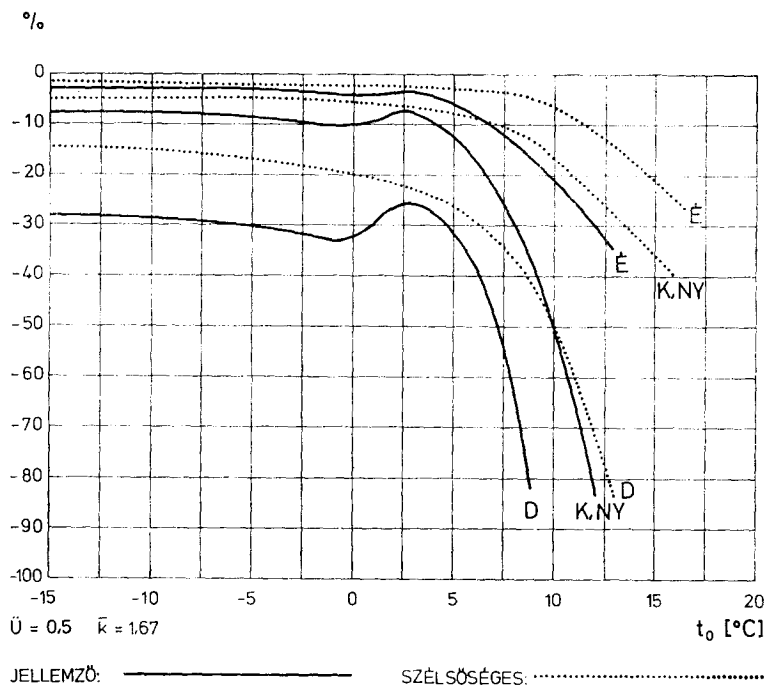
A napsugárzásból származó hőterhelés abszolút értéke növekvő külső hőmérséklettel növekvő jelleget mutat, ugyanis a fűtési időny szélső hónapjaiban a külső hőmérséklet is és a napsugárzás



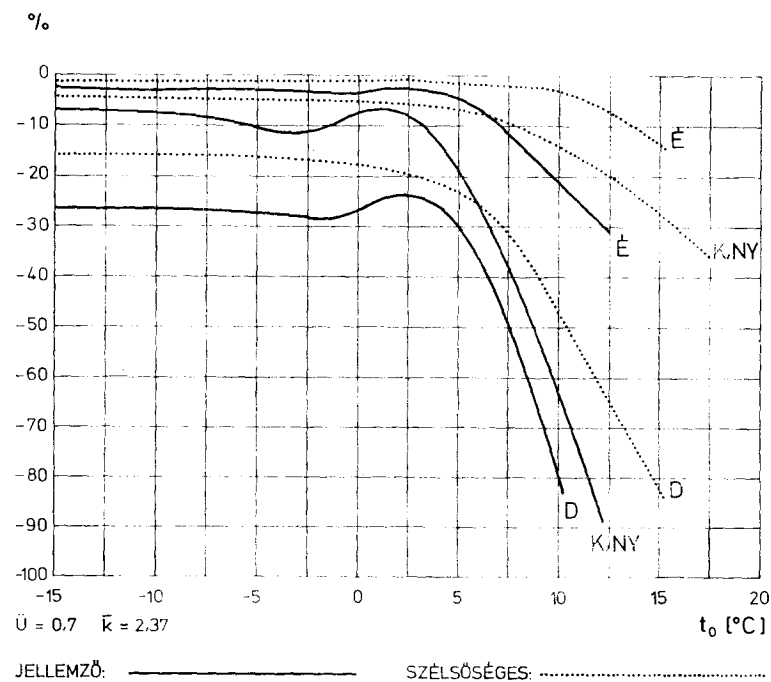
3.13. ábra. A relatív hőigény változása a napsugárzási hőterhelés függvényében

intenzitásának várható értéke is nagyobb. Még erősebben nő relatív értéke, hiszen egyre nagyobb hőterhelés jut a külső hőmérséklet növekedésével egyre kisebb alaphővesztésre.

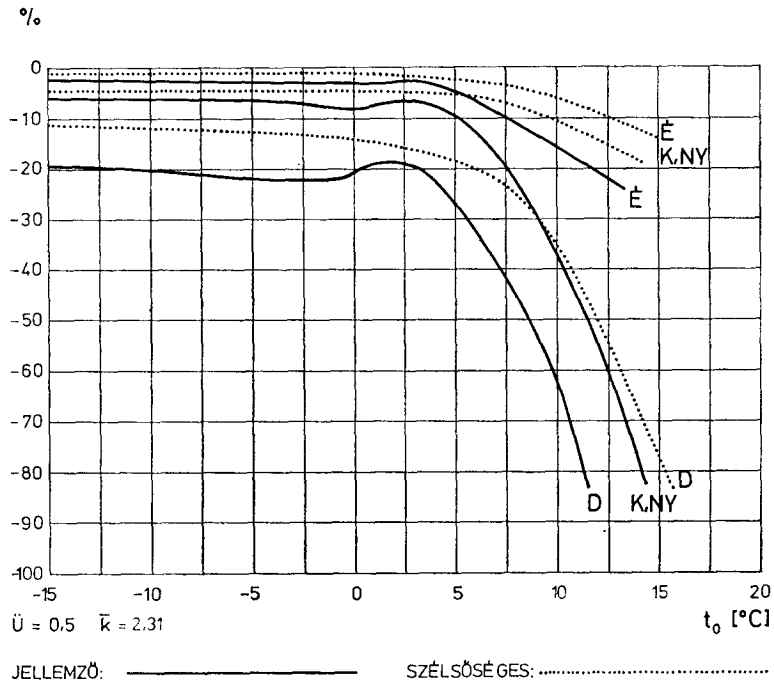
A napsugárzás következtében annál inkább csökken a fűtési hőszükséglet, minél könnyebben jut be a napsugárzás a helyiségbe és minél nehezebben jut ki a hőáram a helyiségből (a külső határoló szerkezetek átlagos hőátbocsátási tényezője kicsiny). Persze némileg ellentmondásosnak tűnik az olyan külső határolás, amelynek lehető legnagyobb hányada árnyékolatlan üvegezés és ugyanakkor az átlagos hőátbocsátási tényezője kicsiny. A hagyományos gyakorlat eszközeivel is készíthető azonban három- vagy négyrétegű üvegezés (ami pl. mindennapos a skandináv országok gyakorlatában). Alkalmazható továbbá két- vagy több rétegű hőszigetelő üvegezés, amelynek hőátbocsátási tényezője az üvegtáblák közötti gáztöltet alkalmas megválasztásával, az üvegfelületek infravörös sugárzását gátló bevonatolásával igen alacsony értékre leszorítható ( $1,7-2 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ). A hagyományostól merőben eltérő megoldást



3.14. ábra.  
A relatív hőigény  
változása a  
napsugárzási  
hőterhelés  
függvényében



3.15. ábra.  
A relatív hőigény  
változása a  
napsugárzási  
hőterhelés  
függvényében

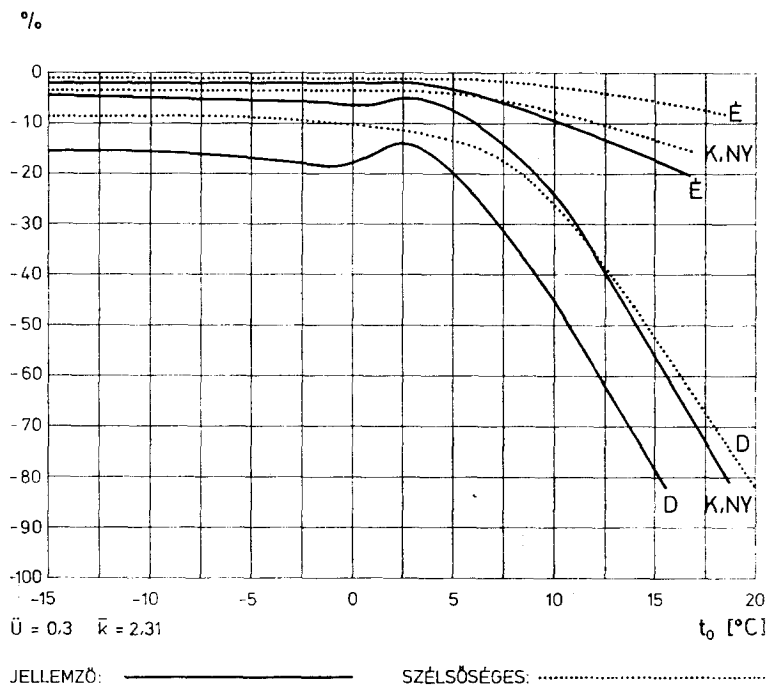


**3.16. ábra.** A relatív hőigény változása a napsugárzási hőterhelés függvényében

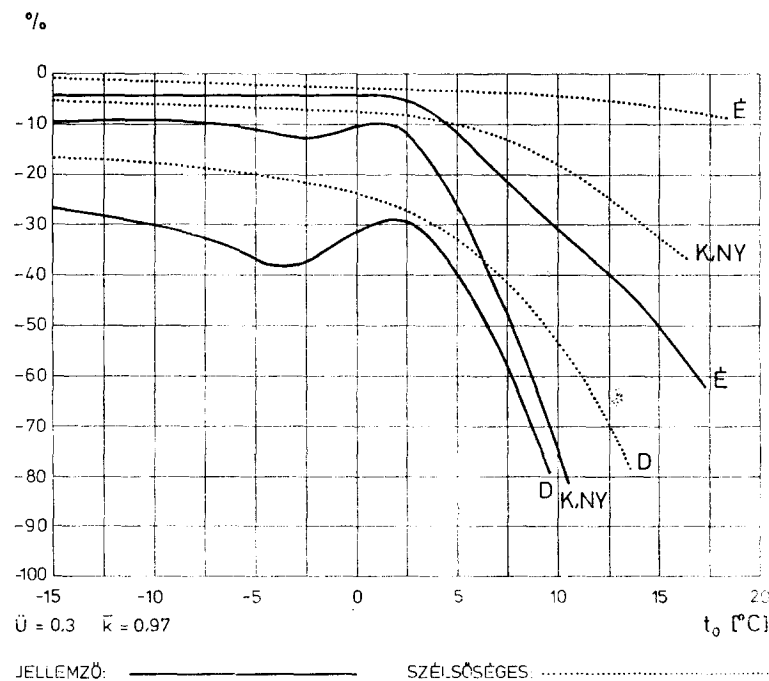
elent a szellőztetett ablakok alkalmazása (lásd 2.2 alfejezet), amelyeknél az üvegtáblák közötti tér egyszersmind a légtechnikai hálózat egyik eleme is. Ezek egyenértékű fiktív hőátbocsátási tényezője jobb, mint a hagyományos falszerkezeteké. E megoldás természetesen csak légtechnikai rendszerrel ellátott épületekben alkalmazható.

Azt a tényt, hogy nem csekély energiáról van szó, a 3.12. → 3.18. ábrák jól szemléltetik. Az ábrákon feltüntetett görbék azt mutatják, hogy a különböző külső hőmérséklet mellett a külső határoláson távozó hőáramok hány százalékával egyenértékű a napsugárzásból származó hőterhelés, ha a napsugárzás intenzitásának igen alacsony (4% alatti valószínűséggel fellépő) értékét (folytonos görbe), vagy várható átlagértékét (szaggatott görbe) veszik figyelembe.

Az első adat a fűtőtéljesítmény, a második adat a fűtési energiafogyasztás szempontjából meghatározó. Az üvegarány, a nap-tényező és a külső határolás átlagos hőátbocsátási tényezőjének függvényében rendezett ábrák a felsorolt építészeti, épületszerke-

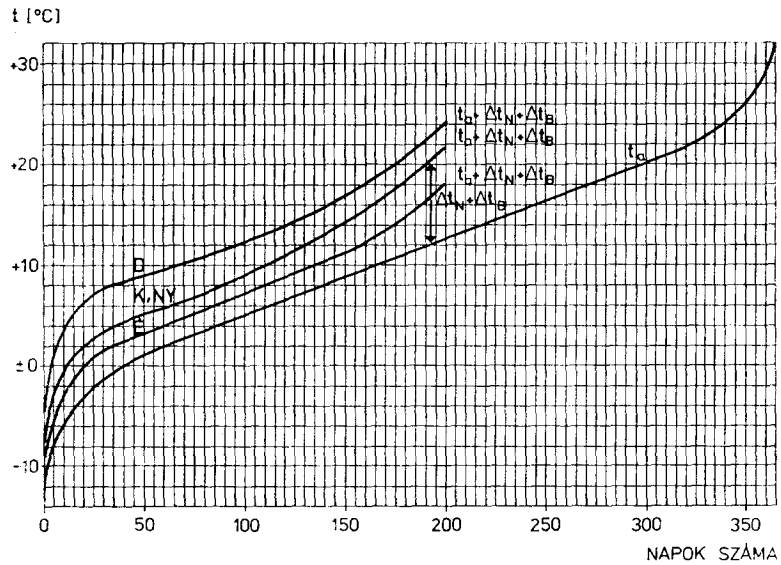


3.17. ábra.  
A relatív hőigény  
változása a  
napsugárzási  
hőterhelés  
függvényében



3.18. ábra.  
A relatív hőigény  
változása a  
napsugárzási  
hőterhelés  
függvényében





$t_a$  KÜLSŐ HŐMÉRSÉKLET

$\Delta t_N$  A NAPSUGÁRZÁS HATÁSÁT KIFEJEZŐ EGYENÉRTÉKŰ HŐMÉRSÉKLETKÜLÖNBSÉG

$\Delta t_B$  A LAKÓSZOBA BELSŐ HŐTERHELÉSÉNEK HATÁSÁT KIFEJEZŐ EGYENÉRTÉKŰ HŐMÉRSÉKLETKÜLÖNBSÉG

**3.19. ábra.** A napsugárzás hatását kifejező egyenértékű hőmérséklet eloszlásfüggvénye

zeti jellemzők hatását jól bizonyítják. Kedvező tájolás esetén a napsugárzásból átlagosan várható hőterhelés olyan nagy, hogy 7–12 °C külső hőmérséklet mellett már egyenlő a külső határoláson át távozó hőárammal (3.19. ábra).

A napsugárzás hatása szintén az alaphővesztesség kiigazítását teszi szükségessé. Miután a jelenség a helyiség sugárzásátbocsátó külső határolásának tájolásától is függ, a tervezési gyakorlatban a kiigazítást az égtájpótlék alkalmazásával végzik. Nyilvánvaló, hogy

az égtájpótlék csak a külső határoláson át távozó hőáramokra alkalmazható, hiszen a külső határolás jellemzőinek függvénye;

a kiigazítás a tájoláson kívül a korábban ismertetett építészeti, épületszerkezeti jellemzőktől is függ;

az égtájpótlék negatív, hiszen egy hőterhelés hatását tükrözi;

az égtájpótlék tervezési értéke ugyan előírható, de valójában a napsugárzás hatása és ezzel az égtájpótlék pillanatnyi (szükséges) értéke is változik.

Amennyire könnyen belátható a jó hőszigetelés és a nagy napsugárzási hőnyereség kedvező hatása a fűtési energiafogyasztásra (és ezzel együtt az utóbbi kedvező hatása a mesterséges világítás energiafogyasztására is), annyira nyilvánvaló az is, hogy ugyanilyen adottságok mellett a nyári időben a hőérzet kibírhatatlanná, a hűtési energiafogyasztás pedig mondhatni katasztrofálissá válna. De az állítás fordítva is igaz: a csak a nyári feltételek kielégítése szempontjából tervezett megoldások (kis üvegezési arány, kicsiny naptényező, azaz „jó” árnyékolás) tetemesen megnövelik a fűtési és világítási energiafogyasztást. Utóbbi esetben ugyan nem szokás katasztrófáról beszélni, hiszen általában elfogadott tény, hogy a magyarországi klimatikus feltételek mellett az egész éven át használt épületek csak fűtőberendezéssel készíthetők („legfeljebb” az a kérdés, hogy milyen teljesítménnyel és fogyasztással); élesebben jelentkezik viszont az a kérdés, hogy egyáltalán szükség van-e mesterséges hűtésre nyáron, avagy a hőérzeti követelmények energiafogyasztás nélkül, megfelelő építészeti megoldással is kielégíthetők-e. Ez az oka annak, hogy a nyári üzemeltetés szempontjai nem ritkán túlzott hangsúlyt kapnak.

A megoldás elve és módja a valamennyi üvegezésre, árnyékolásra, fűtőberendezésre, hűtőberendezésre, világításra fordított beruházási költségvonatból és a teljes évi fűtési, hűtési és világítási üzemeltetési költségéből képezett összköltség minimumának megkeresése. Ez természetesen igen igényes, számos változat elemzését jelentő tervezői feladat.

Az ellentétes követelmények viszonylag könnyebben kielégíthetők, ha egyes jellemzők nem rögzített, hanem *változtatható* értékek, azaz

- a naptényező — mozgatható, hatékony árnyékoló szerkezetek alkalmazásával — tág határok között változtatható (ez a fűtési energiafogyasztás szempontjából is előnyös, mert éjjel az ablakon át távozó hőáramot mérsékli);

- a naptényező az alkalmasan szerkesztett fix árnyékoló szerkezetek következtében — a beesési szögek változása miatt — télen nagyobb, nyáron kisebb (ez a lehetőség eléggé korlátozott, az ellentétes „működésű” megoldásra viszont sok példa van);

- a légtechnikai rendszer részét képező szellőztetett ablak révén nyáron a hőterhelés jelentős részét a távozó szellőző levegő veszi fel, télen az ablakon át a környezetbe jutó hőáram nem a helyiségből, hanem a távozó szellőző levegőből származik.

A transzmissziós hőveszteség számítására szolgáló egyszerűsített összefüggés alkalmazhatóságának egyik kritériuma az az egyszerűsítő feltevés, hogy a helyiséget határoló felületek súlyozott átlagos

**A burkoló felületek  
hőmérsékletének  
hatása**

hőmérséklete és a helyiség levegőjének hőmérséklete közötti különbség csekély. Ez a feltételezés igaz, ha

a külső határoló felületek a teljes határoló felületnek kis hányadát teszik ki (pl. csak egy külső fallal bíró helyiség esetén), és/vagy

a külső határoló felületek jól hőszigeteltek.

Amennyiben a két feltétel valamelyike nem teljesül, a számítás kiigazításra szorul. Megjegyzendő, hogy a kiegészítés nem elsősorban azért szükséges, mintha ez a transzmissziós hőveszteséget lényegesen módosítaná, hanem a méretezés végső céljának, a jó hőérzetnek elérése végett.

A helyiségben tartózkodók hőérzetét ugyanis hátrányosan befolyásolja az, ha a test felületéről a határoló felületek felé sugárzással távozó hőáram nagy — vagy azért, mert a felület hideg, vagy azért, mert a besugárzási tényező nagy. A normálisnál nagyobb sugárzások hőleadás — a teljes mérleg tekintetében — a léghőmérséklet megemelésével, azaz a konvektív hőleadás csökkentésével kompenzálható. A kompenzálás lehetőségei azonban *nem korlátlanok*; a sugárzások hőáram ugyanis — a határoló felületek helyzetének megfelelően irányított, az ebből származó aszimmetria bizonyos határon túl önmagában véve kellemetlen hőérzetet, huzatérzetet eredményez.

A léghőmérséklet emelésével természetesen a határoló felületek hőmérséklete is kismértékben megemelkedik. A magasabb helyiség-hőmérséklet következtében ugyancsak nagyobb lesz a hőveszteség. Ebből az a következtetés is levonható, hogy a rossz hőszigetelésű helyiség fűtési energiafogyasztása fokozott mértékben nő: nemcsak a nagyobb hőátbocsátási tényező, hanem a kielégítő hőérzet biztosítása végett megemelt belső léghőmérséklet miatt is.

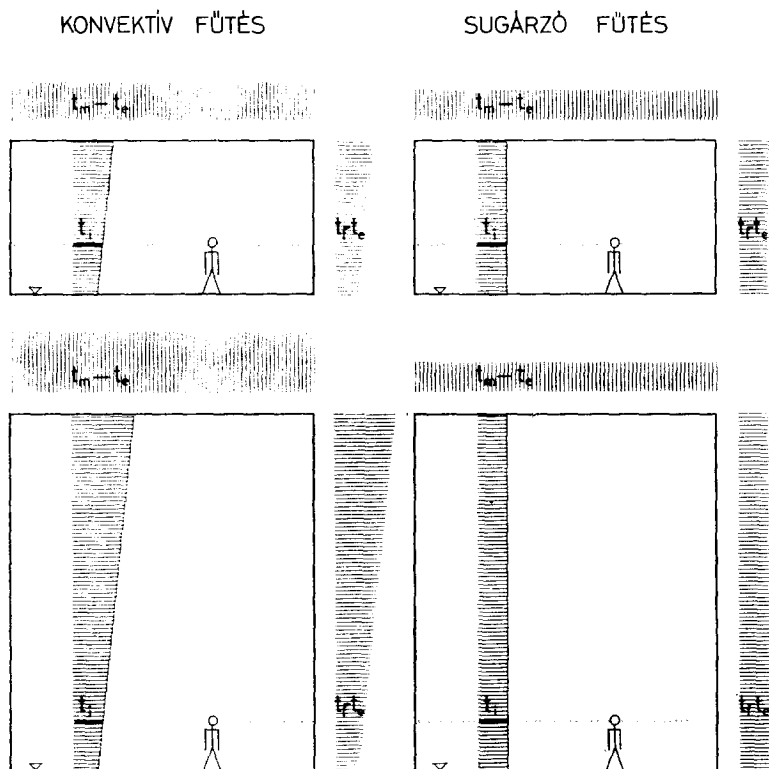
**A helyiség  
magasságának  
hatása**

A transzmissziós hőveszteség számítására szolgáló összefüggés egyik egyszerűsítő feltétele az, hogy a helyiségen (téren) belül a léghőmérséklet eloszlása egyenletes. Valós körülmények között persze ez függ a helyiség (tér) méreteitől, a fűtőberendezés kialakításától és számos egyéb tényezőtől. Nagyméretű helyiségek, csarnokjellegű terek méretezése során a helyiségen (téren) belüli léghőmérséklet-eloszlás célszerű és tudatos befolyásolásával jelentős fűtőteljesítmény és fűtési energia takarítható meg.

A léghőmérséklet-eloszlás befolyásolása azért okoz komoly nehézségeket, mert a sűrűségkülönbség következtében kialakuló természetes rétegződéssel ellentétes állapotot kell fenntartani. Az észszerűség ugyanis nyilván azt követelné, hogy a helyiség alsó, ember-

magasságú rétegének, a tartózkodási vagy munkazónának a hőérzeti viszonyai legyenek megfelelőek, az efelett elhelyezkedő térben legyen minél alacsonyabb a hőmérséklet, hiszen annál kisebb a csarnok transzmissziós hővesztesége.

Nyilvánvaló, hogy ilyen helyzetet hagyományos ún. „konvekciós” fűtéssel (bordáscsővekkel, radiátorokkal) elérni nem lehet. A léghőmérséklet növekedése a magasság függvényében igen jelentős. A transzmissziós hőveszteség számítására szolgáló összefüggésben a helyiség-hőmérséklet átlagértékként értelmezendő. Természetesen az embermagasság többszörösét kitevő belmagasság esetén ez az átlagérték már a tartózkodási zóna fölé esik. Annak érdekében tehát, hogy az előírt állapotok a tartózkodási zónában legyenek biztosítva, hogy a léghőmérséklet a legalsó, leghidegebb zónában érje el az előírt értéket, az átlagértéket fel kell emelni, a tartózkodási zóna feletti egész teret túl kell fűteni (3.20. ábra).



3.20. ábra. A hőmérséklet-eloszlás és a fűtőberendezés hatása a hőveszteségre: a tartózkodási zónában a hőmérséklet (hőérzet) mindegyik esetben azonos

Hasonló helyzet alakul ki hagyományos megoldású szellőző légfűtés alkalmazása esetén is, azzal súlyosbítva, hogy vagy a tartózkodási zóna átöblítése nem biztosítható megnyugtató módon (hiszen a sebességét veszített meleg levegő a felső térrészbe jut), vagy pedig a kielégítő átöblítés csak a ténylegesen szükségesnél lényegesen több szellőző levegővel érhető el, ami további energia-pazarlással jár.

Az energiatakarékos és ugyanakkor hőérzetileg is kedvező megoldás egyik lehetősége a sugárzófűtés alkalmazása. Ekkor ugyanis a fűtőtestek teljesítményének jelentős hányada hősugárzás formájában, kizárólag a hőleadó felületek megfelelő irányítása révén közvetlenül a tartózkodási zónába juttatható. Az emberi test felületét érő hősugárzással kellemes hőérzet biztosítható. A fűtőteljesítmény konvekció révén leadott hányada kisebb, és a léghőmérséklet egyébként is jóval alacsonyabb értéken tartható, hiszen az eredő hőmérséklet — a sugárzó fűtőfelületek magas hőmérséklete miatt — éppen így tartható az optimális szinten.

A sugárzófűtés alkalmazása — annak következtében, hogy a lég-hőmérséklet alacsonyabb és függőleges eloszlása kedvezőbb — a korábban említett „hagyományos” megoldásokhoz viszonyítva 20–50%-os energiamegtakarítást eredményez a belmagasságtól és a helyiség egyéb adottságaitól függően.

Ha a vizsgált helyiség funkciója gépi szellőztetés alkalmazását is szükségessé teszi, kedvező eredmény érhető el olyan szellőztető rendszerrel, amely a lehető legalacsonyabb hőmérsékletű levegőt juttatja a helyiségbe oly módon, hogy a befűvott levegő a helyiség levegőjével elkeveredve, ezáltal felmelegedve egyenletesen öblítse át a tartózkodási zónát.

Általános érvényű szabály a célszerű megoldásra nem adható, mert az egyes eseteket igen sok egyedi sajátosság jellemzi. Ha pl. a csarnok közösségi célú (színház), körvonala, határoló felülete igen bonyolult formájú is lehet, síkok helyett görbe, sőt torz felületek is határolhatják és az energiatakarékosságon kívül még igen sok szempontot (pl. a zajvédelmet) kell mérlegelni. Ha egy ipari üzemcsarnokról van szó, az adottságok és az épületgépészeti rendszerek olyan alapvető egymásba illesztésén túl, hogy az épületgépészeti rendszerek a technológiai rendszerek telepítését, áttelepítését, használatát (gépalapok, darupályák, konveyorok) ne zavarják, hőtechnikai illesztés is szükséges, hiszen a technológiai berendezések és a világítás hőleadása, a be- és kiszállított munkadarabok tömege és hőmérséklete, a kapunyitások, a meleg felületekről kiinduló konvektív feláramlások jelentősen befolyásolhatják az energiaigényt, a függőleges hőmérséklet-eloszlást, a tartózkodási zóna átöblítését.

Az egyedi esetek gondos mérlegelése, a pontosabb méretezés kétségtelenül nagy tervezői felkészültséget, gondos és magas színvonalú tervezési, kutatási, sőt esetleg kísérleti munkát is igényel, de nagy és költséges létesítményekről lévén szó, az alapos előkészítés költségei a tapasztalat szerint sokszorosan megtérülnek.

A hőveszteség számítására szolgáló egyszerűsített összefüggés egyik alapja a stacioner viszonyok feltételezése volt. Bizonyos, korábban tárgyalt elhanyagolásokkal a környezetet jellemző adatok állandósága feltételezhető. Nyilvánvalóan feltételezhető a helyiség-hőmérséklet állandósága is folytonos üzemű fűtés esetén. Sok esetben azonban célszerűbb a fűtés szakaszos üzemeltetése, hiszen bizonyos helyiségfunkciók nem is igényelnek állandó, azonos szintű belső hőmérsékletet. A fűtőberendezés szakaszos üzemeltetése energiamegtakarítással jár, ugyanakkor többletjeljesítményt igényel.

A fűtőberendezés szakaszos üzemeltetése tulajdonképpen pulzáló hőterhelésként hat a helyiségre (lásd 3.13 pont). Ennek megfelelően a helyiség-hőmérséklet változása a 3.21. ábra szerinti lesz. Az, hogy a helyiség-hőmérséklet az üzemszünet végére meddig süllyed, az a helyiséget határoló felületek hőelnyelési tényezőjétől ( $Y$ , lásd 3.13 pont) és hőátbocsátásától ( $D$ , lásd 3.11 pont) függ. A lehűlés kicsiny,

ha  $Y$  nagy, mert akkor a helyiséget határoló szerkezetekből nagy hőmennyiség vonható el, anélkül, hogy azok hőmérséklete számottevően csökkenne;

ha  $D$  kicsiny, mert akkor a kis felületű vagy jó hőszigetelésű határoló szerkezeteken át távozó hőáram kicsi.

Ha a lehűlés kicsi, akkor az üzemszünet alatt a helyiség és a környezet hőmérséklet-különbsége és ezzel együtt a helyiség hővesztesége csak kismértékben csökken az üzemidőhöz viszonyítva (3.21. ábra). Következésképpen a fűtés szakaszos üzemeltetésével elérhető energiamegtakarítás is csekély (3.21. ábra), hiszen a fűtőberendezés révén a helyiséggel naponta annyi hőt kell közölni, mint amennyi a helyiségből egy nap alatt a környezetbe távozott. Az üzemszünet alatt a hőveszteséget a szerkezetekben tárolt hő kisülése fedezte; az üzemidő végére a fűtőberendezés révén ezt vissza kell juttatni a szerkezetekbe (3.21. ábra). Éppen a nagy hőelnyelési tényező miatt a szerkezet, a helyiség „visszamelegítése” csak lassan és jelentős többlet-fűtőteljesítménnyel lehetséges.

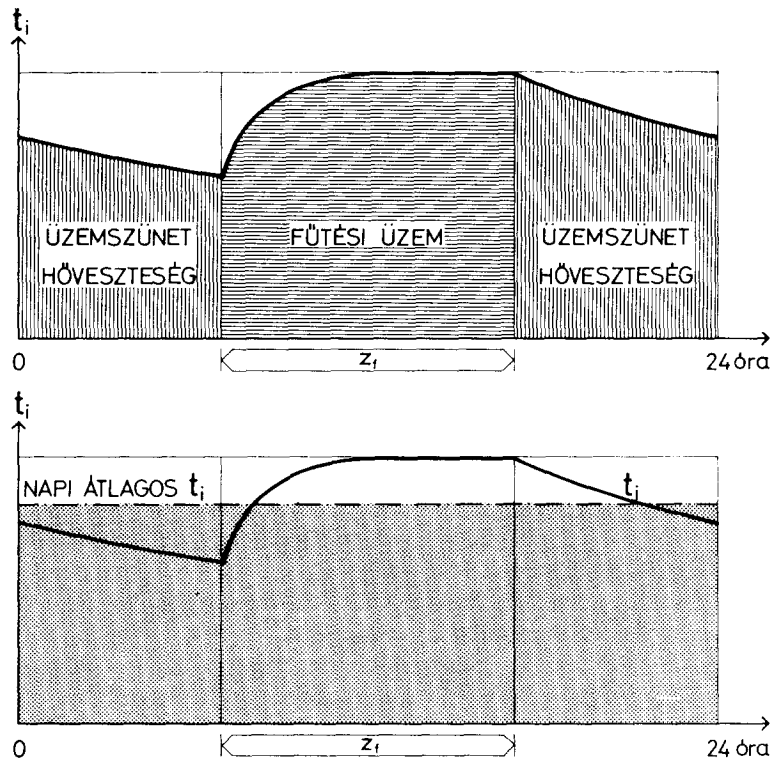
Az előzők alapján nyilvánvaló, hogy

ha  $Y$  kicsiny, akkor a helyiséget határoló szerkezetek már kevés hőmennyiség elvonása után is számottevően lehűlnek;

**A fűtési üzem és a hőveszteség**

ha  $D$  nagy, a határoló szerkezeteken át távozó hőáram nagy, vagyis a helyiség gyorsan és jelentős mértékben lehűl.

Ennek következtében az üzemszünet alatt a helyiség hővesztésege kicsi, ezért a szakaszos üzemeltetéssel elérhető energiamegtakarítás



3.21. ábra. A hőszükséglet napi változása szakaszos fűtés mellett

nagy. Miután az üzemszünet alatt a helyiségből viszonylag kevés hő távozik, az üzemidő alatt kevés hőt kell visszatáplálni a szerkezetekbe (3.21. ábra). Éppen ezért a helyiség visszamelegítése gyorsan, viszonylag kis többlet-fűtőteljesítménnyel lehetséges.

Általános szabály a tekintetben sincs, hogy melyik eset az előnyösebb. Ha a helyiség használata időszakos (pl. iroda), az erős lehűlés hőérzeti problémát nem okoz, az elérhető energiamegtakarítás jelentős, de rugalmas, jól szabályozható fűtési rendszerre van szükség. Ha a helyiség használata folyamatos, vagy nincs rögzített idő-

beosztáshoz kötve, hőérzeti szempontból a csekély lehűlés kívánatos. Így az elérhető energiamegtakarítás is csekély, de a helyiség a különféle zavarásokra érzéketlen, a fűtési üzem rövidebb idejű korlátozása, mérséklése egyéb igényekhez is igazítható (pl. használati melegvíztermelés, csúcsrajátás).

Az előző fejtegetésben természetesen mindig a folyamatos fűtés energiafogyasztásához viszonyított energiamegtakarításról és a folyamatos fűtés teljesítményigényéhez viszonyított teljesítménytöbbletről volt szó. Ez utóbbi többlet fűtőfelület beépítését is igényli, ha a szakaszos üzemeltetést a legalacsonyabb külső hőmérséklet mellett is fenntartják. Nincs szükség többlet-fűtőfelületre akkor, ha az üzemszünet hosszát alacsony külső hőmérséklet esetén csökkentik, szélsőséges feltételek esetén folyamatos üzemre térnek át. Ekkor a helyiség visszamelegítéséhez szükséges többlet-teljesítmény a fűtési idény nagyobb részében megfelelő szabályozással biztosítható.

Az eddigi áttekintésből nyilvánvaló, hogy az alaphővesztés egy-egy számos tényező befolyásolja. Ezek közül egyesek közvetlenül módosítják a határoló szerkezeteken áthaladó hőáramokat, mások a hőérzet, a helyiség léghőmérsékletének egyenlőtlen eloszlása, a fűtőberendezés üzemeltetése révén közvetve hatnak. Elvi és gyakorlati szempontból egyaránt hangsúlyozandó, hogy eddig csak transzmissziós hővesztésről volt szó, tehát a hőátbocsátási tényezők a meghatározásuk szerint értendők, még a nyílászárók vonatkozásában is. A légáteresztés hatását is tartalmazó fiktív hőátbocsátási tényezők használata súlyos hiba! A réseken beszűrődő levegő felmelegítéséhez szükséges hőáram ugyanis nem azoktól a tényezőktől függ, amelyekről a transzmissziós hőáram.

**A transzmissziós  
hővesztés**

Ugyanilyen okból nem volt szó eddig olyan kiigazításokról, pótlékokról sem, amelyek a helyiségekbe jutó külső levegő felmelegítésére szükséges hőáram figyelembevételét célozzák. Ez a hőáram ugyanis nem fejezhető ki a transzmissziós hőáramok korrekciójával, egy-két paraméter (fekvés, szintszám) függvényében az alaphővesztés bizonyos százalékaként meghatározva, mégpedig egyszerűen azért, mert nem azoktól a dolgoktól függ, amelyekről az alaphővesztés. Bizonyítás nélkül is belátható, hogy a fal vagy a földem felülete, a falszerkezetek hőátbocsátási tényezője, a két szomszédos helyiség közötti belső falon áthaladó hőáram stb. és a helyiségbe bejutó külső levegőáram között semmiféle összefüggés nincs.

A korábbi elemzésekből nyilvánvaló, hogy a fűtőberendezés által leadandó teljesítmény nem egyezik meg a kiigazított transzmissziós hővesztéssel.

**A fűtési  
hőszükséglet**



Az eltérés oka egyrészt a helyiségekbe bejutó külső levegő felmelegítéséhez szükséges hőáram, másrészt a helyiségekben működő spontán források erőssége.

Kevés számú kivételtől eltekintve a helyiségekbe több-kevesebb külső levegő jut. (Kivételnek tekinthetők a gázzáró szerkezettel épített helyiségek, mint pl. mesterséges – szén-dioxiddal dúsított – „atmoszférájú” hűtőtárolók, légtechnikai rendszerrel túlnyomás alatt tartott helyiségek.) Hangsúlyozandó, hogy a mesterséges szellőztetés önmagában még nem biztosítja a külső levegő bejutásának megakadályozását, csak olyan esetekben, amikor a levegő befúvási nyomáskülönbsége meghaladja a helyiség és a külső tér közötti lehetséges legnagyobb nyomáskülönbséget.

A helyiség és a környezet közötti levegőforgalom a nyílászárók résein, a panelek és más építési elemek illesztési hézagain, egyes esetekben a légáteresztő szerkezetek felületein és a szellőzőnyílásokon, kürtőkön keresztül játszódik le. A levegő mozgását előidéző ok lehet a sűrűségkülönbségből származó felhajtóerő, a szél okozta torlónyomás, a kiegészítő elszívó szellőző berendezés működése. A jelenség leginkább *filtráció*, *filtrációs levegőforgalom* néven ismert. A levegő mozgási iránya szerint az elnevezés *infiltráció*, ha a levegő áramlik helyiségbe és *exfiltráció*, ha a helyiségből áramlik. *Filtrációs hőszükségletnek* nevezik azt a hőáramot, amely a helyiségbe infiltrálódó légáramot a belső léghőmérsékletre felmelegíteni képes. Ezt a hőáramot a fűtőberendezéssel kell lefedezni, tehát a fűtési hőszükséglet (azaz a szükséges fűtőteljesítmény) a transzmissziós hőveszteség és a filtrációs hőszükséglet összege. A transzmissziós hőkarakterisztika analógiájára megadható a helyiség *filtrációs hőkarakteristikája*,  $q_f$  is, amely a helyiségbe jutó levegő hőmérsékletének egységnyi megnöveléséhez szükséges fűtőteljesítményt fejezi ki. A transzmissziós és a filtrációs hőkarakteristikák összege,  $q = q_f + q_t$  a helyiség teljes hőkarakteristikája.

A levegőáramra felírható mérlegegyenletből nyilvánvaló, hogy amennyi levegő egy helyiségbe bejut, ugyanannyinak onnan el is kell távoznia. Csarnokokban, több homlokzatra néző helyiségekben lehetséges, hogy az infiltrálódó levegő a környezetből jut a helyiségbe és az exfiltrálódó levegő a környezetbe áramlik a helyiségből. Több helyiségből álló, cellás épületekben általában a környezetből a helyiségbe infiltrálódó levegő egy vagy több másik helyiségbe jut tovább, illetve számos helyiségbe egy vagy több másik helyiségből áramlik be a levegő. Ez utóbbi esetben a helyiségnek filtrációs hőnyeresége is lehet, ha az infiltrálódó levegő hőmérséklete magasabb, mint a szóban forgó helyiség levegőjének hőmérséklete.

Tekintettel arra, hogy a filtrációs levegőforgalom a valamennyi helyiségből, nyílászáróból, légátbocsátó elemből álló bonyolult aerodinamikai rendszer, azaz az egész épület függvénye, a filtrációs levegőforgalom és a filtrációs hőszükséglet meghatározása *csak az egész épületre vonatkozó számítás alapján lehetséges.*

A fűtőtéljesítmény meghatározásánál figyelembe vehető a helyiségben működő spontán források erőssége. Ahogy a nyári hűtőtéljesítmény meghatározásánál figyelembe veszik az emberek, a világítás, a technológiai berendezések hőleadását (lásd 3.23 pont), ugyanúgy a fűtőtéljesítmény is csökkenthető ezzel a hőterheléssel. A gyakorlatban e belső hőterheléseket rendszerint elhanyagolják, hiszen így a méretezés „biztonságát” növelik; jó szabályozás mellett az üzemeltetés során azonban e belső hőterhelések hatása érvényesül. Több esetben lényeges kockázatnövekedés nélkül csökkenteni lehetne a fűtési rendszerek beruházási költségét ama belső hőforrások figyelembevétele útján, amelyek működése, erőssége, „menetrendje” nagy valószínűséggel előre meghatározható.

### 3.22 A szélsőséges állapotok

Ha a külső hőmérséklet a  $z = z_0$  időpontban ugrásszerűen  $\Delta t_e$  értékkel csökken, akkor a helyiség-hőmérséklet és a környezet hőmérséklete közötti különbség a  $z = z_0$  időpontban  $\Delta \vartheta = \Delta t_e$  értékkel ugrásszerűen megnő.

Legyen a helyiség hőtároló képessége  $W$ , hőkarakterisztikája  $q$ . A megnövekedett hőmérséklethez viszonyítva a  $z = z_0$  időpontban a határoló szerkezetekben és a helyiségben uralkodó hőmérséklet-különbségek „túl nagyok”. A hővesztesség is megnövekedett, a nagyobb hőmérséklet-különbség miatt a környezetbe nagyobb hőáram távozik, amelyet – miután a fűtőtéljesítmény nem változott – a helyiség által tárolt hő csökkenése fedez. A mondottakat a

$$q \vartheta dz = -W d\vartheta \quad (3.31)$$

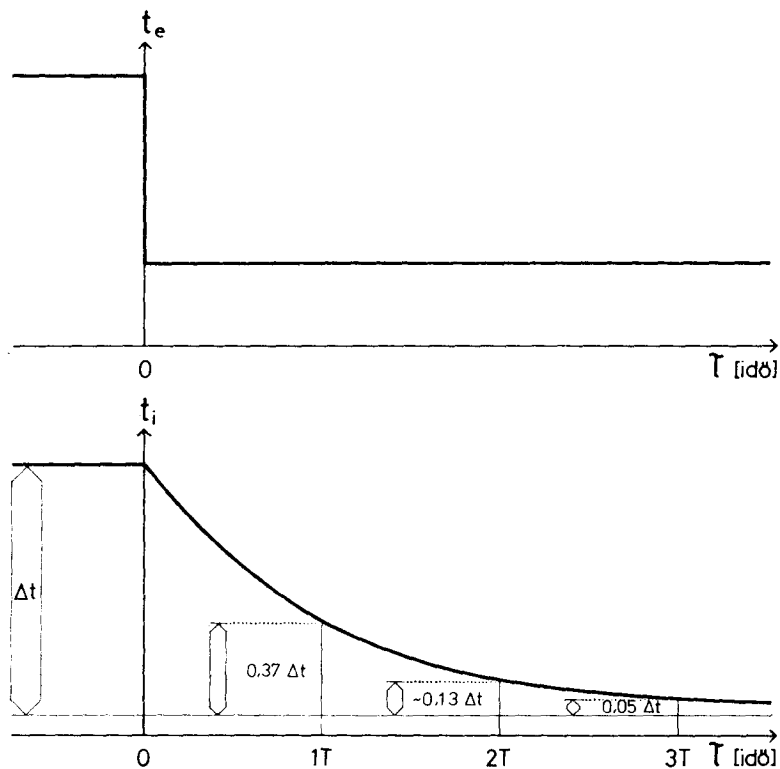
összefüggés fejezi ki, amelynek ismert megoldása:

$$\vartheta = \vartheta_0 e^{-\frac{z}{Z}}, \quad (3.32)$$

tehát a belső és a külső hőmérsékletek különbsége, azaz a belső hőmérséklet exponenciális görbe szerint (3.22. ábra) változik.

A külső hőmérséklet ugrásszerű csökkenése változatlan fűtőtéljesítmény mellett

A folyamat kezdetben gyorsabb: a nagyobb hőmérséklet-különbség miatt több hő távozik a környezetbe, ezért a tárolt hő is gyorsabban változik. Az idő múltával a folyamat egyre lassúbbodik: ahogyan csökken a hőmérséklet-különbség, úgy csökken a környezetbe távozó hőáram is, ezzel a helyiség által tárolt hő változása is

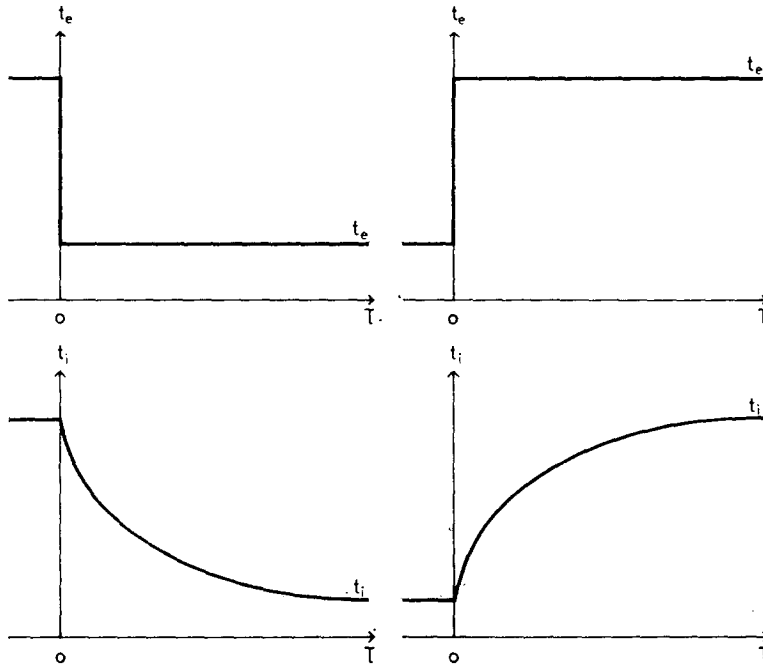


3.22. ábra. A helyiség-hőmérséklet változása állandó fűtőteljesítmény mellett a külső hőmérséklet ugrásszerű változása következtében

$T$  a helyiség (külső) időállandója

lassúbb. A folyamat aszimptotikus jelleggel közelíti az ugrás utáni állapothoz tartozó stacioner állapotot. Hogy a helyiség válasza mennyire „élénk” vagy „lusta”, azt az exponenciális függvény kezdőpontjához tartozó érintő meredeksége, végső soron a helyiség időállandója határozza meg. A helyiségek (külső) időállandói 10–70 óra között vannak. A görbe exponenciális jellegéből következik, hogy ha kitevője 3, akkor a függvény értéke 0,05, azaz mire

az „ugrástól” számítva az időállandó háromszorosának megfelelő idő telik el, gyakorlatilag kialakul a külső hőmérséklet ugrással felvett értékének megfelelő új stacioner állapot, a folyamat lecseng.



3.23. ábra. A helyiség lehűlése, illetve felmelegedése a külső hőmérséklet ugrásszerű változása miatt, állandó fűtőtéljesítmény mellett

Teljesen hasonló módon vizsgálható az az eset is, amikor a külső hőmérséklet ugrásszerűen megnő (3.23. ábra).

A fűtőberendezés kikapcsolása elvileg a fűtőtéljesítmény ugrásszerű változásának tekinthető. Valójában csak bizonyos fűtőberendezések kikapcsolása okoz ugrásszerű teljesítményváltozást (légfűtés, villamos fűtőtest), más fűtőberendezések esetében azok tehetetlensége miatt a fűtőtéljesítmény csak bizonyos idő után csökken zérusra (pl. melegvízfűtések).

**A külső hőmérséklet állandó, és a fűtőberendezést kikapcsolják**

Legyen a fűtőtéljesítmény  $Q_F$ , a helyiség hőtároló képessége  $W$ ,

hőkarakterisztikája  $q$ , a burkoló felület hőátadási viszonyait jellemző szám  $\Lambda$ , a külső hőmérséklet  $t_e$ , a helyiség-hőmérséklet a fűtőberendezés kikapcsolása előtt  $t_i$ .

A fűtőberendezés kikapcsolásakor a  $z = z_0$  időpontban a helyiség és a környezet közötti hőmérséklet-különbség:

$$\vartheta_{i,0} = t_i - t_e. \quad (3.33)$$

Ha a fűtőteltjesítmény a  $z = z_0$  időpontban  $Q_F = 0$  értéket vesz fel, akkor a helyiség hőmérséklete is igen rövid idő alatt, gyakorlatilag ugrásszerűen megváltozhat. Ha ugyanis a fűtőberendezés teljesítményét konvektív úton adja le, a helyiségben levő levegő hőmérséklete

$$\Delta t = \frac{Q_F}{\Lambda} \quad (3.34)$$

értékkel nagyobb, mint a burkoló felületek átlaghőmérséklete. Ez egyszersmind azt is jelenti, hogy a fűtőberendezés kikapcsolása után a helyiségnek a környezethez viszonyított túlhőmérséklete ugrásszerűen a

$$\vartheta'_{i,0} = \vartheta_{i,0} - \Delta t = \vartheta_{i,0} - \frac{Q_F}{\Lambda} \quad (3.35)$$

értékre csökken, azaz a levegő igen rövid idő alatt a helyiséget burkoló felületek hőmérsékletét veszi fel.

Ha a helyiségben olyan fűtőberendezés lenne, amely teljesítményét hőszugárással adja le, tehát a stacioner állapotban a levegő és a burkoló felületek között nincs hőmérséklet-különbség, akkor a kikapcsolás természetesen nem okozna ugrásszerű helyiséghőmérséklet-csökkenést.

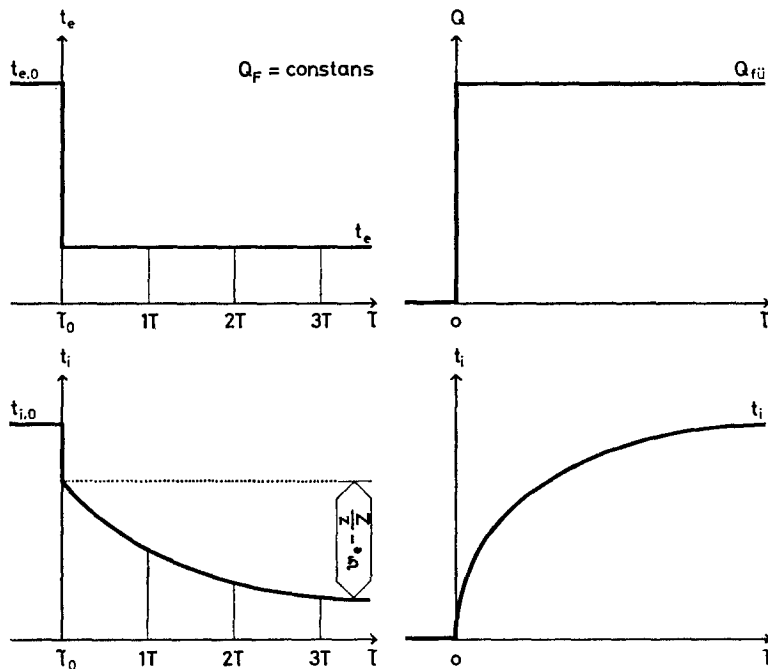
A fűtőteltjesítmény kikapcsolását követően, az előzőekben leírt jelenség lejátszódása után a helyiség lehűlését az a körülmény szabja meg, hogy a hőveszteséget a tárolt hő változása fedezi. A folyamatot a

$$\vartheta_i(z) = \vartheta'_{i,0} e^{-\frac{z}{L_Z}} \quad (3.36)$$

összefüggés írja le. A hőmérséklet-csökkenés sebességét, a folyamat lecsengését a korábbiaknak megfelelően a helyiség (külső) idő-állandója szabja meg.

Feltételezés szerint olyan helyiségről van szó, amely hosszabb ideje használaton kívül lévén annyira kihűlt, hogy a határoló szerkezeteiben uralkodó hőmérséklet-eloszlás a stacioner feltételeknek megfelel.

A külső hőmérséklet állandó, és a fűtőberendezést bekapcsolják



3.24. ábra. A helyiség-hőmérséklet változása a fűtőberendezés be-, illetve kikapcsolása következtében

A fűtőberendezés bekapcsolása elvileg a fűtőteljesítmény ugrás-szerű változásának tekinthető. (Gyakorlatilag a fűtőteljesítmény változásának sebessége a fűtőberendezéstől is függ, hasonlóan a kikapcsolásról mondottakhoz.)

A fűtőberendezés bekapcsolását követően a helyiség levegőjének hőmérséklete viszonylag gyorsan kezd emelkedni, a hőmérséklet növekedésének sebességét azonban egyre inkább fékezi az a körülmény, hogy a helyiséggel közölt hőáram (azaz fűtőteljesítmény) rovására egyre nagyobb mélységben kell a határoló szerkezeteket átmelegíteni, a helyiség által tárolt hőt az adott  $Q_F$  fűtőteljesítményhez és  $t_e$  külső hőmérséklethez tartozó stacioner értékre növelni.

Elegendő idő múlva a helyiségben olyan

$$\vartheta_{i,n} = t_i - t_e$$

túlhőmérséklet fog kialakulni, amelynek értéke a fűtőteljesítmény és a hőkarakterisztika hányadosával egyenlő:

$$\vartheta_{i,n} = \frac{Q_F}{q}. \quad (3.37)$$

A bekapcsolástól számított első rövid időszakban a  $\vartheta_i(z)$  túlhőmérséklet növekedésének ütemét a helyiség levegőjének hőtároló képessége szabja meg. (Ez csak a konvektív úton leadott fűtőteljesítményre vonatkozik). A kezdeti pillanatokban hővesztés még nincs, hiszen a helyiség túlhőmérséklete zérus. A burkoló felületbe bejutó hőáram először a felületet és a közvetlenül alatta fekvő rétegeket melegíti fel, a mélyebben fekvő rétegek csak jelentős késéssel kezdenek felmelegedni. Ennek következtében a hővesztés is csak lassan nő: a külső határoló szerkezetek külső síkjának felmelegedése számottevő késéssel kezdődik. Első közelítésben elhanyagolva a nem késleltetett hővesztéshányadot, a túlhőmérséklet változására a

$$\vartheta_i(z) = \vartheta_{i,n}(1 - e^{-\frac{z}{Z_b}}) \quad (3.38)$$

összefüggés írható fel. Az összefüggésben  $Z_b = W/\lambda$  a belső időállandó (a teljes burkoló felület vesz fel hőt).

A belső időállandó általában egy nagyságrenddel kisebb, mint a korábban tárgyalt (külső) időállandó, értéke egy-két óra.

**A fűtőteljesítmény  
állandó, és a külső  
hőmérséklet az  
idővel arányosan  
változik**

Feltételezés szerint a külső hőmérséklet a  $z = z_0$  időpontig  $t_{e,0}$ . Ekkor a helyiség hőmérséklete  $t_{i,0}$ , a határoló szerkezetekben a stacioner viszonyoknak megfelelő hőmérséklet-eloszlás uralkodik, a fűtőteljesítmény  $Q_F$ . A  $z = z_0$  időpontban a külső hőmérséklet a

$$t_e(z) = t_{e,0} + Bz$$

lineáris összefüggés szerint csökkenni kezd. A fűtőteljesítmény a korábbi  $Q_F$  értéken marad.

A külső hőmérséklet csökkenése miatt megnövekedett hővesztésget a fűtőteljesítmény mellett a helyiség tárolt hőjének változása fedezi.

A helyiség egyszerűsített hőegyensúlyi egyenlete állandó  $Q_F$  fűtőteljesítmény mellett elemi  $dz$  időre:

$$-W dt_m + Q_F dz = q(t_i - (t_{e,0} + Bz)) dz. \quad (3.39)$$

Az összefüggésben

$$t_m = t_i - \frac{Q_F}{A},$$

ahol

$t_{e,0}$  a külső hőmérséklet a lehűlési szakasz kezdetekor,  
 $B$  a külső hőmérséklet csökkenésének „iránytangense”.

Mivel

$$\frac{dt_m}{d\tau} = \frac{dt_i}{d\tau},$$

a (3.39) egyenlet leírva, átalakítva:

$$W \frac{dt_i}{dz} + Q_F = q(t_i - (t_{e,0} + Bz)). \quad (3.40)$$

A belső hőmérséklet változása a (3.40) egyenlet megoldásából:

$$t_i(z) = t_{e,0} + Bz + \frac{Q_F}{q} - BZ(1 - e^{-\frac{z}{Z}}).$$

Ha a lehűlési szakasz kezdetekor a belső hőmérséklet az előírt értéknek felel meg,  $t_i = t_{i,norm}$ , úgy az eltérés az előírt értéktől:

$$\Delta t_i(z) = Bz - BZ(1 - e^{-\frac{z}{Z}}). \quad (3.41)$$

A hőmérséklet változása exponenciális, de  $z/Z > 3$  esetén az exponenciális tag elhanyagolható lesz („lecsengés”) és a belső hőmérsékletet ábrázoló görbe aszimptotikusan tart a

$$t_{e,0} + Bz + \frac{Q_F}{q} - BZ. \quad (3.42)$$

egyeneshöz (3.25. ábra).

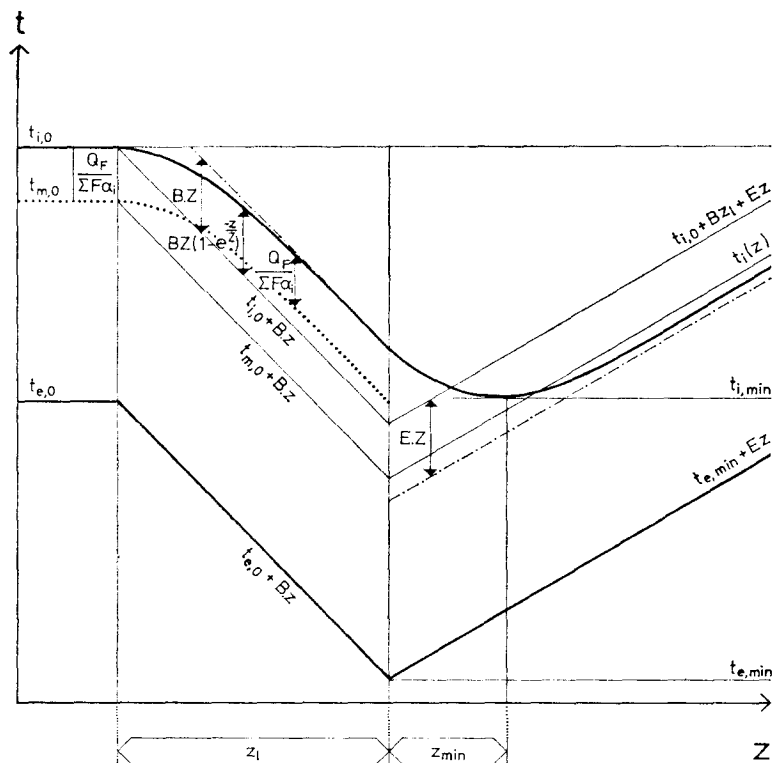
Ha a lehűlési szakaszt egy bizonyos idő eltelte után felmelegedési szakasz követi, amikor is  $t_e$  a  $t_{e,min}$  minimumértékről ismét az idővel arányosan változik, akkor a korábbiakhoz hasonló eljárással a belső hőmérsékletre meghatározható a

$$t_i = t_{e,min} + Ez + \frac{Q_F}{q} - EZ + [EZ - BZ(1 - e^{-\frac{z_L}{Z}})]e^{-\frac{z'}{Z}} \quad (3.43)$$

összefüggés, ahol

$z_L$  a lehűlési szakasz hossza,  
 $E$  a külső hőmérséklet emelkedésének „iránytangense”,  
 $z'$  a  $t_{e,min}$  fellépésétől eltelt idő.





3.25. ábra. A helyiség-hőmérséklet változása állandó fűtőtelsítmény mellett a külső hőmérséklet lineáris lehűlési és felmelegedési szakaszában

A belső hőmérséklet minimumának időpontja  $t_{e,min}$  fellépésétől számítva a (3.43) összefüggés deriválásával fejezhető ki:

$$z_{min} = Z \ln \frac{EZ - BZ(1 - e^{-\frac{z_L}{Z}})}{EZ} \quad (3.44)$$

A belső hőmérséklet minimális értéke a (3.43) összefüggésből  $z_{min}$  helyettesítésével kapható.

#### A tárgyalt összefüggések használata

A külső hőmérséklet ugrásszerű lehűlésére vonatkozó számítási eljárás a valóságban felmerülő hasonló helyzetek elemzésére használható. Figyelembe véve azt, hogy a helyiségek időállója milyen nagy, a két-három óra alatt lejátszódó külső hőmérséklet-változás gyakorlatilag még ugrásszerűnek tekinthető. Az ilyen jellegű hatások nem jelentenek különösebb problémát, az ellenintézkedés megtételére elegendő idő marad fenn, de azért az időállóak

különbözősége, az eltérő sebességű válaszok jól mutatják a könnyűszerkezetes és a hagyományos épületek, a csarnok vagy a cellás épületek eltérő viselkedését is.

A fűtőberendezések kikapcsolása lehet szándékolt (pl. munkahelyen, több napos munkaszüneti időszakasz előtt), és lehet üzemzavar következménye. A lehűlés kezdetben gyors, de oly mértékben meglassúbbodik, hogy pl. egy átlagos több szintes lakóépületben a szűkségállapot idején egy-két napig még elfogadható marad a helyiség-hőmérséklet. Megjegyzendő, hogy amíg pl. üzemzavarok szempontjából a nagy időállandójú, „lusta” helyiségek előnyösek, addig az energiatakarékossági okokból kikapcsolt (vagy csökkentett teljesítménnyel üzemeltetett) fűtőberendezések esetében a nagy időállandó hátrányos.

Az idővel arányosan változó külső hőmérsékletre vonatkozó összefüggéseknek komoly gyakorlati jelentősége van.

Mint ismeretes, a jelenleg használt eljárások szerint a helyiség maximális hőveszteségét egy rögzített méretezési külső hőmérséklet alapján, stacioner viszonyok feltételezésével határozzák meg. A méretezési külső hőmérséklet értékének megválasztásával érhető el, hogy az alulfűtés kockázata igen csekély legyen. *Valós körülmények között az alacsony külső hőmérsékletek fellépésének időtartama olyan kicsi, hogy a stacioner viszonyok kialakulására nincs mód.* Ennek következtében a ténylegesen várható maximális fűtési hőszükséglet (s ezzel együtt a méretezési fűtőteljesítmény) alakulása eltér a szabályzat szerint számított maximális hőveszteségtől. Ugyancsak lényegesen eltér a belső hőmérséklet — egy adott, rögzített fűtőteljesítmény mellett — attól az értéktől, amelyet a stacioner viszonyokra vonatkozó összefüggések eredményeznek.

A meteorológiai adatfeldolgozás szerint a külső hőmérséklet minimumértékeit egy-egy lehűlési szakasz végén veszi fel. A statisztikai elemzés szerint a lehűlés az időtartamnak jó közelítéssel lineáris függvénye, a lehűlési szakaszok az időtartamtól függetlenül egyenletes lefutásúak, a lehűlés átlagos nagysága nem függ a kezdőhőmérséklettől. A lehűlési szakaszok hossza általában 3–5 nap, de ritka kivételként 7 napos szakasz is előfordult (*V. táblázat*). A minimumérték elérése után egy, a lehűlési szakasznál valamivel hosszabb felmelegedési szakasz következik [7].

A folyamat szemléltetése végett néhány konkrét számítási eredmény: A példa a  $-5$  és  $-9,9$  °C hőmérséklet-intervallumban kezdődő, négy nap tartamú lehűlés. A választást az indokolja, hogy, ha a méretezés ennek alapján készül, akkor harminchárom évenként várható egy olyan hidegperiódus, amely — tartamánál vagy kezdőhőmérsékleténél fogva — a méretezési feltételeknél kedvezőt-

lenebb. (A megbízhatósági szint tehát 97%). Gyakorlatilag a kockázat 3%-nál is kisebb, mert a  $-10\text{ °C}$  alatt kezdődő lehülési szakaszok kezdőhőmérséklete alig különbözik az intervallumhatártól,  $-10\text{ °C}$ -tól.

V. táblázat

A lehülési szakaszok jellemzői

Lehülés kezdőhőmérséklete [°C]	Lehülés időtartama [nap]	Lehülés átlagos kezdőhőmérséklete [°C]	Lehülés átlagos nagysága [°C]	Előfordulás/100 év
- 5 ~ - 9,9	3	- 6,6	4,7	13
	4	- 6,7	4,9	3
	5	—	—	0
	6	—	—	0
	7	- 5,0	15,3	1
-10	3	-11,6	5,9	1
	4	-10,4	5,2	1
	5	—	—	0
	6	—	—	0
	7	—	—	0

A példaként vizsgált helyiségek lakószoba nagyságrendűek;  $Z = 0,5, 1, 2, 3$  és  $4$ . ( $Z = 0,5$  könnyűszerkezet jellegű,  $Z = 1, 2$  panelszerkezet, könnyű belső válaszfalakkal,  $Z = 2, 3$  házigyári panelszerkezet,  $Z = 4$  belső terű helyiség, panelszerkezet).

Feltételezve, hogy a lehülési szakasz kezdetén a belső hőmérséklet az előírt  $t_i = 20\text{ °C}$ , meghatározható, hogy változatlan fűtőteltjesítmény mellett

VI. táblázat

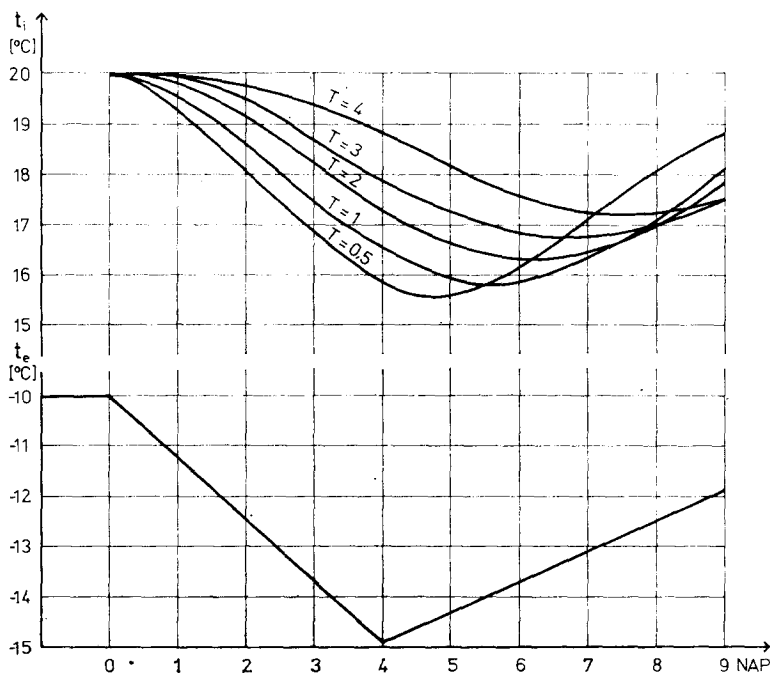
Belső hőmérséklet változása (Számpélda)

Helyiség időállandója $Z$ [nap]	Belső hőmérséklet a lehülési szakasz napjain				$t_{i, \text{min}}$ késése $t_{e, \text{min}}$ -hoz viszonyítva [nap]	$t_{i, \text{min}}$
	1	2	3	4		
0,5	19,30	18,09	16,90	15,64	0,54	15,41
1	19,44	18,60	17,49	16,29	1,08	15,76
2	19,73	19,09	18,30	17,23	2,04	16,32
3	19,80	19,35	18,64	17,83	2,79	16,78
4	19,86	19,45	18,82	18,19	3,32	17,10

hogyan változik a belső hőmérséklet,  
mikor lép fel a belső hőmérséklet minimuma,  
mennyi a belső hőmérséklet minimuma.

Az eredményeket a VI. táblázat foglalja össze, és a 3.26. ábra szemlélteti.

A példákban az a következtetés vonható le, hogy ha a fűtőberendezést a lehűlési szakasz kezdő hőmérsékletének alsó határára



3.26. ábra. Különböző időállandójú helyiségek hőmérsékletének változása a külső hőmérséklet mértékadó lehűlési szakaszában állandó fűtőteljesítmény mellett

méretezték (stacioner viszonyok feltételezésével), az ezzel járó kockázat évente két-három nap időtartamú 2–3 °C nagyságú alulfűtés. Kb. harminchárom évenként várható 3–4 °C nagyságú alulfűtés. Ennél kedvezőtlenebb feltételek száz évenként egyszer várhatók.

### 3.23 Hőterhelés, hűtőterhelés

Az építészetnek – a bevezetésben már kifejtett alapvető megváltozása következtében – megváltozik az épületek energiaigénye és -forgalma.

A múlt épületei (terei, helyiségei) energiaigényének és -forgalmának elemzéséhez lényegében a téli körülmények, a fűtési energiaforgalom vizsgálata már elégséges volt,

hiszen a nyári körülmények között a megfelelő hőérzeti feltételek – a kis homlokzati üvegezési arány, a határoló szerkezetek hatalmas tömege és ezzel arányos nagy hőtároló-képessége folytán – minden különösebb beavatkozás és energiafogyasztás nélkül, szinte önmaguktól megteremtődtek,

ezzel szemben a ma épületeinek (tereinek, helyiségeinek) energiaháztartási vizsgálata már a nyári körülmények figyelembevételére, elemzésére és mérlegelésére is kényszerül,

hiszen a nyári időszakban, mivel egyoldalról a hőérzeti feltételek – a nagy homlokzati üvegezési arány, a határoló szerkezetek nagyon kis tömege és ebből adódóan rendkívül lecsökkent hőtároló képessége folytán – erősen romlanak, más oldalról pedig az igények – mind a felszereltség mértéke, mind a komfort színvonala, mind a helyiségben levő technológia érzékenysége vonatkozásában – nagymértékben növekednek,

ami szükségyszerűen a klímaberendezések elterjedéséhez, következésképpen azok méretezési és üzemeltetési kérdéseinek vizsgálatához, majd szükségyszerűen a helyiségek nyári energiaforgalmának elemzéséhez vezet.

Tekintettel arra, hogy a nyári feltételek között az épületet és tereit, helyiségeit összetett és időben gyorsan változó hatások érik,

nyilvánvaló, hogy a méretezés kérdései és a szabályozás módszerei is jóval bonyolultabbakká válnak, és

magától értetődik az is, hogy egyre nagyobb jelentőségre tesznek szert azok az építészeti, épületszerkezeti eszközök is, amelyek értelmes alkalmazásával a klímaberendezések teljesítménye és energiafogyasztása számottevően mérsékelhető.

A feladat jelentőségét még az is fokozza, hogy az épület (épület-rész) rendeltetése (funkciója), az abban folyó munka jellege, gyártástechnológiája nem minden esetben teszi szükségessé klímaberen-

dezés alkalmazását, s így joggal merül fel a kérdés, hogy nem lehet-e a megfelelő hőérzetet biztosítani klímaberendezés nélkül, tehát csupán építészeti, épületszerkezeti eszközök felhasználásával, különös tekintettel arra, hogy a klímaberendezések beruházási és üzemeltetési költségei többszörösét teszi ki a fűtésének.

A hőterhelés elnevezés alatt a helyiségben működő hőforrások erősségét és a környezetből a helyiségbe bejutó hőáramokat értik. Az előzőeket szokás belső, az utóbbiakat pedig külső hőterhelésnek nevezni. A hőterhelés esetenként negatív is lehet, amikor a hőáram a helyiségből a környezetbe távozik, vagy a helyiségben nyelődik.

#### **A hőterhelések áttekintése**

A helyiséget érő hőterhelés egyes összetevőit általában azok eredete, a forrás szerint különböztetik meg. A fontosabb összetevők:

- a üvegezésen át bejutó napsugárzásból származó hőterhelés,
- a sugárzást át nem bocsátó határoló szerkezeteken át bejutó transzmissziós hőáram,
- a világítási hőterhelés,
- a helyiségben tartózkodó emberek hőleadása,
- a helyiségben levő motorikus és technológiai berendezésekből származó hőterhelés,
- a be- és kiszállított anyagok, munkadarabok hőtartalom-változásából származó hőterhelés,
- meleg felületekről, a folyadékfelszínekről származó hőterhelés,
- az állatok hőleadása, a mezőgazdasági termények biológiai folyamataiból származó hőterhelés.

A felsorolt hőterhelések között vannak ritkán előfordulók is, amelyek egy-egy sajátos művelethez, speciális funkcióhoz tartoznak, de az első négy-öt összetevő szinte mindegyik gyakorlati feladatban előfordul.

A hőterhelés lehet „száraz” vagy „nedves”. A „száraz” (vagy érezhető) hőterhelés a levegő hőtartalmát a levegő (száraz) hőmérsékletének megváltozása révén módosítja, változatlan abszolút nedvességtartalom, tehát változó relatív nedvességtartalom mellett. A „nedves” (vagy rejtett) hőterhelés esetében a levegőbe vízgőz párolog és így a levegő hőtartalmának változását az abszolút ned-

vességtartalom változása kíséri. Egyes forrásokból egyidejűleg száraz és nedves hőterhelés is származhat.

A felsorolt hőterhelések többségükben nem kötődnek a nyári időszakhoz, hatásuk az egész év folyamán érvényesül.

A napsugárzásból származó hőterhelés lehetséges értéke adott földrajzi helyen az év folyamán szabályszerűen változik. A lehetséges érték a téli félévben kisebb, mint a nyáriban, de nagyságrendi különbség nincs közöttük. Ez a páratartalom és a felhőzet által módosított várható értékre is igaz. A lehetséges érték az átmeneti hónapokban bizonyos tájolású függőleges felületekre nagyobb, mint nyáron. A napsugárzásból származó hőterhelés a fűtési hőszükséglet jelentős részét képes fedezni (3.12. – 3.18. ábrák). Így a napsugárzásból származó hőterhelés évente mintegy 7–9 hónapra át a helyiség energiamérlegét javítja. Ezért – a klímaberendezések létesítésének és üzemeltetésének tetemes költségei ellenére is – *helytelen* lenne az üvegezés és az árnyékolás kérdését kizárólag *csak a nyári* hőérzeti követelmények szempontjából vizsgálni, mivel az *optimális* megoldás csak az *egész évi* energiaforgalom elemzése alapján alakítható ki. Ezt az állítást az is alátámasztja, hogy a természetes megvilágítás és a napsugárzásból származó hőterhelés között is összefüggés van, így az energiaforgalom elemzése a mesterséges világítás energiafogyasztására is joggal kiterjeszthető.

A világítási hőterhelés a téli hónapokban – a rosszabb természetes megvilágítás miatt – rendszerint nagyobb, mint nyáron. A motorikus és technológiai hőterhelés az év folyamán állandónak tekinthető. Az emberek hőleadása, illetve száraz és nedves hőleadásának aránya a belső légállapot függvénye.

A hőterhelések jelentős része független mind a helyiség-hőmérséklettől, mind a külső hőmérséklettől. Ilyenek pl. a napsugárzásból származó hőterhelés, a világítási hőterhelés, a motorikus berendezésekből származó hőterhelés.

A nyári feltételek között a felsorolt hőterhelések meghatározó szerepet játszanak a helyiség energiamérlegében. A téli feltételek mellett a helyiség-hőmérséklet és a külső hőmérséklet közötti különbség lényegesen nagyobb, mint nyáron, ezért – az emiatt kialakuló transzmissziós hővesztességhez és filtrációs hőszükséglethez viszonyítva – az előbb felsorolt hőterhelések szerepe kevésbé jelentős.

A hőterhelések közül a fűtőteljesítmény meghatározásakor a napsugárzás hatását általában, ha nem is kellő mértékben, de azért figyelembe veszik. A többi hőterhelést viszont rendszerint elhanyagolják, hiszen ez az egyszerűsítés a méretezés „biztonságát” szol-

gálja. Ha azonban a megbízhatóan értékelhető egyéb hőterhelések hatását is figyelembe vennék (például a világítási hőterhelést, amely egy irodaépületben a hőveszteség jelentős hányadát fedezi), akkor ez számottevő megtakarítást eredményezne a fűtőberendezés költségeiben.

Az üvegezések hőegyensúlyának számítására szolgáló gyakorlati módszer a naptényező fogalmának bevezetésén alapul (lásd a 2.23 pontban). Tekintettel arra, hogy az egységnyi területű üvegezésen át a helyiségbe jutó hőterhelés néhány száz watt, az üvegezési arány megválasztása és az üvegezésen át bejutó hőterhelést befolyásoló egyéb jellemzők (paraméterek) gondos elemzést kívánnak.

**Az üvegezésen át bejutó hőterhelés**

Ennek — csupán példázó — igazolásául: az építészeti törekvés tekintetében egyébként meghatározó jelentőségű (homlokzati) üvegezési arány megválasztásában nagy szerepet játszik

egy oldalról az építészeti formálásra vonatkozó tervezői elképzelés és így elkerülhetetlenül egy kicsit a divat is,

más oldalról a homlokzat mögötti terek (helyiségek) használati értéke és módja, vagyis az ablak (üvegfal) méretét ebben az értelemben meghatározó és korlátozó tényezők; így

szélességi értelemben: a homlokzat síkjára merőleges térosztó, térhatároló falak bútorzásának lehetősége (mint korlátozó tényező),

magassági értelemben: a szemöldök menti ablakkiegészítő fényzáró, elsötétítő stb. szerkezetek (tokmagasításának, redőnyszekrényének, függönytartójának stb.) helyigénye (mint csökkentő tényező), továbbá a mellvédfal magassága tekintetében az ablak előtt folyó munka jellege, a kilátás igénye, az ablak alatti bútorzás, berendezés, felszerelés (pl. fűtőtest) megkövetelte magasság (mint meghatározó tényező);

felületi értelemben: a bevilágítás megkívánt (előírt) mértéke, ami az ehhez szükséges üvegfelületből (mint kiindulási adatból) számítható az ablak anyagának, rendszerének, osztásának, működésének ismeretében, és ami a tiszta üvegfelület és a kávaméretekből számított teljes felület viszonyszámával jól jellemezhető.

Az ablakok szerepe az energiaforgalomban nagyon jelentős és bonyolult. A következők csak a transzmissziós hőáramot és a nap-sugárzásból származó hőnyereséget tárgyalják, ugyanis ezek a jelenségek azok, amelyek elsősorban az ablakhoz (mint szerkezet-

**Az ablakok éves energiamérlege**



hez) kötődnek. Megjegyzendő azonban, hogy az ablakok a világítási energiafogyasztást is befolyásolják. A filtrációs hőszükséglet vizsgálatára azért kerül csak a későbbiekben sor, mert az nemcsak az ablaktól, hanem az egész épület számos szerkezeti és egyéb jellemzőjétől is függ. E szétválasztás jogosultságát bizonyos mértékig az a körülmény is igazolja, hogy az üvegezési arány, az üvegezés és az árnyékolás naptényezője nincs közvetlen összefüggésben a rések hosszával és tömítettségével, a tok és a fal összeépítésének módjával és minőségével.

A transzmissziós hőveszteség és a napsugárzásból eredő hőnyereség számítására szolgáló összefüggések a korábbiakból ismertek (2.2 alfejezet). Az egyes hónapok átlagos külső hőmérséklet és napsugárzás adatai alapján a transzmissziós hőveszteség, illetve a napsugárzási hőnyereség havi összegei megállapíthatók. E számítások eredményeit Tömöry [4] adatközlése alapján a *VII. táblázat* foglalja össze. Az adatok szakaszos használatú (pl. iroda-) épületek használati idejére vonatkoznak. Hasonló eljárással állapítható meg a folyamatos használatú épületek ablakainak energiamérlege is, az ezekre vonatkozó adatokat a *VIII. táblázat* tartalmazza.

VII. táblázat

Üvegezések hőmérlege a fűtési időnyre [MJ/m<sup>2</sup>]

Típus	Tájolás			
	É	K	D	Ny
Egyesített szárnyú üvegezés	– 182,11	171,89	1055,27	178,17
Egyesített szárnyú méretezés	– 348,88	5,47	888,85	11,75
Kapcsolt gerébtokos üvegezés	– 258,86	96,09	979,47	109,34
Kapcsolt gerébtokos méretezés	– 485,29	– 131,87	752,09	– 125,01
Háromrétegű üvegezés (termopán + normál)	– 97,33	170,62	838,10	175,37
Abszorpciós + normál üvegezés + fix árnyékvető	– 353,61	– 318,98	– 215,83	– 313,28
Abszorpciós + normál üvegezés	– 271,64	– 56,92	453,50	– 53,28
Szellőztetett ablak	82,68	334,39	962,61	338,89

## VIII. táblázat

Üvegezések hőmérlege a fűtési időnyre [MJ/m<sup>2</sup>]

Típus	Tájolás			
	É	K	D	Ny
Egyesített szárnyú üvegezés	– 572	– 218	665	– 218
Egyesített szárnyú méretezés	– 919	– 565	319	– 558
Kapcsolt gerébtokos üvegezés	– 736	– 381	502	– 368
Kapcsolt gerébtokos méretezés	– 1201	– 848	36	– 841
Háromrétegű üvegezés (termopán + normál)	– 354	– 87	581	– 82
Abszorpciós + normál üvegezés + fix árnyék- vető	– 746	– 711	– 608	– 706
Abszorpciós + normál üvegezés	– 664	– 449	62	– 445
Szellőztetett ablak	18	269	898	274

Az eredmények – a korábbiakban közölt saját elemzések adataival is összhangban – azt bizonyítják, hogy az eredő hőmennyiség több esetben pozitív szám, azaz az ablak felületén át a helyiségbe jutó napsugárzási hőterhelés bizonyos feltételek mellett nagyobb, mint az ablak felületén átjutó transzmissziós hőveszteség. A hagyományos ablakok téli napsugárzási hőnyeresége kedvező lenne, ha csak magát az üvegezést számítanák, de a tényleges helyzet a szárny keretezése és a tok beépítése miatt lényegesen kedvezőtlenebb.

Az adatok bizonyítják, hogy az abszorpciós (elnyelő) üvegezések és a fix árnyékoló szerkezetek téli energiamérlege kedvezőtlen, amit a világítási energiafogyasztás növekedése még tovább ront. A szellőztetett ablak energiamérlege – a korábbi (2.24 pont) elemzésben már részletesebben kifejtett okok folytán – a legkedvezőbb, itt ugyanis a tényleges energiaigényt a helyiségből távozó szellőző levegő hőtartalmának változása fedezi.

Nyári körülmények között a „hagyományos” közönséges és árnyékolatlan ablakokon át bejutó napsugárzási hőterhelés a legnagyobb, ami a mikroklíma vagy a hűtési energiaigény szempontjából ugyan

kedvezőtlen, de nem túlságosan bonyolult mozgatható árnyékoló szerkezettel (pl. redőnnel) majdnem olyan alacsony szintre leszorítható, mint amekkora az abszorpciós (elnyelő) üvegezésen át bejutó hőterhelés. A legkisebb hőnyereséget az elnyelő üveg és a külső árnyékolás kombinációja eredményezi, de nem sokkal kedvezőtlenebb a közbenső árnyékolással ellátott szellőztetett ablak sem.

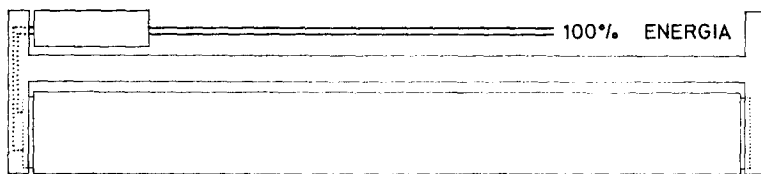
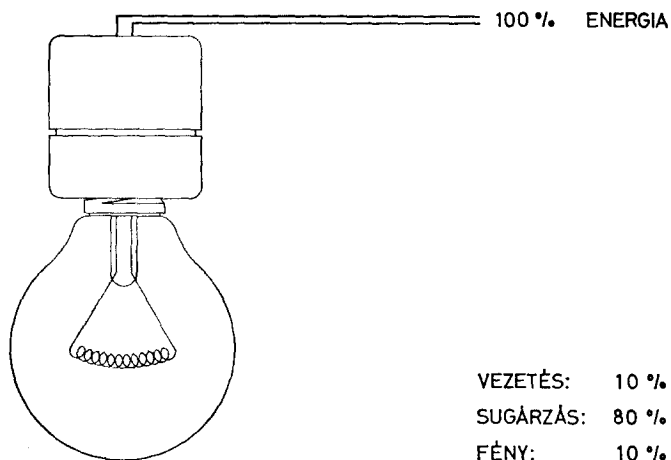
A napsugárzásból származó hőterhelés csökkentése energetikai szempontból ugyan indokolt, de csak bizonyos mértékig reális. Nem hagyható ugyanis figyelmen kívül az ablak funkciója és a helyiség rendeltetése. Az árnyékoló szerkezettel teljesen eltakart ablak megszünteti a külső és a belső tér kapcsolatát, megakadályozza a kitekintést, ha pedig emellett a hiányzó természetes megvilágítást mesterséges világítással kell pótolni, a mikroklíma és az energiafogyasztás szempontjából a helyzet kedvezőtlenebbé válik, mintha kevésbé hatékony árnyékolás alkalmazására került volna sor.

A különböző üvegezések téli és nyári energiamérlegét összevetve a szellőztetett ablak + közbenső árnyékolás, a háromrétegű hőszigetelő + szokásos üvegezés + közbenső árnyékolás, az elnyelő + szokásos üvegezés + mozgatható külső árnyékoló kombinációk bizonyulnak legkedvezőbbnek. Ezeket a szokásos kétrétegű üvegezés + belső árnyékolás, a háromrétegű üvegezés és az elnyelő + szokásos üvegezés követi. Nyilvánvalóan legkedvezőtlenebbek az árnyékolatlan hagyományos kétrétegű üvegezések.

Mint minden értéksorrendnél, így ennél is szem előtt tartandó, hogy az csak egy bizonyos (valamilyen indokkal kiemelt) szempontot hangsúlyoz és emel ki. Ezért nem volt szó a filtrációs hőszükségletről (miután ez nemcsak az ablak szerkezetének függvénye), az alkalmazható méretekről (pedig a hőmozgás az elnyelő és a hőszigetelő üvegezések beépítésénél komoly gond), az árnyékolók mozgatásáról, tisztításáról, karbantartásáról, az épület rendeltetésbeli vagy egyéb adottságairól (pl. szellőztetett ablak csak légtechnikai berendezéssel ellátott épületben alkalmazható) és a funkcionális követelményekről (pl. lakóépületben a kisebb üvegezési arány folytán, iskolákban a nyári szünet következtében, óvodákban a nyári szabadtéri foglalkoztatás miatt a nyári hőterhelés kisebb súllyal veendő számításba). Ugyancsak jelentős a telepítés és a környező beépítés, növényzet hatása is.

#### **A belső „spontán” hőforrások**

A hőleadás és a hőérzet kérdéseiről korszerű és részletes irodalmi adatok állnak rendelkezésre [2], ezek ismertetése azonban meghaladja e könyv kereteit.



ELŐTÉT VESZTESÉGE: 20%. VEZETÉS: 40%. SUGÁRZÁS: 20%. FÉNY: 20%.

3.27. ábra. Izzólámpa és fénycső hőleadása

Az izzólámpák és a fénycsövek energiamérlegéről a 3.27. ábra nyújt tájékoztatást.

A motorikus berendezésekből származó hőterhelést a hasznos teljesítmény és a hatásfok hányadosa adja. Több motorikus berendezés esetén a technológiai adatszolgáltatás körébe tartozik azok kihasználásának és egyidejűségi tényezőjének kérdése.

A technológiai berendezésekre nézve – azok sokfélesége miatt – semmilyen általános adat nem adható. Csak a szóban forgó esetre vonatkozó adatszolgáltatásra lehet utalni, éppen úgy, mint az állatok hőleadásával (az animális hővel) kapcsolatban.

A külső határoló szerkezeteken át a helyiségbe jutó hőáram a 2.16 pontban foglaltak szerint határozható meg.

**Az egyes  
hőterhelések  
szerepéről**

A feladatok többségénél található egy-két olyan hőterhelés összetevő, amelyek szerepe meghatározó jelentőségű.

Így például irodaházak esetében döntő az üvegezésen át bejutó hőterhelés, a külső falak, födémek szerepe pedig szinte teljesen elhanyagolható. Nagyteres irodákban fontos még a világítási hőterhelés és az emberek hőleadása is. Hasonló a helyzet az iskolai tantermek, bizonyos eladóterek esetében. Ezekben az esetekben az üvegezés, az árnyékolás helyes megoldása lényegesen befolyásolja az energiaforgalmat.

Így például egy hűtőtárolónál a fal- és födémszerkezetek szerepe a meghatározó. Kisebb a szerepük viszonylag azonban egy olyan hűtőház esetében, amely friss áru elő- és mélyhűtésére szolgál, itt az energiaigényt ugyanis elsődlegesen a betárolt áru tömege és kezdeti hőmérséklete határozza meg.

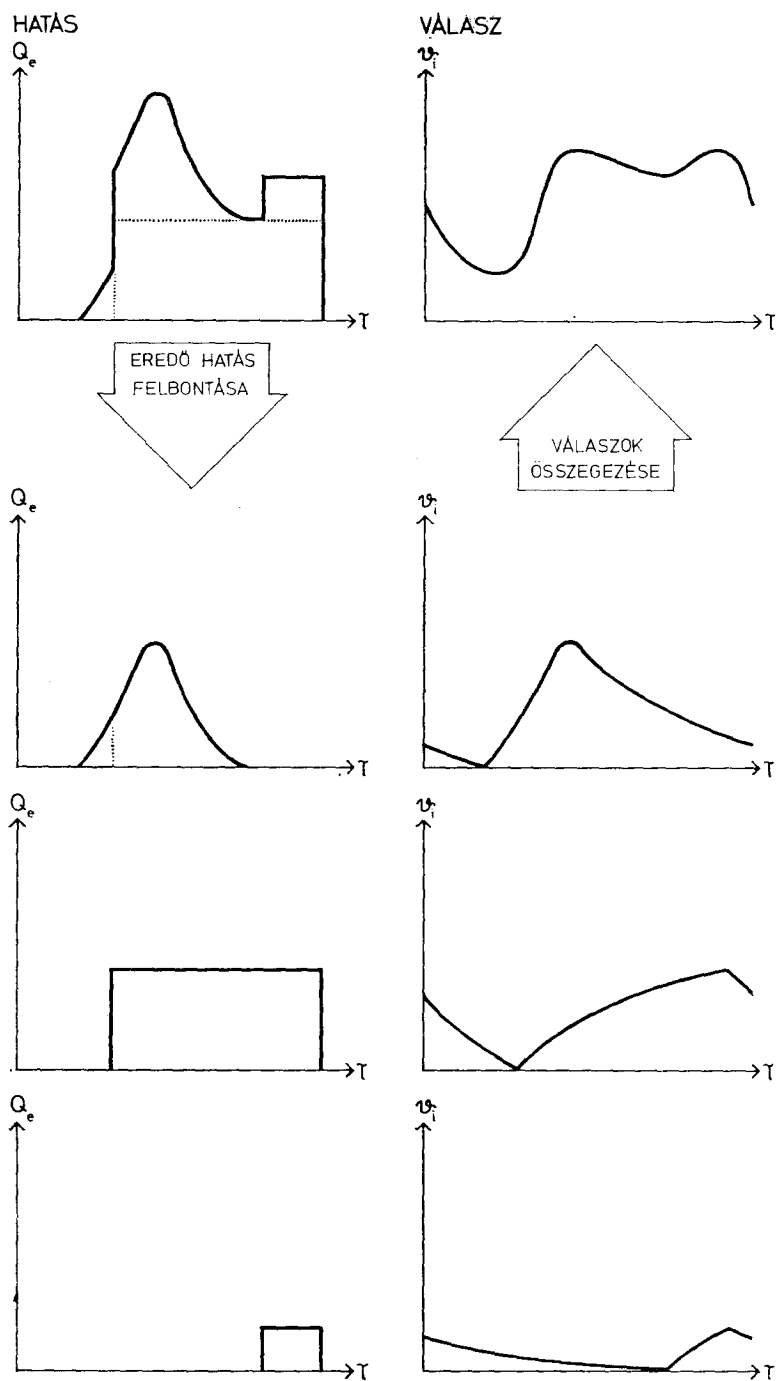
Így például nem sokban befolyásolható az épületet érő összhőterhelés a fal- és födémszerkezetek javításával egy melegüzem, sok motorikus berendezést jelentő technológia, egy sertés- vagy szarvasmarha-hizlalda esetében. Ugyanakkor jelentős szerepe lehet a tetőn át bejutó hőterhelésnek pl. növendékállatok istállója és egyszintes (lepény) középületek esetében.

E rövid és hiányos felsorolás önkényesen kiragadott példái csak azt bizonyítják, hogy nincs általános recept, az egyes feladatok megoldását a funkció, az adottságok és lehetőségek felmérésével, logikus mérlegelésével kell kezdeni, és a lényeges tényezők megragadásával, az ezeket befolyásoló építészeti, épületszerkezeti megoldások helyes kialakításával lehet és kell a hőterhelést számottevően befolyásolni.

Bármely külső vagy belső hőterhelésre a korábbiak alapján meghatározható annak napi lefutása, menetrendje. A továbbiakban a számítás két úton folytatható, amelyeknek alapelve és természetesen végeredménye is megegyezik.

**A várható  
helyiség-  
hőmérséklet**

Az egyik lehetséges változat szerint minden egyes hőterhelés-összetevőre nézve meg kell állapítani az általa okozott túlhőmérséklet napi menetrendjét. Erre a célra a (3.27)–(3.28) összefüggések, illetve az ezek alapján kidolgozott segédletek alkalmazhatók. A helyiség várható napi hőmérsékletmenete az azonos időpontra vonatkozó túlhőmérsékletek összegezésével, szuperpozíciójával kapható meg.



3.28. ábra. Hőterhelések és túlhőmérsékletek szuperpozíciója

A másik változat szerint először a hőterhelés-összetevőket kell összegezni, szuperponálni. Ennek során minden egyes számításba vett időpontra meg kell határozni azt is, hogy az eredő hőterhelés mekkora hányada a sugárzási hőterhelés. A helyiség várható napi hőmérsékletmenete az eredő hőterhelés alapján határozható meg (3.28. ábra).

Célszerűségi szempontok alapján dönthető el az, hogy az első vagy a második változat, vagy a kettő kombinációja alkalmazandó-e.

Az első változat alkalmazása akkor célszerű, ha az összetevő hőterhelések napi menetrendje egyszerű; például pulzáló hőterhelésekről van szó, mert akkor a túlhőmérséklet számítására a (3.27)–(3.28) összefüggések önmagukban elegendőek. „Egyszerűnek” tekinthető a napsugárzásból származó hőterhelés menetrendje is, ha van kéznél olyan segédlet, amely az ebből származó túlhőmérsékleti értékeket tartalmazza [9].

A második változat alkalmazása akkor célszerű, ha a további számításhoz a különféle eredő hőterhelés-menetrendekre kidolgozott grafikus méretezési segédlet áll rendelkezésre [9], vagy a további méretezést számítógéppel végzik. Ezekről az esetektől eltekintve a további kézi számítás rendszerint csak szuperpozíciós módszerrel (lásd: 3.13 pont) folytatható. A második változat alkalmazása kényszerű, ha az egyes hőterhelés-összetevők „szabálytalan” menetrendűek. (Véletlenül előfordulhat, hogy az eredő hőterhelés „szabályosabb”, mint összetevői.)

A hőterhelés és a hűtőterhelés számításának alapelvei a következőkben foglalhatók össze.

A gyakorlati feladatok megoldása során feltételezhető, hogy kialakult kvázistacioner folyamatról van szó. Ez azt jelenti, hogy amennyi hő egy periódusnyi idő, azaz egy nap alatt a helyiségbe jut, ugyanannyinak onnan egy nap alatt el is kell távoznia.

Miután a helyiséget érő hőterhelések az idő függvényében periodikusan változnak, a helyiség-hőmérséklet változása is periodikus lesz. Ezért a helyiség-hőmérséklet jól jellemezhető napi átlagértékével és az átlagtól való pillanatnyi eltéréssel.

Hogy mennyi lesz a helyiség-hőmérséklet napi átlaga, az a helyiségbe egy nap alatt bejutó összes hőterheléstől és annak vezetéssel, transzmisszióval, konvekcióval való „távozási lehetőségeitől” függ.

Hogy mekkora lesz a helyiség-hőmérséklet ingadozása, az a hőterhelés ingadozásától és a helyiség csillapító, késleltető, hőelnyelő tulajdonságaitól, „lustaságától” függ.

Ha a helyiséget mindenféle épületgépészeti beavatkozás nélkül „magára hagyják”, akkor abban az átlagos helyiség-hőmérséklet

éppen akkora lesz, hogy az adott átlagos külső hőmérséklet mellett a helyiségbe egy nap alatt bejutó összes hőterhelés ( $\Sigma Q_{\text{hőt}}$ ) a helyiségből egy nap (24 óra) alatt ki is tudjon menni, azaz

$$\bar{t}_i - \bar{t}_e = \frac{\Sigma Q_{\text{hőt}}}{q}, \quad (3.45)$$

ahol  $q$  a helyiség hőkarakterisztikája (lásd: 3.11 pont).

Az összefüggésből is látszik, de egyébként is nyilvánvaló: ahhoz, hogy a hő a helyiségből „kimenjen”, az átlagos helyiség-hőmérsékletnek magasabbnak kell lennie, mint az átlagos külső hőmérsékletnek. Minél nagyobb a helyiség hőkarakterisztikája, annál alacsonyabb az átlagos helyiség-hőmérséklet.

A transzmissziós hőkarakterisztika (lásd 3.11 fejezet) rendszerint kicsiny, ez a hőveszteség mérséklése szempontjából követelmény is, ezért  $q$  értéke a nyári hónapokban a filtrációs hőkarakterisztika növelésével emelhető, azaz intenzívebb (fokozottabb) szellőztetéssel. Bármilyen nagy legyen is azonban a szellőző levegő térfogatárama, a  $\bar{t}_i > \bar{t}_e$  viszony megmarad, ha a  $\bar{t}_i - \bar{t}_e$  különbség csökken is.

Az átlagértékekről mondtak természetesen nem zárják ki azt, hogy — éppen az egyes mennyiségek periodikus változása, ingadozása miatt — a pillanatnyi belső hőmérséklet bizonyos órákban alacsonyabb legyen a pillanatnyi külső hőmérsékletnél. A pillanatnyi értékek különbsége napközben többször is előjelet válthat.

A hőterhelés számításának célja

annak meghatározása, hogy az adott helyiségben, adott hőhatásokra kialakuló helyiség-hőmérsékletnek milyen lesz a napi menete,

annak megállapítása, hogy a helyiség-hőmérséklet napi menete a kívánt irányban milyen építészeti, épületszerkezeti eszközökkel befolyásolható.

Ha a helyiség-hőmérséklet napi menete a hőérzet vagy a helyiség rendeltetészerű használata szempontjából nem megfelelő vagy nem gazdaságos, és építészeti-épületszerkezeti eszközökkel tovább már nem is javítható (vagy ez a „javítás” már más szempontokkal — pl. az értelmes mértékű fűtési vagy világítási energiafogyasztással — ütközne), akkor hűtésre, klimatizálásra van szükség.

A hűtési teljesítményigény és a hőterhelés pillanatnyi értékei egymástól eltérnek. Ennek egyik oka az, hogy a hőterhelés egyes összetevői sugárzás révén érik a helyiséget (pl. a napsugárzás az



üvegezésen át, a mesterséges világítás), a hő épületgépészeti eszközökkel való eltávolítása a helyiségből viszont többnyire konvektív úton, levegő közvetítésével történik. A másik ok az, hogy a két jelenség között ott van a helyiség burkoló (határoló) szerkezeteivel, amelyek a bejutó hőterhelés tárolására képesek, azt elnyelik, s így hosszabb-rövidebb időre kivonják a közvetlen forgalomból. A feltárolt hő eltávolítása, kisütése a beérkezéstől számított jelentős késéssel is végrehajtható. Így a hűtési teljesítményigény az időben szétterül, a helyiségből eltávolítandó hőáram, a pillanatnyi hűtőterhelés maximuma a hőterhelés maximumánál kisebb lesz. Természetesen az a feltétel továbbra is teljesül, hogy amennyi hő egy nap alatt a helyiségbe (és ez esetben már egy szabályozott hőmérsékletű, hűtött helyiségbe) bejut, annyinak onnan egy nap alatt el is kell távoznia. Lesznek tehát olyan órák, amikor a pillanatnyi hűtőterhelés nagyobb, mint a pillanatnyi hőterhelés. A maximális hűtőterhelés azonban a maximális hőterhelés alatt marad, ami kisebb teljesítményű és helyigényű, gazdaságosabban üzemeltethető épületgépészeti rendszert jelent. A várható helyiség-hőmérséklet napi menetrendje (menete) igen lényeges tájékoztatást ad a helyiség rendeltetésszerű használhatóságáról. E tekintetben egyaránt érdekes az átlagérték és a csúcserték, továbbá a különböző hőmérséklet-szintek időtartama. A követelmények, az igények szintje, a vonatkozó hatósági szabályozások alapján dönthető el, hogy a várható helyiség-hőmérsékletmenet megfelelő, illetve elfogadható-e. Ugyanakkor a várható helyiség-hőmérsékletet ábrázoló görbe alakja (illetve az első számítási változatnál az egyes hőterhelés összetevőkhöz tartozó túlhőmérsékletgörbék) alapján jól felismerhető az is, hogy az adott esetben melyik hőterhelés összetevő az, amelynek hatását elsősorban kívánatos mérsékelni a kedvezőbb helyiség-hőmérséklet elérése végett.

Az építészeti-épületszerkezeti eszközökkel kétféle módon lehet befolyásolni a várható helyiség-hőmérséklet napi menetét.

#### **A hőterhelés csökkentése**

Az egyik lehetőség lényege: meg kell akadályozni, hogy a hőterhelés a helyiségbe bejusson. Természetesen itt ez csak a külső hőterhelésekre vonatkozik, a belső hőterhelések elleni védekezés inkább épületgépészeti és/vagy technológiai feladat.

A külső hőterhelések közül többnyire a sugárzást átbocsátó szerkezeteken át a napsugárzás következtében bejutó hőterhelés játszik meghatározó szerepet. Ennek mérséklése már a tájolás, a tömegformálás, a környezetalakítás szintjén is lehetséges. Döntő jelentőségű a homlokzati üvegezési arány helyes megválasztása. További lehetőséget kínálnak még a különféle üvegezési módok és árnyékoló szerkezetek is. A bejutó hőterhelés mérséklése egyrészt az átlagos (napi) helyiség-hőmérséklet csökkenését eredményezi

(hiszen kisebb lesz a nap folyamán a helyiségbe jutó hőterhelés) és csökkenni fog a helyiség-hőmérséklet ingadozása is, (hiszen kisebb a helyiségbe jutó hőáram ingadozása).

Hasonló eredmények várhatók a külső határoló szerkezetek hőtechnikai minőségének javításától is, de csak akkor, ha az épület külső burkoló felületében (a falakban + a tetőben) alig van vagy egyáltalán nincs sugárzást átbocsátó szerkezet. A külső határoló szerkezetek megfelelő külső felületképzésével a helyiségbe jutó hőterhelés átlaga és ingadozása egyaránt mérsékelhető. A csillapítási tényező növelése a hőterhelés és ezzel a várható helyiség-hőmérséklet napi átlagait nem befolyásolja, de az átlagok körüli ingadozások mértékét csökkenti. A nagyobb késleltetés abból a szempontból előnyös, hogy a hőterheléseket időben „szétkeni”, kisebb annak a lehetősége, hogy a különböző hőterhelések maximális – vagy ahhoz közeli – értékei egyazon időpontban vagy akörül jelentkezzenek. A hőátbocsátási tényező javításának (csökkentésének) e szempontból nincs értelme, hiszen – ha mesterséges hűtés nincs – a helyiség a melegebb, s a jó szigetelés a helyiségből a hőt nem enged ki. (Természetesen a fűtési energiaigény szempontjairól sem szabad megfeledkezni, és az is nyilvánvaló, hogy ha a helyiségben nyáron mesterséges hűtés tartja a külsőnél alacsonyabb hőmérsékletet, akkor erről az oldalról nézve is van értelme a hőátbocsátási tényező csökkentésének.) Megint más kérdés az, hogy a csillapítási tényező növelése a korszerű épületszerkezetek esetében nem annyira a tömeg növelése, mint inkább a hővezetési ellenállások javítása révén lehetséges, ami a hőátbocsátási tényező csökkenésével is jár.

Minden szempontból hatékony védelmet nyújtanak a szellőztetett határoló szerkezetek, az elárasztott vagy permetezett lejtés nélküli tetők, az épületszerkezetekbe beépített fázisváltó töltetanyagok.

Annak megakadályozása, hogy kevesebb belső hőterhelés jusson a helyiségbe, jóval nehezebb és nem is építészeti feladat. Bizonyos esetekben azonban alkalmas épületgépészeti és technológiai megoldásokkal erre is van lehetőség (szellőztetett vagy folyadékhűtésű lámpatestekkel, a technológiai berendezések burkolásával, koncentrált helyi elszívásokkal).

Az építészeti-épületszerkezeti eszközök felhasználásának másik lehetősége: mérsékelni kell az adott hőterhelés következményeit, „lustábbá” kell tenni a helyiségnek a hőterhelésre adott válaszát.

**A hőterhelés  
következményeinek  
csökkentése**

E módszer elvileg nem csökkenti a helyiség-hőmérséklet várható napi középértékét, csökkenti viszont a helyiség-hőmérséklet ingadozását, így alacsonyabb lesz a helyiség-hőmérséklet maximális értéke és a csúcserték körüli – a helyiség használata szempontjából rendszerint fontos – időszakaszra vonatkozó értéke is.

A helyiség válaszai „lustábbak”, a hőmérséklet-ingadozás amplitúdója kisebb, késése nagyobb, ha a helyiséget nagyobb hőelnyelési tényezőjű anyagok burkolják.

A külső ablakszerkezetek hőelnyelési tényezője viszonylag jelentős (a belső felülettől számított hőátbocsátási tényezővel egyenlő), itt azonban a döntő szempont nem a hőterhelés hatásának mérséklése, hanem a hőterhelés bejutásának megakadályozása. Lényegében hasonló a helyzet a korszerű külső falszerkezetek esetén is, hiszen a tömeg növelése ma már nem járható út.

A belső falak csak teherhordó harántfalas építési mód (szerkezeti rendszer) esetében játszanak számottevő szerepet, a korszerű, szerelt, esetleg áthelyezhető belső válaszfalak szerepe csekély.

A meghatározó szerepet többnyire a födémek játsszák, amelyek a korszerű, kis tömegű és könnyűszerkezetes épületekben is általában tartalmaznak viszonylag nehéz, nagy hővezetési tényezőjű betonréteget is. A födém alsó síkjának hőelnyelési tényezőjét csökkenti az alatta levő álmennyezet. Ez természetesen sok esetben funkcionális, vagy esztétikai, esetleg éppen épületgépészeti okokból elkerülhetetlen, de ezzel a hatásával is számolni kell. A padlófelületek hőelnyelési tényezőjét a „meleg” burkolatok csökkentik.

Durva közelítésként elfogadható, hogy a hőelnyelési tényező a helyiségek burkoló felülete súlyozott átlagos felülettömegének ( $\text{kg/m}^2$ ) függvénye: a „nehezebb” helyiség „lustábban” válaszol. Az átlagos felülettömeg mellett azonban jelentős a rétegsorrend és az előzőekben vázolt tényezők szerepe is (2.16 pont).

Miután a szerkezetek súlyának növelése a korszerű építési módokkal nem egyeztethető össze, a lehetőségek köre viszonylag szűk, de nem elhanyagolható.

Külön említést érdemelnek a faanyagok, amelyeknek fajhője csaknem háromszor nagyobb, mint a szilikátbázisú építőanyagoké, s így a fa hőtechnikai szempontból jóval „nehezebb”, mint a vele azonos súlyú beton.

Az építészeti és az épületgépészeti beavatkozás határterületére esnek az olyan megoldások, mint fázisváltó töltetanyagok beépítése a szerkezetbe, vagy a belső határoló szerkezetek átszellőztetése, az éjjeli órák hidegebb külső levegőjével való előhűtése.

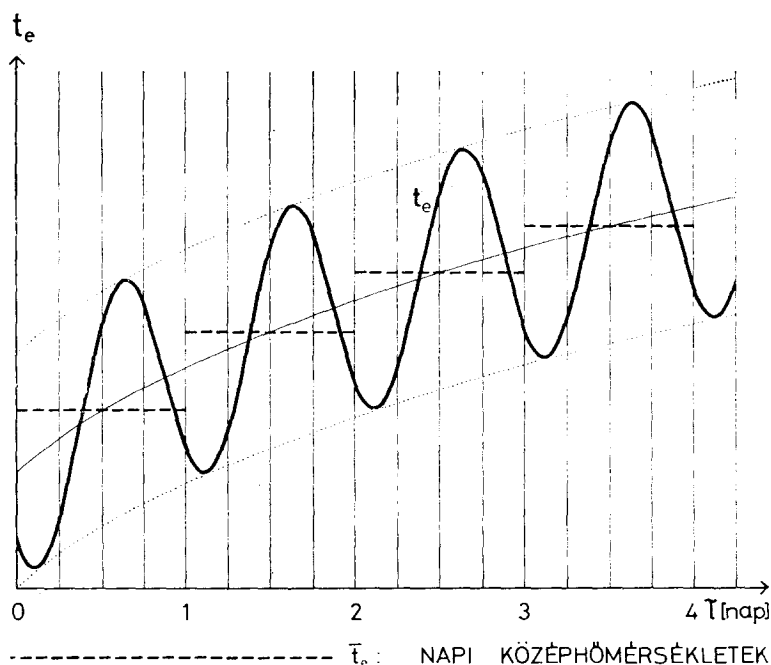
Az eddigi fejtegetések a kialakult kvázistacioner állapotokra vonatkoztak. A kvázistacioner folyamat akkor tekinthető gyakorlatilag kialakultnak, ha három-öt egymásra következő napon azonos vagy közel azonos periodikus hőhatások érik a helyiséget. Ilyen ún. hőszegszakaszok rendszerint minden nyári félévben előfordulnak.

Az viszont, hogy egy helyiség milyen gyorsan „gerjed be”, mennyi idő alatt alakul ki a kvázistacioner állapot, szintén a helyiség „lustaságától” függ. Miután a „lustább” helyiségekben egy rövidebb hőszegmens alatt a kvázistacioner állapot ki sem alakul, vagy a lassúbb felfutás miatt csak jelentős késéssel jön létre, a „lustább” helyiségben a magasabb átlaghőmérsékletű napok száma kevesebb lesz (3.29. ábra).

A helyiség-hőmérséklet kedvezően befolyásolható szellőztetéssel, ami alatt ez esetben a kezeletlen külső levegővel való szellőztetés értendő. A korábbiak során már volt szó arról, hogy az intenzívebb légcsera a helyiség filtrációs hőkarakterisztikáját növeli, ami viszont lehetővé teszi, hogy az adott hőterhelés a helyiség kisebb túlhőmérséklete mellett távozzék. Minél nagyobb a szellőző levegő térfogatárama, annál kisebb hőmérséklet-növekedés mellett képes egy adott konvektív hőáram elszállítására. A légcsereszám növelésének természetesen egyaránt vannak technikai és hőérzeti korlátai.

Miután kezeletlen külső levegőről van szó, számításba kell venni annak napi hőmérsékletmenetét is. Ennek alapján nyilvánvaló,

**A szellőztetés hatása a helyiség-hőmérsékletre**



3.29. ábra. A külső hőmérséklet „felfutása” kvázistacioner állapotra

hogy a szellőztetés hatásosabb a reggeli és a kora délelőtti órákban, valamint a késő esti időszakban, de kevésbé hatásos a déli, a kora délutáni órákban, mert a külső léghőmérséklet maximuma rendszeren 14–15 óra között jelentkezik.

A szellőztetés lehet folyamatos. Ebben az esetben az átlagos helyiség-hőmérséklet számítására a (3.23) összefüggés változatlanul alkalmas. A helyiséget érő hőterhelések között viszont számításba kell venni a szellőző levegő hőmérséklet-ingadozásából származó konvektív hőáram-ingadozást is, amely a

$$Q_{sz}(z) = L \rho c(t_e(z) - \bar{t}_e) \quad (3.46)$$

összefüggéssel határozható meg, ahol

$L$  a szellőző levegő térfogatárama,  
 $\rho$  a levegő sűrűsége,  
 $c$  a levegő fajhője,  
 $t_e(z)$  a külső léghőmérséklet  $z$  órákor,  
 $\bar{t}_e$  a külső léghőmérséklet napi átlaga.

A szellőztetést gyakran a helyiség használati idejéhez igazítják. A szakaszos szellőzés hatása egy pulzáló hőterhelés hatására hasonlít. A szakaszos szellőztetés annál eredményesebb, minél kisebb az adott időszakban a külső levegő hőmérséklete ahhoz a helyiség-hőmérsékletéhez viszonyítva, amely a szakaszos szellőztetés nélkül alakult volna ki. E hőmérséklet-különbségből, a levegő térfogatáramából, sűrűségéből és fajhőjéből határozható meg a „hőterhelés” nagysága. Az időtartam ismert, így a hatás a (3.27) összefüggés alapján számítható.

Amennyiben épületszerkezeti, biztonsági, szervezési és üzemeltetési szempontból a megoldás feltételei adottak, jó eredmény érhető el egy nappal használt helyiség esetében előhűtéssel, vagyis éjszakai (szakaszos) szellőztetéssel, 22 és 06 óra között ugyanis a külső levegő hőmérséklete 15–20 °C között van. Az ilyen alacsony hőmérsékletű szellőző levegővel a helyiséget burkoló épületszerkezetekben tárolt hő könnyen eltávolítható, kisüthető, a lehűtött épületszerkezetek pedig nappal, miközben a hőterhelés hatására felmelegednek, alacsonyabb hőmérsékletet érnek el. Így végső soron, a helyiség-hőmérséklet napi átlaga, s ezzel a nappali, a használati időszakra vonatkozó helyiség-hőmérséklet is alacsonyabb lesz. A helyiség-hőmérséklet ingadozása, az éjszakai órák alacsonyabb helyiség-hőmérséklete — miután a használati időn kívül jelentkezik — nem okoz hőérzeti problémákat.

#### A hűtőterhelés

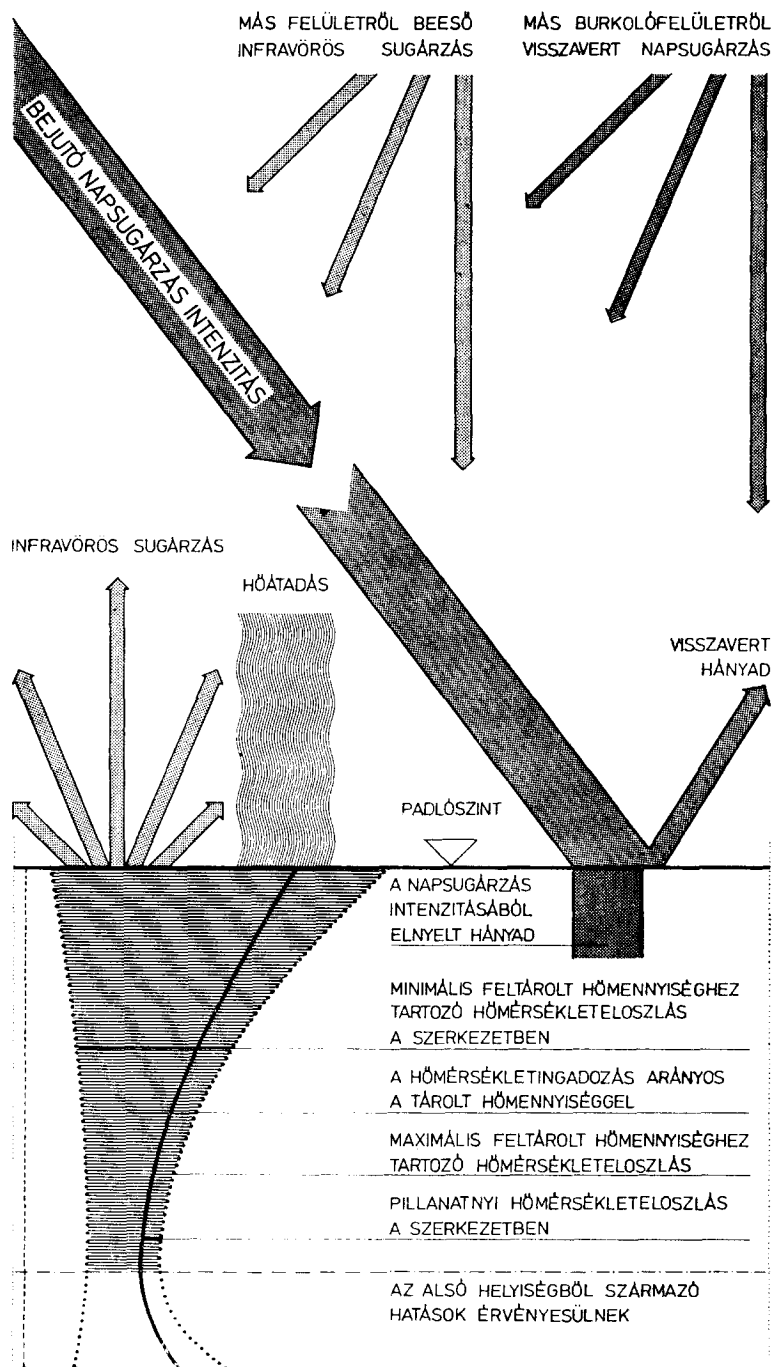
A korábban ismertetett számításokból olyan következtetés is adódhat, hogy az elfogadható helyiség-hőmérséklet építészeti, épület-

szerkezeti eszközökkel az adott esetben már nem biztosítható, tehát mesterséges hűtésre, klimatizálásra van szükség. Bizonyos esetekben a klimatizálás a helyiség rendeltetéséhez, funkciójához már eleve hozzátartozik. A klímaberendezés teljesítmény- és energiaigénye az építészeti adottságokkal, a helyiségek hőtechnikai tulajdonságaival is összefügg. A méretezés első lépése a hűtőterhelés meghatározása. Hűtőterhelés alatt az a hőáram értendő, amelyet a kívánt helyiség-hőmérséklet biztosítása végett a helyiségből el kell vonni. Ez nem azonos a rendszer teljesítményével, ami a levegőkezelés módjának, a klímaközpont rendszerének is függvénye; ezen túlmenően a rejtett hőterhelés, a levegő nedvességtartalmának módosítása sem kerül elemzésre.

Mint arról már a korábbiakban szó volt, a hűtőterhelés nem egyezik a hőterheléssel. Ennek egyik oka az, hogy a hőterhelés részben konvektív, részben sugárzó, viszont a hő eltávolítása a helyiségből csaknem minden esetben konvektív úton történik. A másik ok a helyiséget burkoló épületszerkezetek hőtároló, késleltető hatása. Ehhez egyes esetekben még a helyiség levegőjében és a berendezési tárgyakban tárolt hő számításbavétele is indokolt (lásd: 3.13 pont).

A konvekciós és a sugárzási hőcsere különbségét a (3.27) összefüggés utolsó tagja is jól kifejezi. A különbség lényege az, hogy ha sugárzás révén jut hő a helyiségbe, akkor azt valamelyik burkoló felület elnyeli. Az elnyelt hőtől a felület felmelegszik, és egyrészt vezetékes hőáram indul a szerkezet belsejébe, másrészt a helyiséget burkoló felületek (mennyezet, falak, padló, bútorzat) között alakul ki sugárzásos hőcsere (3.30. ábra). Ezen túlmenően az elsődleges hatás (pl. az üvegezésen át bejutó napsugárzás) és a másodlagos hatás (a burkoló felületek közötti hőcsere) miatt felmelegedett burkoló felület – a „doboz” – hőátadás révén felmelegíti a helyiség – a „doboz” – levegőjét, de természetesen legfeljebb a burkoló felületek hőmérsékletére.

Konvektív hőterhelés esetén a helyiség levegője az, amely a hőt először elnyeli, és – felmelegedvén – hőátadás révén felmelegíti a burkoló felületeket is. A burkoló felületekről ebben az esetben is vezetékes hőáram indul a szerkezet belseje felé. Mint látható, konvektív hőterhelésnél a levegő közvetíti a forrás és a burkoló felület között. A közvetítéshez azonban – tehát ahhoz, hogy a levegőből hőáram jusson a szerkezetekbe arra van szükség, hogy a levegő melegebb legyen, mint a burkoló felület. A konvektív hőterhelés tehát ebből a szempontból „veszélyesebb”, mint a sugárzási. Más kérdés az, hogy többnyire a sugárzási hőterhelés abszolút értéke nagyobb és emiatt több gondot is okoz.



3.30. ábra. A padló hőmérlegének sémája

Az előbb említett „veszélyesség”-nek előnyös oldala is van, ami jól kihasználható. Ha ugyanis konvektív úton — légcserével — a helyiségből hőt távolítanak el, akkor a helyiség léghőmérsékletének csökkentése is viszonylag könnyebb. Ha a helyiség sugárzási hőterhelés következtében melegszik fel, és abba hűtött levegőt juttatnak be, ez a levegő nem annyi hőt vesz fel, mint amennyi az adott pillanatban a sugárzások hőterhelés, hanem csak annyit, amennyi a levegő és a burkoló felületek közötti hőmérséklet-különbség mellett hőátadással a burkoló felületekről a levegőbe tud jutni. A különbség — egyelőre — a szerkezetben marad. A későbbiekben, amikor a sugárzási hőterhelés már megszűnt, de a szerkezetek a bennük tárolt „maradéktól” még melegnek, a légáram — továbbra is a hőmérséklet-különbség és a hőátadási viszonyok (1) szabta ütemben — a maradékot is elszállítja. A teljes periódusra teljesül, hogy a szerkezetek által elnyelt hő megegyezik a szerkezetekből távozó hővel.

Az eddigiekből már nyilvánvaló a tárolt hő, a szerkezetek hőelnyelési tényezőinek ( $Y$ ) szerepe is. Minél jobb hőelnyelési tényezőjű szerkezetek burkolják a helyiséget,

annál kevésbé melegszik fel azok felülete az adott hőterhelés hatására, tehát

annál kisebb lesz a hűtött levegő és a felület közötti hőmérséklet-különbség, és ezzel a levegőnek átadott hő, vagyis

annál lassúbb ütemben folyik az elnyelt hő eltávolítása, ezért

annál kisebb a maximális hűtőterhelés a maximális hőterhelésnél.

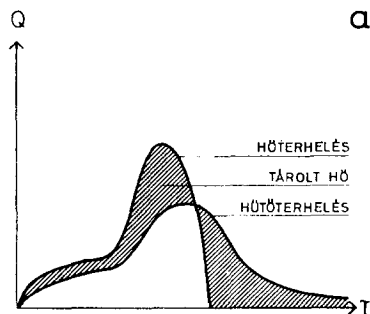
Az elnyelt hőt természetesen el kell távolítani, ha lassúbb ütemben, akkor hosszabb idő alatt. Annak a jelentősége azonban, hogy a maximális hűtőterhelés jó esetben — és ez építészeti, épületszerkezeti kérdés is — csak harmada-fele a maximális hőterhelésnek, a klímaberendezés teljesítménye, helyigénye, üzemeltetése szempontjából nem szorul bizonyításra.

A bemutatott ábrák egy helyiség hűtőterhelésének és hőterhelésének viszonyát ábrázolják. A kérdés jelentősége még nagyobb, ha az épületgépészeti rendszer több helyiséget szolgál ki, pl. egy irodaház különböző menetrendű hőterheléseknek kitett helyiségcsoportjait. Ilyen esetben ugyanis — a hűtőterhelések maximumainak időbeli eltolódása miatt — az összegezett hűtőterhelés maximuma kevesebb, mint a maximális hűtőterhelések összege. Az üzemeltetési idők célszerű kombinálásával a beépítendő összteljesítmény csökkenthető.

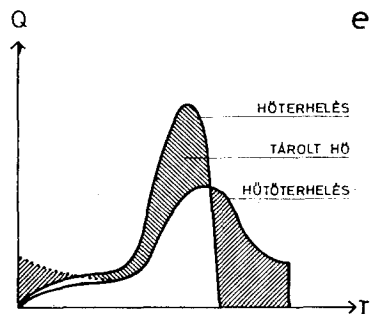
A helyiséget burkoló felületek hőelnyelésének hatását a 3.31. ábra szemlélteti. A hőterhelés egy nyugati tájolású üvegezéssel át jut a



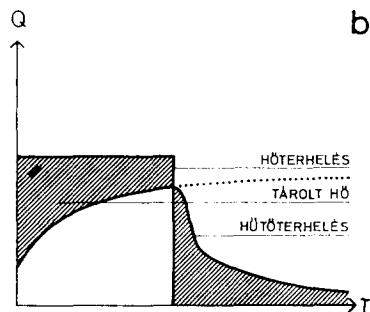
a) a napsugárzásból  
származó hűtőterhelés  
(Ny-i tájolás)



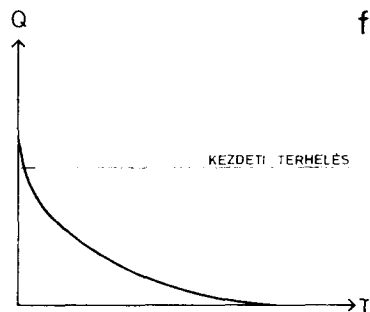
e) a napsugárzásból  
származó hűtőterhelés  
(Ny-i tájolás, 16 h  
üzemidejű  
klímaberendezés)



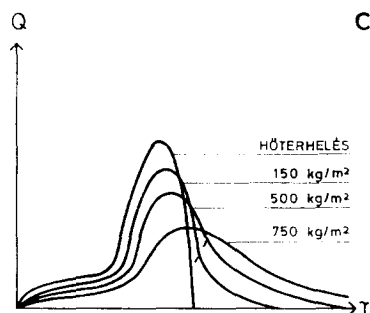
b) a fénycsővilágításból  
származó hűtőterhelés  
(Ny-i tájolás)



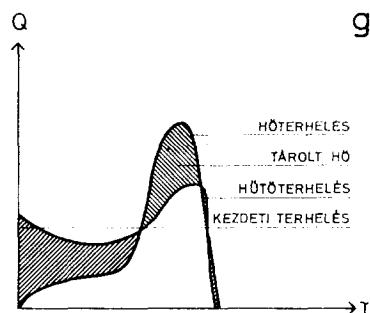
f) a tárolt hő változása  
(napsugárzásból, Ny-i  
tájolás, 12 h üzemidejű  
berendezés)



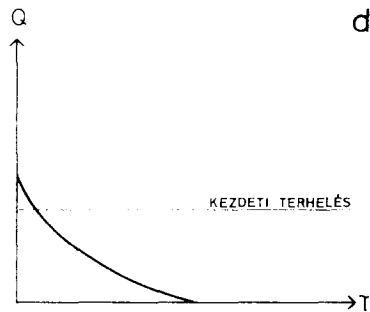
c) napsugárzásból és  
világításból származó  
hűtőterhelés különböző  
fajlagos tömegű  
határoló szerkezetek  
esetén



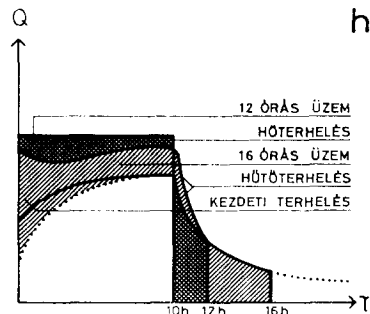
g) napsugárzásból  
származó hűtőterhelés  
(Ny-i tájolás, 12 h  
üzemidejű  
klímaberendezés)



d) a tárolt hő változása  
(napsugárzásból, Ny-i  
tájolás, 16 h üzemidejű  
klímaberendezés)



h) fénycsővilágításból  
származó hűtőterhelés  
(12 és 16 h üzemidejű  
berendezés)



3.31. ábra. A hűtőterhelés számítása

helyiségbe. Minél nagyobb a burkoló felület hőelnyelése, annál kisebb a maximális hűtőterhelés. Miután a határoló szerkezetekben tárolt hőt a nap folyamán el kell vonni, a jobb hőelnyelésű, nehezebb szerkezetekkel burkolt helyiségből a hőterhelés lefutása utáni időben több hőt kell elszállítani. Ez egyszersmind azt is jelenti, hogy a szükséges hűtőteltjesítmény napi menete egyenletesebb, ami üzemeltetési, szabályozási szempontból nyilvánvalóan előnyös.

A klímaberendezés üzemelhet folyamatosan is és szakaszosan is. Az üzemidő természetesen visszahat a pillanatnyi hűtőterhelésértékekre, hiszen az egy nap alatt bejutó hőterhelést szakaszos üzemben is egy nap alatt kell eltávolítani és ehhez most rövidebb idő áll rendelkezésre.

A szakaszos üzem indokai a következők:

abban az időszakban, amikor a helyiség használaton kívül van, a klímaberendezés több funkciója (a friss levegő pótlása, a nedvességtartalom szabályozása) felesleges;

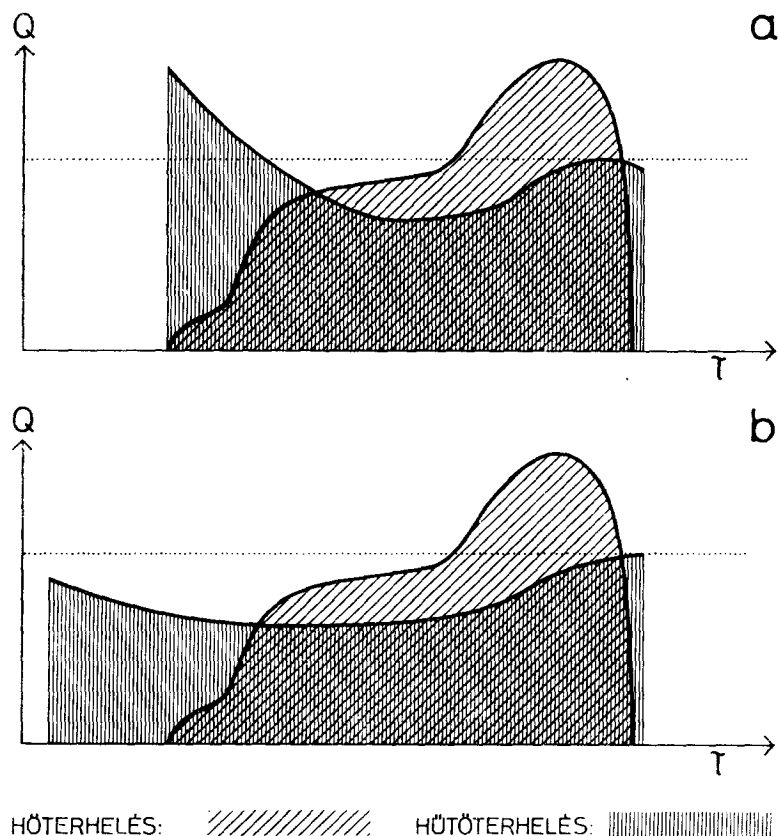
a hűtőterhelés menete egyenletesebb;

a berendezés felügyelete a használati időn kívül nem okoz gondot.

Ha a klímaberendezés szakaszosan üzemel, akkor az üzemidő végéig még nem távolítja el a helyiséget burkoló szerkezetek által elnyelt és tárolt hőt. Ennek egy része az üzemszüneti időben „spontán” módon (transzmisszióval és filtrációval) ugyan eltávozhat a helyiségből, de a következő napon, üzemkezdetkor a helyiséget burkoló határoló szerkezetek mindenképpen melegebbek, mint folyamatos üzemeltetés esetén. Ezért üzemkezdetkor a pillanatnyi hűtőterhelés viszonylag magas. A méretezést, az üzemidő kezdetének és végének megállapítását tehát úgy kell elvégezni, hogy az üzemkezdetkor fellépő pillanatnyi hűtőterhelés ne legyen nagyobb az üzemidő alatt a hűtőterhelés görbéjében kialakuló maximumnál. Ha ugyanis a maximum az üzemkezdetre tevődne át, akkor ennek megfelelő nagyobb teljesítményű berendezést kellene beépíteni. Ez elkerülhető az üzemidő egy-másfél órás meghosszabbításával, a használati idő kezdete előtti rövid előhűtési időszakkal. A mondotakat a 3.32. ábra szemlélteti.

Bizonyos energia- és teljesítménymegtakarítás érhető el oly módon, hogy a helyiség-hőmérséklet előírt értékét nem állandónak, hanem a nap folyamán változónak írják elő. E megoldást hőérzeti szempontból is ellenőrizték.

A hűtőterhelés meghatározására a korábban tárgyalt (3.27)–(3.28) összefüggések alkalmazhatók, a következő gondolatmenet szerint:



3.32. ábra. Az előhűtési idő megválasztása

a) a túl rövid; b) az elegendő

Az előző számításokból ismert, hogy milyen lenne a helyiség-hőmérséklet napi menete mesterséges hűtés nélkül. Ennek és az előírt – esetleg változó értékkel előírt – helyiség-hőmérsékletnek a különbsége,  $\Delta\vartheta_i(z)$  óráról-óra meghatározható. Ha ismert az a  $\Delta\vartheta_i$ -hőmérséklet-változás, amelyet a klímaberendezés által okozott – negatív – hőterheléssel (a hűtőterheléssel) el kell érni, akkor a (3.27)–(3.28) összefüggések bal oldala is ismert, a helyiség hőtechnikai jellemzői ismeretében a „hőterhelés” az egyenletből kifejezhető.

Ha viszonylag pontos eredményre van szükség, akkor a számítás során szuperpozíciós eljárást kell alkalmazni (3.28. ábra).

A szuperpozíciós eljárás elvileg kézi számításra is alkalmas, de aránylag nagy időigénye miatt inkább ennek a módszernek a számítógépes adaptációi használhatók.

Kézi számítások céljára alkalmazzák az ún. *tárolási tényezők* módszerét. Ennek lényege az, hogy bizonyos tipikus hőterhelés menetekre — a klímaberendezés üzemidejének és a helyiség hőelnyelésének függvényében — táblázatos formában óráról órára megadják a hőterhelés és a hűtőterhelés hányadosát. Ha a helyiségre többféle hőterhelés hat, az azonos órára vonatkozó eredményeket szuperponálni kell. E módszer az egyszerűség érdekében néhány elhanyagolást tartalmaz: az eredmény nem függ a helyiség-hőmérséklettől, a hőelnyelési tényező értéke helyett a helyiséget csak a padlófelületre vonatkoztatott átlagos „felületsúllyal” jellemzik, az üzemszüneti időn kívüli „spontán” folyamatok hatását nem veszik figyelembe.

## 4. Tér csoportok, térkapcsolatok, épületek energiamérlege

### 4.1 A filtrációs levegőforgalom

#### 4.11 Általános kérdések

##### A filtráció fogalma

A 3.21 pontban már volt szó arról, hogy a fűtési hőszükséglet egy részét az ún. filtrációs hőszükséglet teszi ki. A filtráció, filtrációs levegőforgalom elnevezést akkor használják, ha a helyiség és a környezet közötti levegőforgalom a nyílászárók résein, a panelek és más elemek illesztési hézagain, egyes esetekben a légáteresztő szerkezetek felületein, a szellőzőnyílásokon, a kürtőkön keresztül játszódik le. A levegő mozgását előidéző okok: a levegő sűrűségkülönbségből származó gravitációs felhajtóerő, a szél okozta torlónyomás, a kiegészítő elszívó szellőzés működése, illetve ezek együttes hatása.

A levegő mozgási iránya szerint infiltrációról van szó, ha a levegő a helyiségbe és exfiltrációról, ha a helyiségből áramlik. Filtrációs hőszükségletnek azt a hőáramot nevezik, amely a helyiségbe infiltrálódó légáramot a helyiség-hőmérsékletre felmelegíti. (Ezt a hőáramot a fűtőberendezés fedezi.) Több helyiségből álló épületekben a helyiségnek filtrációs hőnyeresége is lehet, ha (a szomszédos helyiségekből) infiltrálódó levegő hőmérséklete magasabb, mint a szóban forgó helyiség hőmérséklete.

##### Filtráció és a szellőztetés

A filtrációs levegőforgalom, a természetes és a mesterséges szellőztetés fogalmai elég nehezen választhatók szét, és a megkülönböztetés tulajdonképpen mindig kissé önkényes. Az előző meghatározás szerint főleg akkor beszélnek *filtrációról*, ha

a fűtési időnyre vonatkozó jelenségről van szó,

a levegő áramlási útjának egészét vagy nagyobb részét az épület helyiségeinek, nyílászáróinak láncolata alkotja (az áramlási útvonalnak legfeljebb csak egy részét alkotják légcsatornahálózati elemek),

a levegő áramlását előidéző nyomáskülönbség kizárólag „természetes” hatásoknak (felhajtóerő, szél), vagy túlnyomórészt „természetes” hatásoknak tudható be,

a levegőforgalom kialakulásában esetleg szerepet játszó gépi szellőztetés elszívó szellőzés,

a helyiségbe bejutó levegő felmelegítéséhez szükséges hőáramot a fűtőberendezés fedezi.

A filtrációs levegőforgalom tehát abban különbözik a gépi *szellőztetéstől*, hogy az utóbbinál

a levegő áramlási útjának egy részét mindig légcsatornahálózati elemek alkotják,

a levegő felmelegítésére a szellőzőberendezésbe beépített készülékek (hőcserélők, mosókamrák, hővisszanyerők stb.) szolgálnak.

A természetes szellőzés a felsorolt feltételek többsége szerint tulajdonképpen szintén filtrációs levegőforgalomnak tekinthető, mint ahogyan a filtrációs levegőforgalom fogalmához a természetes szellőzés funkciója is hozzátartozik. A megkülönböztetés alapja az, hogy a természetes szellőzés a helyiség(ek) hatékony és bizonyos fokig szabályozható átöblítését célozza, ezért a levegő be- és kibocsátására — alkalmas kialakítású — felülvilágítók, tetőszellőzők, huzatnövelő szívófejek, több fokozatban állítható nyílászárók, zsáluk, csappantyúk is szolgálnak.

A filtrációs levegőforgalom keretei között kialakuló légcserre bizonyos értelemben és mértékig a helyiségek szellőzését is elősegíti, lehetővé teszi. Ez a funkció azonban éppen a folyamat spontán (esetenként nem befolyásolható) jellege folytán nem elsődleges és nem is kizárólagos, hiszen a környezeti jellemzők változása, cellás (térsejtrendszerű) épületekben emellett még az egyes helyiségek eltérő adottságai következtében bizonyos időszakokban és egyes helyiségekben a légcserre túlságosan nagy, a szükséges mértéket meghaladja, míg máskor és másutt a helyiségbe nem is jut friss levegő, csak más helyiségből származó használt, szennyezett levegőt kap. Ugyanakkor a filtrációs hőszükséglet a teljes fűtési hőszükséglet igen nagy hányadát teszi ki és komoly üzemviteli, szabályozási nehézségeket okoz.

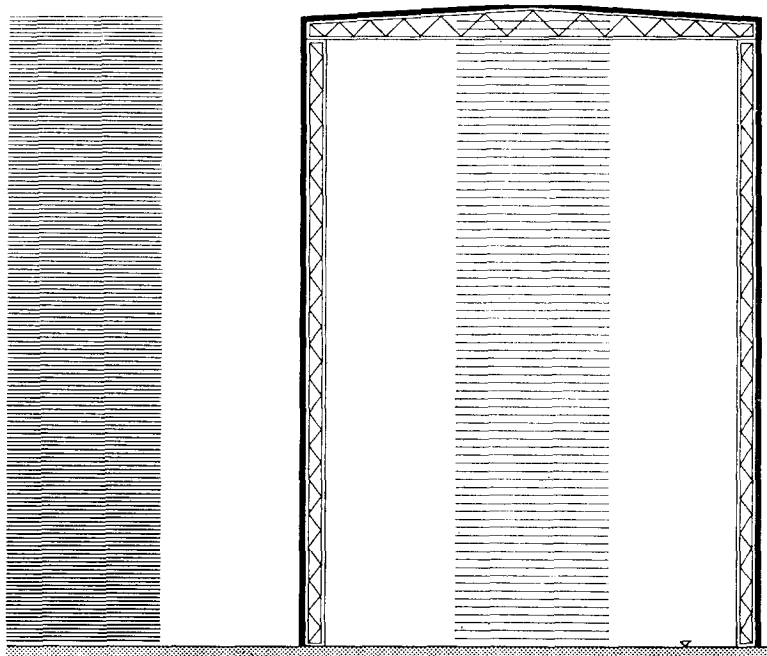
A felsorolt tények miatt a filtrációs levegőforgalmat káros jelenségnek tartják, amelyet építészeti, épületszerkezeti, épületgépészeti eszközök felhasználásával meg kell szüntetni, vagy legalábbis erősen mérsékelni kell. Ez a szemlélet lényegében és az esetek nagy részében helyes: de csak megfelelő nyílászárók, szabályozható levegőbeocsátó csappantyúk, jól méretezett elszívó hálózat esetében és korlátozott szintszámú épületekben érhető el az, hogy a filtrációs levegőforgalom mértéke, a légáramlás iránya az év nagy részében megfeleljen a szellőzéssel szemben támasztott igényeknek.

#### 4.12 A nyomáseloszlás

A sűrűségkülönbségből származó felhajtóerő

A filtrációs levegőforgalmat kiváltó „természetes” hatások egyike a külső levegő és az épületben levő levegő közötti hőmérsékletkülönbség és az ezzel együttjáró sűrűségkülönbség.

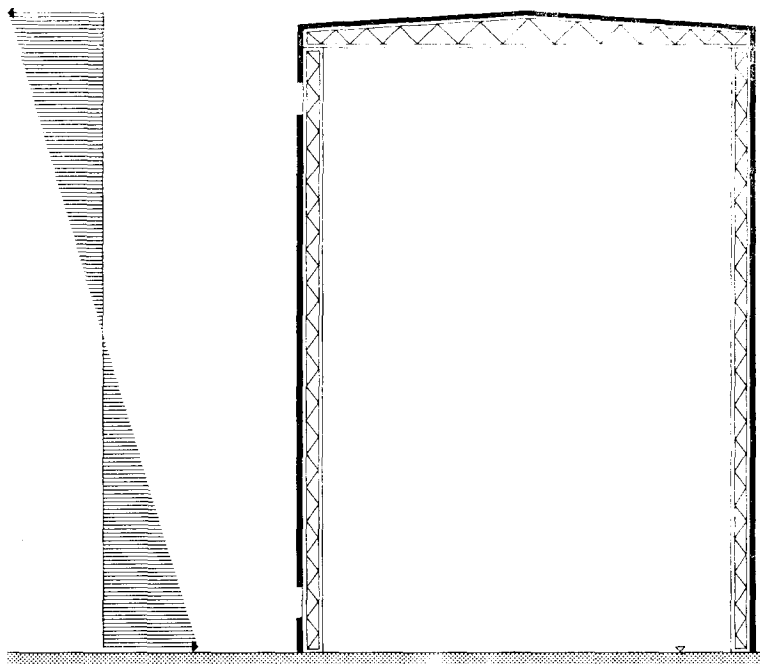
Ha adott egy, a Föld felszínére helyezett, légmentesen zárt doboz, amelynek magassága  $h$ , a külső levegő hőmérséklete  $t_e$ , a dobozon belüli léghőmérséklet  $t_i$ , akkor a levegő nyomása a  $h$  magasságban elképzelt felületre bárhol egy adott atmoszférikus értékkel egyenlő, hiszen e sík felett mindenhol ugyanolyan magasságú,  $t_e$  hőmérsékletű levegőoszlop van. A nyomásviszonyokat tehát elegendő a  $h$  magasságban elképzelt sík és a felszín között vizsgálni. A sík és a felszín között a dobozon kívül egy  $h$  magasságú,  $t_e$  hőmérsékletű levegőoszlop van, amelyből a felszínre a  $p_e = h\rho_e g$  nyomás jut, ahol  $\rho_e$  a  $t_e$  hőmérsékletű levegő sűrűsége,  $g$  a nehézségi gyorsulás. Hasonlóan írható fel a dobozon belüli  $t_i$  hőmérsékletű levegőoszlopból a felszínre jutó nyomás  $p_i = h\rho_i g$ . Ennek megfelelően  $h$  magasságban a dobozon kívül és a dobozon belül a nyomások azonosak. A felszínen a dobozon kívüli és a dobozon belüli nyomások különbsége  $\Delta p = h\rho_e g - h\rho_i g = hg(\rho_e - \rho_i)$ . A doboz magassága



4.1. ábra. A nyomás alakulása a külső levegőtől elzárt térben

mentén a nyomáskülönbség egyenesen arányos – a  $h$  magasságban levő síktól mért – függőleges mérettel (4.1. ábra).

Ha a doboz alján és tetején egy-egy azonos méretű és kialakítású nyílást képeznek ki, akkor a nehezebb külső levegő az alsó nyíláson át a dobozba nyomul, az ott levő könnyebb levegő a felső nyíláson át távozik. Az egyensúly feltétele nyilván az, hogy amennyi levegő a dobozba bejut, ugyanannyi onnan távozik. Ahhoz, hogy a légkörzés fennmaradjon, természetesen szükség van a dobozban egy olyan hőforrásra, amely a dobozon belüli léghőmérsékletet továbbra is a korábbi  $t_i$  értéken tartja. A levegő mozgását a  $\Delta p = hg(\rho_e - \rho_i)$  nyomáskülönbség hozza létre; ha az alsó és a felső nyílás mérete, kialakítása azonos, akkor az áramlási ellenállásaik is gyakorlatilag azonosak: a rendelkezésre álló nyomáskülönbség fele fordítódik arra, hogy a levegő az alsó nyíláson át a dobozba jusson, másik fele arra, hogy a felső nyíláson keresztül a környezetbe távozzon. A nyomáseloszlás a magassággal továbbra is egyenesen arányos (4.2. ábra). Az alsó nyílás – ahol a külső nyomás nagyobb – és a felső nyílás – ahol a belső nyomás nagyobb – között van egy



4.2. ábra. A nyomáskülönbség változása egyforma áramlási ellenállású nyílások esetében



olyan sík, ahol a külső és a belső nyomás egyenlő. Ez az ún. *semleges zóna*, amely jelen esetben  $h/2$  magasságban alakul ki. A számítások során többnyire olyan nyomásadatokkal dolgoznak, amelyek viszonyítási alapja (a skála zérus pontja) a semleges zónában uralkodó nyomás. (A választás önkényes, viszonyítási alapnak más kitüntetett érték, pl. a doboz palástján adódó legkisebb nyomás is választható).

A semleges zóna nem feltétlenül a magasság felében alakul ki. Ha a beömlő és a kiömlő nyílások mérete nem egyforma, akkor a semleges zóna a nagyobb méretű nyíláshoz van közelebb, amelynek áramlási ellenállása kisebb, tehát a rendelkezésre álló nyomáskülönbség kisebb hányada elegendő a levegő átáramlásának biztosításához. A kisebb méretű nyílás áramlási ellenállásának legyőzésére viszont a rendelkezésre álló nyomáskülönbség nagyobb hányada fordítódik (4.3. ábra).

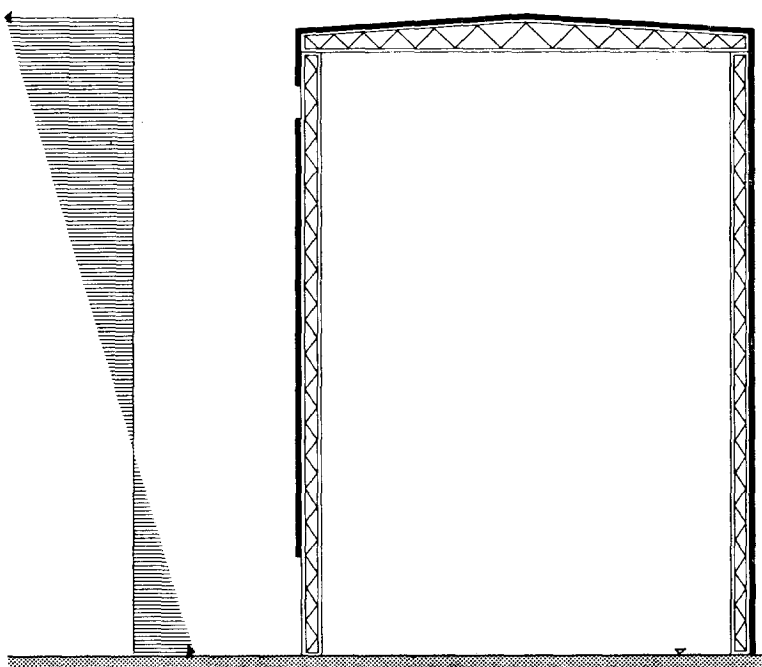
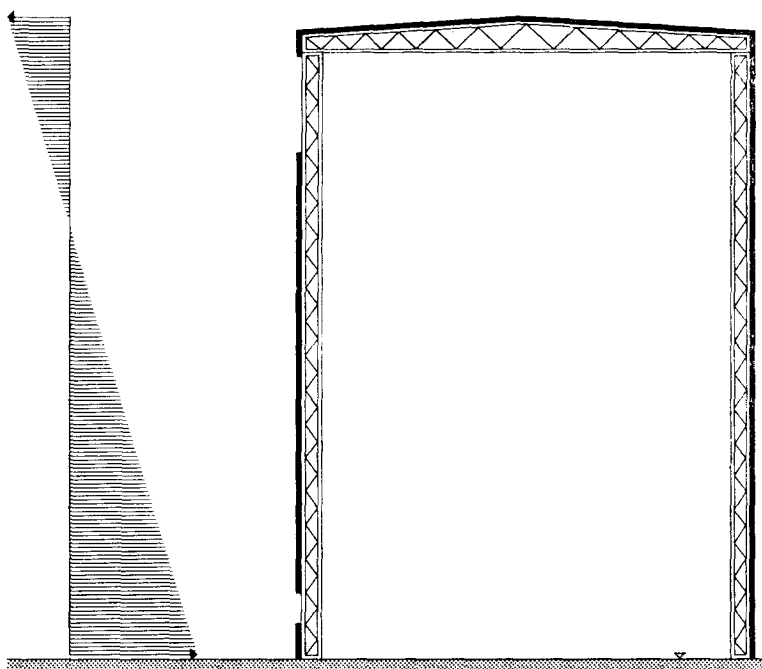
#### **A csarnokok gravitációs szellőztetése**

Az eddigi sematikus ábrák alapján is könnyen elképzelhető, hogy a „doboz” egy szabadon álló csarnok, amelynek szellőztetése a leírt jelenség alapján, a gravitációs felhajtóerő hatását kihasználva megy végbe. Miután a szellőztetésre nyáron is szükség van, és a szellőztetés működésének alapja a hőmérséklet-különbség, gravitációs szellőzést főként az ún. melegüzemekben szokás alkalmazni, ahol az állandó és jelentékeny belső hőterhelés, a hőforrás a technológia törvényszerű velejárója, és a technológia, a darupályák miatt a csarnok magassága is tekintélyes. E megoldás egyszerű, működéséhez energia nem kell, de a távozó levegő hőtartalmának visszanyerésére sincs mód.

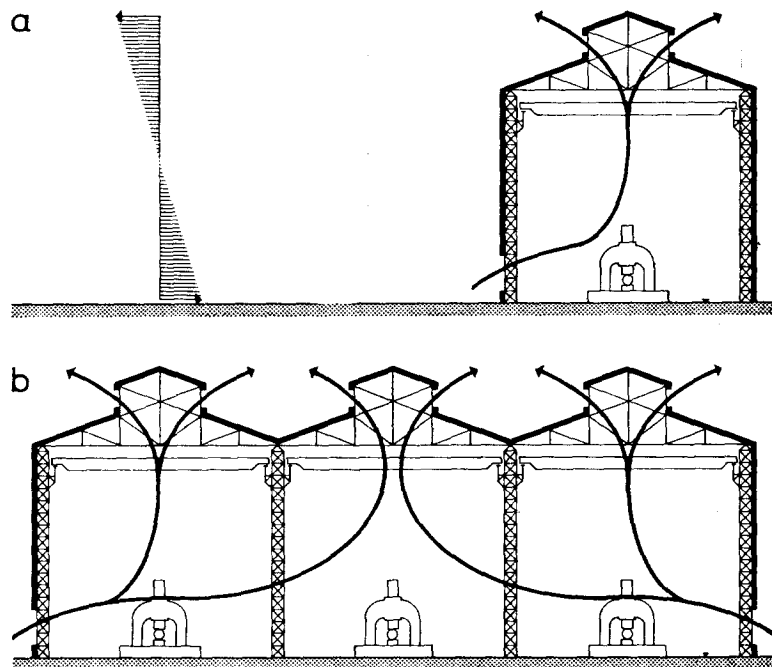
Csarnokjellegű (egybefüggő nagy terű) épületek közül egyszerűbb kivitelű istállókban és más igénytelen funkciók esetében alkalmaznak még gravitációs szellőzést.

A levegő rendszerint zsáuzattal szabályozható ellenállású nyílásokon és a kapukon át jut be a csarnokba. A kiömlőnyílásokat rendszerint felülvilágító, monitoros kialakításban képezik ki. Ilyen módon többhajós csarnokok gravitációs szellőzése is megoldható. Az egyes hajók közötti megfelelő levegőáram-eloszlás a be- és kiömlőnyílások áramlástanai jellemzőinek alkalmas megválasztásával érhető el (4.4. ábra).

A méretezés alapelvét illetően a korábban mondottakat csak annyiban kell kiegészíteni, hogy jelen esetben nem a belső hőmérséklet, hanem a forrás erőssége (a belső hőterhelés) adott. A számítás tehát iterációs lesz: a korábban rögzített feltételek mellett teljesülnie kell annak a feltételnek is, hogy a felhajtóerőt biztosító hőmérsék-



4.3. ábra. A nyomáskülönbség változása különböző áramlási ellenállású nyílások esetében



4.4. ábra. A nyomáskülönbség változása és a levegő mozgása a hőmérséklet-különbség hatására

a) egyhajós csarnok; b) több hajós csarnok

let-különbség megegyezik a légtömegáram ama hőmérséklet-növekedésével, amelyet a belső hőterhelés okoz.

A számítás gondolatmenete a következő:

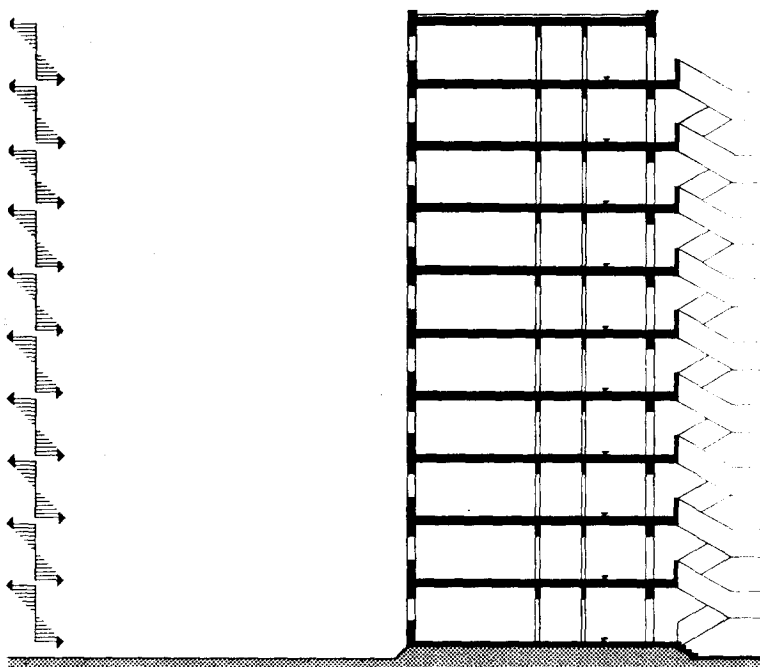
Becslés alapján felvesznek egy szellőző légtömegáramot.

A belső hőterhelésből (a forrás erősségéből) kiszámítják a távozó levegő hőmérsékletét.

A hőmérséklet-különbségből kiszámítják a sűrűségkülönbséget, a gravitációs felhajtóerőt.

Az alsó és a felső belépő-, illetve kilépőnyílások keresztmetszetének és átfolyási tényezőinek ismeretében megállapítják, hogy a rendelkezésre álló nyomásból melyikre mekkora hányad jut.

A légmennyiség az utóbbi adatból számítható, és a becsült értékkel összehasonlítható. Ha a két érték nem esik egybe, a kiinduló érték módosításával a számítást meg kell ismételni.

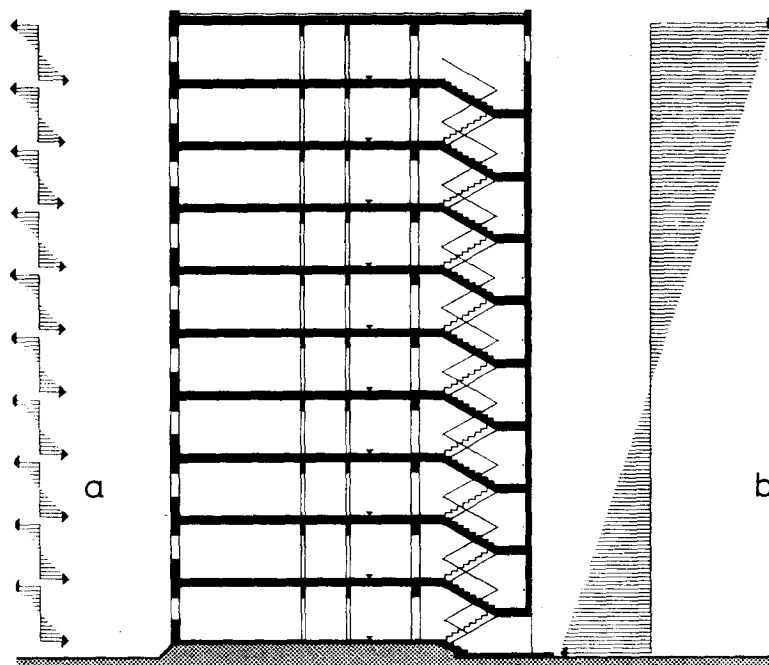


4.5. ábra. A nyomáskülönbség változása nyitott lépcsőházas több szintes épületek esetében

A sűrűségkülönbségből származó nyomás számítása több szintes, cellás épületeknél is a korábban megismert módon történik. Bármelyik szinten kiragadva egy helyiséget, a nyomáseloszlás vonala annak padlószintje (az előzőekben a felszín) és mennyezeti szintje (a  $h$  magasságban elképzelt sík, jelen esetben  $h$  a szintmagasság) között meghatározható. A semleges zóna helyét a nyílászárók rés-hossza és légáteresztése alapján lehet megállapítani. Ezt a 4.5. ábra szemlélteti, az ábrán feltüntetett sematikus elrendezés egy nyitott lépcsőházas, függőfolyosós épület metszeteként fogható fel.

A gravitációs  
nyomáseloszlás  
több szintes  
épületeknél

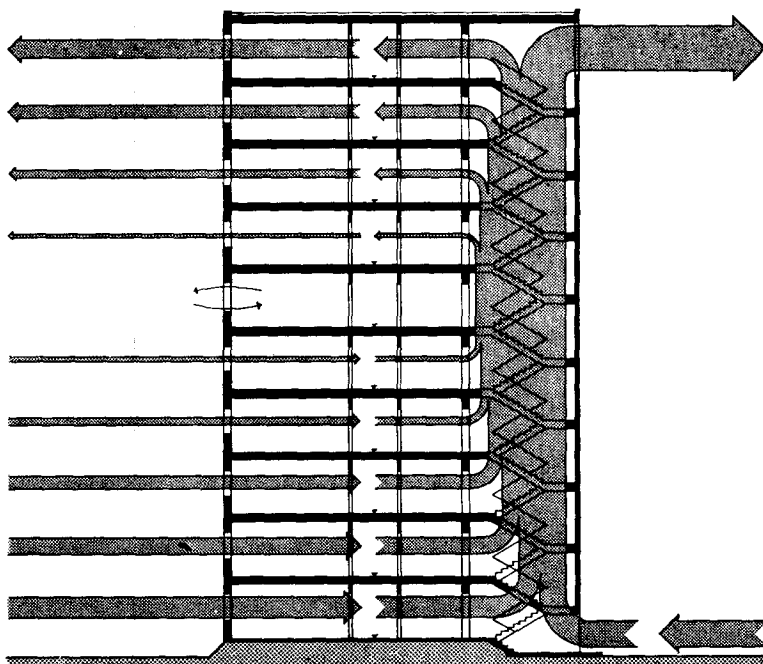
Valamelyest összetettebb kép alakul ki, ha egy épületen belül különböző magasságú helyiségek kerülnek egymás mellé. Ez mindennapos jelenség: a több szintes, fogatolt lakóépületekben egyaránt előfordulnak szintmagasságú helyiségek (a lakások, a vízszintes közlekedés terei) és épületmagasságú terek (a lépcsőház, a liftakna: a vertikális közlekedés terei). A számítás első lépése itt is abból áll, hogy a szintmagasságú helyiségekre és az épületmagasságú terekre is külön-külön, mint önálló „dobozokra” meghatározzák a nyomáseloszlásokat (4.6. ábra). Az egész épület, mint



4.6. ábra. A nyomáskülönbség változása zárt lépcsőházas több szintes épületek esetében

a) az egy-szint magasságú helyiségek és a külső tér között; b) az épület magasságú helyiségek és a külső tér között

összefüggő aerodinamikai rendszer megítéléséhez azonban figyelembe kell venni azt is, hogy a szintmagasságú és az épületmagasságú terek között az egyes szerkezetek légáteresztő elemei (pl. a lakásbejárati ajtók rései) összeköttetést teremtenek. Miután a szintmagasságú és az épületmagasságú terekben különböző nyomáseloszlás uralkodik, a nyomáskülönbség hatására köztük levegőáramlás alakul ki. Ennek iránya és mértéke az azonos geodetikus magasságban levő síkokban érvényes nyomáskülönbségek algebrai összegezéséből állapítható meg. Így pl. az  $x$  magasságban levő síkban a szintmagasságú helyiség és a külső tér között nincs nyomáskülönbség, az épületmagasságú tér és a külső tér közötti nyomáskülönbség  $\Delta p_{x6}$ . Ha az épületmagasságú tér nyomása  $\Delta p_{x6}$  értékkel kisebb, mint a külső térbeli, akkor a szintmagasságú térből  $\Delta p_{x6}$  nyomáskülönbséghez tartozó légtömegáram halad át az épületmagasságú térbe (4.6. ábra). Hasonlóan lehet eljárni az  $y$  magasságban levő síknál is: a szintmagasságú térben a nyomás  $\Delta p_{ysz}$  értékkel nagyobb, az épületmagasságú térben  $\Delta p_{y6}$  értékkel kisebb, mint a külső térben; a kettő közötti nyomáskülönbség

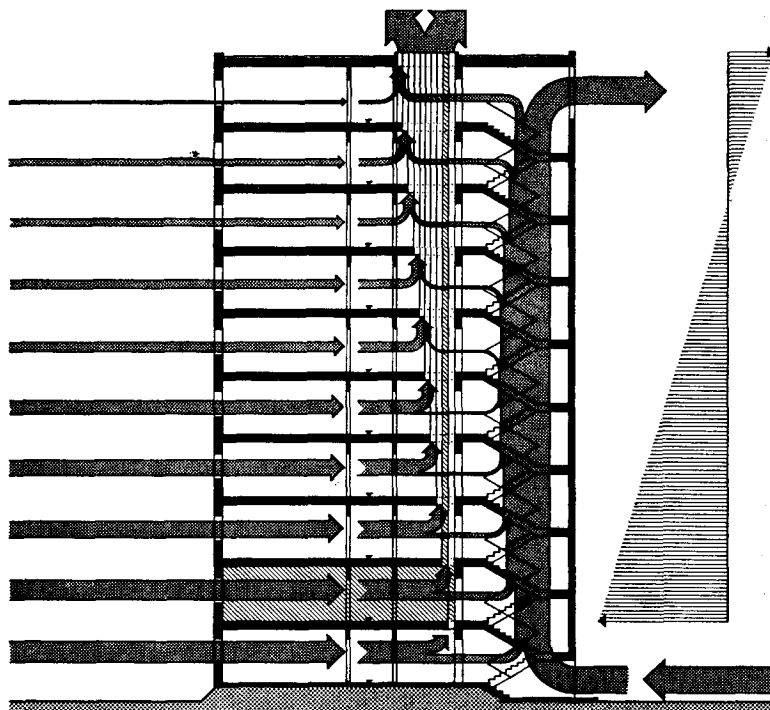


4.7. ábra. A levegő mozgása a hőmérséklet-különbség hatására több szintes, zárt lépcsőházas épületekben, ha az épületben csak ablakszellőzés van

$\Delta p_{ysz} + \Delta p_{y\acute{e}}$  (4.6. ábra). A szerkesztést valamennyi szintre elvégezve a 4.7. ábra szerinti áramképet kapjuk: a levegő az alsó szintek helyiségeiből a lépcsőházba, a lépcsőházból a felső szintek helyiségeibe áramlik.

Ez az áramkép igen kedvezőtlen. A semleges zóna alatti lakásokba külső levegő jut, de nem egyenletes mértékben. A legalsó szintek lakásaiba jutó levegő mennyisége rendszerint jóval meghaladja a szellőztetéshez szükséges értéket és jelentős filtrációs hőszükségletet eredményez. Ugyanakkor a semleges zóna feletti lakásokba csak szennyezett levegő jut.

A szellőzés szempontjából a helyzet javítható, ha a korábban szintmagasságú tereket szellőzőkürtők révén „megmagasítják”. Egy szellőzőkürtővel „megmagasított” lakás nyomáseloszlási görbájéből hasonló nagyságú metszések adódnak, mint a lépcsőház nyomáseloszlási görbájéből (4.8. ábra). Így megakadályozható, hogy a lakásokból a levegő a lépcsőházba jusson, ami a lakások szellőztetése szempontjából előnyös, de a jelentős és nem is egyenletes filtrációs hőszükséglet továbbra is megmarad.



4.8. ábra. A levegő mozgása a hőmérséklet-különbség következtében több szintes zárt lépcsőházas, kürtös szellőzésű épületek esetében

A szél hatására  
kialakuló  
nyomáskülönbség

A szél hatására kialakuló nyomáskülönbség arra vezethető vissza, hogy az épületbe, mint „akadályba” ütköző légáram sebessége megváltozik és a sebességgel együtt az áramló levegő dinamikus nyomása is módosul. Ennek megfelelően a szél hatására kialakult nyomáskülönbséget a  $w$  sebességgel áramló,  $\rho$  sűrűségű levegő

$$p_d = \frac{\rho}{2} w^2 \quad (4.1)$$

dinamikus nyomásából származtatják. A sebesség ez esetben az épülettől elegendő távol, még zavartalan térben mért érték. Az észlelési — vonatkoztatási magasság 20 m. A magasság függvényében a sebességeloszlás hatványfüggvény szerint alakul, a talajközeli rétegek fékeződését a talaj „érdessége” (beépítése, növényzete) befolyásolja. Középmagas és magas épületek esetében a sebesség változása az épület magassági irányában már számottevő.

A szél hatására az épület külső felületén kialakuló nyomást a dinamikus vagy torlónyomásból származtatják, oly módon, hogy azt az épület formájának, fekvésének, valamint a vizsgált pont, illetve sík helyzetének függvényében ún. *aerodinamikai együtthatóval* ( $k$ ) szorozzák meg. Az aerodinamikai együttható előjele pozitív vagy negatív, aszerint, hogy a szél felőli (nyomott), vagy a szél alatti (szívott) oldalra vonatkozik-e.

Megjegyzés: Az aerodinamikai együtthatók ismertetése előtt hangsúlyozandó, hogy egyes szabályzatok és kézi számítási módszerek adnak meg olyan, a dinamikus nyomáshoz tartozó szorzótényezőket, amelyek nem aerodinamikai együtthatók: nem a körvonalon kialakuló túlnyomás, hanem a helyiség és a környezet közötti nyomáskülönbség és az ennek következtében az adott ellenállástörvényű nyílászárókon át bejutó légtömegáram számítására szolgálnak. E szorzótényezők – egyéb utalás hiányában is – felismerhetők arról, hogy a határolószerkezetek száma, a nyílászárók száma, vagy az épület fekvése és a helyiség külső és belső nyílászárói légátbocsátásának aránya, mint paraméterek függvényében vannak megadva. E tényezők a most ismertetendő eljárásban nem alkalmazhatók.

Az aerodinamikai együtthatók általános érvényű összefüggéssel csak a legegyszerűbb geometriai formájú épületekre számíthatók.

Parallelepipedon alakú épületek homlokzataira szabad fekvés és merőleges megfúvás esetén  $k = 0,6 - 0,8$  vehető számításba az épület előtti felszín „érdességének” és az épület méreteinek függvényében. A lapostetőre vonatkozó aerodinamikai tényezők Retter nyomán [14] a 4.9. ábra alapján számíthatók, ahol

**Tájékoztató  
adatok**

$$x = \frac{l}{\sqrt{HS}}$$

dimenzió nélküli viszonyszám, amelyben

$H$  a magasság,

$S$  a szélesség,

$l$  a homlokoldaltól mért távolság.

A hosszoldallal párhuzamos szél esetén a homlokzat ama részeire, amelyre a

$$0,5 < \frac{Y}{H} < 3$$

feltétel teljesül,



$$k = -0,3 \frac{H}{y}$$

egyéb részeire pedig  $k = -0,1$  érték vehető figyelembe. Az összefüggésben  $H$  az épület magassága,  $y$  a végfaltól mért távolság.

A szélárnyékos oldalra javasolt érték:  $k = -0,2 \sim -0,3$ .

Hogy ezek az értékek csak közelítő jellegűek, azt az egyes konkrét épületekre elvégzett modellkísérletek eredményei is mutatják. A 4.10. ábrán GERTIS kísérletei [10] alapján közölt eredmények mutatják az épület vízszintes méreteinek és elárányának hatását: annak következtében, hogy az áramló levegő nemcsak függőleges, hanem vízszintes síkban is megkerüli az épületet, egy homlokzat különböző pontjain különböző torlónyomásértékek alakulnak ki, amelyek különböző aerodinamikai együtthatókkal származtathatók.

Ha a megfúvás nem merőleges irányú, akkor a függőleges falakra az aerodinamikai tényező a

$$k = k_1 \sin^2 \alpha + k_2 \cos^2 \alpha \quad (4.2)$$

összefüggéssel számítható, ahol  $\alpha$  a szélirány és a fal síkja által bezárt szög.

A ferde megfúvás esetén a lapos tetőn kialakuló nyomáeloszlást a 4.9. ábra mutatja be. (Ugyanott egy általános jellegű ábra mutatja, hogy a  $k < 0,8$  és a  $k > 0,8$  aerodinamikai tényezők mezője alaprajzilag hogyan helyezkedik el, aminek ismerete a szellőzőkürtők helyének megválasztása szempontjából érdekes.)

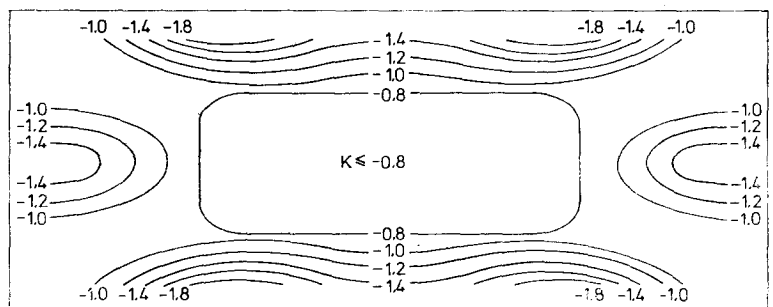
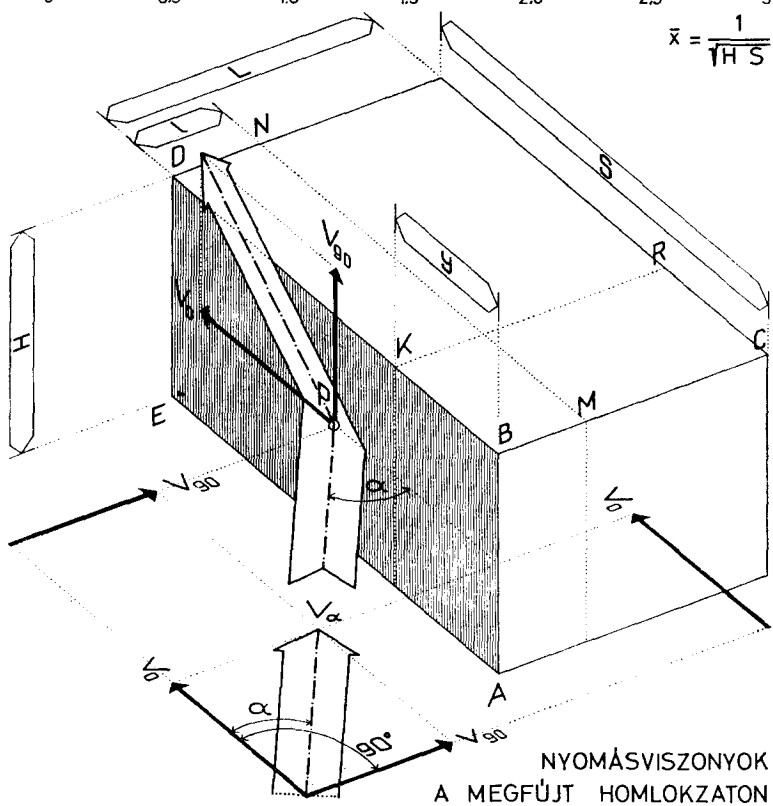
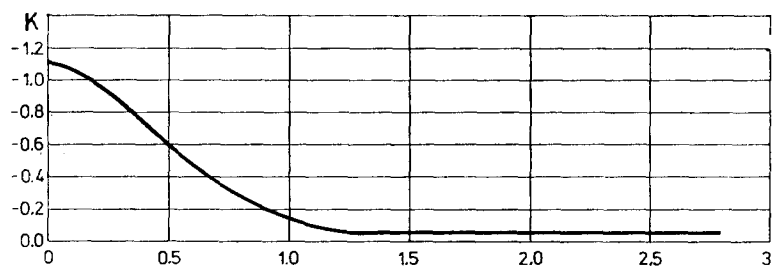
A nyeregtetős épületek homlokoldalára szabadon álló elrendezés esetén  $k \sim 0,6 - 0,8$  vehető figyelembe. Az egyéb síkokra vonatkozó átlagos aerodinamikai tényezőket, valamint a tető kitüntetett pontjaira vonatkozó aerodinamikai tényezőt a geometriai viszonyok függvényében a 4.11. ábra mutatja be [14].

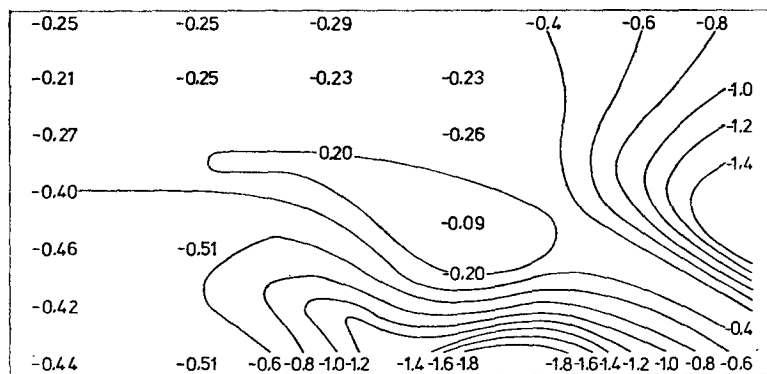
A párhuzamosan elhelyezett épületek merőleges megfúvása esetén az épületek egy része védett fekvésű, így az aerodinamikai tényezők módosulnak.


Az

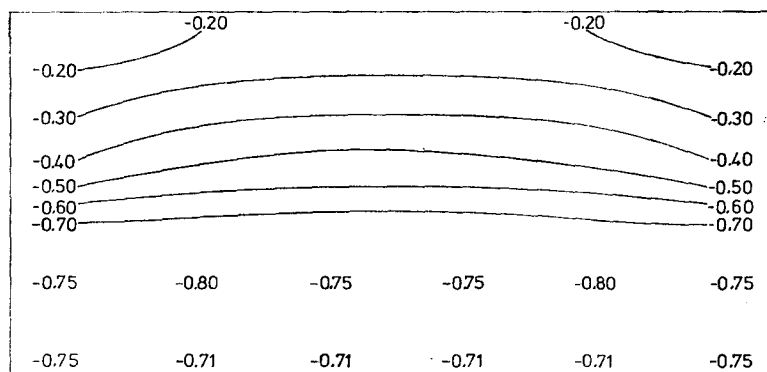
$$x = \frac{l}{\sqrt{HS}}$$


kritériumot ez esetben a 4.12. ábra jelölései szerint értelmezik. Az aerodinamikai tényezők alapértéke a két épület közötti „j”-edik térre egyszerű összefüggéssel és táblázatosan megadott segédértékekkel számítható ki [14].

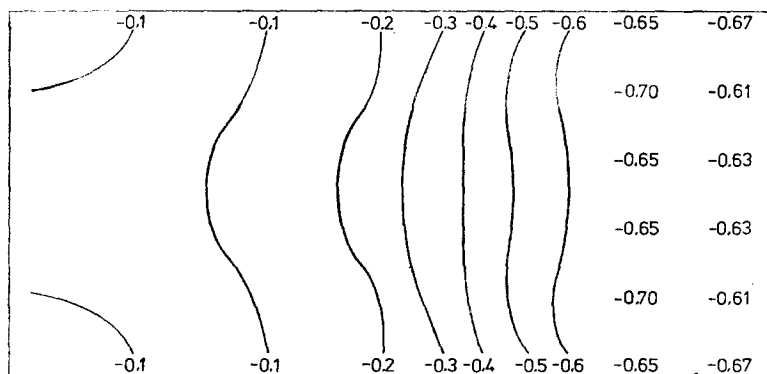





SZÉLIRÁNY: 



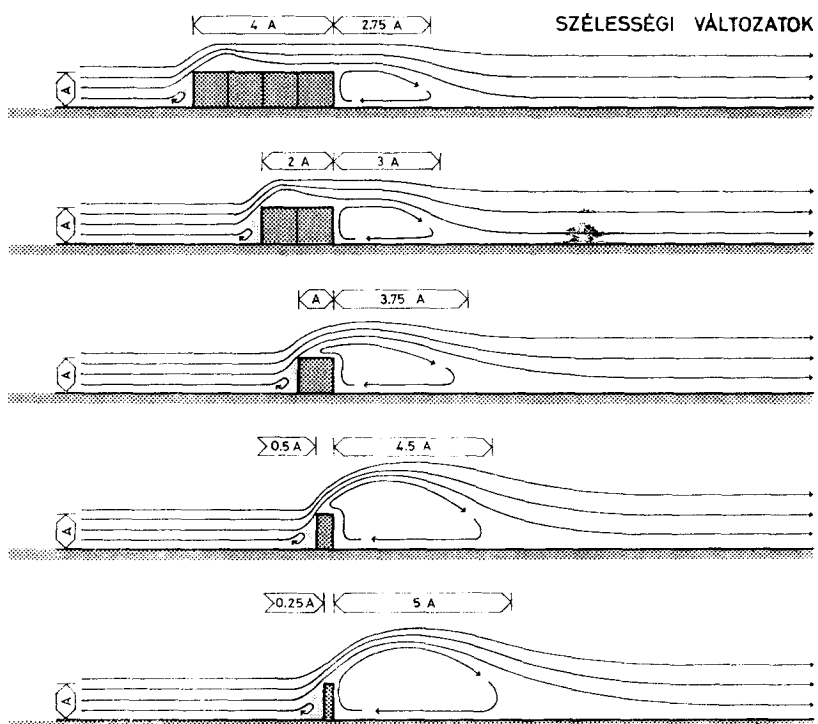
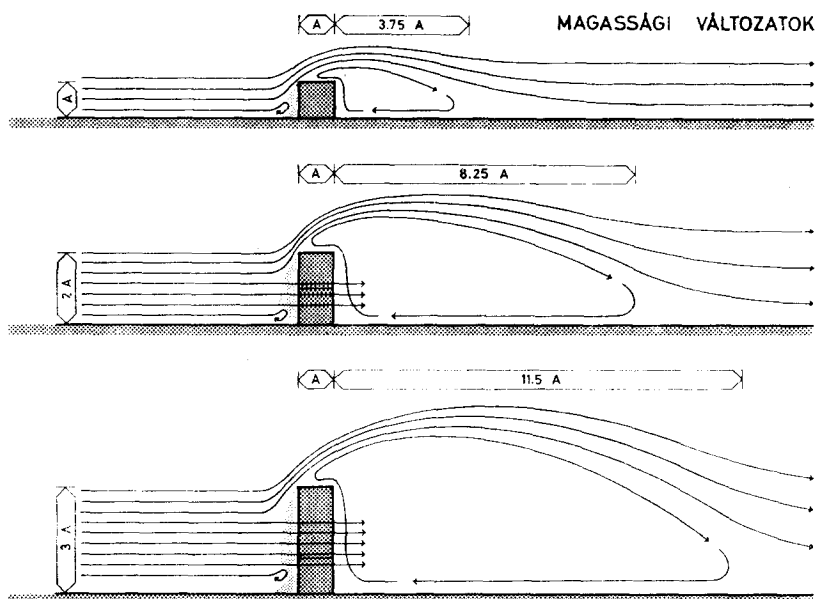
SZÉLIRÁNY: 

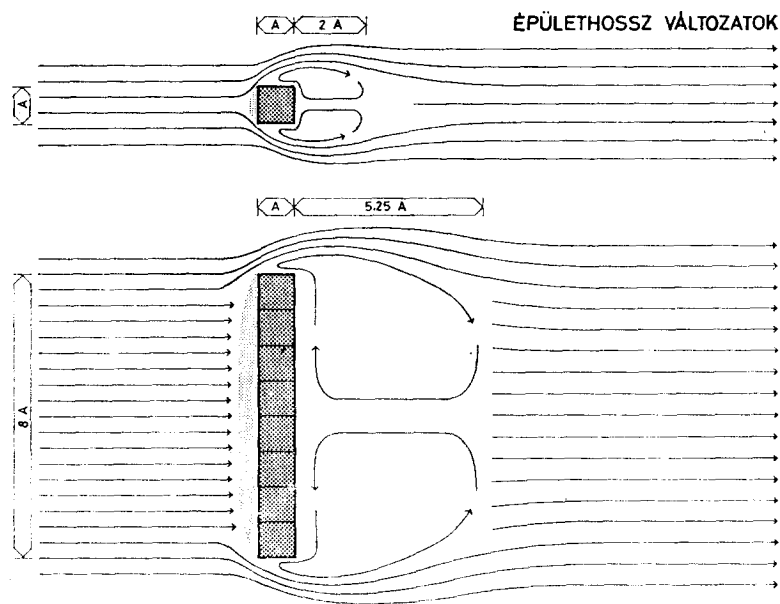


SZÉLIRÁNY: 

NYOMÁSVISZONYOK A TETŐN KÜLÖNBÖZŐ SZÉLIRÁNYOK ESETÉN

4.9. ábra. Téglatest alakú épület körüli nyomásviszonyok



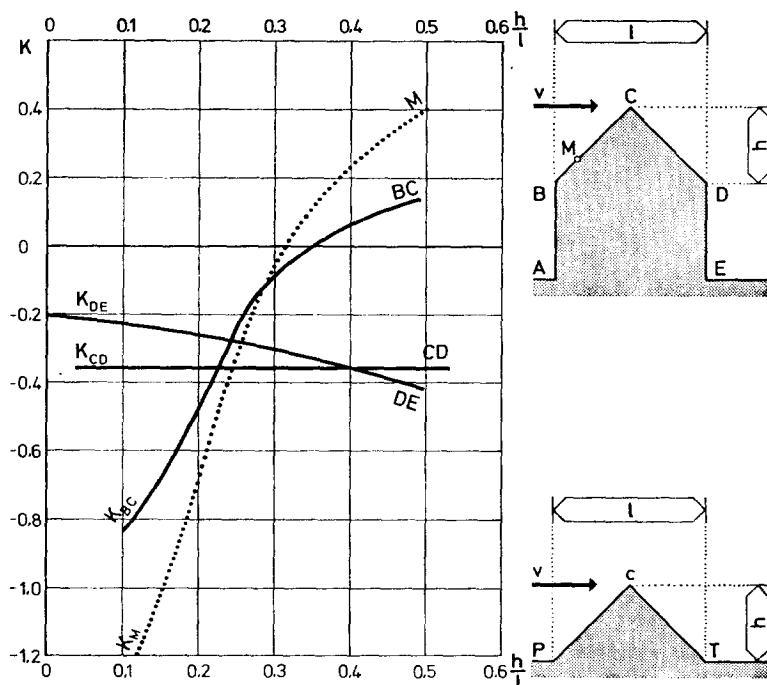


4.10. ábra. Különböző élarányú, téglatest alakú épületek körüli áramlás képe

Általános érvénnyel használható adatok, illetve összefüggések csak a felsorolt egyszerű esetekre ismeretesek. Különleges formájú épületekre vonatkozó adatokat az irodalomban csak egyes esetekre lehet találni, ezek részben konform leképezésből, részben kisminta kísérletekből származnak.

A nem hasáb alakú épületek homlokzatain kialakuló nyomáseloszlást, a szomszédos épületek kölcsönhatását példázzák a 4.13. – 4.15. ábrák, amelyek jól érzékeltetik, hogy az épületcsoportok közötti terekben, az egyes épületek részben szélárnyékban levő „védett” homlokzatain kialakuló nyomások megbízhatóan csak kismintakísérletek alapján állapíthatók meg.

A sűrűségkülönbségből származó nyomáskülönbség egy adott magasságú szinten az épület körvonala mentén állandó (eltekintve attól az egyébként sem reális kivételtől, hogy a különböző homlokzatokra néző helyiségek hőmérséklete különböző). A szél hatására kialakuló nyomás viszont az épület körvonala mentén változik. Még az olyan legegyszerűbb esetben is – amikor a szél az egyik homlokzatot merőlegesen éri és csak az aerodinamikai tényezők közelítő értékei ismertek – megkülönböztetendő a szél felőli, a szélárnyékban levő és a végfal menti homlokzat. Pontosabb adatok



4.11. ábra. Nyeregtetős épületek körüli nyomásviszonyok

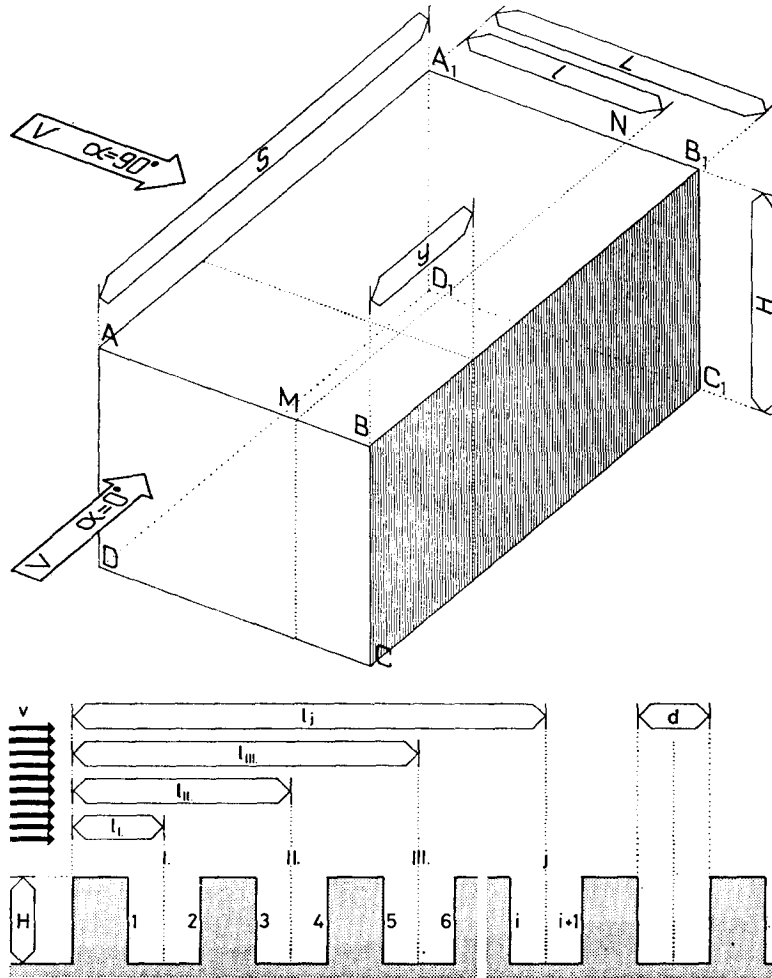
ismeretében, vagy nem merőleges megfűvás esetében még egy homlokzat mentén is változó értékekkel kell számolni.

A szél hatására kialakuló nyomáskülönbség felhasználható csarnokok szellőztetésére. A belépőnyílás előtt (4.16. ábra) a szél felőli oldalon túlnyomás alakul ki. A szélvédett oldalon alul kiképzett nyílásnál a nyomáskülönbség nagysága, iránya attól függ, hogy a szél miatt kialakuló szívóhatás, vagy a hőmérséklet-különbség miatt kialakuló gravitációs felhajtóerő közül melyik érvényesül erősebben. A levegő a szélvédett oldalon, a szívott térről határos felület felső részében kialakított nyíláson át távozik.

A méretezés menete hasonló a gravitációs szellőztetés számításának gondolatmenetéhez, azzal az eltéréssel, hogy a számított gravitációs felhajtóerőhöz a szél hatására kialakuló nyomáskülönbség is hozzáadandó.

A természetes szellőzés hatása természetesen a külső hőmérséklet, a szél iránya, a szél sebessége függvényében változó. A viszonylag

A csarnokok  
szellőztetése

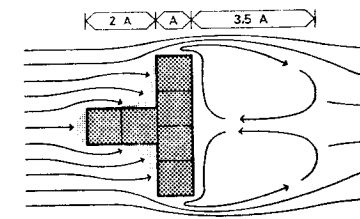
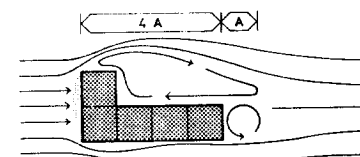
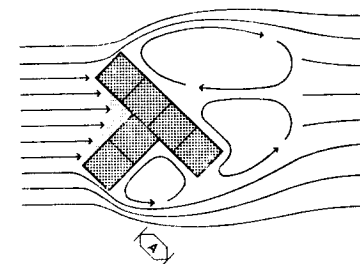
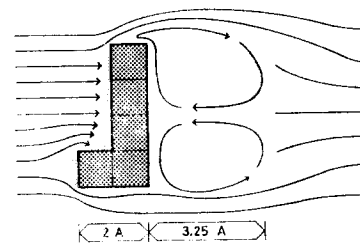
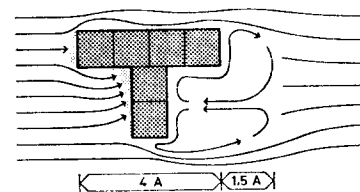
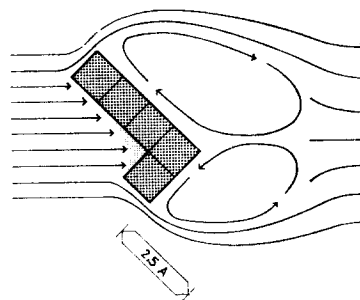
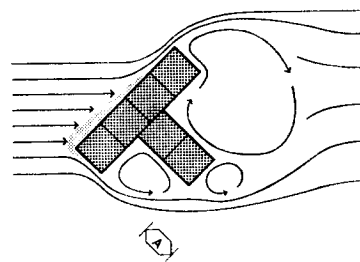
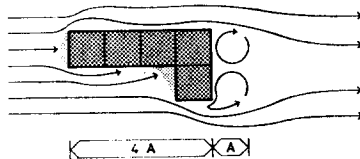
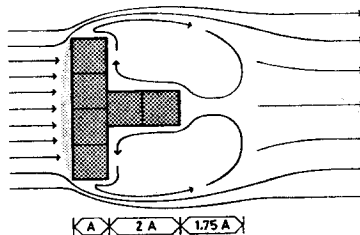
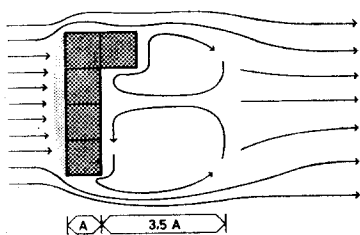


4.12. ábra. Betűjelek értelmezése párhuzamos épületsorok aerodinamikai tényezőinek számításához

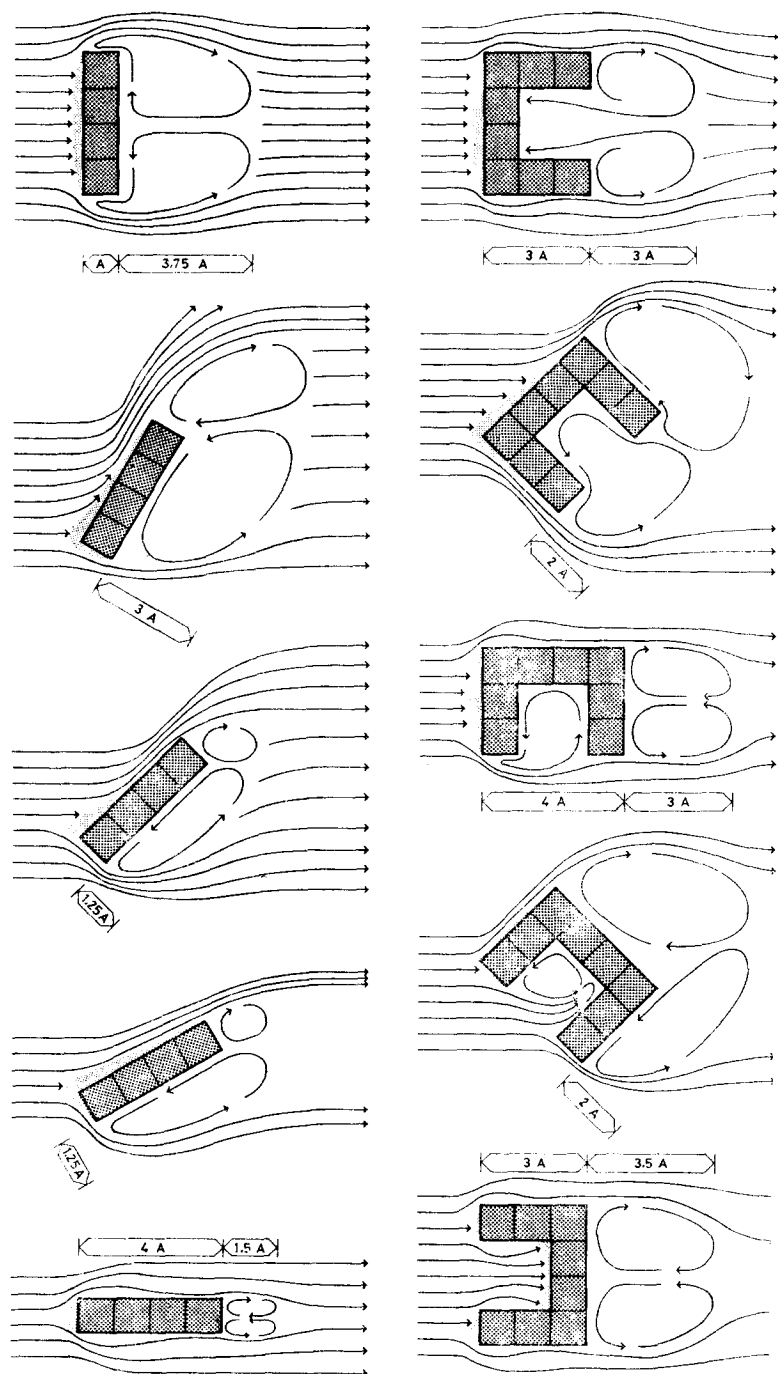
egyenletes működés csak akkor érhető el, ha a szellőzőnyílásokra automatizált, távműködtetésű zsalurendszert szerelnek és azok üzemeltetési feltételeit is biztosítják.

A torlónyomás és  
a gravitációs  
nyomás  
összegezése

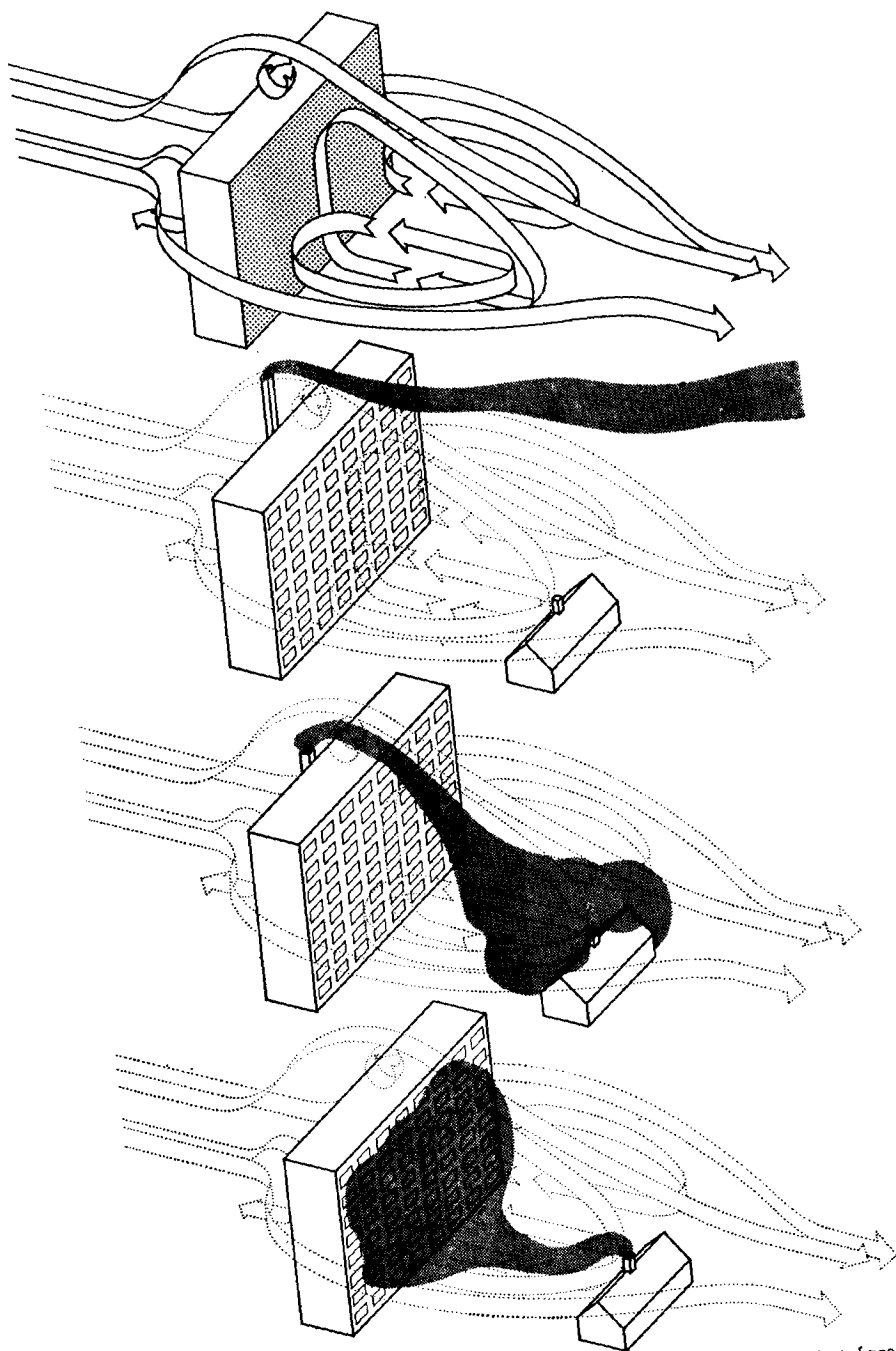
Könnyen belátható, hogy a sűrűségkülönbségből származó gravitációs felhajtóerő elsősorban az épület függőleges irányú, a szél okozta nyomáskülönbség elsősorban az épület vízszintes irányú átöblítését eredményezi.



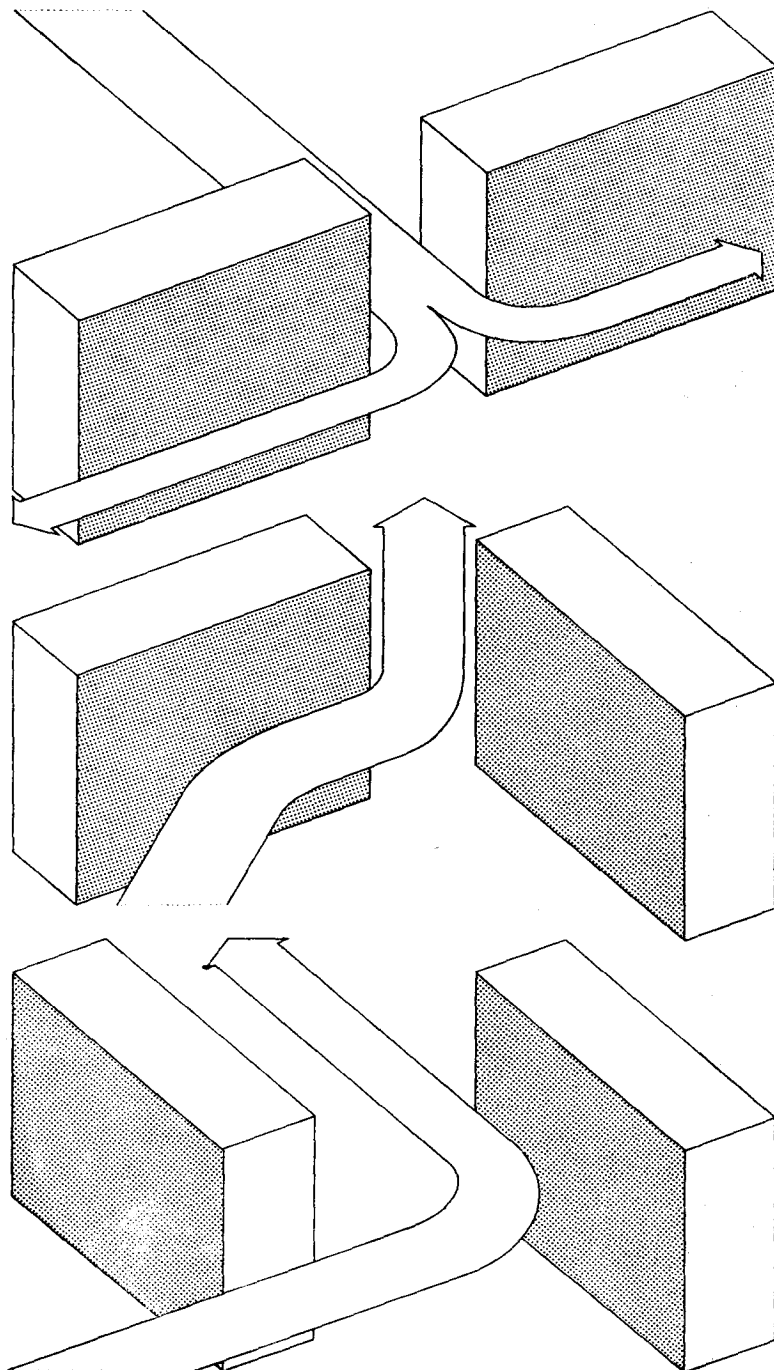




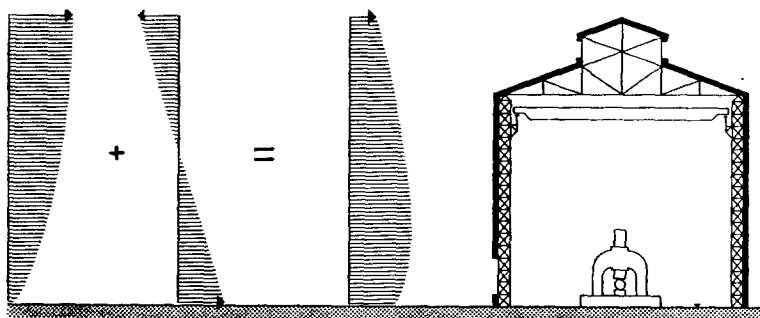
4.13. ábra. Különböző körrajzú épületek körüli áramlás képe



4.14. ábra. A szélárnyékos oldalon kialakuló örvények és azok lehetséges hatásai



4.15. ábra. Épületek közötti terekben várható áramlási jelenségek



4.16. ábra. A hőmérséklet-különbség és a szél hatására kialakuló nyomáskülönbség változása csarnokjellegű épületek esetében

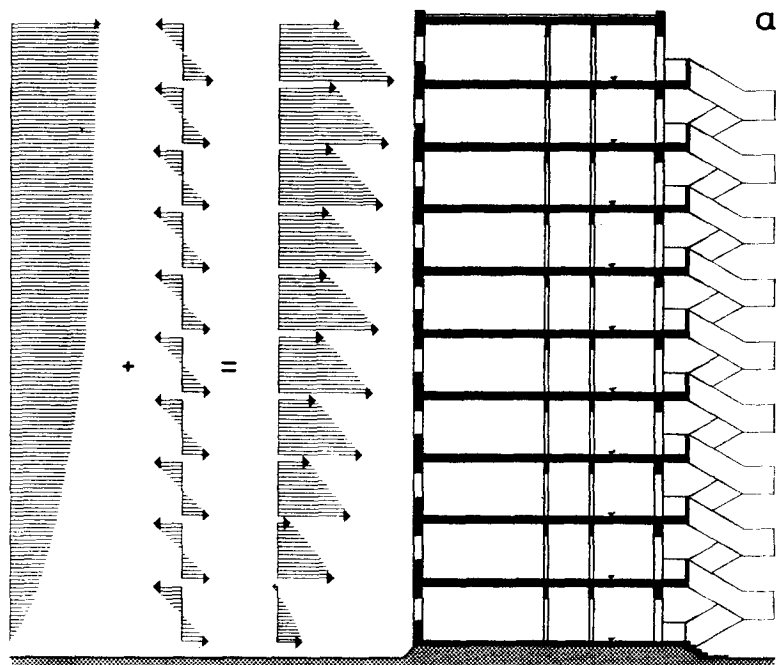
Ha a két hatás együtt lép fel, az eredő nyomás algebrai összegezés-sel határozható meg (4.17. ábra). Az, hogy melyik hatás érvényesül elsősorban, az részben a nyomáskülönbségektől függ, részben pedig attól, hogy az épületen belül a vízszintes irányú, illetve a függőleges irányú áramlás útjába mennyi és milyen áramlási ellenállás (belső nyílászáró) kerül.

Részben azért, mert a „természeti” hatások okozta filtrációs levegő-forgalom a pillanatnyi meteorológiai jellemzők függvénye, részben pedig azért, mert az épületek vízszintes irányú méreteinek, mélységének növelése következtében egyre több olyan helyiség került az épület homlokzataitól távoli belső „magba”, amelyek megbízható szellőztetésére higiéniai és biztonsági okokból az egész évben, és a pillanatnyi feltételektől függetlenül is szükség van, egyre inkább elterjednek a gépi elszívással üzemelő kiegészítő szellőztető rendszerek. Ezek működése helyes méretezés és szabályozás esetén valamennyi szinten egy állandó és azonos nyomáshiányt, depressziót hoz létre az épületben, amelynek értéke a korábbiakhoz hasonlóan a felhajtóerő és a szél okozta nyomáskülönbségekkel algebrailag összegezhető (4.18. ábra).

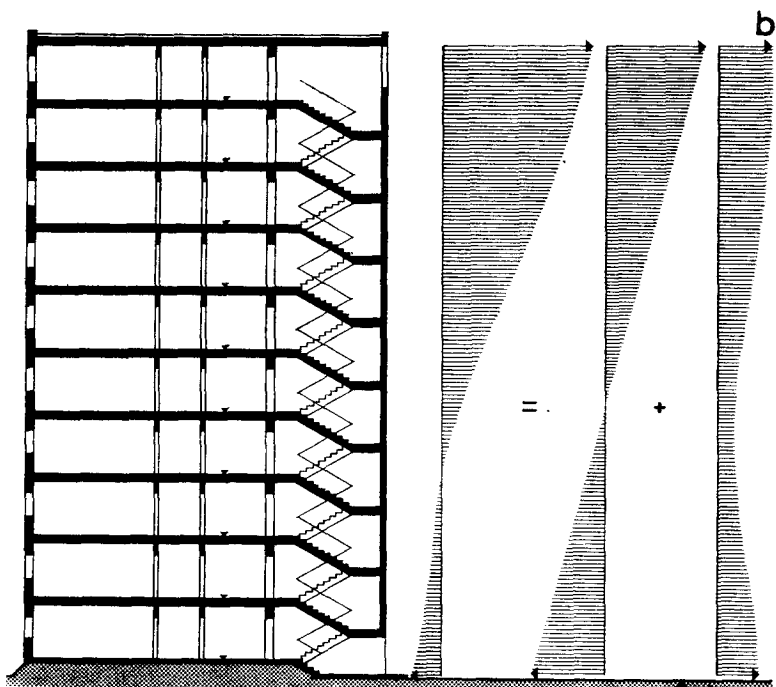
**A kiegészítő  
elszívó szellőzés  
hatása**

A gépi elszívás okozta depresszió hatására a semleges zóna magasabbra kerül, „felcsúszik”, sőt az épület magasságán belül esetleg ki sem alakul. Ez belátható a korábban mondottak alapján is: ha a „doboz” felső részén levő nyílás áramlási ellenállása kisebb, mint az alsó nyílásé, akkor a semleges zóna ehhez kerül közelebb (4.3. ábra). A gépi elszívás pedig egy olyan „nyílás”, amelynek ellenállása nemhogy kicsiny, de még egy „potenciálgenerátor”, egy nyomáskülönbséget okozó ventilátor is bele van építve.

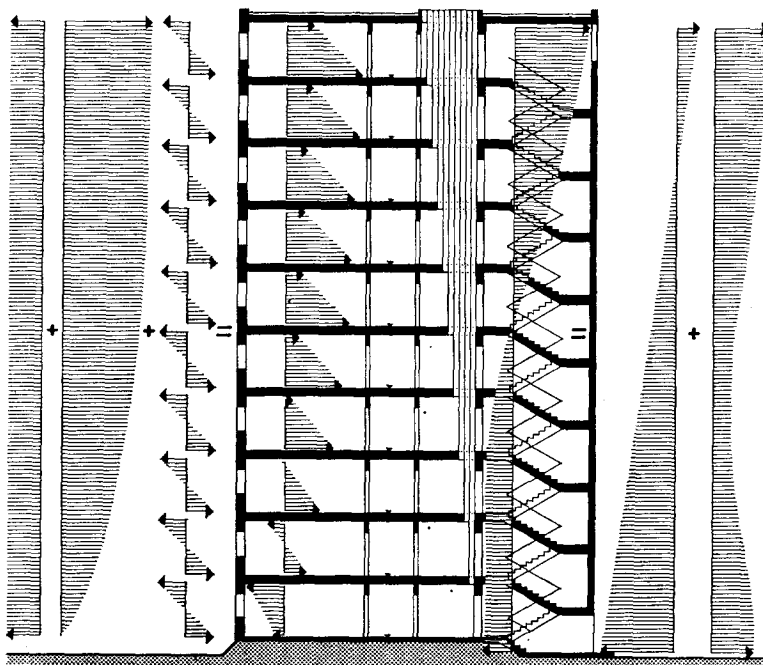
a) nyitott lépcsőház



b) zárt lépcsőház



4.17. ábra. A hőmérséklet-különbség és a szél hatására kialakuló nyomáskülönbség változása több szintes épületek esetében



4.18. ábra. A hőmérséklet-különbség, a szél és az elszívó szellőzés hatására kialakuló nyomáskülönbség változása

#### 4.13 A légtömegáram

Az elmondottakból következik, hogy a filtrációs levegőforgalom nem egy szerkezet vagy egy helyiség jellemzőinek függvénye: a levegőforgalom alakulásában valamennyi nyílászáró, szellőzőkürtő és helyiség, továbbá ezek valamennyi lehetséges kapcsolata, nemkülönben az épület méretei, szintszáma, körrajza is szerepet játszik.

A filtrációs  
levegőforgalom  
számítása

A filtrációs levegőforgalom számításának alapvető nehézsége éppen abban áll, hogy az épület maga egy összetett aerodinamikai objektum, amely – még hozzá nagyszámban – bonyolult, többszörösen hurkolt áramköröket tartalmaz. A valamennyi ablak, külső és belső ajtó, szellőzőkürtő és gépi szellőzőberendezés hatását és kölcsönhatását figyelembe vevő méretezés elvégzése csak digitális vagy analóg számítógép segítségével lehetséges. A méretezést a fűtési időnyben előforduló különböző jellemző meteorológiai állapotokra elvégezve a filtrációs levegőforgalom és ezzel a szellőzési hőigény változása is meghatározható.

Az elmondottak természetesen nem azt jelentik, hogy minden egyes épület filtrációs hőszükségletét számítógéppel kell meghatározni. A számítógépes eljárás azonban célszerűen használható nagy kiterjedésű és nagy értékű létesítmények tervezésekor, nagy számban megvalósításra kerülő típusterveknél. A számítási eredmények feldolgozása alapján pedig a közelítő méretezési módszerek pontosabbá, differenciáltabbá tehetők.

A feladat megoldására elvileg bármely olyan eljárás alkalmas, amely több dimenziós potenciáeloszlás számítására szolgál nem lineáris vezetési törvények mellett. Gyakorlatilag a feladat mérete és a számítás időigénye okozhat problémát.

A feladat megoldására leginkább megfelelő számítógépes eljárás szintén alkalmas valamennyi áramkör, tehát valamennyi külső és belső nyílászáró, szellőzőkürtő és a gépi elszívás hatásának és kölcsönhatásának figyelembevételével a levegőforgalom és a filtrációs hőszükséglet helyiségenkénti meghatározására.

Az eljárás a folyamhálózatok módszerén alapul. A „hálózat” ebben az esetben egy az épület és a külső környezet, továbbá az épületen belüli helyiségek topológiai – szomszédsági – kapcsolatait reprezentáló gráf. Ebben a csúcsoknak az egyes helyiségek, továbbá a külső környezet egyes diszkrét pontjai felelnek meg. Az élek megfelelői az ablakok, az ajtók és a szellőzőkürtők. Az ábrázolás így szemléletes és a tervrajzokkal is könnyen megfeleltethető (4.19. ábra).

A gráfból hálózat képezhető, ha annak minden „ $i$ ” csúcsához egy vagy több  $z_i^k$  és minden  $(i, j)$  éléhez egy vagy több  $w_{i,j}$  mennyiséget rendelnek. E számok tartalma a feladat jellegétől függően sokféle lehet. A vizsgált esetben:

a csúcsokhoz rendelt mennyiségek

a nyomás(potenciál),

az intenzitás,

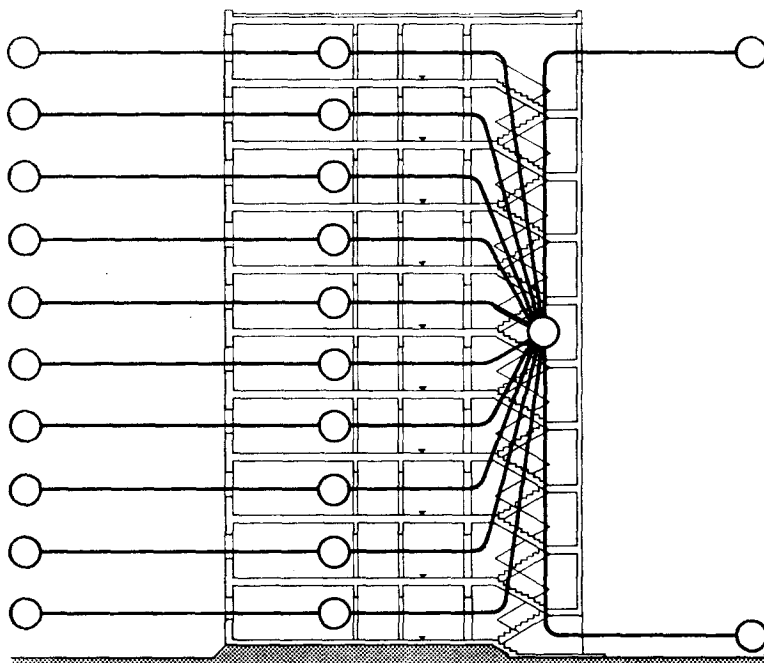
az élekhez rendelt mennyiségek pedig

a légtömegáram (folyam),

a vezetési (vagy ellenállási) törvények.

A nyomás értékét célszerűen az atmoszférához viszonyított túlnyomásként adják meg. A külső környezet egyes diszkrét pontjait reprezentáló csúcsokban a nyomás értéke rögzített. A helyiségeket reprezentáló csúcsokban a nyomás számítható.

Az intenzitás arra ad felvilágosítást, hogy a vizsgált csúcs forrás, nyelő vagy semleges-e. A környezetet reprezentáló csúcsok általá-



4.19. ábra. Az épület térkapcsolatait meghatározó gráf

ban források vagy nyelők, ahol az intenzitás nincs rögzítve és nincs korlátozva. A helyiségeket reprezentáló csúcsokra az intenzitás rögzített és értéke zérus. A csúcs semleges; a helyiségekből akkora légtömegáram távozik, amekkora oda belép.

Az egyes éleken a légtömegáram a nyomáskülönbség és a vezetési (vagy ellenállási) törvény ismeretében számítható. Az ellenállástörvénnyel kapcsolatos egyetlen kikötés, hogy szigorúan monoton növekvő legyen, egyébként minden élen tetszőleges és különböző lehet. Az ellenállástörvény egy éltre általános formában:

$$P_i - P_j = R_{i,j}(f_{i,j}, P_i, P_j), \quad (4.3)$$

ahol

$P$  a potenciál (nyomás),  
 $R$  az ellenállásfüggvény,  
 $f$  a folyam (légtömegáram).

A hálózatra nézve teljesülnie kell *Kirchhoff* első (ún. csomóponti) és második (ún. hurok) törvényének.



A hálózatban az  $f_{i,j}$  folyam létezik, ha valamennyi csúcsra az érkező és a távozó folyamok különbsége az intenzitással megegyezik:

$$\sum_i f_{i,j} - \sum_j f_{j,i} = d_i. \quad (4.4)$$

Matematikai szempontból a feladat egy optimális folyam meghatározása, amely valamilyen, a folyamon értelmezett célfüggvényt minimalizál. Ha az egyes élekhez a szállítási feladatokból ismert  $d_{i,j}(f_{i,j})$  ún. költségfüggvényeket rendelik, a feladat ama  $f_{i,j}$  folyam meghatározása, amely a korábbi feltételeket kielégíti és a  $\sum c_{i,j}(f_{i,j})$  célfunkcionált minimalizálja. Az optimális folyam létezésének szükséges és elégséges feltétele mindenütt differenciálható  $c_{i,j}$  függvényekre:

$$P_i - P_j \leq c'_{i,j}(f_{i,j}) \quad f_{i,j} \leq 0$$

$$P_i - P_j = c'_{i,j}(f_{i,j}) \quad f_{i,j} > 0$$

Bevezetve a

$$c'_{i,j}(f_{i,j}) = R_{i,j}(f_{i,j})$$

jelölést:

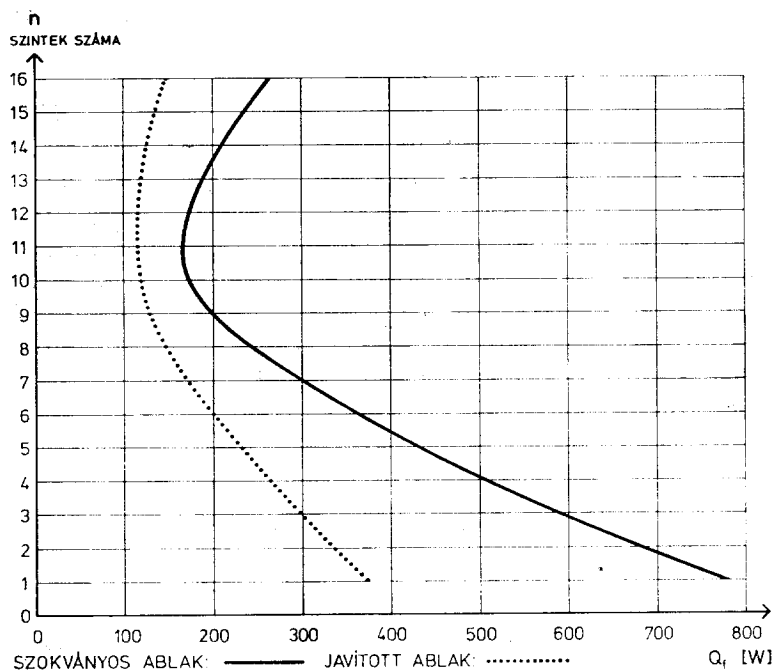
$$\sum c_{i,j}(f_{i,j}) = \sum R_{i,j}(f_{i,j}), \quad (4.5)$$

ami azt jelenti, hogy az adott fizikai feladatnál a „költségfüggvény” az áramló levegő által az ellenállások legyőzésére fordított ún. disszipációs munka. *A célfüggvény a disszipációs munkát adja meg az egész hálózatra, annak minimuma az egyensúlyi állapotnak felel meg.*

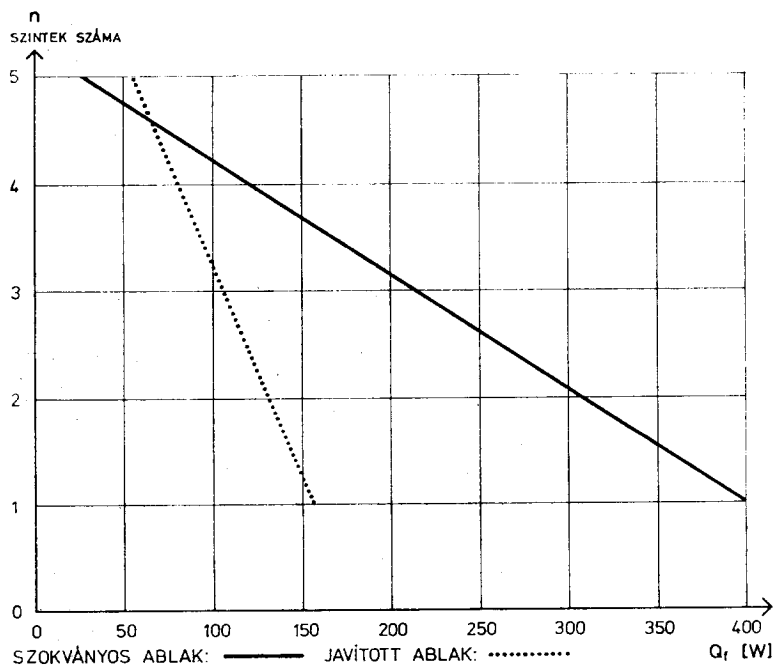
A számítás algoritmizálására nem lineáris ellenállástörvények esetén a szállítási feladatok elméletéből ismeretesek jól használható, gyors eljárások.

**Az alaprajz és az építészeti adottságok szerepe**

A filtrációs hőigény függvénye az épület alaprajzi kialakításának, az építészeti megoldásoknak és a szintek számának. Szerepe viszonylagosan *annál jelentősebb, minél kisebb az épület transzmissziós hővesztesége*, vagyis minél jobb a határolószervezetek hőszigetelése. Rosszul szigetelt vagy sok lehűlő felülettel rendelkező helyiségek alaphőveszteségének a filtrációs hőszükséglet csak kisebb hányadát teszi ki, ezért — noha abszolút értékben jelentős hőáramról van is szó — a filtrációs hőszükséglet változása miatti méretezési, szabályozási és beszabályozási problémák kisebbek. Jó hőszigetelésű épületeknél viszont a filtrációs hőszükséglet az alaphőveszteséghez viszonyítva jelentős, ezért a változása miatti méretezési, szabályozási kérdések is fontosabbak. A szokványos közép-magas lakóépületeknél — szélcsendben — számos helyiség filtrációs hőszükséglete eléri az alaphőveszteség 80–100%-át! A lakó-



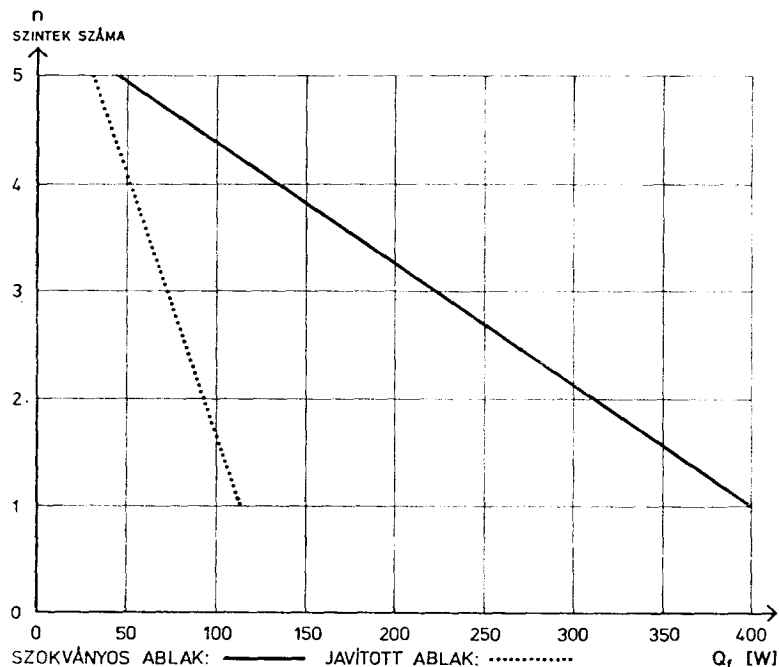
4.20. ábra.  
A filtrációs  
hőszükséglet  
változása



4.21. ábra.  
A filtrációs  
hőszükséglet  
változása

szobákra nagy általánosságban a filtrációs hőszükséglet az alaphővesztésnek kb. 50%-a. Ehhez viszonyítva természetesen igen nagy szórás mutatkozik, mind az épületfajták, mind a szintek szerint. A kisebb szintszámú épületeknél valamennyi emeleten a külső levegő áramlik be a lakásokba. Ez a jelenség összefügg a konyhák, WC-k, fürdőszobák elszívó szellőztetésével is (4.20. ábra). Nagyobb szintszámok esetén a gravitációs felhajtóerő az elszívó szellőztetéshez viszonyítva olyan jelentőssé válik, hogy a felsőbb szint lakásaiba a lépcsőházból áramlik be a levegő. Ezt a változást a mellékelt (4.21. – 4.22. ábrákon) bemutatott,  $t_e = -15^\circ\text{C}$  külső hőmérséklethez, szélcsendhez tartozó görbék összevetésével lehet megállapítani. A négy lakószintes épületnél csak beáramlás van; a tíz lakószintes épületeknél már előfordul, hogy a nyolcadik–kilencedik szinttől kezdve a lépcsőházból jut be levegő a lakásokba, a tizenhat lakószintes épületnél pedig a semleges zóna „szabályszerű” kialakulása figyelhető meg.

Az elszívó szellőztetésen kívül a nyílászárók minősége is jelentősen befolyásolja a semleges zóna kialakulását. Jobb nyílászárók alkalmazása következtében a semleges zóna feljebb kerül, illetve nem



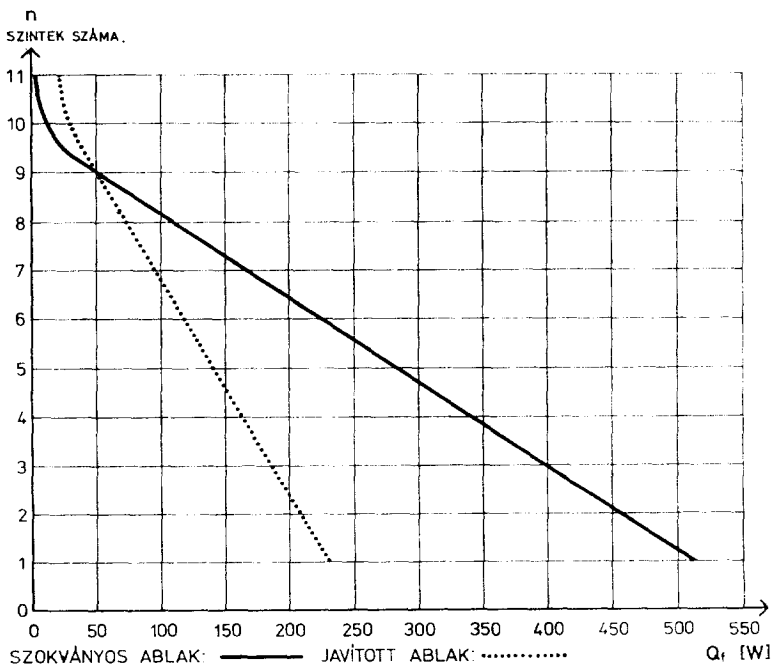
4.22. ábra. A filtrációs hőszükséglet változása

alakul ki: a gravitáció hatására keletkező levegőforgalom kisebb, de az elszívott légmennyiség értéke rögzített (4.23. ábra).

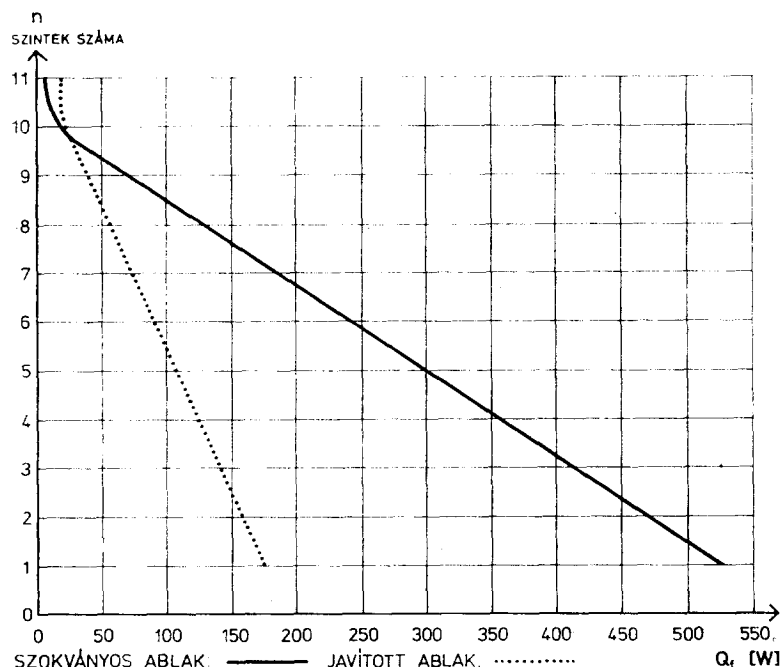
Jelentős mértékben függ az áramkép az egy szinten levő lakások számától is. Valamennyi lakáshoz tartozik ugyanis konyha, fürdő, WC, tehát ha sok egy-másfél szobás lakás van egy szinten, az elszívott légmennyiség nagy és ehhez viszonyítva a gravitációs felhajtóerő szerepe viszonylagosan csökken (4.24. ábra).

A szél hatása részben az épület keresztirányú átszellőztetésében nyilvánul meg, részben pedig abban, hogy a természetes szellőzés, vagy a kis emelőmagasságú ventillátorokkal üzemelő elszívó szellőzés esetén a kürtőkön át távozó légáram is megnő. A szél hatása viszonylag annál inkább érvényesül, minél alacsonyabb az épület és minél kisebb menetszámú: első esetben azért, mert a csekélyebb gravitációs felhajtóerő mellett az egyéb hatások erősebben érvényesülnek, második esetben pedig azért, mert a homlokzattól homlokzatig tartó lehetséges áramlási utakat alkotó ellenállások eredője kisebb. A szél hatásának viszonylagos volta leginkább úgy jellemezhető, hogy ha például egyébként azonos feltételek mellett megvizsgálják egy tízsintes épület tizedik és egy tizenhatszintes épület

**A szél hatásának  
érvényesülése**



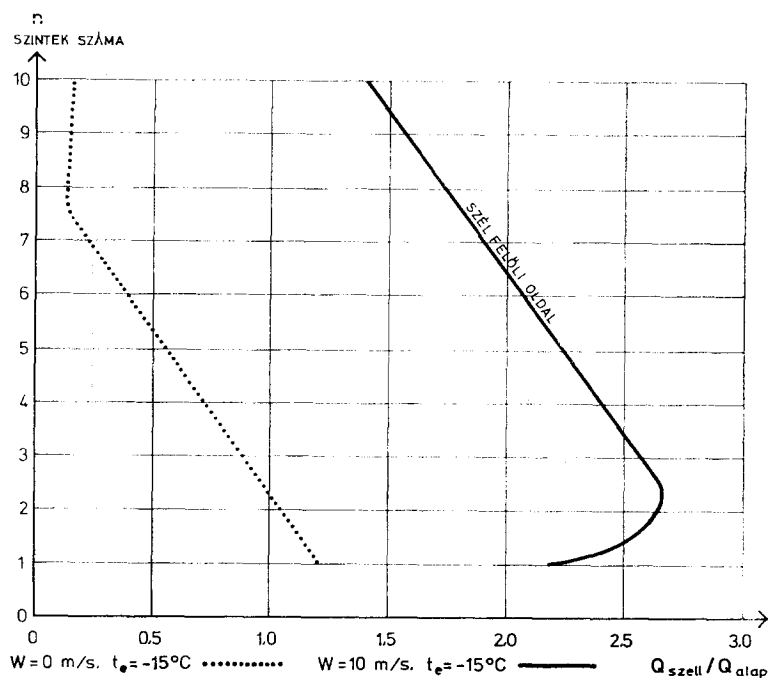
4.23. ábra. A filtrációs hőszükséglet változása



4.24. ábra. A filtrációs hőszükséglet változása

tizedik szintjén levő lakások szél hatására bekövetkezett filtrációs hőszükséglet-növekményét: az összehasonlítás azt mutatja, hogy az első többszöröse a másodiknak. A beépítés, a helyi terep- és klímaviszonyok figyelembevételével azonban e tendencia is csak bizonyos korlátok között igaz: a szél sebességének a magasság függvényében való növekedése ugyanis fokozott nyomáskülönbséget eredményez a magasházak felső szintjeinél. Ez egyúttal azzal is ár, hogy az egyes szinteken a maximális filtrációs hőszükséglet különböző külső hőmérséklet – szélesebbesség értékpárok mellett lép fel, ami részben megnehezíti a méretezést, részben instabil fűtési és szellőzési üzemet okoz: az alsó szintek maximális filtrációs hőszüksége a méretezési külső hőmérséklet mellett várható, míg a középsőké átlagos külső hőmérséklet és erős szél, a legfelsőké pedig az átlagosnál magasabb külső hőmérséklet és erős szél mellett. A fűtési és szellőzési üzemmek ez az instabil jellege adott épületnél annál inkább érvényesül, minél rosszabb a nyílászáró szerkezetek minősége.

A szél hatása következtében annál nagyobb mértékben változik a filtrációs hőszükséglet, minél kisebb az épület „mélysége” —

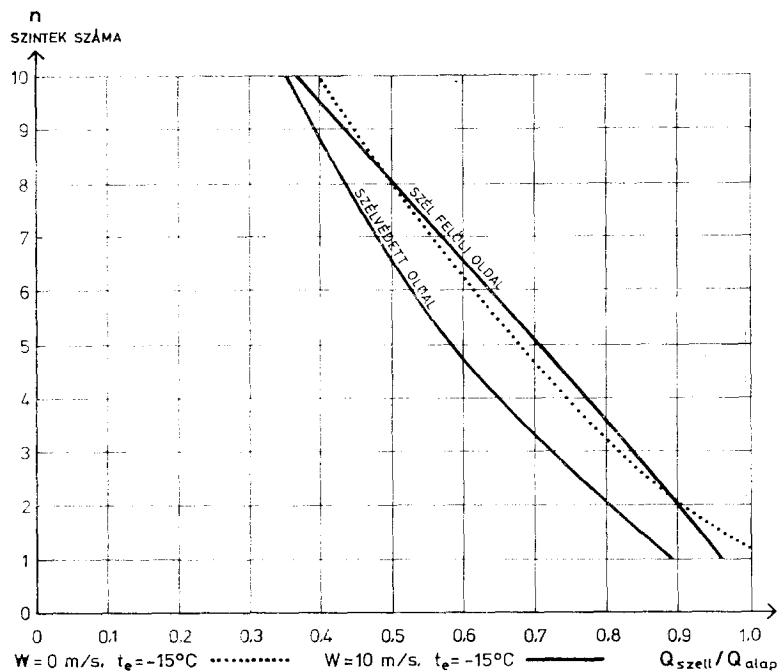


4.25. ábra. A szél hatása a filtrációs hőszükségletre (betűjelek és paraméterek az ábrákban)

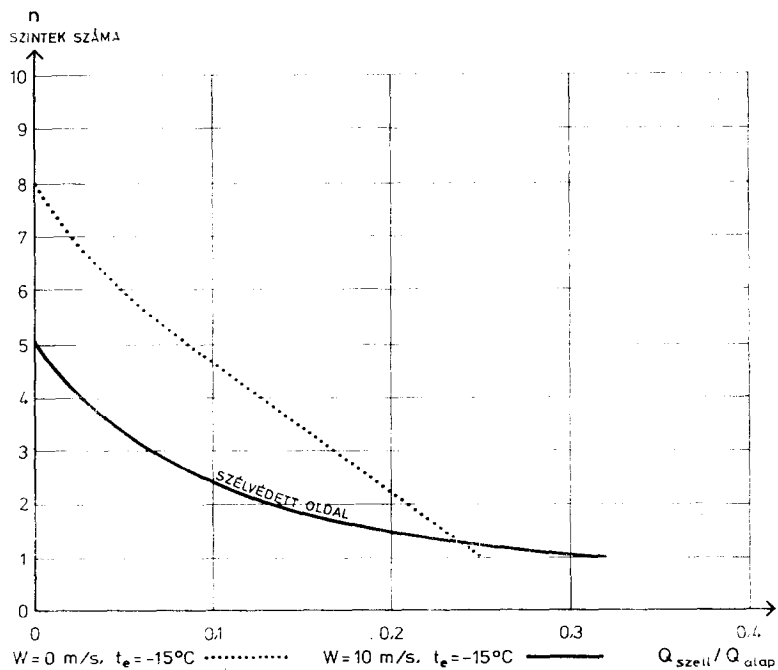
menetszáma — és minél tagoltabb az alaprajz körrajza. Összehasonlítva néhány épületet, megállapítható, hogy a szél hatására legérzékenyebben a kis menetszámú (ún. sovány), legkevésbé érzékenyen a nagy menetszámú (ún. kövér) lakóház reagál (4.25–4.28. ábrák). Azonos feltételek mellett az előbbi filtrációs hőszükséglete több, mint háromszor akkora változást szenved a szél hatására, mint az utóbbié. Kedvezőtlennek mutatkozik az olyan alaprajzi megoldás, amelynél az egyes szinteken a lépcsőház hosszabb folyosórendszerhez kapcsolódik és ennek több, különböző homlokzati, szabadba nyíló ablaka van. A tagolt körrajz egyes kedvezőtlen fekvésű helyiségek filtrációs hőszükségletének szélérzékenységet szintén jelentősen megnöveli, amint arra a tagolt körrajzú (ún. füles) lakóházaknál láthatók példák.

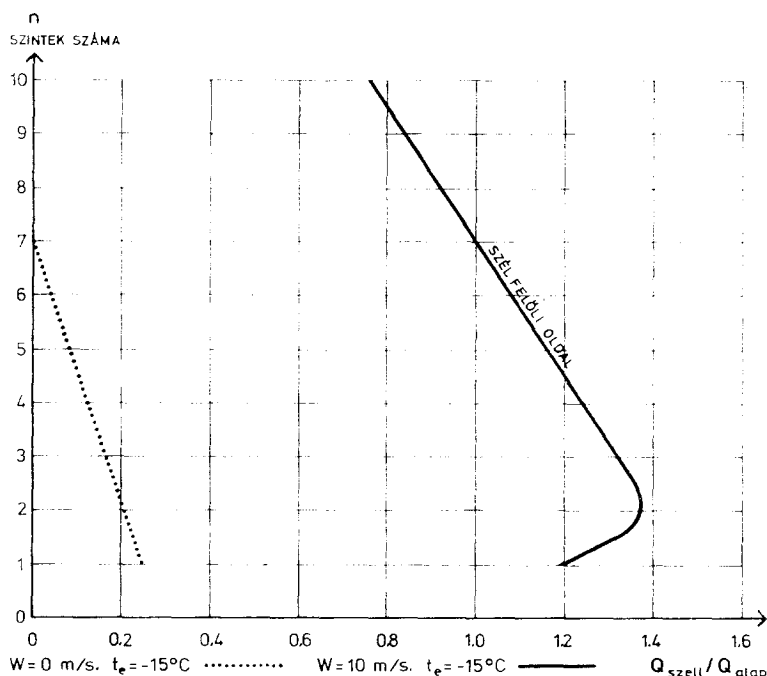
A szélérzékenység természetesen függ a szintek számától, a szél sebességprofiljától és az alsóbb szintek védettségétől is (4.29. ábra).

4.26. ábra.  
A szél hatása a  
filtrációs  
hőszükségletre  
(betüjelek és  
paraméterek az  
ábrákban)



4.27. ábra.  
A szél hatása a  
filtrációs  
hőszükségletre  
(betüjelek és  
paraméterek az  
ábrákban)





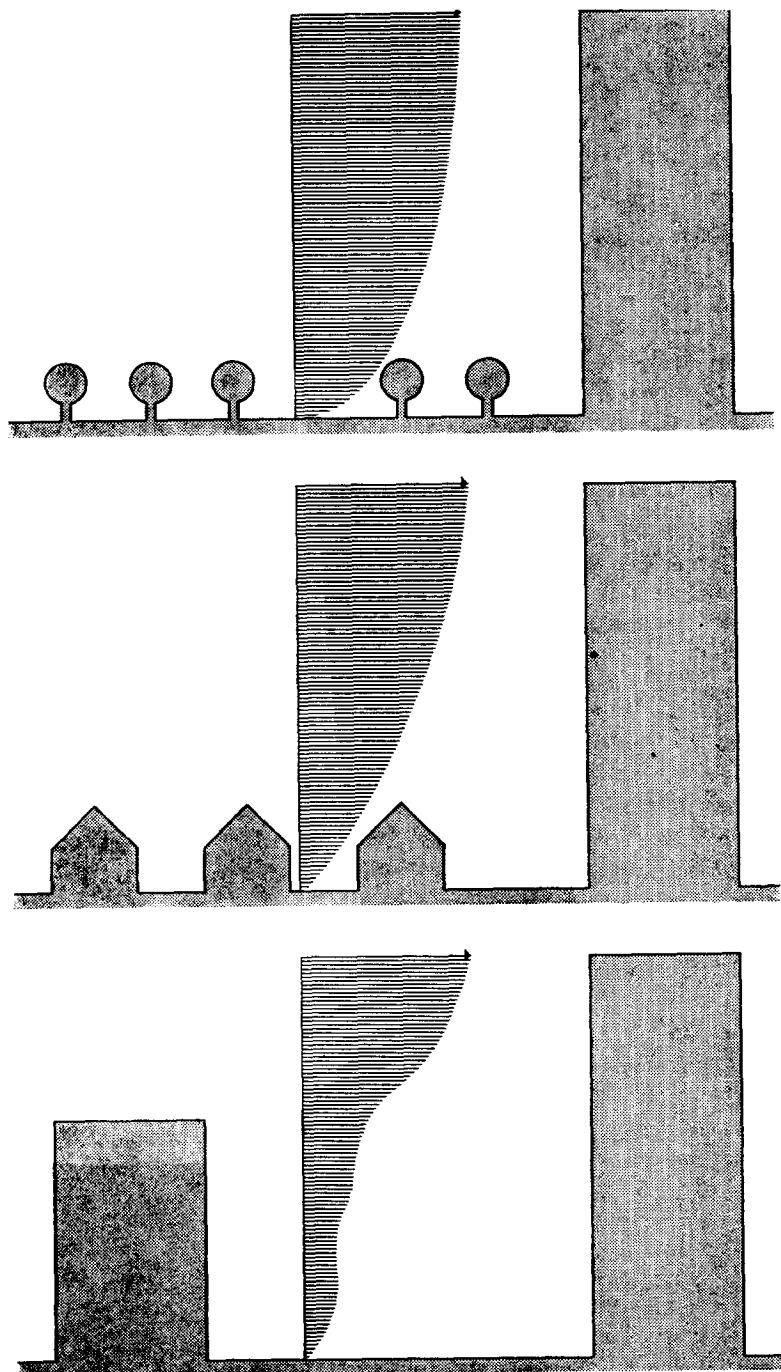
4.28. ábra. A szél hatása a filtrációs hőszükségletre (betűjelek és paraméterek az ábrákban)

A nyílászárók minőségének javítása a szélérzékenységet számottevően csökkenti. Ez nemcsak azért jelentős, mert a hőszükséglet szeles időben kisebb, hanem azért is, mert a szél és a külső hőmérséklet csak igen gyengén korreláltak, így a filtrációs hőszükségletnek a szél okozta véletlenszerű változásaival kapcsolatos szabályozási nehézség, illetve a tökéletlen szabályozás miatti túlfűtés csökken.

A nyílászárók minőségének javításával elérhető hatás nagymértékben attól függ, hogy milyen épületen alkalmazzák őket. Javított minőségű nyílászárók alkalmazásakor, pl. egy lakóépület ablakainál a légáteresztést az eredeti érték felére csökkentve a szobák filtrációs hőszükségletében elérhető megtakarítás 17 és 20% között változik. (4.24.–4.28. ábra). (Szélcsend feltételezésével, a szél hatását is figyelembe véve a megtakarítás nagyobb). A megtakarítás mértéke függ attól, hogy – a korábban tárgyalt tényezők következtében – kialakul-e semleges zóna vagy sem, és ha igen, akkor hol. A semleges zóna körüli helyiségeknél ugyanis a nyílászárók javítása nem hatékony. Ez természetesen nem azt jelenti, hogy ilyenkor

**A nyílászárók minőségének hatása a filtrációs levegőforgalomra**





4.29. ábra. A beépítés („terepérdesség”) hatása a szélsőesség magasság szerinti változására

javított minőségű nyílászáróra nincs szükség, hiszen *a semleges zóna kialakulása és helye a fűtési idényben állandóan változik*. A szél hatásának mérséklése és a szabályozási nehézségek csökkentése pedig már önmagában véve elegendő indok a nyílászárók minőségének javítására.

A homlokzati nyílászárók légáteresztésének csökkentéséhez képest a filtrációs hőigény csökkenése kisebb. Ennek oka az, hogy egy homlokzati nyílászáró csak egyetlen eleme annak az útnak, amely rajta kívül több belső nyílászárót, szellőzőkürtőt is tartalmaz. E sorbakapcsolt ellenállások láncolatának eredő ellenállása nyilvánvalóan csak kisebb mértékben változik egy elem ellenállásának megváltozása következtében.

A nyílászárók légáteresztésének csökkentésével elérhető hatást korlátozza a konyhák, fürdők, WC-k elszívó szellőztetése is. Nyilvánvaló ugyanis, hogy ha az elszívott légmennyiség adott – elvileg a nyílászárók légáteresztésének minden határon túl való csökkentése mellett is – legalább az elszívott légmennyiségnek valahol be kell jutnia a lakásba. Az elérhető megtakarítás tehát kisebb ott, ahol egy szinten sok kis, egy-, másfél szobás lakás van.

Ha csak az épület lépcsőházi bejárati ajtajának légáteresztését csökkentik felére, már akkor is észrevehető eredményt lehet elérni nemcsak a lépcsőház, hanem az egyes lakószobák filtrációs hőszükségletében is: csökken az egész épület filtrációs levegőforgalma és a lépcsőházból a lakásokba jutó levegő mennyisége. E hatást mérsékli az, ha a lépcsőháznak a lakószinteken is vannak szabadba nyíló nyílászárói, csökkentik továbbá a liftgépház(ak) tetőre nyíló kijáratai és a szemetledobó. Szokványos középmagas lakóépületeken a lépcsőházi bejárati ajtó javításával az egész épület filtrációs hőszükségletében 5–14%-os megtakarítás érhető el.

A gravitációs felhajtóerő és az elszívó szellőztetés együttes hatása szabja meg elsősorban azt, hogy a különböző szinteken fekvő azonos helyiségek méretezésénél, fűtőtestkiosztásánál és szabályozásánál milyen nehézségeket kell leküzdeni: minél nagyobb a filtrációs hőszükséglet szintek szerinti változása, annál bonyolultabb a felsorolt kérdések megoldása.

A szintek számával nemcsak a gravitációs felhajtóerő nő, hanem a hőszükségletnek a szintek szerinti „változékonysága” is, és minél nagyobb a szintszám, annál fontosabb a javított minőségű nyílászárók alkalmazása, de egy bizonyos határon túl annál kevésbé lehet ezt a „változékonyságot” javított minőségű nyílászárókkal mérsékelni. Ugyanígy a szélre „érzékeny” (magas, kis mélységű vagy tagolt körrajzú) épületek filtrációs hőszükségletének változékonysága is jelentősen csökkenthető jobb minőségű nyílászárók

alkalmazásával. A filtrációs hőszükséglet változékonysága ezzel együtt olyan mérvű, hogy szükségszerű a fűtőberendezés méretezését valamennyi szintre differenciáltan elvégezni.

**Az alaprajzi  
megoldás néhány  
szempontja**

A cél az ésszerű filtrációs levegőforgalom kialakítása, helyesebben: az ehhez szükséges feltételek megteremtése. Az egészségügyi, hőérzeti és biztonságtechnikai szempontok bizonyos mértékű légcserét szükségessé tesznek. A jelenlegi adottságok mellett azonban az elsődleges feladat az ezt meghaladó mértékű, tehát teljesítmény- és energiapazarlással, egészségügyi és hőérzeti problémákkal járó légcsera mérséklése az ésszerű szintre, ésszerű eszközökkel. E feladathoz közvetlenül kapcsolódik a filtrációs viszonyok változásának, a szellőzési és fűtési üzem stabilitásának kérdése is. A jelenlegi elsődleges feladat megoldási lehetőségeinek elemzése mellett azonban vizsgálni kell azt is, hogy milyen építészeti és épületgépészeti eszközökkel lehet a szükséges mértékű levegőforgalmat (illetve az ehhez kapcsolódó energiaforgalmat) ésszerűsíteni, hogyan biztosítható a szellőzési és fűtési üzem (legalábbis viszonylagos) stabilitása.

A filtrációs levegőforgalom ésszerű szervezésének egyik legfontosabb területe a megfelelő alaprajzi kialakítás és a függőleges irányú közlekedőterek megoldása. A kettő természetesen egymással szorosan összefügg: elegendő a lift – lépcsőház – lakásajtók kapcsolatra gondolni.

A vertikális kapcsolatok területén a legcélszerűbb megoldás azok *megszakítása*. A hagyományos függőfolyosós kialakításnál a gravitációs felhajtóerőből származó problémák nem lépnek fel. Igaz ugyan, hogy ez ma csak egyedi esetekben reális, de a lépcsőház – vagy a liftaknát és szemétdobót is tartalmazó lépcsőházi torony – szintenkénti megnyitása tömegesen gyártott és nagyobb szintszámú épületeknél is megvalósítható. A „megnyitás” természetesen légtechnikai szempontból értendő; a „nyitott” lépcsőházi előtér, illetve folyosó a szél, a csapóeső ellen védetten a letekintést (középmagas és magas épületeken) gátló módon készülhet. E megoldás tűzvédelmi szempontból is megfontolandó. A különálló lépcsőházi tornyok a beruházási költségeket kismértékben növeik ugyan, de az energiamegtakarítás (különösen, ha import energiahordozóról van szó) ezt kompenzálja.

A másik lehetséges *megoldás* a vertikális kapcsolatok *szakaszolása*, illetve zsilipelése: az emeleti lépcsőházi előtér és a lakások megközeledésére szolgáló közlekedőtér közötti ajtók beépítése. Ez mérsékli a függőleges irányú levegőforgalmat és a lakások közötti légcserét. A szintenként egy-egy ajtóval történő szakaszolás egy középmagas lakóépület filtrációs hőigényét kb. 30%-kal csökkenti. Ha szintenként két-két db sorbakapcsolt ajtóval zsilipet alakítanak ki, az épü-

let filtrációs hőszükséglete — különösen az alsó szinteken — csökken, az eredeti érték kb. kétharmadára. A semleges zóna környékén a zsilipelés hatása alig érvényesül, a semleges zóna felett a csökkenés kisebb mértékű. Ez természetesen nem jelenti azt, hogy a semleges zóna környékén a zsilipelésre nincsen szükség, hiszen a semleges zóna a külső — meteorológiai — feltételek változásával vándorol.

A szakaszolás, illetve zsilipelés céljából elhelyezett ajtók hatása hasonló ahhoz, amit igen nagy légáteresztési ellenállású lakásbejáratok beépítése eredményezne. A szükséges mértékű légátbocsátási ellenállás azonban szakaszolással, illetve zsilipeléssel könnyebben megvalósítható, mint különleges tömítettségű előszobaajtók alkalmazásával.

#### 4.14 A filtrációs hőszükséglet változása

Ugyancsak komoly szabályozási nehézségeket vet fel a filtrációs hőszükséglet változása a külső hőmérséklet függvényében. A gravitációs felhajtóerő és a hőmérséklet-különbség változása egyaránt lineárisnak tekinthető, az ellenállástörvény jellege miatt azonban a légtömegáram hatványfüggvény szerint változik. Az elvégzett számítások szerint ha a külső hőmérséklet nő, a filtrációs hőszükséglet az alaphővesztés csökkenő hányadát teszi ki, a filtrációs hőszükséglet szintek szerinti változását ábrázoló görbe meredeksége pedig megnő, a semleges zóna feljebb kerül vagy nem alakul ki. (Az elszívó szellőztetés hatása viszonylagosan megnő, hiszen az a külső hőmérséklettől független, állandó.) Ennek következtében a különböző szinteken levő azonos helyiségek hőszükségleteinek aránya is változik. A szél hatása viszonylagosan nő. Mivel a nagyobb szélsőségek gyakorisága a magasabb külső hőmérsékletek mellett nagyobb, a fokozottabban jelentkező szabályozási nehézségek miatt a nyílászárók minőségének javításával elérhető eredmény is jelentékenyebb.

A különféle meteorológiai állapotokra elvégzett számítógépes mérézések eredményeiből megállapítható, hogy

a filtrációs hőszükséglet sem abszolút értékben, sem megoszlásának jellegében *nem arányos* a külső hőmérséklettel,

a filtrációs hőszükséglet maximális abszolút értéke nem mindegyik lakásnál a szélső állapotban ( $t_e = -15^\circ\text{C}$ , méretezési szél) lép fel, a szélső állapotból kiindulni tehát *nem* minden esetben „biztonságos”,

különösen a magas épületekben és azokban a középmagas épületekben, amelyekben a semleges zóna szélső állapotban kialakul, kell számolni azzal a jelenséggel, hogy a felsőbb szintű lakások filtrációs hőszükségletének abszolút értéke a *növekvő külső*

**A meteorológiai  
feltételek  
változása**

*hőmérséklettel nő, egy-egy helyiség, lakás vagy szint maximális filtrációs hőszükséglete tehát nem határozható meg valamilyen állapotra elvégzett méretezés alapján, hanem csak a fűtési idény folyamatát bemutató állapotsorozat eredményeihez szerkesztett burkológörbe alapján (4.30. – 4.41. ábrák).*

A bemutatott ábrákból néhány jellemző tanulság levonható:

A földszinti és az alsóbb szinteken levő helyiségek filtrációs hőszükségletének maximuma a legkisebb külső hőmérséklet mellett jelentkezik. A külső hőmérséklet várható legkisebb értéke (az ún. „méretezési hőmérséklet”) a lehűlési szakaszok végén áll be igen rövid időtartamra (3.25. ábra). A lehűlési szakaszokat előidéző időjárási folyamatok általában széllel együtt lépnek fel. A szél sebessége a lehűlési szakasz kezdetekor nagy, a szakasz végére lecsökken. A lehűlési szakaszok végén – a minimális külső hőmérséklet mellett – a szél sebessége 2 m/s, vagy annál is kisebb. A filtrációs levegőforgalom tehát elsődlegesen a gravitációs felhajtóerő és a kiegészítő szellőztetés következtében jön létre. Azonban már a földszinti helyiségeknél is különbséget kell tenni a szél felőli és a szélvédett oldal között, még ha a szél hatása nem is játszik domináns szerepet. A szél felőli oldalon a maximális filtrációs hőszükséglet természetesen a várható minimális hőmérséklethez tartozó méretezési szélsebesség esetén lép fel, ugyanakkor a szélvédett oldalon az esetek többségében szélcsendes időben.

A szintek számának, az egy szinten levő lakások számának és az épület alaprajzi adottságainak függvényében a várható legkisebb külső hőmérséklet és szélcsend esetén kialakulhat az ún. semleges zóna. A semleges zónában levő szint és az ahhoz közeli szintek filtrációs hőszükséglete e vizsgált állapotban csekély. Ha a semleges zóna nem is alakul ki (4.20. ábra), a filtrációs hőszükséglet szintek szerinti eloszlása olyan, hogy a legfelső szintek filtrációs hőszükséglete csekélyebb. A filtrációs hőszükséglet szintek szerinti változékonyságát a 4.30. – 4.41. ábrákon bemutatott vonalak dőlése jellemzi.

A külső hőmérséklet változásával a görbe meredeksége is változik. Ennek mértéke függ a kiegészítő szellőztetés hatásától is. A kiegészítő szellőzés működése miatt a semleges zóna helye egyre magasabbra tolódik. (Ha a semleges zóna az épület magasságán belül nem is alakul ki, ugyanez a jelenség figyelhető meg a görbe képzetbeli, zéró légtömegáramot adó pontjáról.) A külső és belső hőmérséklet azonossága esetén a „görbe” függőleges egyenesbe megy át.

A filtrációs légtömegáramok változása az előzőek alapján úgy megy végbe, hogy azok a helyiségek, amelyek pl.  $t_e = -15^\circ\text{C}$ -nál a sem-

leges zónába, vagy ahhoz közel esnek, magasabb külső hőmérsékletnél a semleges zóna alá kerülnek. Ennek következtében a filtrációs levegőforgalmuk — a megváltozott nyomásviszonyok miatt — intenzívebb lesz, s esetleg iránya is módosul. Pl. a helyiségbe alacsonyabb külső hőmérséklet mellett a lépcsőházból jutott be a levegő és a külső nyílászáróknál exfiltráció volt, magasabb külső hőmérsékletnél ez utóbbi helyen infiltráció lép fel, a levegő pedig a szellőzőrendszeren keresztül távozik. Adott esetben a levegőforgalom növekedésének üteme meghaladhatja a  $(t_i - t_e)$  hőmérsékletkülönbség csökkenésének ütemét. Ennek következtében a filtrációs hőszükséglet emelkedő külső hőmérséklet mellett nő! Természetesen ez a folyamat nem az egész téli félévre, hanem annak csak egy bizonyos hőmérsékleti intervallumára vonatkozik.

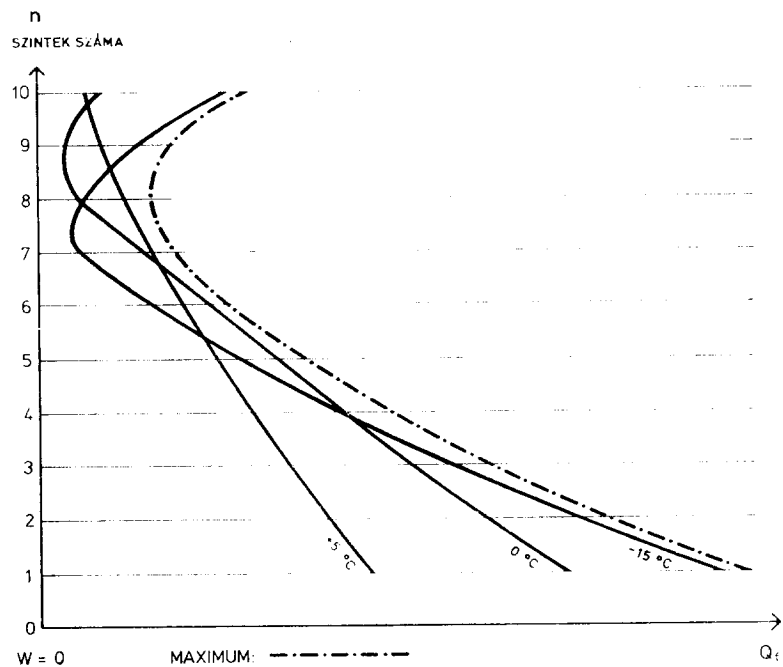
Figyelembe véve a külső hőmérséklet és a szélesebbesség közötti laza korrelációs kapcsolatot, azt kell mondani, hogy a szél felőli oldalon magasabb külső hőmérséklet és szél esetén, a szél alatti oldalon pedig alacsonyabb külső hőmérséklet és szélcsend mellett lép fel a maximális filtrációs hőszükséglet. E hatás főleg magasházaknál juthat érvényre, ahol a szél sebességének magasság szerinti eloszlása és a felsőbb szinteken az ebből adódó nagyobb szélesebbesség is érezteti hatását. Így végül is a szintek számának növekedése szinte megoldhatatlan nehézségek elé állítja a fűtőberendezések tervezőit és üzemeltetőit. Ennek példázására álljon itt egy 22 szintes irodaházra végzett — helyszíni mérésekkel is közvetve igazolt — számítás néhány eredménye.

Az irodaépületekben a filtrációs levegőforgalom még kevésbé stabil, mint a lakóépületekben. Ennek oka az, hogy viszonylagosan kisebb a belsőterű vagy vizes helyiségekből mesterséges szellőztetéssel elszívott légtömegáram, ezzel egyidejűleg a homlokzati üvegezési arány nagyobb. E tényezők következményeként a filtrációs hőszükséglet a teljes hőveszteség nagyobb hányadát teszi ki, ugyanakkor térbeli és időbeli változékonysága is nagyobb.

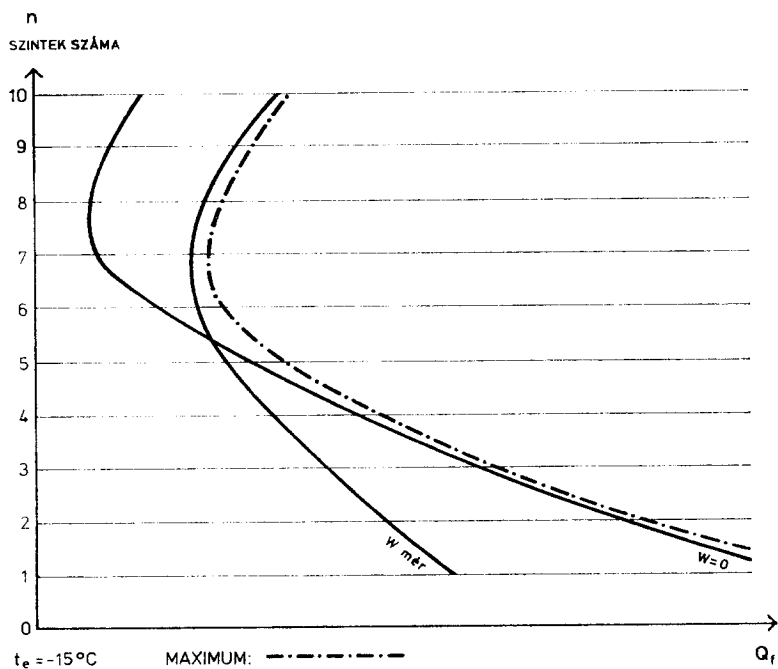
A 4.42. ábra egy 22 szintes penge épülettömbre mutatja be a tervezési adatok alapján számított filtrációs hőszükségletadatokat. A viszonylag nagyon csekély gépi elszívás miatt  $-15\text{ °C}$  külső hőmérsékletnél, gyenge szélnél a semleges zóna szabályszerű kialakulása figyelhető meg. A másik — az előzővel gyakorlatilag azonos kockázati szintű — állapotban ( $0\text{ °C}$ ,  $8\text{ m/s}$ ) a kép teljesen megváltozik. A szélárnyékban levő helyiségek filtrációs hőszükséglete csekély, de alulról felfelé növekvő jellegű, a szél felőli oldalon jelentős és mindkét oldalon bizonyos szintsám után abszolút értékben meghaladja a  $-15\text{ °C}$  külső hőmérséklethez tartozó értékeket.

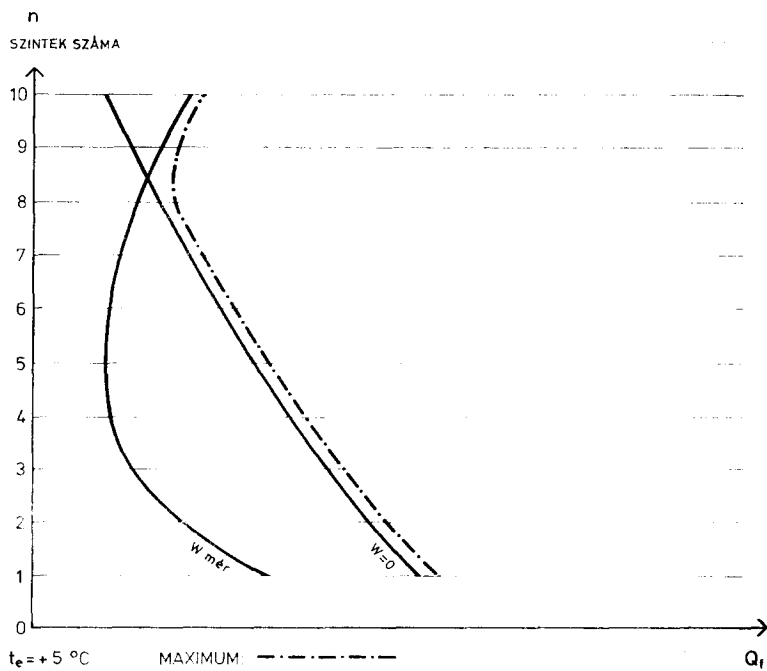
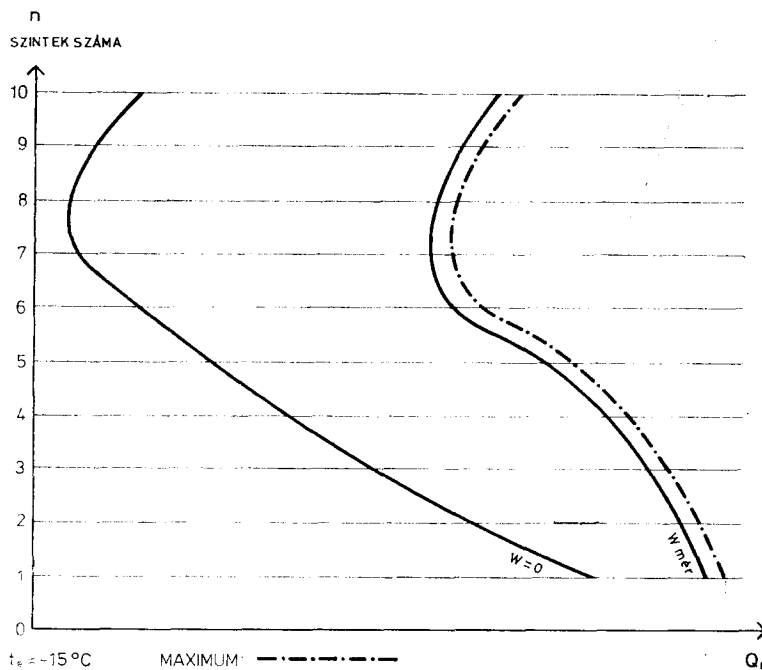
Hogy ez nem részletkérdés, bizonyítja a 4.43. ábra, amely ugyanerre az épületre a teljes fűtési hőszükségletet mutatja be.

4.30. ábra.  
Középmagas  
lakóház, szoba, a  
filtrációs  
hőszükséglet-  
változása  
 $t_e$  függvényében



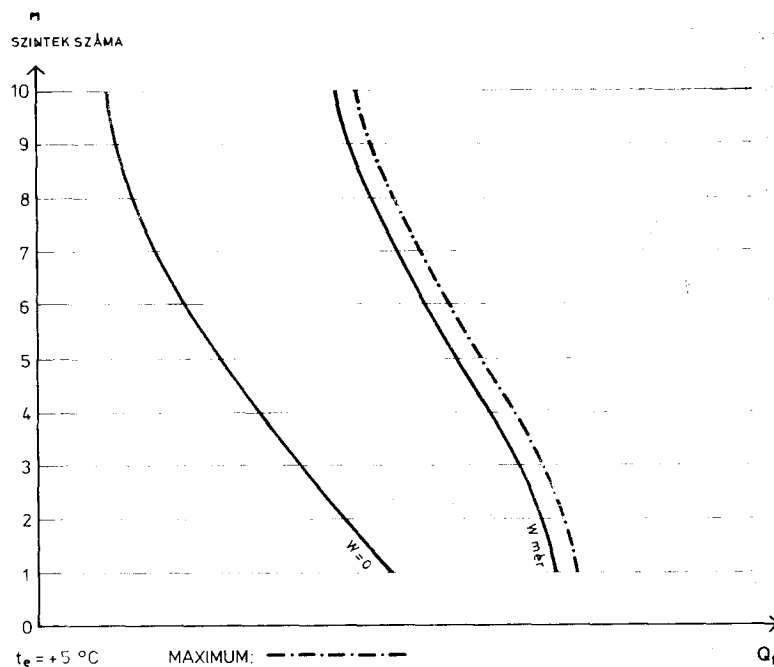
4.31. ábra.  
Középmagas  
lakóház, szoba, a  
filtrációs  
hőszükséglet  
változása a  
szélvédett oldalon  
(szélérzékeny  
épület)



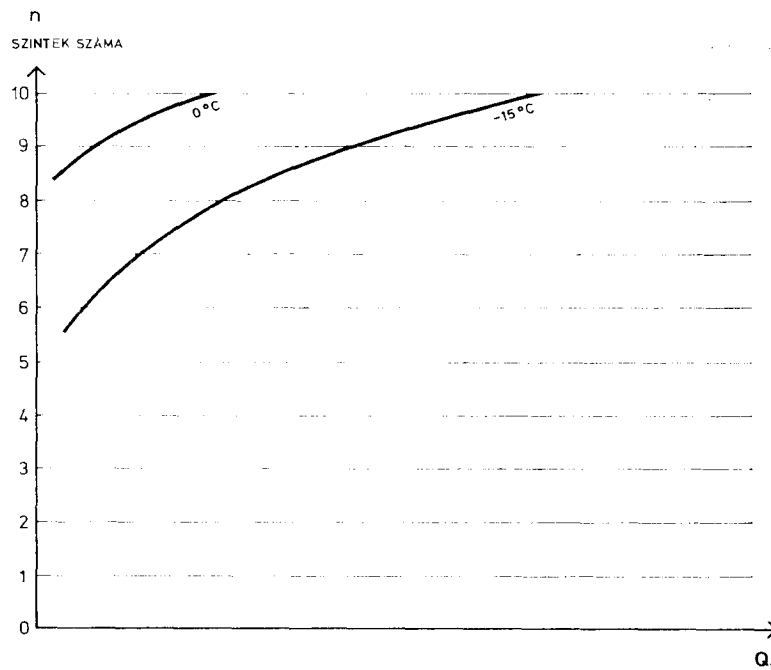


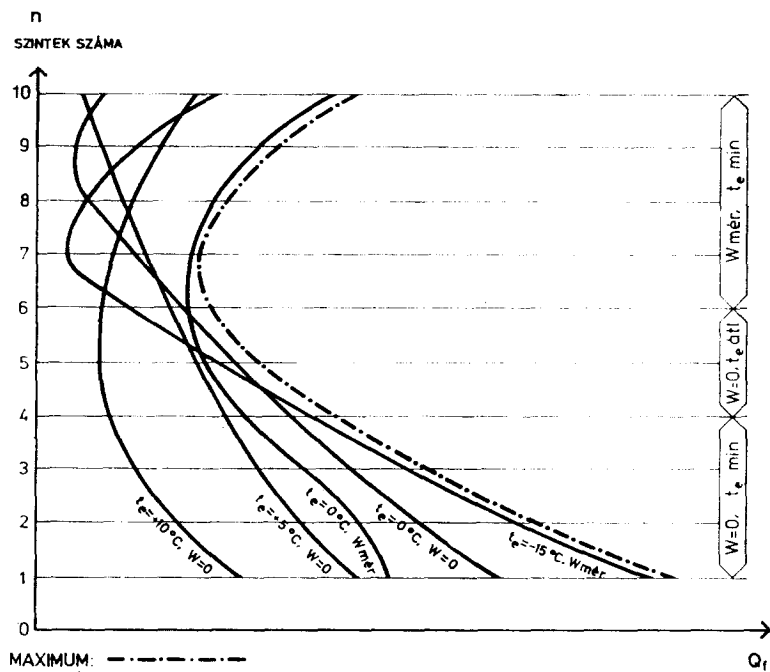


4.34. ábra.  
Középmagas  
lakóház, szoba, a  
filtrációs  
hőszükséglet  
változása a szél  
felőli oldalon  
(szélérzékeny  
épület)

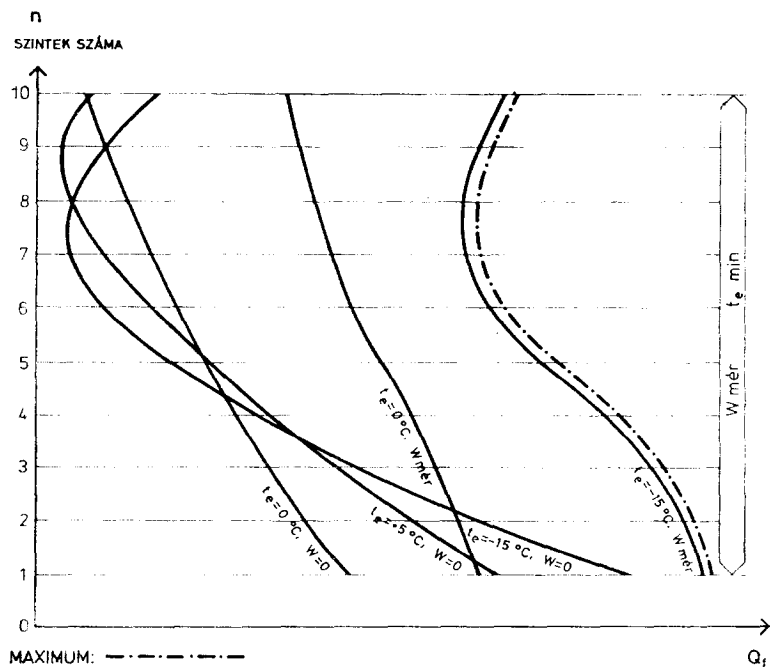


4.35. ábra.  
Középmagas  
lakóház, előszoba,  
a filtrációs  
hőszükséglet  
változása  
 $t_e$  függvényében



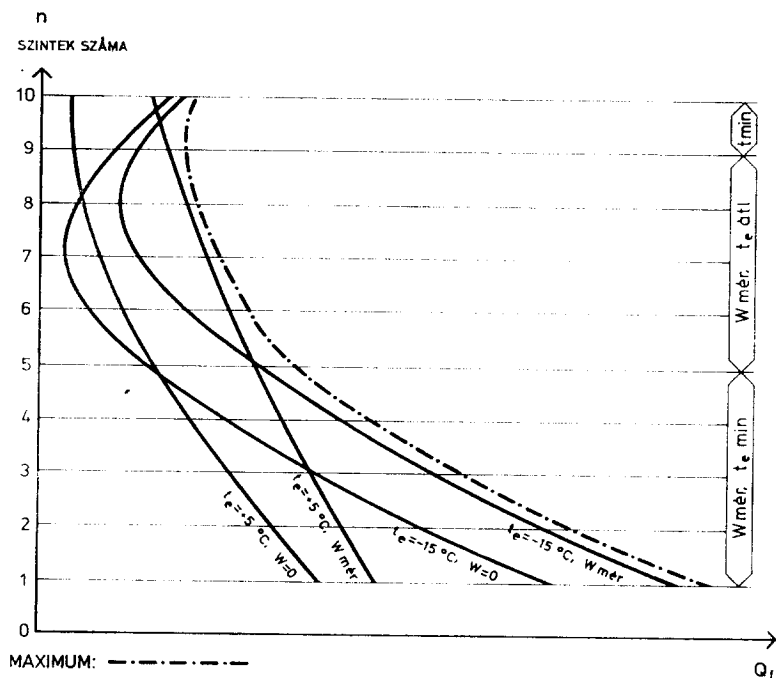


4.36. ábra.  
Középmagas  
lakóház, szoba,  
összefoglaló ábra,  
szélvédett oldal  
(szélérzékeny  
épület)

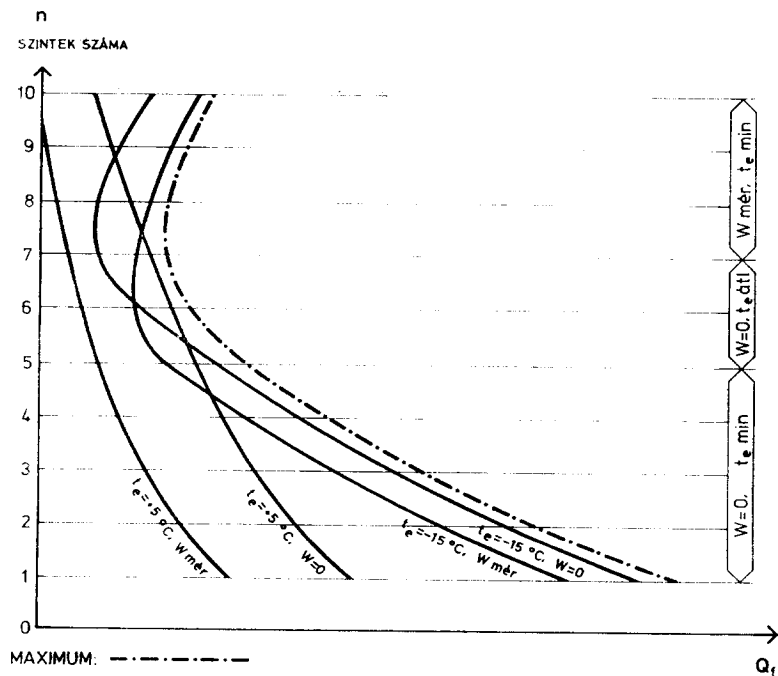


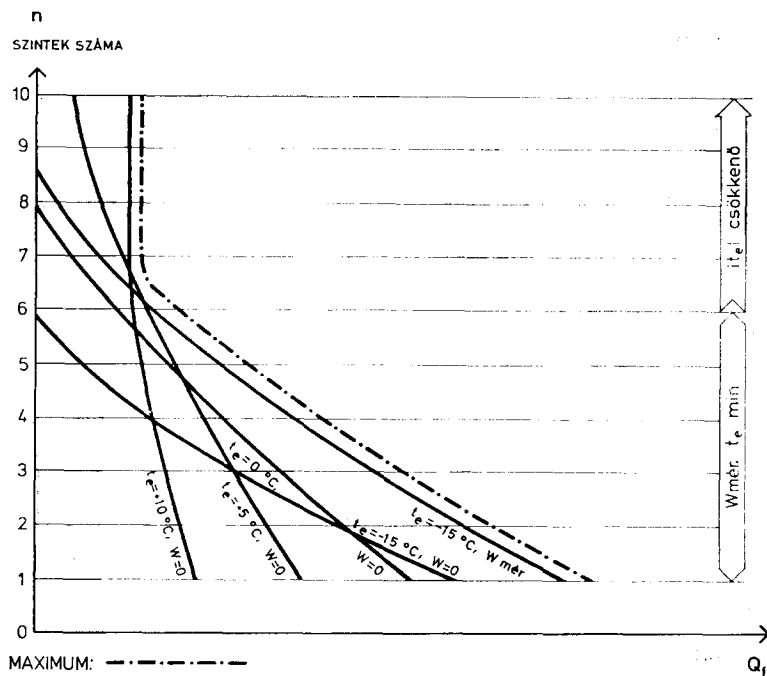
4.37. ábra.  
Középmagas  
lakóház, szoba,  
összefoglaló ábra,  
szél felőli oldal  
(szélérzékeny  
épület)

4.38. ábra.  
Középmagas  
lakóház, szoba, a  
filtrációs  
hőszükséglet  
változása szél felőli  
oldalon (szélre nem  
érzékeny épület)

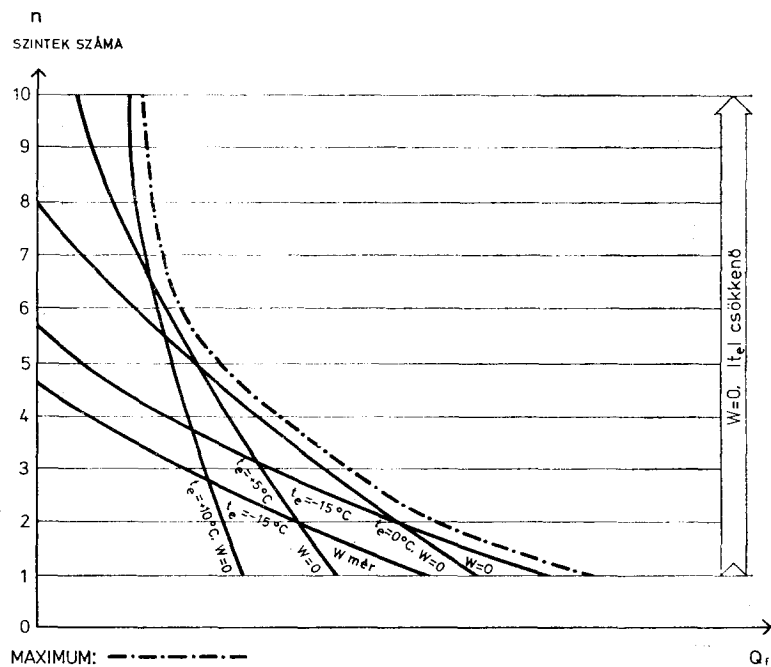


4.39. ábra.  
Középmagas  
lakóház, szoba, a  
filtrációs  
hőszükséglet  
változása a szél  
alatti oldalon  
(szélre nem  
érzékeny épület)

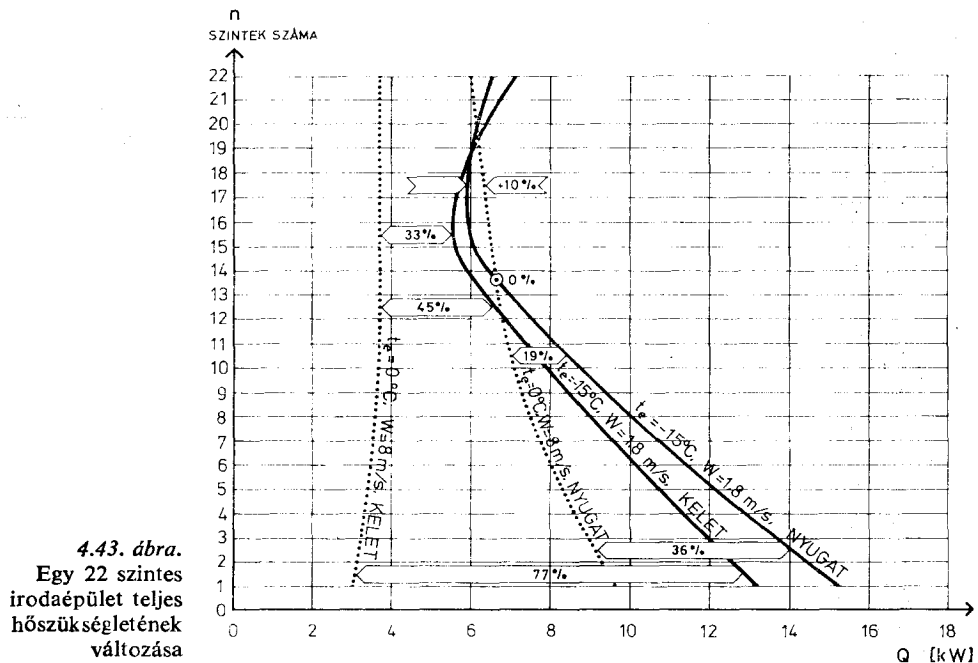
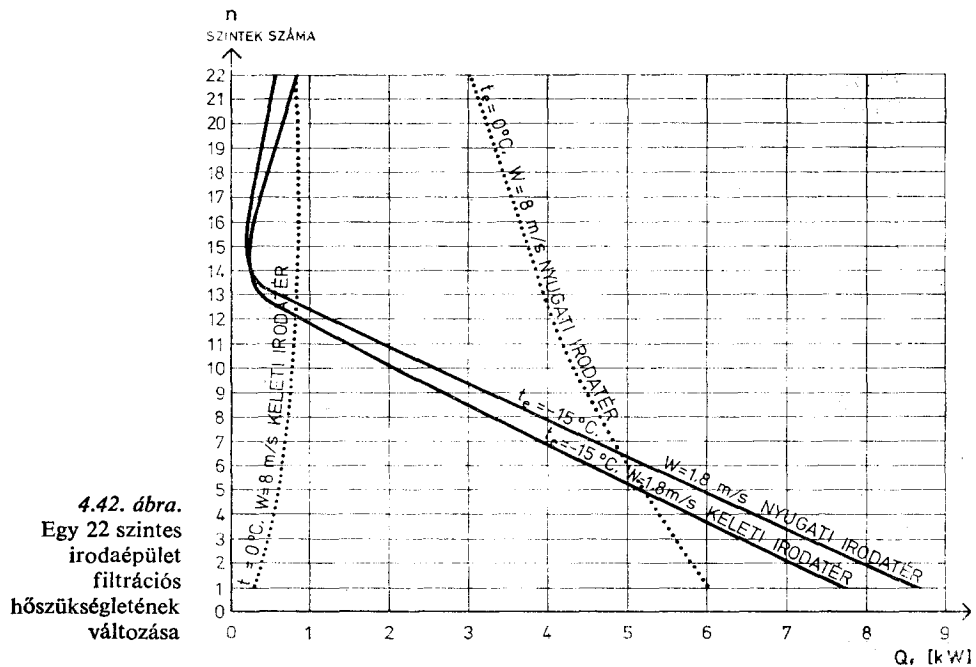




4.40. ábra.  
Középmagas  
lakóház,  
zsákszoba, a  
filtrációs  
hőszükséglet  
változása a szél  
felőli oldalon



4.41. ábra.  
Középmagas  
lakóház,  
zsákszoba, a  
filtrációs  
hőszükséglet  
változása a  
szélvédett oldalon



A probléma összetett voltát e rövid fejtegetés is érzékelteti. A folyamatban szerepet játszó paraméterek nagy száma miatt általános érvényű szabályt adni nem lehet; az egyes tényezők hatásának tendenciája azonban – a 4.30. – 4.42. ábrákkal összhangban – a következőkben foglalható össze:

A semleges zóna kialakulása  $t_{e, \min}$  mellett annál valószínűbb,

minél nagyobb a szintek száma,

minél kevesebb lakás van egy szinten,

minél rosszabb minőségűek a nyílászárók.

Ha a vizsgált helyiség  $t_{e, \min}$  esetén jóval a semleges zóna alatt van, akkor a filtrációs hőszükséglet maximuma a  $t_{e, \min}$  mellett lép fel, mégpedig

a szél felőli oldalon egyidejű szél,

a szél alatti oldalon az esetek többségében szélcsend esetén.

Ha a vizsgált helyiség  $t_{e, \min}$  esetén a semleges zónában vagy a felett van, a filtrációs hőszükséglet maximuma

a szél felőli oldalon a  $t_{e, \min}$  vagy az átlagoshoz közeli, míg

a szél alatti oldalon az átlagoshoz közeli külső hőmérséklet mellett lép fel.

Az előzőekben ismertetett tények bizonyítják, hogy a filtrációs hőszükséglet meghatározása, nemkülönben a filtrációs hőszükséglet változásához való igazodás a fűtési idény során igen nehéz méretezési, illetve üzemeltetési feladat. A méretezést illetően a maximális filtrációs hőszükségletértékekről már volt szó, ez azonban egyáltalán nem jelenti azt, hogy mindegyik helyiség fűtőfelületét a maximális teljesítményre kellene méretezni, hiszen ennek eredménye egy szabályozhatatlan és beszabályozhatatlan rendszer lenne. A méretezéssel kapcsolatban hasonló nehézségeket okoznak más tényezők is, így pl. a helyiségek közötti hőcsere, a napsugárzás hatása is. Ezért a problémát a teljes fűtési hőszükséglettel kapcsolatban kell vizsgálni. Egy lehetséges megoldás ismertetését a 4.2 alfejezet tartalmazza.

**A fűtőberendezések  
üzemeltetése**

A szabályozás kérdésével kapcsolatban abból kell kiindulni, hogy a középmagas és magas épületek fűtőberendezéseinek igen eltérő igényeket kell kielégíteniök. Elfogadott megoldás, hogy az ilyen épületek fűtési rendszerét – a szél és a napsugárzás hatásából származó eltérések kompenzálhatósága végett – homlokzatontként

zónákra osztják és ezeket külön szabályozzák. A példák bizonyossága szerint azonban legalább ennyire indokolt a fűtési rendszert *magassági irányban is* zónákra osztani, és ezeket külön-külön szabályozni (függetlenül a fűtőtestekre jutó statikus nyomás kérdésétől). Ha például a 4.43. ábrán bemutatott esetről van szó, és feltételezhető, hogy a fűtési rendszer magassági irányban is kettéosztott, még mindig adódik egy-egy zónán belül olyan probléma, hogy amíg az egyik szint teljes hővesztése 30%-kal változik, a másiké gyakorlatilag változatlan marad. Nyilvánvalóan egy közös szabályozási rendszerrel ennyire eltérő igényeket kielégíteni nehéz. További problémák okozója lehet a tervezési és a tényleges légáteresztési tényezők eltérése, különösen, ha ez szintenként véletlen jelleggel változik. Az ilyen minőségi hibák ellensúlyozására biztonsági célzattal betervezett többlet fűtőtéljesítmény az eltérően változó igények problémáját nem oldja meg, sőt többnyire további nehézségekhez vezet, hiszen e biztonsági tartalékok az egyes helyiségekbe beépített fűtőfelületek arányát még tovább torzítják.

Nyilvánvaló, hogy ez a kérdés a zónák számának szaporításával, az egyedi szabályozás felé való közeledéssel oldható meg. Ugyanakkor az is nyilvánvaló, hogy egy nagy berendezésnél ez a rendszer bonyolultságát fokozná és nehezen elviselhető beruházási költségtöbblettel is járna. Ezért egy olyan kompromisszumos változatot kell keresni, amely előre láthatóan csak bizonyos mértékű hőérzeti problémákkal vagy túlfűtéssel üzemeltethető.

**A légtechnikai  
berendezések  
stabil üzeme  
magas házakban**

A fűtőberendezések üzemvitelével kapcsolatos nehézségek ismertetésben kézenfekvőnek tűnik az a gondolat, hogy e nehézségeket légtechnikai berendezés létesítésével hidalják át, hiszen ez lehetőséget ad az épületen belüli levegőforgalom stabilizálására, szervezetté tételére. Ez elvileg valóban igaz, de a nyílászárók légáteresztése ebben az esetben sem közömbös és a légtechnikai berendezés stabil üzeméhez is bizonyos feltételek megteremtése szükséges. (Az üzemvitel stabilitása ez esetben is csak a filtrációs levegőforgalom és a nyomásviszonyok szempontjából képezi vizsgálat tárgyát).

A szél és a kürtőhatás következtében létrejövő filtrációs levegőforgalom számítása során eredményként adódik az egyes helyiségekben uralkodó (az atmoszférához viszonyított) túlnyomás. Különféle méretezési állapotok áttekintése alapján minden egyes helyiségre ki lehet választani egy mértékadó  $\Delta p$  túlnyomást. A helyiségben uralkodó túlnyomás az időjárási feltételek változásával a zérus és a mértékadó túlnyomás között ingadozik. A légtechnikai rendszer nyomásviszonyait tehát úgy kell megválasztani, hogy a szükséges légtömegáram befűvése jelentős túlnyomás (adott esetben 30–50 Pa) ellenében is biztosított legyen. Ennek feltételei a légtechnikai rendszer felépítésétől és funkciójától függenek. Ez utóbbiak

szempontjából a vizsgálatot négy különböző alapesetre célszerű végezni.

*Az első* esetben az épületben központi fűtési rendszer is és légtechnikai rendszer is üzemel. Az utóbbi jelen esetben természetesen csak egyszerű szellőztetési feladatot lát el, így a vele szemben támasztott követelmény is mindössze annyi, hogy a megengedhető szennyező-anyag-koncentráció szempontjából minimálisan szükséges friss levegőt biztosítsa, az előírt helyiség-hőmérséklethez közeli hőmérséklet-szinten. Ha egy ilyen szellőztető berendezést úgy méreteznek, hogy a befűvási nyomáskülönbség éppen megegyezzek a helyiség mértékadó túlnyomásával, akkor ebben a szélső esetben a befűvott légtömegáram értéke zéróra csökkenne, ugyanakkor a szellőztető rendszer működése biztosítaná azt, hogy az épületben uralkodó túlnyomás következtében infiltráció még e határesetben se lépjen fel.

Annak érdekében, hogy a rendszer szellőztető funkcióját is ellássa, a befűvási nyomáskülönbséget a mértékadó túlnyomásnál nagyobbra kell választani. Így a befűvott légtömegáram mindig zérónál nagyobb, a helyiségek külső nyílászáróinál mindig exfiltráció lép fel. A légtömegáram értéke az időjárási feltételek változásával természetesen ingadozik, de ez a szellőztetési funkció szempontjából elég tág (csak a huzatérzet veszélye által korlátozott) határok között megengedhető.

A most vázolt rendszer stabil üzemvitelt biztosít: a légtechnikai rendszer az infiltrációt megakadályozza, ugyanakkor a szellőző levegő tömegáramának ingadozása a helyiség hőegyensúlyát nem befolyásolja, hiszen a légtechnikai rendszernek csak szellőzési funkciója van, fűtési funkciója nincs. A hőveszteséget a fűtési rendszer fedezi, a fűtőteljesítmény szabályozása azonban lényegesen egyszerűsödik, hiszen csak a transzmissziós hőveszteség kevésbé differenciált változását kell követni.

Stabilitása ellenére e rendszer energetikailag pazarló, és kettőssége (fűtés + légtechnika) bár az üzembiztonságot fokozza, a beruházási költségek és a helyigény szempontjából egyaránt kedvezőtlen.

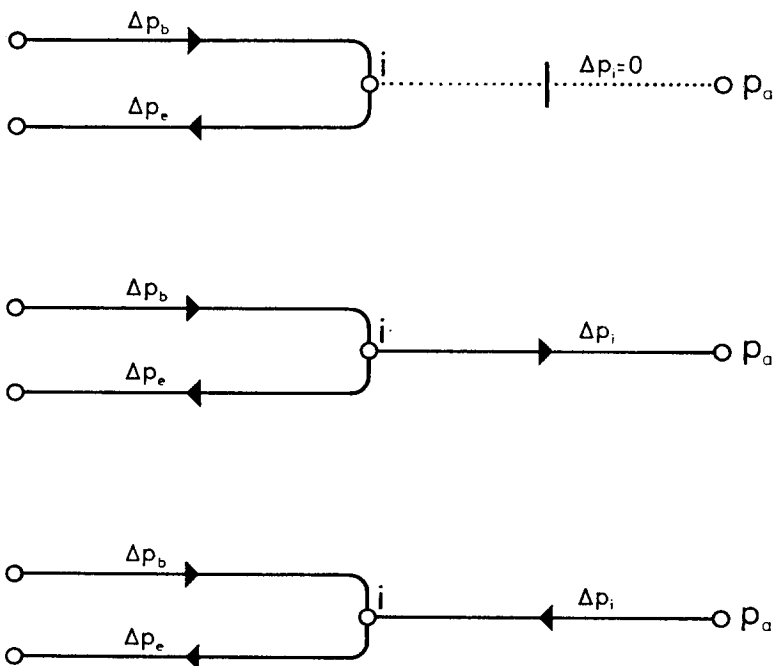
*A második* esetben valamilyen kiegyenlített légtechnikai rendszerről van szó, amely szellőztetési, fűtési, klimatizálási funkciókat egyaránt elláthat. A külső nyomásviszonyoktól gyakorlatilag független üzemvitel feltétele az, hogy az elszívás legalább azon a túlnyomás szinten történjék, amely megegyezik a helyiség mértékadó túlnyomásával. A befűváshoz szükséges nyomás a légtechnikai rendszer méretezése során ebből már egyértelműen adódik. A nyomásviszonyok változása ebben az esetben azt eredményezheti, hogy a külső ablakon keresztül exfiltráció lép fel. A helyiségben uralkodó túlnyomás ingadozása annál kisebb, minél nagyobb az elszívó rendszer



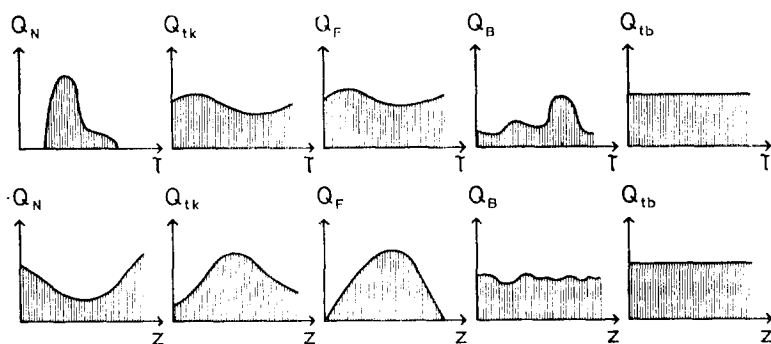
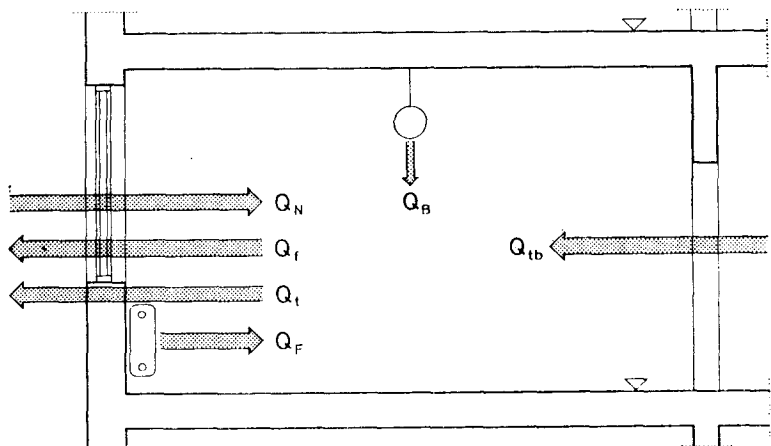
„légátbocsátó-képessége” (ellenállásfüggvényének inverze) a nyílászárók légátbocsátó képességéhez viszonyítva. A 4.44. ábrán a helyiséget jelképező „i” csomópontba a különböző jelképes ágakon (befúvó hálózat, elszívó hálózat, nyílászárók) érkező tömegáramok algebrai összege zéró. Az optimális esetben a nyílászárókat jelképező ágon nincs áramlás. Ez a méretezési állapotnak felel meg. A nyomásviszonyok változásával a helyiség és a külső tér között nyomáskülönbség lép fel: a bevezetőben választott méretezési feltételek mellett ez exfiltrációval jár. A légtechnikai rendszer kiegyenlített jellege – a befúvott és az elszívott légtömegáramok tekintetében – megbomlik. Ez annál kisebb változást okoz a rendszer üzemében, minél nagyobb a nyílászárók légáteresztési ellenállása.

A vizsgált megoldás a „hagyományos” szellőző és klímarendszerekre jellemző. Az üzemvitel stabilitása szempontjából kedvező tulajdonságú, egyéb szempontokból alkalmazása nem minden esetben célszerű. Az infiltráció kiküszöbölhető, ha rendszer „kiegyenlített-ségét” a mértékadó helyiség túlnyomás szintjén biztosítják.

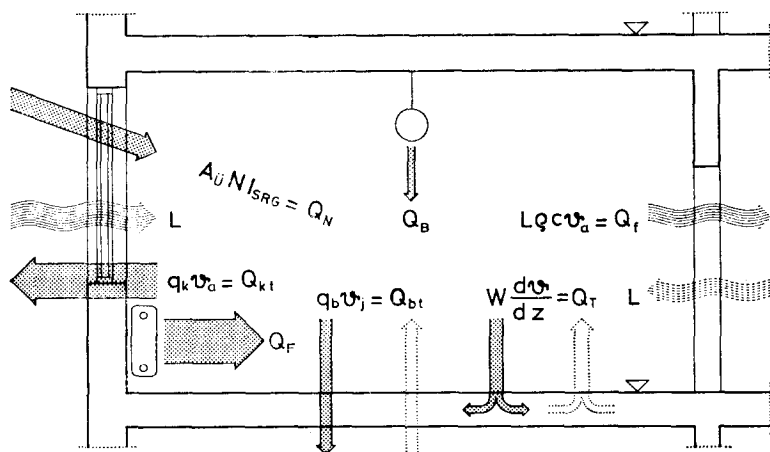
A harmadik eset egy olyan légfűtő rendszert vizsgál, amely csak befúvó hálózatot tartalmaz, s a helyiségből a levegő a túlnyomás hatására távozik.



4.44. ábra. A helyiség, a külső tér és a szellőzési rendszer kapcsolatának jelképes ábrázolása



4.46. ábra. A helyiséget érő különböző hőhatások napi és éves változásának jellege



4.47. ábra. Helyiség energiámérlegének értelmezése

**A szélsőségesen  
hideg napok**

Az év leghidegebb napjain a *transzmissziós hőáram* hatása jelentős. Igen fontos szerepet játszik azonban az egyes helyiségek *időállandója* is, tekintettel arra, hogy a szélsőségesen alacsony külső hőmérsékletek fellépése csak rövid időtartamra korlátozódik, így gyakorlatilag nincs is lehetőség arra, hogy az ezeknek az alacsony külső hőmérsékleteknek megfelelő stacioner állapot kialakuljon. A szélsőségesen alacsony külső hőmérsékletekhez, a lehülési szakaszokhoz tartozó folyamat a lehülési szakaszokra vonatkozó statisztikai adatok ismeretében számítható. A 3.22 pontban elvégzett elemzés azt bizonyította, hogy minél kisebb az épület helyiségeinek külső időállandója, annál érzékenyebben válaszol a helyiség a külső hőmérséklet változására.

A nagy hőmérséklet-különbség *nagy gravitációs felhajtóerőt* eredményez, ezért szélsőségesen alacsony külső hőmérsékletek mellett a filtrációs levegőforgalom növekedése várható a középmagas és magas lakóépületekben. Ez különösen az alsóbb szintek helyiségeinek filtrációs hőszükségletében érezteti hatását, éspedig annál erősebben, minél nagyobb a nyílászárók légáteresztése és minél kisebb ellenállást képviselnek az épület függőleges közlekedőterei.

A szél hatása rendszerint nem számottevő, a nagy gravitációs felhajtóerőhöz viszonyítva sem, és önmagában sem, a szélsőségesen alacsony külső hőmérsékletek fellépését a tapasztalat szerint ugyanis nem szokta erős szél kísélni. Az égbolt rendszerint derült, de az adott körülmények között a napsugárzásból származó hőterhelés a fűtési hőszükségletnek csak néhány százalékát fedezi. Az alacsony külső hőmérséklet és az ezzel járó alacsony parciális vízgőznyomás miatt viszont jelentős szerephez jut az égboltra néző felületek hősugárzása, amit az alacsony hőmérsékleti emissziós tényező határoz meg az adott feltételek mellett. Ez az időszak évi 80–100 órát tesz ki, azaz három-négy napot.

**A fűtési idény  
hidegebb szakaszai**

Valamelyest változik a „szereposztás” kevésbé alacsony külső hőmérsékletek mellett. A  $-10$  és  $0$  °C közötti külső hőmérsékletek évi 800–1000 óra (azaz 34–42 nap) időtartamban várhatók. Bár ebben az időszakban is jelentős számú lehülési szakasz fordul elő, amikor is az egyes helyiségek időállandói – a korábbiakhoz hasonlóan – szerepet játszanak, előfordulnak hosszabb, összefüggő, nagyjából állandó hőmérsékletű időszakok is, amelyek folyamán a stacionert megközelítő állapotok alakulnak ki. Ezért, és a nagy hőmérséklet-különbség miatt a *transzmissziós hővesztesség* és a határoló szerkezetek hőátbocsátási tényezője főszerepet játszik. A *gravitációs felhajtóerő* szintén jelentős; az előző gondolatmenethez hasonlóan főleg ez határozza meg a filtrációs levegőforgalmat, bár

— ha csekély gyakorisággal is — nagy szélsébség előfordulására is számítani lehet. Erősebb szél esetén szerepet játszik már az épület alakja, nagysága, mélysége, a vízszintes helyiségkapcsolatok rendszere és gyenge hőszigetelés esetén a hőátbocsátási tényező változása a külső hőátadási tényező megnövekedése miatt. Előfordulhatnak olyan hőmérséklet–szélsébség értékpárok (pl.  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  és  $10\text{ m/s}$ ), amelyek mellett az egész épület fűtési hőszükséglete nagyobb, mint a szélsőségesen hideg napokon.

A napsugárzás hatása ebben az időszakban a legkevésbé jelentős a kicsiny intenzitás, a gyakori felhőzet miatt és a nagy transzmissziós hőveszteséghez viszonyítva.

Jelentősen módosul a szereposztás, ha a külső hőmérséklet a fűtési idény átlaghőmérséklete ( $2-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) körüli intervallumba ( $0-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) esik. Ennek időtartama a leghosszabb, évi  $2000-2200$  óra (azaz  $85-100$  nap). Ebben az időszakban a legösszetettebb és legbonyolultabb az energiaforgalom, mert *szinte minden összetevője összemérhető, közel azonos nagyságrendű*. A transzmissziós hőveszteség a maximális érték felére-harmadára csökken. A filtrációs levegőforgalom alakulásában a kisebb hőmérséklet-különbség miatt csökken a gravitációs felhajtóerő szerepe. Ez — ha az épületben kiegészítő elszívó szellőzés is üzemel — jelentős változásokat okoz az áramképben. A semleges zóna felcsúszik, esetleg ki sem alakul az épület magasságán belül. A kisebb hőmérséklet-különbség és a kisebb légtömegáram miatt hatványozottan csökken az alsóbb szintek helyiségeinek filtrációs hőszükséglete.

**A fűtési idény  
átlagos  
körülményei**

Ugyanakkor vannak olyan helyiségek, amelyek korábban a semleges zóna felett voltak és az exfiltráció miatt filtrációs hőszükségletük zérus volt. Most, a semleges zóna alá kerülve, az infiltráció miatt filtrációs hőszükségletük lesz, amely egy bizonyos külső hőmérsékletig a külső hőmérséklettel együtt nő. A szél hatása az épületek keresztirányú átszellőzése — éppen a kisebb gravitációs felhajtóerő miatt — jelentősebb.

A napsugárzás hatása — tekintettel arra, hogy ez időszak nagy része októberre, februárra, márciusra esik — önmagában véve is jelentős, a már aránylag nem nagy transzmissziós és filtrációs hőszükséglet-höz viszonyítva pedig különösen az. A napsugárzásból származó hőnyereség a tájolás, homlokzati üvegezési arány és az átlagos hőátbocsátási tényező függvényében (3.12. — 3.18. ábrák) a transzmissziós hőveszteség többször tíz százalékát (szélső esetben teljes egészét) fedezi. A szokványos használatú helyiségek belső hőterhelése, spontán forrásai is már figyelemre méltóak.

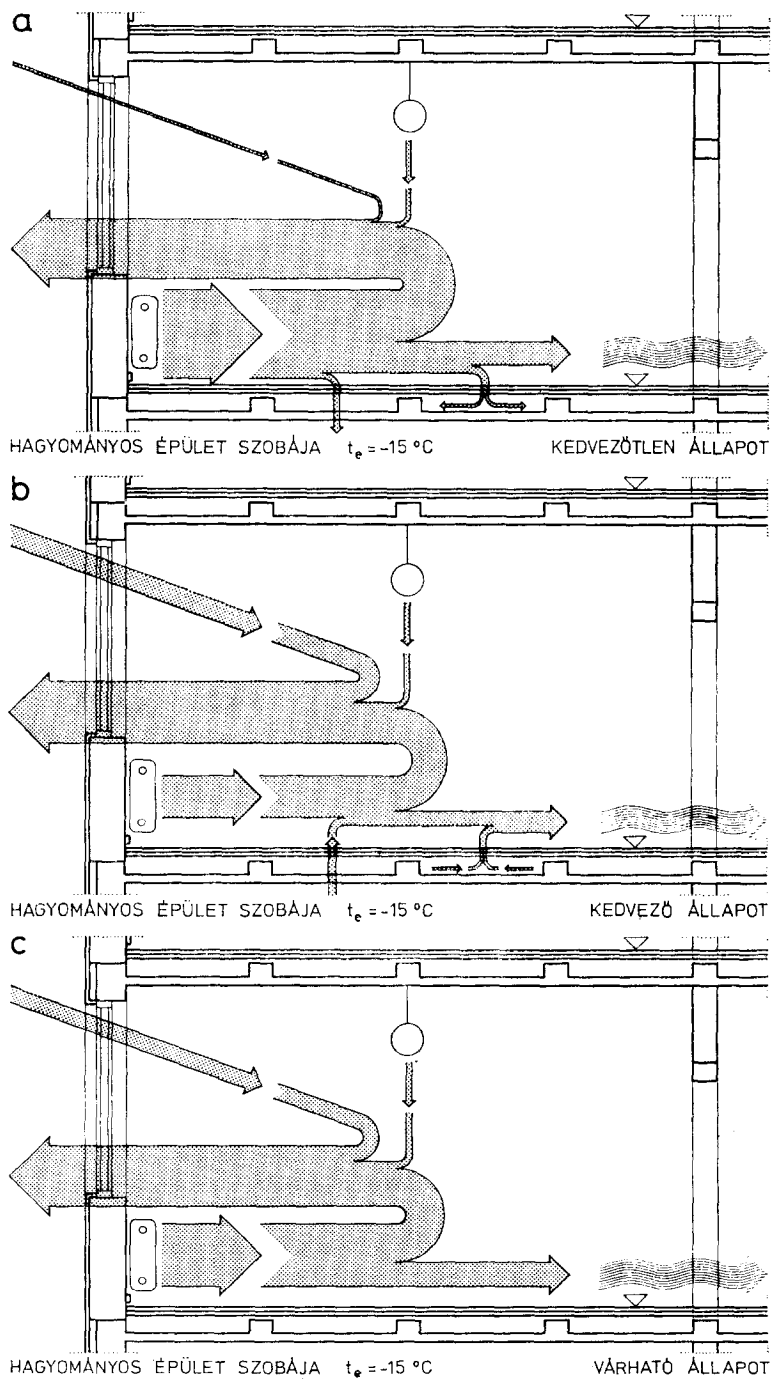
**Az átmeneti  
időszak**

Az ún. átmeneti időszak évente mintegy 2000 órát (kb. 80 napot) tesz ki. Erre az időszakra  $6-12\text{ }^{\circ}\text{C}$  külső hőmérséklet jellemző, ami természetesen kicsiny transzmissziós hőveszteséget és a kis gravitációs felhajtóerő és a kis hőmérséklet-különbség miatt kis filtrációs hőszükségletet eredményez. A filtrációs levegőforgalmat az esetleges kiegészítő elszívó szellőzés és a szél hatása határozza meg.

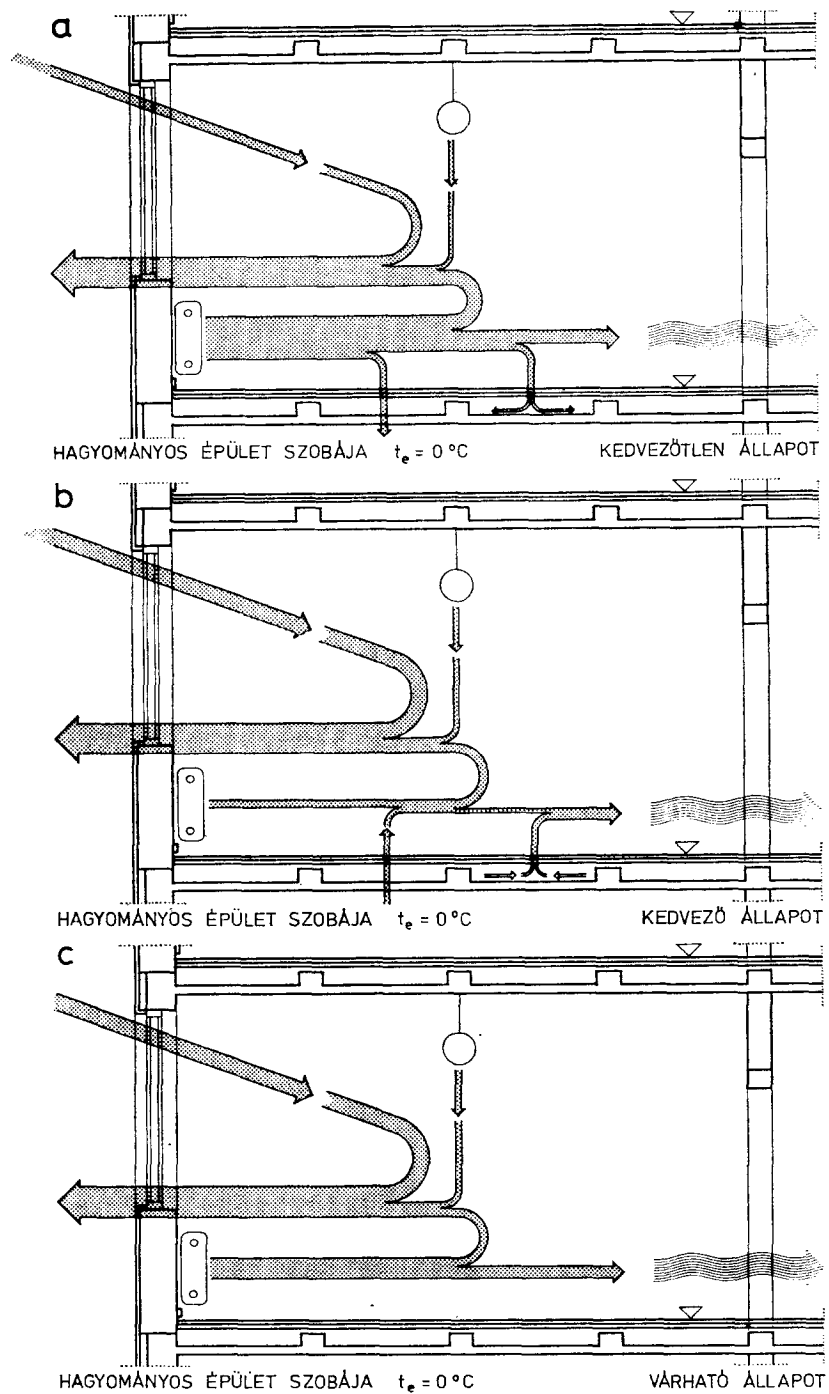
*A napsugárzási hőterhelés tekintélyes, és a csekély transzmissziós és filtrációs hőszükséglet túlnyomó többségét vagy teljes egészét fedezi. A szokványos használatú helyiségek belső hőterhelései, spontán forrásai a transzmissziós hőveszteség néhányszor tíz százalékát is elérhetik.*

A mondottakból következik, hogy erre az időszakra esik a fűtőberendezések üzemének megindítása, illetve leállítása is, amit elvileg annál a külső hőmérsékletnél kellene végrehajtani, amely mellett a belső hőforrások és a napsugárzási hőterhelés kiegyenlítik a transzmissziós és filtrációs hőszükségletet. A sokéves tapasztalat szerint ez a külső hőmérséklet – az ún. *fűtési határhőmérséklet* ( $t_{\text{eh}}$ ) –  $10-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ . A fűtési határhőmérséklet függ az épület, illetve a helyiség tájolásától, a homlokzati üvegezési aránytól, a napfénytényezőtől és a hőkarakterisztikától, a belső hőterhelésektől, így valójában sokkal tágabb határok ( $7-14\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) között változik. Ez egyszersmind azt is bizonyítja, hogy *az épület hőtechnikai tulajdonságai befolyásolják a fűtési időny szükséges hosszát is.*

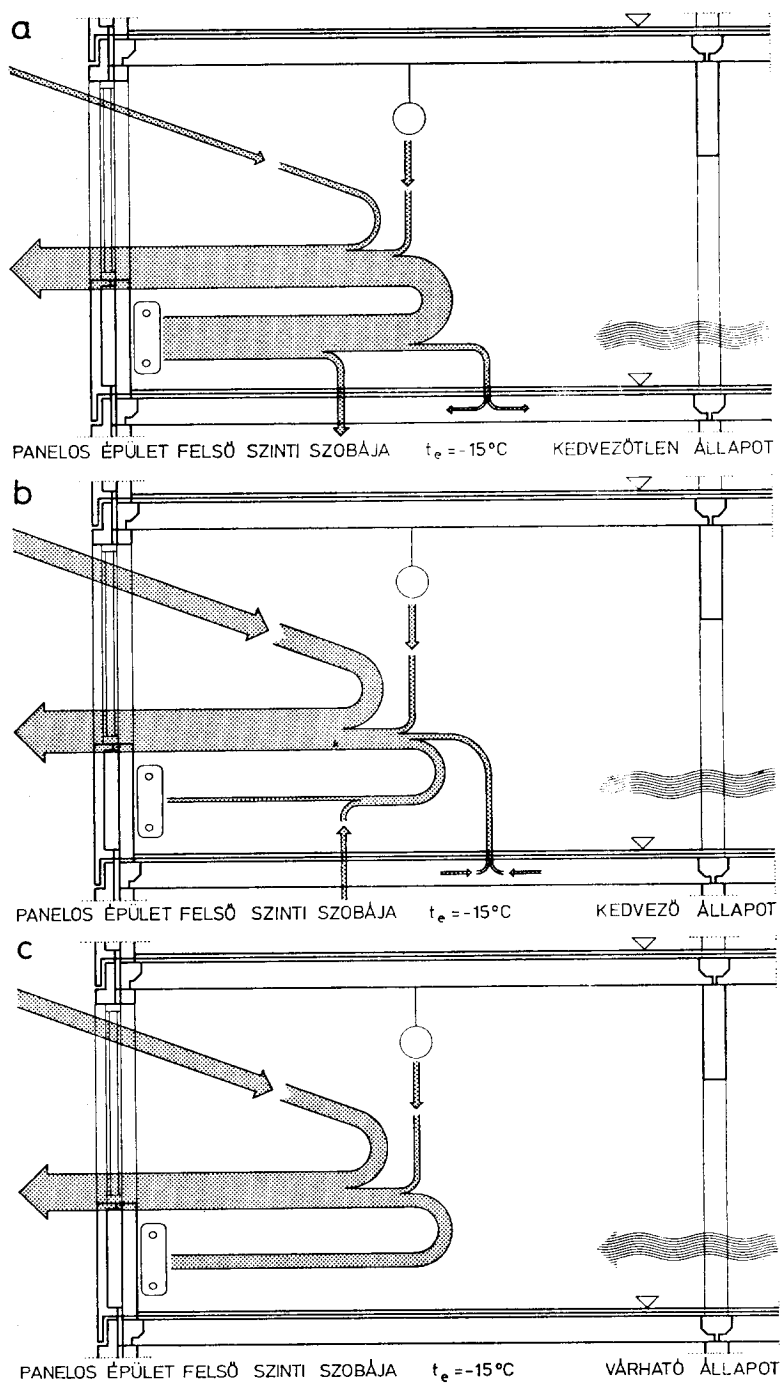
Az átmeneti időszakban a fűtőberendezések ésszerű üzemeltetése rendkívül nehéz. Ha a külső hőmérséklet a  $t_{\text{eh}}$  fűtési határhőmérséklettel megegyezik, vagy annál magasabb, akkor fűtésre nincs szükség, mert a napsugárzásból származó hőterhelés és a belső hőforrások fedezik azt a transzmissziós és filtrációs hőszükségletet, amely a  $(t_i - t_{\text{eh}})$  hőmérséklet-különbséghez tartozik. Nyilvánvaló, hogy ha a külső hőmérséklet egy igen kicsiny értékkel a határhőmérséklet alá süllyed, azaz  $(t_i - t_{\text{eh}})$  egy igen kicsiny értékkel megnő, akkor csak a zérustól alig különböző, elemi kicsiny fűtőteltjesítményre van szükség, hiszen mindazok a tényezők (napsugárzás, belső hőterhelés), amelyek korábban hatottak, most is változatlanul hatnak. Ilyen alacsony teljesítményszint tartása üzemviteli és szabályozási szempontból egyaránt rendkívül nehéz, ebből következően a túlfűtés veszélyével kell számolni. A gyakorlatban a túlfűtés szinte törvényszerű, mert az üzemeltetők egyáltalán nem veszik figyelembe, hogy a határhőmérséklet átlépésével a napsugárzás és a belső hőforrások hatása nem szűnik meg ugrásszerűen.



4.48. ábra. Hagyományos épület szobájának energiamérlege  $-15\text{ °C}$  külső hőmérséklet mellett

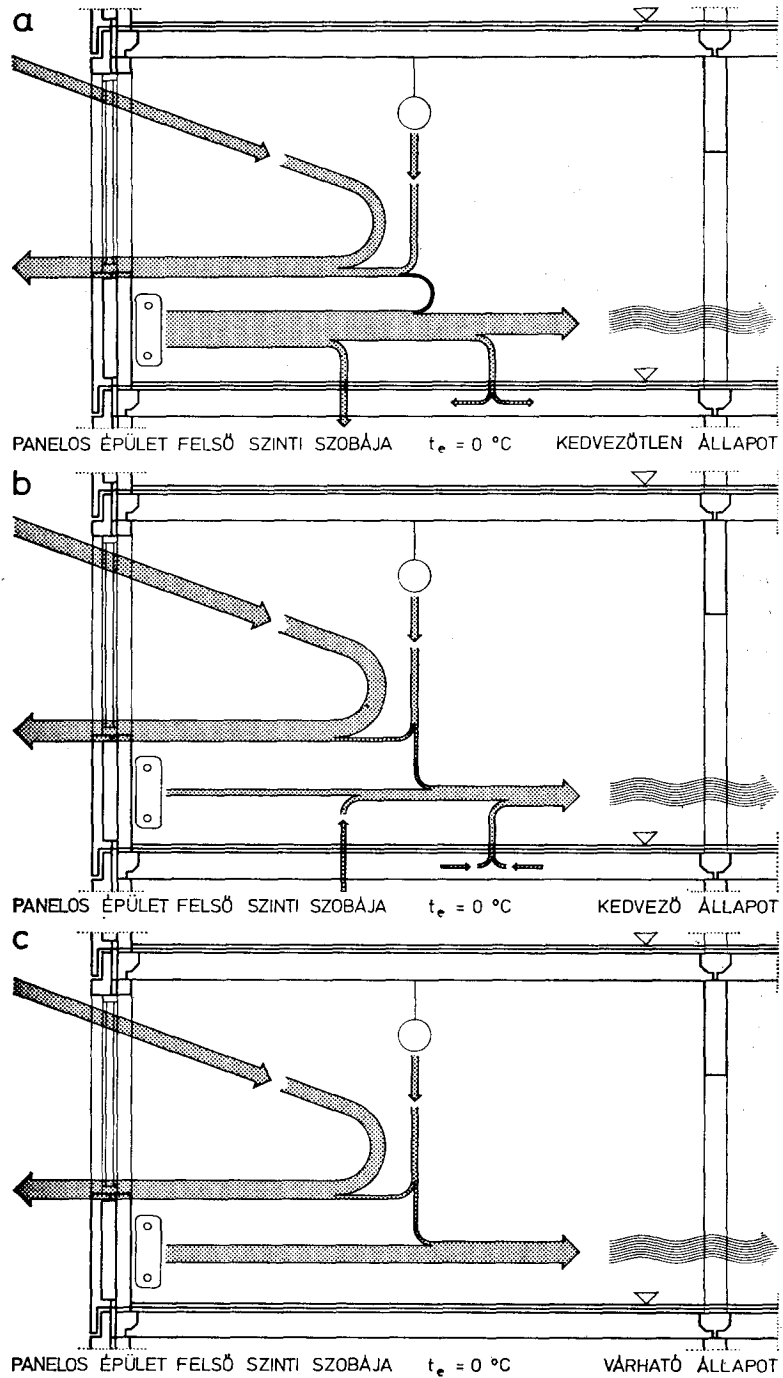


4.49. ábra. Hagyományos épület szobájának energiameérlege  $0^\circ\text{C}$  külső hőmérséklet mellett

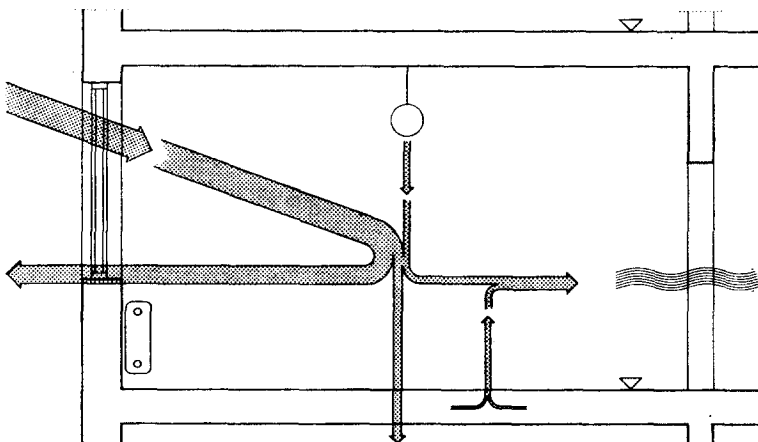


4.52. ábra. Paneleos épület felső szintű szobájának energiamérlege  $-15^\circ\text{C}$  külső hőmérséklet mellett





4.53. ábra. Paneles épület felső szintű szobájának energiameérlege  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  külső hőmérséklet mellett



4.54. ábra. Helyiség energiámérlege a fűtési határhőmérséklet mellett

A fűtési idényen kívüli időszak nagyobb részét, mintegy 3000–3500 órát a „semleges” időszak teszi ki, a helyiségek hőnyeresége és hővesztesége hőérzetileg megfelelő helyiség-hőmérséklet mellett kompenzálja egymást. Természetesen e semleges időszak hossza az előírt vagy megengedett helyiség-hőmérséklettől és az épület hőtechnikai adottságaitól egyaránt függ. *Adott rendeltetésű helyiség hőtechnikai jellemzőinek kedvező vagy kedvezőtlen volta mintegy 1000 órával hosszabb vagy rövidebb semleges időszakot eredményezhet*, ami a fűtési és a hűtési energiaigényt természetesen lényegesen befolyásolja. A főszerepet itt is a homlokzati üvegezési arány és az üvegezés, árnyékolás naptényezője játssza. Most jelentkezik leghangsúlyosabban a mozgatható árnyékoló szerkezetek, a változtatható naptényező kérdése. A semleges időszakban ugyanis a fűtési határhőmérséklet közelében a minél nagyobb hőnyereség a kedvező, 20–22 °C külső hőmérséklet mellett viszont a lehető legkisebb hőnyereség biztosítása előnyös. Jelentőssé válik a helyiséget burkoló felületek hőelnyelésének szerepe is, mert a periódikus hőterhelések hatására kialakuló helyiség-hőmérséklet ingadozás hőérzeti panaszokat eredményezhet.

A semleges időszak

Évente mintegy 500–1000 olyan óra várható, amely a „hőszeszakaszt” alkotja. Ebben az időszakban a szigorúan előírt helyiség-hőmérsékletek csak mesterséges hűtés, klimatizálás révén tarthatók, kevésbé szigorú követelmények esetén az elfogadható helyiség-hőmérséklet elérése végett intenzívebb szellőztetés, fokozottabb árnyékolás szükséges. A hőtechnikai jellemzők közül a homlokzati üvegezési arány, a naptényező játszik főszerepet. Nem kevésbé jelentős a helyiséget burkoló felületek hőelnyelésének szerepe sem: a kérdé-

A szélsőségesen meleg időszak

ses 500–1000 óra ugyanis nem összefüggő időszakokból kiadódó 22–45 napot jelent, hanem 60–100 napnak a délelőtti-délutáni óráiból tevődik össze. Ha a helyiség-hőmérséklet ingadozása kicsiny, a helyiség-hőmérséklet napi csúcstérteke sem emelkedik tartósan egy elfogadható érték fölé; megfelelő építészeti-épületszerkezeti megoldásokkal tehát sok esetben elérhető, hogy mesterséges hűtésre ne legyen szükség.

Az eddigi fejtegetés szokványos használatú, rendeltetésű épületekre vonatkozott. Különleges rendeltetés (pl. hűtőház, melegüzem) esetén a következtetések, adatok módosulnak, de a mérlegelés elve nem változik.

#### 4.22 Az optimális üzemeltetés feltételeinek biztosítása

Az előző áttekintés alapján nyilvánvaló, hogy az épület energiaforgalmát elsősorban meghatározó tényezők a naptári év folyamán változnak. Az épület egy bizonyos hőtechnikai jellemzője az év bizonyos szakaszaiban előnyösen, más időszakokban hátrányosan befolyásolhatja az épület energiaigényét, az épületben kialakuló mikroklimát. Ez a körülmény meggyőzően indokolja, hogy az épület energiaforgalmát a teljes naptári év figyelembevételével folyamatként vizsgálják. Ugyanakkor a szokásos méretezési eljárások olyan állapotokból indulnak ki, amelyek előfordulási valószínűsége igen csekély, szinte elhanyagolható. E szemlélet teljesen indokolt egy statikai számítás esetén, hiszen ott az alulméretezés a méretezett létesítmény tönkremenetelét okozná, de egyáltalán nem indokolt olyan rendszer méretezésekor, amelynek ésszerű kockázati szinten való alulméretezése legfeljebb a mikroklimatikus feltételek rövid ideig tartó, csekély mértékű romlásával jár.

A szélsőséges állapotokra végzett méretezés igen hátrányos üzemeltetési feltételeket teremthet.

#### A fűtési hőszükséglet változása

A korábbi fejezetekben (3.21, 4.14) már szó volt arról, hogy az épület egyes helyiségeinek fűtési hőszükséglete milyen sok tényező hatására, mennyire különböző módon változik. Az ebből adódó eltéréseket a 3.9. – 3.19. és 4.30. – 4.41. ábrák példázzák, amelyek a külső hőmérséklet függvényében a relatív fűtési hőszükségletet (a pillanatnyi és a szélsőséges érték arányát) tüntetik fel. A hőszükségletgörbék közötti eltérések okai:

a különböző előírt helyiség-hőmérséklet;

a belső határoló szerkezeteken áthaladó – tehát a külső hőmérséklettől független – hőáramok (nyereség vagy veszteség) hatása;

a napsugárzási hőterhelés hatása (vagyis a tájolás, a homlokzati üvegezési arány, a naptényező és a hőátbocsátási tényező együttes hatása);

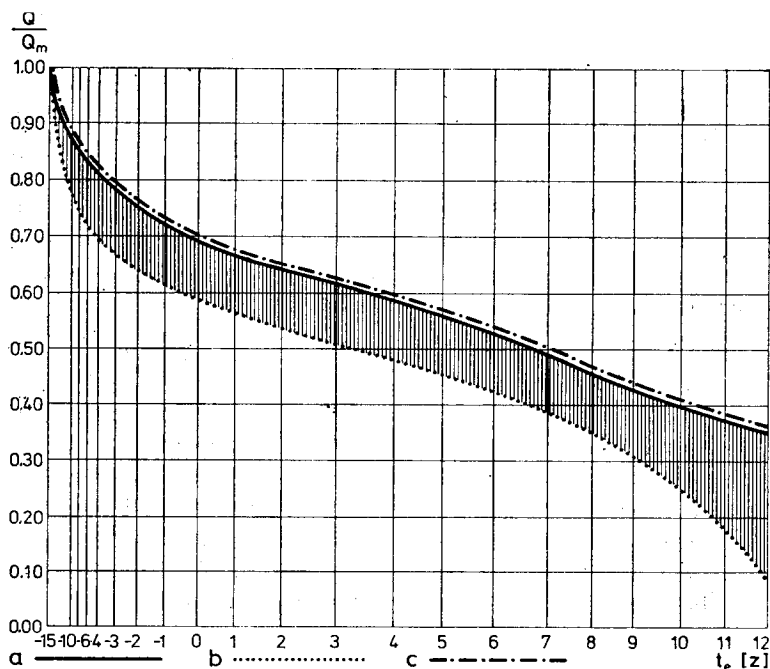
a filtrációs hőszükséglet hatása;

illetve általános esetben e hatások legkülönbözőbb kombinációi.

Az eltérések nagyságán kívül azok tartama is megítélhető a 4.55. –

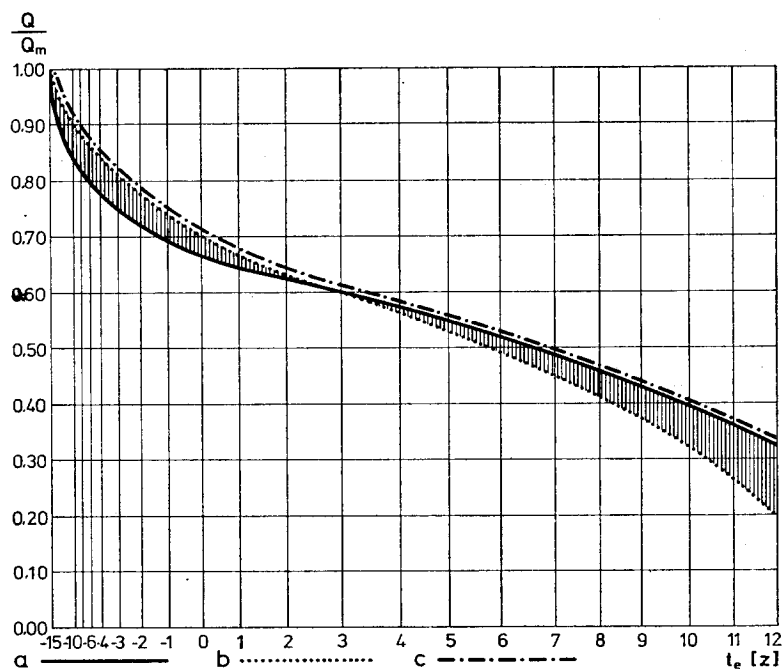
4.56. ábrák szerinti ábrázolás alapján, ahol is a külső hőmérsékletértékek a vízszintes tengelyen nem egyenletes osztásközzel szerepelnek, hanem olyan skálabeosztással, amelynél egy-egy osztásköz mérete arányos az adott hőmérséklet-intervallum előfordulási gyakoriságával.

Az ábrák jól mutatják, hogy a különböző helyiségek relatív fűtési hőszükségletgörbéi általában csak egy pontban, a méretezési állapotnak megfelelő szélsőséges külső hőmérsékletnél metszik egymást. Minden más külső hőmérséklet mellett a relatív fűtési hőszükségletek egymástól eltérnek, és az eltérés a legnagyobb gyakoriságú külső hőmérsékletek esetén igen nagy.



4.55. ábra. A relatív hőigény és a relatív fűtőteltjesítmény változása „szélső” méretezési állapot esetében

a) egy felső szinti sarokszoza relatív hőigénye; b) egy közbelső szinti sorszoza relatív hőigénye; c) relatív fűtőteltjesítmény. A vonalkázott terület a fűtési energia többletfogyasztásával arányos



4.56. ábra. A relatív hőigény és a relatív fűtőtéljesítmény változása átlagos méretezési állapot esetében

a) egy felső szintű sarokszoba relatív hőigénye; b) egy közbelső szintű szobában relatív hőigénye; c) relatív fűtőtéljesítmény

#### A törvényszerű túlfűtés

E körülmény azért okoz üzemeltetési nehézségeket, mert

az egyes helyiségek fűtőfelületeinek méretét a szélsőséges állapot és a maximális fűtőközeg hőmérséklet alapján határozzák meg;

az előző lépéssel egyszer és mindenkorra rögzítik az egyes helyiségek fűtőfelületeinek arányait;

a külső hőmérséklet változása esetén a fűtőtéljesítményt a fűtőközeg paramétereinek változtatásával módosítják, ami (az egyedi szabályozás esetétől eltekintve) minden helyiségben ugyanolyan mértékű teljesítményváltozást eredményez;

a fűtőfelületek rögzített arányai miatt a fűtőtéljesítmény arányok minden külső hőmérséklet mellett olyanok maradnak, mint a szélsőséges állapotban voltak, noha a fűtési hőszükséglet arányok egészen mások.

Ilyen körülmények között az üzemeltető nem tud mást tenni, mint hogy a pillanatnyilag legkedvezőtlenebb helyzetben levő helyiség

– a legnagyobb relatív fűtési hőszükségletű helyiség – igényei szerint szabályozza a fűtőteljesítményt. Ez természetesen az épület összes többi helyiségében túlfűtést eredményez. A túlfűtésre fordított energia a 4.55. ábrán a jelölt területtel arányos.

(A 4.55. ábrán a legkedvezőtlenebb helyiség relatív fűtési hőszükséglete és egy másik helyiség relatív fűtési hőszükséglete szerepel. Egy épületre ez az ábra annyszor ismételhető, ahány „másik” helyisége van. A túlfűtésre fordított energia mennyisége helyiségenként más és más lehet, a relatív fűtési hőszükséglet görbék menetétől függően.)

Annak következtében, hogy pl. egy átlagos lakóépületben többszáz „másik” helyiség van, a túlfűtésre fordított energia az ideális üzemeltetéshez szükséges éves fűtőenergia 15–35%-át teszi ki az épület adottságainak függvényében.

A túlfűtésre fordított energia egyébként változatlan feltételek mellett felére csökkenthető, ha a méretezést nem a szélsőséges, hanem a leggyakoribb feltételekre végzik. A relatív hőszükségletgörbék metszéspontja ekkor „középre” kerül, azaz a fűtőfelület arányok a leggyakoribb hőszükségletarányoknak felelnek meg. A leggyakoribb állapotokban a legkisebb az eltérés a relatív hőszükséglet-görbék között (4.56. ábra). A legnagyobb eltérés is csak feleakkora lesz, mint amikor a méretezést szélső állapotra végzik, de ennek gyakorisága és időtartama igen kicsiny lesz. Ha a fűtőteljesítmény szabályozását továbbra is a pillanatnyilag legkedvezőtlenebb helyzetben levő helyiség igényei szerint végzik, akkor

**A helyes arányok**

a helyiségek többsége most is túlfűtött lesz, de nem a leggyakoribb állapotban, hanem a rövidebb időtartamú, kisebb gyakoriságú állapotokban;

a túlfűtésnek nemcsak időtartama, hanem mértéke is jóval kisebb lesz;

a „legkedvezőtlenebb” helyiség a „középen levő” méretezési hőmérsékletnél alacsonyabb külső hőmérsékletek esetén más, mint a magasabbak esetén;

a túlfűtésre fordított energia az ideális üzemeltetéshez szükséges energia 5–15%-a lesz szemben a „hagyományos” méretezésnél adódó 15–35%-kal.

A „középen” levő méretezési külső hőmérséklet különféle épületekre a túlfűtésre fordított energia minimalizálását célzó szélsőérték-számítással meghatározható. Több épületre elvégzett számítások [11] bizonyossága szerint az e feltétel alapján adódó méretezési külső hőmérséklet gyakorlatilag egybeesik a fűtési idény középhőmérsékletével.

E módszer biztosítja azt, hogy a fűtőfelület arányok a fűtési hőszükséglet arányokhoz a lehető legjobban illeszkedjenek, a pillanatnyi fűtőteltjesítmény az igényektől a lehető legkisebb mértékben és a lehető legrövidebb időtartamban térjen el.

A méretezés során a fűtőfelületek méretét természetesen olyan fűtőközeg-paraméterekből kiindulva kell megállapítani, amilyenek az adott – átlagos – külső hőmérséklethez tartoznak. Az átlagos állapotokhoz illesztett – üzemorientált – méretezés az épületbe beépítendő összes fűtőfelület mennyisége szempontjából lényeges változást nem eredményez, de az egyes helyiségekbe beépítendő fűtőfelületek arányait módosítja, differenciáltabbá teszi.

Természetesen e fűtőfelületek a szélsőségesen hideg napokon (a maximális fűtőközeg- hőmérséklet, illetve mennyiség mellett) a maximális fűtőteltjesítményt ugyanolyan biztonsággal (ugyanakkora kockázati szinten) biztosítják, mint a hagyományosan méretezett rendszerek.

A teljesítményszabályozás és az annak tökéletlenségéből származó többlet-energiafogyasztás kérdései nem vetődnek fel ilyen élesen a klimatizálással kapcsolatban. Ennek elsődleges oka az, hogy a légtechnikai berendezések alkalmasabbak az eltérő igények rugalmasabb követésére, jobban – bár nem egyszerűen és nem is olcsón – szabályozhatók, több lehetőséget kínálnak a helyiségcsoportonkénti, helyiségenkénti beavatkozásra. A méretezési adatok tekintetében itt elsősorban a legfontosabb jellemzők – a napsugárzás intenzitása, a külső levegő hőmérséklete és hőtartalma – gyakorisági adatainak elemzésén alapuló ésszerű kockázati szint megválasztásának van jelentősége. Az ehhez szükséges statisztikai vizsgálatok már igen figyelemreméltó kezdeti eredményeket hoztak és a további vizsgálatok szükségességét is bizonyították [4].

## 5. Gyakorlati következtetések

A hatékony energiagazdálkodást szolgáló teendők műszakilag (és időrendben is) helyes meghatározásának, előkészítésének és végrehajtásának szempontjából indokoltnak (sőt talán hasznosnak is) látszik a hazai gyakorlatban leginkább előforduló (jellegük és/vagy mennyiségük alapján legfontosabbnak tekinthető) épületfajták, a leggyakrabban alkalmazott építési módok, szerkezeti rendszerek, szerkezetcsoportok, szerkezetfélék, felszerelések épületfizikai (közlebről energiagazdálkodás) szemléletű elemzése és értékelése

amire természetesen ez esetben (e könyv adta kereteken belül) csak egészen röviden (és ezért) táblázatos formában és nyilvánvalóan a teljesség igénye nélkül kerülhet sor, és

ami csak épületfajtánként és magától értetődően csupán az épületfizikai, energiagazdálkodási szemlélet szempontjából a legjellegzetesebb és legjelentősebb tényezők kiemelésére, értékelésére és példázására szorítkozva, a kérdéseket az elkerülhetetlen mértékben leegyszerűsítve és általánosítva végezhető el,

hiszen ily módon az elmélet és valóság – ipar- és építéspolitikailag helyes és reális – összekapcsolásának lehetősége teremthető meg, az építészettudomány eredményeinek gyorsabb érvényesítése érhető el, ami által a hibák egy része elkerülhetővé, más része mérsékelhetővé, a veszteség (elérhető mértékben) csökkenthetővé, a használati érték pedig (mondhatni külön befektetés nélkül) növelhetővé válik.

A IX-es és X-es táblázat az épületeket két nagy csoportba (1) a kis teres és (2) a nagy teres épületek családjára osztva és e családokon belül a rendeltetés, azon belül pedig egynéhány jellemző (szintszám, tömegformálás) alapján bontva tárgyalja (lásd a mellékletben).

Az eddigiekben elmondottak ismeretében, a mában élve, de a jövőre gondolva:

feltétlenül figyelembe kell venni azt, hogy az építészet és az építés feladatai még tovább növekednek,



hiszen a társadalom folyton fokozódó térigényének kielégítéséhez egyre több és több épületre van — és lesz még sokáig — szükség;

világosan látni kell azt is, hogy ezeknek az épületeknek még nagyon hosszú időn át állandóan növelni kell az igény- és felszereltség-szintjét, javítani kell használati értékét és minőségét,

hiszen a tartósan kedvezőtlen körülmények kikényszerítette lemaradás behozására, a fejlett országok szintjének megközelítésére — és ha lehet elérésére — nincs más lehetőség, ami gyakorlatilag azt jelenti, hogy a mennyiségi növelést mindenképpen a minőség emelésével kell társítani;

nyilvánvalóan meg kell érteni azt, hogy az energiával nagyon és szigorú következetességgel takarékoskodni kell,

hiszen belőle egyre kevesebb van, holott egyre többre lenne szükség;

természetesen fel kell ismerni azt is, hogy az építészeti energiagazdálkodás dolgát az előzőkben említett — és az életminőség javuláshoz szükségszerűen kötődő — igényszintnövelés megnehezíti,

hiszen az — megfelelő szemlélet, szándék, szakértelem és műgond hiányában — szinte elkerülhetetlenül többlet-energiafogyasztást von maga után; emellett magától értetődően számításba kell venni azt, hogy a valóban hatékony energiatakarékosság sokszor csak (bár egyszeri, de) többletberuházás útján és árán valósítható meg,

hiszen a jobb, a többet tudó szerkezet, a korszerűbb felszerelés, a nagyobb teljesítményű berendezés költsége általában magasabb, de

tisztában kell lenni azzal is, hogy a kitűzött cél (= a kedvezőbb energiamérleg) a szóba jöhető összes (építészeti, szerkezeti, gépészeti) lehetőségek felkutatása és tudatos kihasználása útján is csaknem mindig elérhető, méghozzá az egyszeri beruházási többletköltségek elkerülésével, az esetleg mégis elkerülhetetleneknek gyors visszatérülésével,

hiszen erre — az építészeti koncepció kialakításától kezdve, a funkció meghatározásán át, az alaprajz szervezésén keresztül, a szerkezet megválasztásától kezdve, annak rendszerbe foglalásán át, a részletek kialakításán keresztül, egészen a csomópontok megoldásáig — számtalanszor kínálkozik mód, adódik alkalom;

ugyanakkor jó tudni azt, hogy ehhez inkább jó szándékra, széles látókörre, okos ismeretekre, józan mérlegelésre, nagy körültekintésre, mindenre kiterjedő gondosságra és komoly felelősségérzetre van szükség, mint anyagi javakra, ami kedvező,

hiszen az előzőkből jóval jobban állunk, mint az utóbbiakból;

végül tudomásul kell venni azt is, hogy az előzőkben kifejtett alkotási módszer, tervezési szemlélet, szakemberi magatartás kialakulása és eredményes képviselése nem képzelhető el megfelelő építéspolitikai elgondolás, iparfejlesztési elképzelés kialakítása, a hozzájuk jól igazodó műszaki szabályozási rend kimunkálása, és a mindezeket helyesen, következetesen, arányosan érvényesítő intézkedések, rendelkezések egész sorának kiadása nélkül.

## Utószó

E könyv lektorát — itt helyesebbnek érződne a szebb, de kissé régies ítéskifejezést használni, utalva az első bírálva-olvasó, a művel némi közösséget is vállaló szerepre — kéréssel tisztelték meg: tegye közzé utószó formájában véleményének az olvasó által — talán, vagy feltételezhetően — hasznosítható részét. Feladatának egyik része — a szerzőknek és a kiadónak szóló — sem hálás, a másik — az olvasókat szolgáló — sem. Mégis eleget tesz a kívánságnak, mert a kézirat, főképpen a megközelítés sokoldalúságával gazdagította ismereteit. Ám a szerzők — szükségszerűen és több vonatkozásban — nem törekedtek, nem is törekedhettek teljességre: hiányérzetet okoznak. De — sietve tegyük hozzá — cselekvést sürgető hiányérzetet, megválaszolandó kérdéseket, társadalmi, gazdasági hatásaikban már ma — de „holnap” mindenképpen — előnyös intézkedések hiányának magyarázatát, de nem a tettek elodázásának patópáli magyarázatát (mert ez utóbbiban nincs hiányérzetünk).

Kinek, kiknek szól a könyv? Mi a célja? Csak tájékoztat, vagy módszer is ad? Kíváncsi — vagy legalábbis helyesnek sugallt — cselekvések sorának menetrendjét, tervét is vázolja, avagy megelégszik a bonyolult összefüggések megközelíthetőségének érzékeltetésével?

Nos, kíséreljük meg a magunk adta kérdésekre elfogadható, nem mesterkéltné válaszokat adni.

Az építés-építészeti századunkban végleg kilépett hagyományos szerepköréből, mind többet nyújt, mind többeknek. Épületei hosszú időn át teljesítenek meghatározott feladatot. Hovatovább okosan megszerkesztett szép gépek, melyek belső tereikkel, berendezéseikkel és külső csoportosításukkal — tehát külső térformáló szerepükkel — az emberi élet minőségét szolgálják, a szép iránti vágyához adhatnak monumentális teljesülést. Akármelyik feladatot tekintjük, használati értékről van szó, amely a társadalom tulajdonában levő mindenkor vagy éppen pillanatnyi értékének több mint kétharmadában ölt testet. Létrehozása, élvezhető működtetése sok szorgos, ügyes

kezet, okos, előrelátó fejet igényel. Nekik szól ez a könyv. Bennük akar gondolatokat ébreszteni. Az ésszel akar a babonának, a pániknak, de a csak máf látó önzésnek is hadat üzenni. Korlátozottak az anyag-, energia- és munkaerőforrások? Igen. Ám erre nem a jogosan fejlődő igények erőszakos korlátozása a válasz, de nem is az, hogy „majd fájjon utódaink feje emiatt”. Lehet többet adni kevesebb ráfordítással? Igen, lehet, csak tudni kell a módját. Ezért szól a könyv nagyon széles körhöz: építőkhöz, energetikusokhoz, anyag- és szerkezetgyártókhoz, az épületek sok-sok használójához. E nagy tábor minden értelmes, a közös ügy iránt nem közömbös, saját szűkebb feladatköréből kitekinteni képes tagjához van a könyvnek mondani-valója. Nem ölel fel mindent, de alaposan elemzi az épületek hő- és légállapotának legfontosabb sajátosságait, összefüggéseiket, kölcsönhatásaikat. Élesen elemzi az épületszerkezetek, térkapcsolatok sajátosságait megtépázva nem egy meggyökeresedett, de elmélettel, mérésekkel nem igazolt szerkezetet, működési elvet. Amit ad, több mint tájékoztatás, de kevesebb mint közvetlenül használható számítási, méretezési módszerek sokasága. Itt valóban a több kevesebb lett volna. Az olvasók szűkebb körének többet adva, romlott volna a nagyobb kör számára az áttekinthetőség.

Milyen szerkezetekkel: gépekkel, falakkal, födémekkel, szigetelésekkel, ajtókkal, ablakokkal és sok-sok mással lehet a használat igényét kielégíteni?

Hogyan lehet az épülettel nyerhető kívánatos használati értéket az élettartam egészében szükséges legkisebb össztársadalmi ráfordítással elérni? Hogyan lehet a megoldási változatokat valamiféle elfogadható mérce szerint sorba állítani?

Van-e, lesz-e a közeljövőben ilyen mérce? Minderre nem tudtak, nem is akartak a szerzők választ adni. Nem érezték – okkal – feladatuknak a célhoz vezető tennivalók tervének, menetrendjének fogalmazását. Művük felkiáltójel, egy sürgető gond megoldhatóságának bizonyítása. Az elemzett összefüggések számíthatók – legalábbis elemeikben viszonylag egyszerűen. A nagy, összefüggő rendszer (a sok belső térkapcsolatú, időben és térben változó és változatos külső feltételrendszerű épület mindenképpen az!) számszerű kezelésének számítástechnikai háttere adott. Valóságos mérések és a számítási eszközök fejlettsége a jellegzetes évszakokhoz igazodó beszabályozást már ma elvileg lehetővé teszik. Sokaknak, sokat kell – nem vontatottan – tenni ahhoz, hogy az „elvi”-ből mindennapi gyakorlat legyen.

A tunyaságot már nem lehet társadalmi érdeklődéshiánnyal, az előremutató gondolatok iránti társadalmi befogadókészség hiányával mentegetni. Nagy a tét: okosan, takarékos gazdálkodásra épített töretlen fejlődés, vagy esztelen pazarlással társuló megtorpanás,

majd visszafejlődés. Nem lehet beletörődni abba, hogy ez a második elfogadható, valóságos változat legyen. A szépen hangzó első változatot üres jelszóként szélhámostoborzás zászlójára tűzni: legalább olyan káros!

Mérésekkel (fizikai és gazdasági értelemben egyaránt!) érvelni, bizonyítani. Egyidejűleg előrelépni a jobb szigetelések, a jól záró ablakok, ajtók, a hőháztartást javító egyéb épületszerkezetek és fűtőberendezések szükséges és hasznos teljesítmények irányába mutató szabályozása terén. Dolgunkat könnyíti, hogy a világ sok fejlett országából nálunk is értékesíthető tapasztalatokat, mérési eredményeket, szerkezeti megoldásokat, előírásokat vehetünk át. Szélsőséges megoldásokat ismerhetünk meg és mérlegelhetjük, milyen tényezőknek lehet gazdaságunk, ipari fejlettségünk adott szintje mellett már ma, vagy csak „holnap” szerepe, vagy melyeket kell tartósan — belátható időn belül — figyelmen kívül hagynunk.

A bíráló — mert a folytatásban elkötelezett — nem tud teljesen tárgyilagos lenni. Hasznosnak, gondolatébresztőnek, sőt mozgósítónak érzi a könyvet. Ez a benyomása — olvasói véleménye — bizonyára találkozik a szerzők akaratával, céljával.

*Szabó János*  
a Magyar Tudományos Akadémia  
rendes tagja

## Irodalom

1. BOGOSZLOVSKIJ, V. N.: Sztoityelnaja tyeplofizika. Vűszsaja skola, Moszkva, 1970.
2. DR. BÁNHIDI LÁSZLÓ: Zárt terek hőérzeti méretezése. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1978.
3. DR. PRÓBÁLD FERENC: Budapest éghajlata. Kandidátusi értekezés, Budapest, 1970.
4. Az energiatakarékos változó légmennyiségű légkondicionáló rendszer. 553 sz. ÉTI kutatási jelentés (Témafelelős: DR. TÖMÖRY TIBOR). Budapest, 1976.
5. DR. RING GUSZTÁV: Épületek és épülethatároló szerkezetek felületi felmelegedésének vizsgálata. Kandidátusi értekezés, Budapest, 1977.
6. Határoló szerkezetek hőtechnikai jellemzői. TTI-Tervezési Segédlet, Budapest, 1979.
7. DR. ZÖLD ANDRÁS: Iszledoványije obeszpecsenyija zadannovo tyeplovovo rezsima zdanyij sztabilizirujuscimi szisztyemami mikroklimata. Kandidátusi értekezés, Moszkva 1974.
8. SKLOVER, A. M.: Tyeploperedácsa pri periodicseszkij tyeplovüh vozgjejsztvijah. Goszenergoizdat, Moszkva, 1961.
9. Légtechnika (szerk.: DR. KISS RÓBERT). Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1980.
10. GERTIS, K.—WOLFSEHER, U.: Bodennahe Aerodynamik. Gesundheits-Ingenieur 99 (1978) 321—352.
11. Új módszer melegvízfűtések méretezésére és a hőszükséglet számítására. BME I. Épületgépészeti Tanszék kutatási jelentése (Témafelelősök: MAKARA GYÖRGY—ZÖLD ANDRÁS). Budapest, 1969.
12. DR. TÁRKÁNYI ZSUZSA—DR. SZABÓ GYULA: Napsugárzási adatok az építőipari tervezés számára. ÉTI, Budapest, 1969.
13. DR. KUBA GELLÉRT: Benapozás. IPARTERV kiadványa, Budapest, 1975.
14. RETTER, E. I.—SZTRIZSENOV, SZ. I.: Aerodinamika zdanyij. Izd.-vo lityeraturü po sztoityelsztvo, Moszkva, 1968.
15. RIETSCHEL, H.—RAISS, W.: Fűtés- és légtechnika. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1964.
16. SZÜCS ERVIN: A hasonlóságelmélet építőipari alkalmazása. Akadémiai doktori értekezés, Budapest, 1972.
17. DR. GÁBOR LÁSZLÓ: Épületszerkezettan I.—IV. Tankönyvkiadó, Budapest, 1979.
18. DR. MACSKÁSY ÁRPÁD: Központi fűtés I—II. (Egyetemi jegyzet) Tankönyvkiadó, Budapest, 1952.
19. ASHRAE: Handbook of Fundamentals. Mc Graw—Hill, New York, 1967.
20. DR. SZABÓ GYULA: Üvegezések és árnyékoló szerkezetek naptényezője. Épületgépészet XXIII (1974) 56.
21. JERMOLJEV, JU. M.—MELNYIK, L. M.: Extremalnüje zadacsi na grafah. Naukova Dumka, Kiev, 1968.