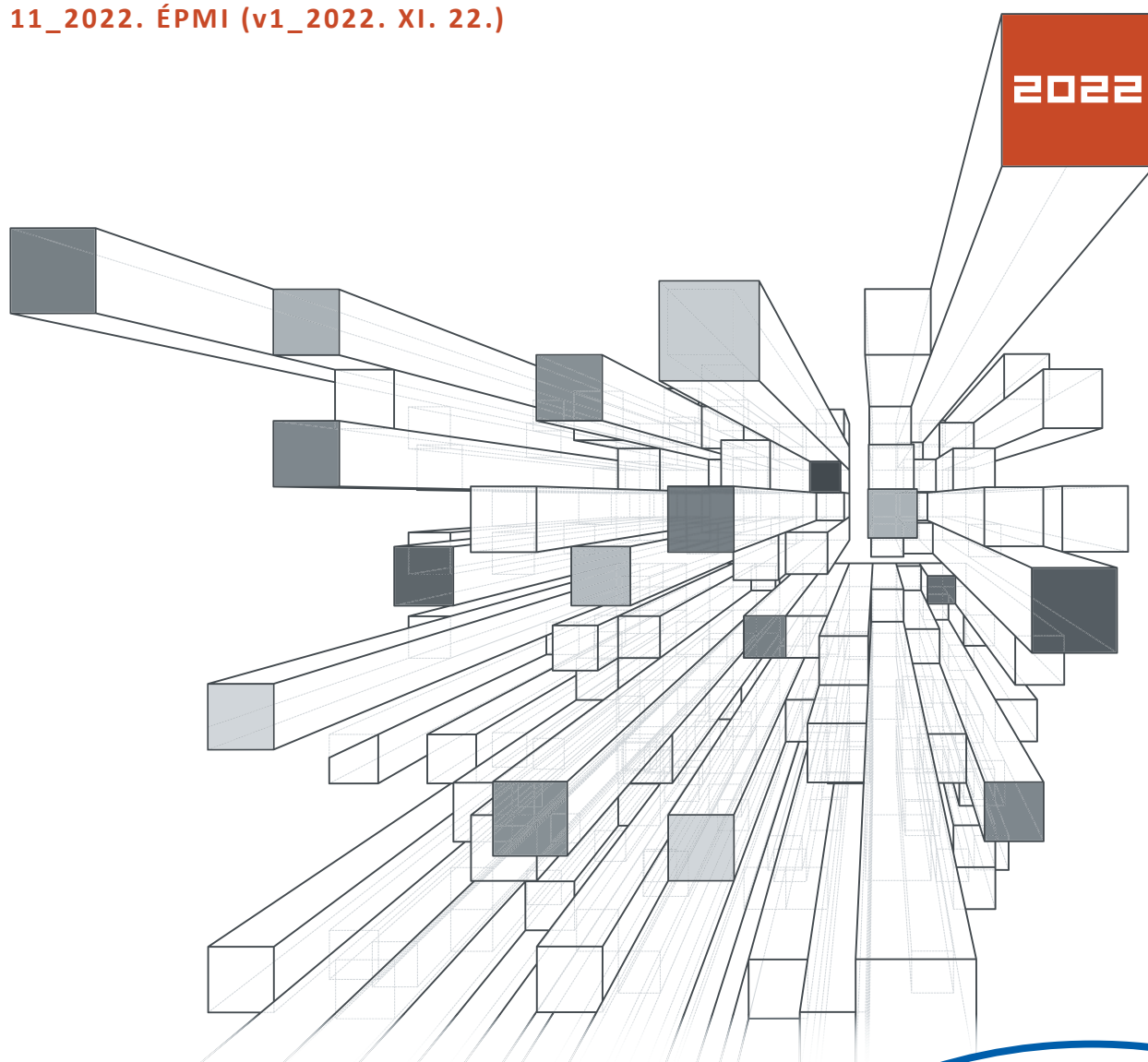


# ➤ AZ ÉPÜLETEN BELÜLI KOMFORT-TÉNYEZŐK KÖVETELMÉNYEI (HŐ- ÉS LEVEGŐMINŐSÉGI KOMFORT)

11\_2022. ÉPMI (v1\_2022. XI. 22.)



ÉPÍTÉSÜGYI MŰSZAKI IRÁNYELV



**SZÉCHENYI** 2020



MAGYARORSZÁG  
KORMÁNYA

Európai Unió  
Európai Szociális  
Alap



**BEFEKTETÉS A JÖVŐBE**

# ELŐSZÓ

Az építőipar fejlődésével, az építésügyi szabályozási környezet folyamatos változásával az építési és üzemeltetési folyamat szereplőire egyre összetettebb feladatok hárulnak. Ezen feladatok ellátása- a szakmai ismereteken túl- nagymértékben a hatályos jogszabályok, valamint a szabványok alkalmazásán alapul.

Az építési és üzemeltetési folyamat szereplőinek napi munkájához az építésügyi műszaki irányelvek gyakorlati segítséget nyújtanak.

Bízunk abban, hogy az újjáélesztett és az építési törvényben szabályozott építésügyi műszaki irányelvek az építésügy minden területén fontos eszközeivé válnak a minőség biztosításának, és ez által a gazdaság fejlődésére hosszútávú hatást gyakorolnak.

Az építésügyi műszaki irányelv az építésügyi szereplőket, az építőipart támogató olyan önkéntesen alkalmazható szabályozási eszköz, amely hatékonyan és gyorsan tud válaszolni az iparág külső és belső műszaki, valamint gazdasági kihívásaira.

Az építésügyi műszaki irányelv lényegében módszertan arra, hogy az elvárásokat, követelményeket hogyan lehet hatékonyan teljesíteni mindazon területeken, ahol jogszabály, szabvány nem ad, vagy nem teljeskörűen ad útmutatást, illetve minden olyan esetben, ahol több szabványt, szabályt kell egyidejűleg alkalmazni.

Az építésügyi műszaki irányelv főbb jellemzői:

- ▶ szakmaiság, közérthetőség;
- ▶ tömörség, könnyen kezelhetőség;
- ▶ egységes tartalmi és formai rend;
- ▶ rendszerezettség;
- ▶ mindenki számára biztosított hozzáférés.

Az építésügyi műszaki irányelvek alkalmazása önkéntes. Azonban abban az esetben, ha műszaki tartalmú jogszabályban, szerződésben, illetve ezek mellékleteiben kerül rögzítésre, úgy az kötelező érvényű.

Az építésügyi műszaki irányelvek elfogadását széles körű szakmai egyeztetés előzi meg, annak érdekében, hogy a bennük foglaltak szakmai konszenzuson alapuljanak.

Ezúton szeretnénk megköszönni az előkészítésében résztvevő szakemberek lelkiismeretes és áldozatos munkáját, amely nélkül jelen építésügyi műszaki irányelv nem jöhetett volna létre.

Szintén köszönettel tartozunk az állami szervezetek támogató anyagi és szakmai közreműködéséért.

Külön köszönet mindazon szakmai szervezeteknek és munkatársaiknak, akik munkájukkal segítették az építésügyi műszaki irányelv létrehozását.

*ÉMSZB Titkársága*

|  |    |
|--|----|
| <u>ELŐSZÓ</u> . . . . .  | 2  |
| <b>1.</b> <u>ALKALMAZÁSI TERÜLET</u> . . . . .   | 4  |
| <b>2.</b> <u>ÁLTALÁNOS TUDNIVALÓK</u> . . . . .  | 5  |
| <b>3.</b> <u>FOGALOMMEGHATÁROZÁSOK</u> . . . . .   | 8  |
| 3.1. Hőkomfort . . . . .   | 8  |
| 3.1.1. A hőérzet fogalma . . . . .   | 8  |
| 3.1.2. Az emberi test hőtermelése . . . . .  | 9  |
| 3.1.3. Az emberi test hőleadása, hőcseréje és az azt befolyásoló tényezők . . . . .      | 11 |
| 3.1.4. Az emberi test hőcseréjének számításakor alkalmazott hőmérsékletértékek . . . . . | 12 |
| 3.1.5. A bőrhőmérséklet értékei . . . . .  | 14 |
| 3.1.6. Az emberi testre vonatkozó besugárzási tényező meghatározása . . . . .            | 16 |
| 3.1.7. A ruházat hőszigetelő képessége . . . . .   | 18 |
| 3.1.8. A várható szubjektív hőérzet meghatározása, PMV és PPD értékek . . . . .          | 18 |
| 3.2. Belsőlevegő-minőség értelmezése, alapfogalmak . . . . .                             | 19 |
| 3.2.1. A belsőlevegő-minőség definíciója . . . . .                                       | 19 |
| 3.2.2. A belsőlevegő-minőség kapcsolódása más szakterületekhez . . . . .                 | 20 |
| 3.2.3. A belsőlevegő-minőség minősítése . . . . .  | 26 |
| 3.2.4. Beteg épületek, „Sick Building Syndrom” . . . . .                                 | 27 |
| 3.2.5. A szennyezőanyagok koncentrációja . . . . .                                       | 29 |
| 3.2.6. Élettani és higiéniai alapok . . . . .  | 32 |
| 3.2.7. A CO <sub>2</sub> koncentráció hatása az ember közérzetére . . . . .              | 33 |
| 3.2.8. A légzés frisslevegő igénye . . . . .   | 34 |
| 3.2.9. A szagérzékelés, olfaktometria . . . . .  | 36 |
| 3.2.10. Az olfaktometria alaptörvényei . . . . .   | 36 |
| 3.2.11. Az olfaktometria alaptörvényének alkalmazása . . . . .                           | 37 |
| 3.2.12. Levegőszennyező anyagok a komforttérben . . . . .                                | 39 |
| 3.2.13. A belsőlevegő-minőség értékelése . . . . .                                       | 40 |
| <b>4.</b> <u>KÖVETELMÉNYRENDSZER</u> . . . . .   | 17 |
| 4.1. Hőkomfort . . . . .   | 17 |
| 4.1.1. Belső terek méretezési szabványa (MSZ CR 1752:2000) . . . . .                     | 45 |
| 4.1.2. Helyi diszkomfort-tényezők . . . . .  | 45 |
| 4.1.3. Az aszimmetrikus sugárzás . . . . .   | 45 |
| 4.1.4. Vertikális hőmérséklet-differencia . . . . .                                      | 46 |
| 4.1.5. Hideg- és meleg padlók . . . . .  | 46 |
| 4.1.6. Huzathatás . . . . .  | 46 |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| 4.1.7.    | Sugárzási hőmérsékletaszimmetria . . . . .                                | 47        |
| 4.1.8.    | A hőkönyezet méretezésének egyes lépései . . . . .                        | 47        |
| 4.2.      | Belsőlevegő-minőség . . . . .   | 48        |
| 4.2.1.    | Az MSZ CR 1752:2000 alapadatai . . . . .                                  | 48        |
| 4.2.2.    | Az MSZ EN 16798-1:2019 alapján történő méretezés . . . . .                | 51        |
| 4.2.3.    | A belsőlevegő-minőség mérése . . . . .                                    | 52        |
| 4.3.      | Mérés, kiértékelés . . . . .  | 56        |
| 4.3.1.    | A légállapot jellemzők, mint valószínűségi változók . . . . .             | 56        |
| 4.3.2.    | Mérési metodika, mérési módszer . . . . .                                 | 57        |
| 4.3.3.    | Kiértékelés módszere, eredmények . . . . .                                | 58        |
| 4.3.4.    | Helyszíni hő- és levegőminőségi komfortvizsgálat, esettanulmány . . . . . | 62        |
| <b>5.</b> | <b>HIVATKOZOTT ÉS FELHASZNÁLT DOKUMENTUMOK . . . . .</b>                  | <b>29</b> |
| 5.1.      | Jogszabály . . . . .  | 29        |
| 5.2.      | Szabvány . . . . .  | 29        |
| 5.3.      | Szakirodalom . . . . .  | 30        |
| <b>6.</b> | <b>MELLÉKLETEK . . . . .</b>  | <b>34</b> |
| 6.1.      | 1. számú melléklet: Besugárzási tényezők meghatározása . . . . .          | 34        |

Ezen építésügyi műszaki irányelv a zárt- és zártnak tekintett építészeti terek komfortjellemzői tekintetében ad átfogó iránymutatást arra vonatkozóan, hogy az épületek funkciója, használata hosszú távon alacsony költségekkel biztosítható legyen. Egyaránt haszonnal forgathatják a tervezőmérnökök és az épületüzemeltetők.

Jelen építésügyi műszaki irányelv tartalmazza a szakterületre vonatkozó irányadó szabványokra való hivatkozást, adatokat, megnevezi a gyakorlatban használt eszközöket, valamint a szakmában megjelent jelentősebb kutatási anyagokat, összefüggéseket, iránymutatásokat is.

2. ÁLTALÁNOS TUDNIVALÓK

Az emberi tartózkodásra szolgáló helyiségek követelményértékeit, azok kielégítésének lehetőségeit, mindezek gazdasági, energiagazdálkodási kihatásait egységesen kell kezelni.

Az épületek elsődleges célja az ember életfunkcióival kapcsolatos objektív és szubjektív igényeinek kielégítése. Mivel az emberek legnagyobb része- kivételt képeznek egyes fejlődő országok lakói- életük akár 85-90%-át zárt terekben töltik, alapvető fontosságú, hogy a zárt terek biztosítsák számukra:

- ▶ mind a fizikai, mind a szellemi munkavégzés szempontjából a mennyiségileg és minőségileg optimális teljesítménykifejtés lehetőségét, illetve
- ▶ a szórakozás, otthoni elfoglaltság, pihenés és alvás szempontját tekintve az optimális kikapcsolódási, regenerálódási lehetőséget.

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

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

Előzőek hangsúlyozása napjainkban két okból szükséges:

1. Az építészetben találkozhatunk olyan megoldásokkal, amelyekben a funkcionális, az embert kiszolgáló alapkövetelmények háttérbe szorulnak a formai, esztétikai követelményekkel szemben:
  - a) A külső- például homlokzati- megjelenés miatt néha túlzott engedményeket teszünk a belső tér kialakítása szempontjából elvárt, gyakran előírt követelményekkel szemben;

- b) Ugyancsak a külső formai, esztétikai okok miatt háttérbe szorulhat az a kérdés, hogy az adott gazdasági lehetőségek mellett a belső mikroklímára (fűtés, szellőzés, klimatizálás stb.) az emberi közérzet szempontjából vajon optimális, elfogadható, vagy eleve kedvezőtlen körülmények adódnak-e? Sajnos találkozhatunk olyan esztétikailag és egyéb funkcionális szempontból kifogástalan épülettel, amelynek belső mikroklímája, a benntartózkodók köz-, illetve komfortérzetére kedvezőtlen. A megfelelő mikroklímát ugyanis az adott esetben például csak klímaberendezéssel lehetett volna biztosítani, de a beruházás során ezt a tételt törölték, általában egy egyszerű mesterséges szellőzés maradt, számos komfortproblémával.
2. Napjainkban az energiagazdálkodási célkitűzések kiemelt fontosságúak. Ennek elérése érdekében azonban gyakran csak a technikailag mérhető energiamegtakarítást veszik figyelembe, ennek emberi kihatásait viszont kevésbé vagy egyáltalán nem. Ritkán mérlegelik, hogy a várható vagy elért energiamegtakarítás milyen mértékben hat ki az emberek munkavégző képességére, munkájuk teljesítményére, minőségére. Lehet, hogy globális, nemzetgazdasági szinten az elért energiamegtakarítás sokszorosát fizetjük rá az emberi oldalon, a munka teljesítményének, minőségének csökkenésével. Az energiamegtakarítást is figyelembevéve egy épületet szerkezeti és gépészeti szempontból is vizsgálni kell, amelyre 2006-tól jelenleg is hatályos jogszabály vonatkozik (7/2006. (V. 24.) TNM rendelet), amely megadja azon kereteket, amelyeket épületeink tervezésénél figyelembe kell venni, s közvetlenül vagy közvetve kihat az épületeink komfortjára is.

Mindezeket figyelembe véve napjainkban egy épület, az épületen belüli feltételek tervezése legalább kéttényezős - emberi komfort és gazdaságossági paraméterek - optimumszámítási feladat megoldása kell, hogy legyen. A feladat megoldásához azonban ismerni kell a tényezőket és azok pontos hatásmechanizmusát. Az erre vonatkozó ismereteket, adatokat rögzíti az építésügyi műszaki irányelv.

#### JELÖLÉSEK:

C - Weber hányados (-)

c - fajhő és érzékelhető levegőminőség értéke

$c_b$  - az érzékelhető belsőlevegő-minőség a tartózkodási zónában (dp)

$c_k$  - érzékelhető külsőlevegő-minőség (dp)

$c_{sz}$  - az érzékelhető szellőző levegőminőség (dp)

$c_t$  - az érzékelhető távozó levegőminőség (dp)

DR - a huzattal elégedetlenek százalékos aránya (-)

$F_{Du}$  - az emberi test ún. Du Bois felülete ( $m^2$ )

$f_{cl}$  - ruhával borított és meztelen test felületi aránya

G - az érzékelhető szennyezőanyag terhelés (olf)

$G_e$  - egyén tömege (kg)

H - belső hőszükséglet (W)

$I$  - érzetintenzitás (-)

$I_{clo}$  - ruházat hőszigetelő képessége

$k$  - Weber-Fechner konstans (-)

$k_{CO_2}$  - a helyiség  $CO_2$  koncentrációja a külsőlevegő értéke felett (ppm)

$k_{t,t}$  - térfogat-térfogatra vonatkoztatott koncentráció ( $m^3/m^3$ ,  $cm^3/cm^3$ )

$k_{s,t}$  - tömegtérfogatra vonatkoztatott koncentráció ( $kg/m^3$ ,  $mg/m^3$ )

$k_{s,s}$  - tömeg-tömegre vonatkoztatott koncentráció ( $kg/kg$ ,  $mg/kg$ )

$k_{db,t}$  - darab-térfogatra vonatkoztatott koncentráció ( $db/m^3$ )

$k_b$  - adott szennyezőanyag koncentrációja a tartózkodási zónában ( $mg/m^3$ )

$k_{sz}$  - adott szennyezőanyag koncentrációja a szellőző levegőben ( $mg/m^3$ )

$k_t$  - adott szennyezőanyag koncentrációja a távozó levegőben ( $mg/m^3$ )

$K$  - szaganyag-koncentráció ( $GE/m^3$ )

$\dot{K}$  - adott szennyezőanyag forráserőssége a belső térben ( $mg/h$ )

$L$  - egyén magassága (m)

$L_G$  - szagszint (DBG)

$M$  - metabolikus hő (W)

MAK - megengedett átlagos koncentráció

$n$  - ingerspecifikus kitevő (-)

$R$  - specifikus gázállandó ( $J/kg \cdot K$ )

$p$  - nyomás (Pa)

PMV - várható hőérzeti értékek (-)

PPD - kedvezőtlen hőérzet várható százalékos valószínűsége (-)

PD - elégedetlenségi arány (-)

$q_G$  - szagáram ( $GE/s$ )

$q_p$  - szellőzési igény az ott tartózkodók személyenként ( $l/s$ )

$q_{tot}$  - a helyiség teljes szellőzési igénye

$R$  - ingererősség (-)

$R_u$  - univerzális gázállandó (=  $8315 J/kmol \cdot K$ )

$\Delta R$  - ingernövekedés (-)

SBS - „beteg épület szindróma”

$t_a$  - ambiens hőmérséklet (°C)

$t_b$  - bőr hőmérséklete (°C)

$t_E$  - test hőmérséklete (°C)

$t_{cl}$  - ruházat közepes hőmérséklete (°C)

$t_{ks}$  - közepes sugárzási hőmérséklet (°C)

$t_l$  - levegő hőmérséklete (°C)

$t_{lb}$  - bőr felszíni hőmérséklete (°C)

$t_o$  - operatív hőmérséklet (°C)

$t_R$  - eredő hőmérséklet (°C)

$T_{Fi}$  - a környező határoló felületek hőmérséklete (K)

$T_u$  - a helyi turbulenciaintenzitás (-)

TVOC - illékony szerves anyagok együttes koncentrációja

$v$  - a helyi átlagos légsebesség (m/s)

$V$  - térfogat (m<sup>3</sup>)

$V_{mol}$  - moláris térfogat

VOC - illékony szerves anyagok

$W$  - külső mechanikai munka (W)

#### Görög jelölések:

$\alpha_s$  - sugárzásos hőátadási tényező (W/m<sup>2</sup>K)

$\alpha_c$  - konvekciós hőátadási tényező (W/m<sup>2</sup>K)

$\eta$  - munka hatásfoka (-)

$\eta_G$  - szagcsökkentési fok (-)

$\varepsilon$  - szellőztetés hatásossága (-)

$\mu$  - kontaminációs fok (-)

$\varphi_{EFi}$  - a test súlypontjába helyezett függőleges felületelem és az egyes határoló felületek közötti besugárzási tényező (-)



### 3.1. Hőkomfort

Az ember és környezete közötti szubjektív kapcsolat témakörében nagyon sok megfogalmazás, meghatározás ismert a műszaki gyakorlatban is. Azonban a zárt terek vonatkozásában a szubjektív közérzet fogalmát alkalmazzák. A közérzet „a komplex hatások alapján az egyéneken kialakuló szubjektív érzés” definíció az elterjedt. Megállapítható azonban, hogy a zárt térben tartózkodók szubjektív közérzete sok tényezőtől függ.

Zárt térben tartózkodó ember esetében alkalmazott másik szubjektív fogalom a komfortérzet. A komfortérzetet elsősorban befolyásoló, közvetlenül ható tényezők:

- ▶ hőmérséklet,
- ▶ nedvesség,
- ▶ légmozgás,
- ▶ levegő minősége,
- ▶ zaj,
- ▶ megvilágítás.

Ide sorolhatók még a napsugárzás, ionizáció és a rezgések, amelyek egyrészt ritkábban, illetve időszakosan fordulnak elő, másrészt hatásuk is általában mérsékeltebb a komfortérzetre. Ettől függetlenül - mint a bevezetőben láttuk -, ún. "különleges tényezők" címszó alatt e tényezők hatásával, illetve figyelembevételi lehetőségével is foglalkozunk a későbbiekben.

#### 3.1.1. A hőérzet fogalma

A hőkörnyezet paramétereinek egy csoportja az emberben szubjektív érzetet kelt, amelyet a szakirodalom hőérzeti tényezőknek nevez. E szubjektív érzés kialakulását döntően a következő hat paraméter befolyásolja:

- ▶ a levegő hőmérséklete, annak térbeli, időbeli eloszlása, változása;
- ▶ a környező felületek közepes sugárzási hőmérséklete;
- ▶ a levegő relatív nedvességtartalma, illetve a levegőben lévő vízgőz parciális nyomása;
- ▶ a levegő sebessége;
- ▶ az emberi test hőtermelése, hőleadása, hőszabályozása;
- ▶ a ruházat hőszigetelő képessége, párolgást befolyásoló hatása.

Az első négy fizikai paraméter, míg az utóbbi kettő az emberi szervezet alkalmazkodóképességével függ össze, a hőháztartás egyensúlyának fenntartása érdekében fontos.

Az emberi szervezet hőegyensúlya szempontjából alapvető tényezők:

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

### 3.1.2. Az emberi test hőtermelése

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

Az emberi testben végbemenő oxidációs folyamat során keletkező ún. metabolikus hő (M) Fanger elmélete szerint két részből tevődik össze: a külső mechanikai munkából (W) és a belső hőszükségletből (H). A külső mechanikai munka, itt úgy értendő, hogy az ember által végzett mechanikai munkához szükséges hőmennyiséget ugyancsak az emberi testben végbemenő oxidációs folyamat fedezi.

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

A metabolikus hő tehát két részre osztható:

$$M = H + W \quad [W] \quad (3.1)$$

A mechanikai munka hatásfoka ezek szerint kifejezhető az

$$\eta = \frac{W}{M} \quad (3.2)$$

összefüggésből. Ezt a kifejezést visszahelyettesítve az egyenletbe:

$$H = M(1-\eta) \quad [W] \quad (3.3)$$

vagy egységnyi testfelszínre kifejezve:

$$\frac{H}{F_{Du}} = \frac{M}{F_{Du}} (1-\eta) \quad [W/m^2] \quad (3.4)$$

Az  $F_{Du}$  az emberi test ún. Du Bois felülete, amely figyelembe veszi az egyéni legfontosabb "metrikus" adottságokat és az

$$F_{Du} = 0,203G^{0,425}L^{0,725} \quad [m^2] \quad (3.5)$$

összefüggésből határozható meg, ahol

G - az egyén tömege (kg)

L - az egyén magassága (m)

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

A figyelembe vehető méretezési adatok táblázatos formában kerültek feldolgozásra. Az épületgépészeti gyakorlatban a legcélszerűbb az 1. táblázat adatainak alkalmazása.

Az 1. táblázatban található relatív sebesség magyarázata a következő. Az adott tevékenységet végző test egyes részei az álló levegőhöz viszonyítva elmozdulnak, így a köztük és az álló levegő között kialakuló sebességet- amelytől nagymértékben függ a konvekciós hőcsere- nevezik relatív sebességnek.

| Tevékenység                    | $M/F_{Du}$          |         | $\eta$ | $v_{rel}$<br>[m/s] |
|--------------------------------|---------------------|---------|--------|--------------------|
|                                | [W/m <sup>2</sup> ] | met     |        |                    |
| <b>Pihenés</b>                 |                     |         |        |                    |
| Alvás                          | 41                  | 0,7     | 0      | 0                  |
| Pihenés                        | 47                  | 0,8     | 0      | 0                  |
| Nyugodt ülés                   | 58                  | 1,0     | 0      | 0                  |
| Állás laza testtartással       |                     |         | 0      | 0                  |
| <b>Gyaloglás</b>               |                     |         |        |                    |
| Sétálás sík terepen            |                     |         |        |                    |
| sebesség [km/h]                |                     |         |        |                    |
| 3,2                            | 116                 | 2,0     | 0      | 0,9                |
| 4,0                            | 140                 | 2,4     | 0      | 1,1                |
| 4,8                            | 152                 | 2,6     | 0      | 1,3                |
| 5,6                            | 186                 | 3,2     | 0      | 1,6                |
| 6,4                            | 222                 | 3,8     | 0      | 1,8                |
| 8,0                            | 338                 | 3,2     | 0      | 2,2                |
| Sétálás emelkedőn              |                     |         |        |                    |
| Lejtés [%] sebesség [km/h]     |                     |         |        |                    |
| 5 1,6                          | 140                 | 2,4     | 0,07   | 0,6                |
| 5 3,2                          | 175                 | 3,0     | 0,10   | 0,9                |
| 5 4,8                          | 232                 | 4,0     | 0,11   | 1,3                |
| 5 6,4                          | 356                 | 6,1     | 0,12   | 1,8                |
| 15 1,6                         | 169                 | 2,9     | 0,15   | 0,4                |
| 15 3,2                         | 268                 | 4,6     | 0,19   | 0,9                |
| 15 4,8                         | 410                 | 7,0     | 0,19   | 1,3                |
| 25 1,6                         | 210                 | 3,6     | 0,20   | 0,4                |
| 25 3,2                         | 392                 | 6,7     | 0,21   | 0,9                |
| <b>Különböző foglalkozások</b> |                     |         |        |                    |
| Pék                            | 82–116              | 1,4–2,0 | 0–0,1  | 0–0,2              |
| Sörfőzdei munkás               | 70–140              | 1,2–2,4 | 0–0,2  | 0–0,2              |
| Asztalos                       |                     |         |        |                    |
| gépi fűrészelés                | 105                 | 1,8     | 0      | 0–0,1              |

| Tevékenység                              | M/F <sub>Du</sub><br>[W/m <sup>2</sup> ] | met     | η       | v <sub>rel</sub><br>[m/s] |
|--|--|---------|---------|---------------------------|
| kézi fűrészelés                          | 232–280                                  | 4,0–4,8 | 0,1–0,2 | 0,1–0,2                   |
| kézi gyalulás                            | 326–374                                  | 5,6–6,4 | 0,1–0,2 | 0,1–0,2                   |
| Lakatos                                  | 128                                      | 2,2     | 0–0,1   | 0,1–0,2                   |
| Öntödei munka                            |  |         |         |                           |
| öntvénytisztítás pneumatikus kalapáccsal | 187                                      | 3,2     | 0–0,1   | 0,1–0,2                   |
| formakészítés                            | 232                                      | 4,0     | 0–0,1   | 0,1–0,2                   |
| öntvénymozgatás (kb. 60 kg)              | 316                                      | 5,4     | 0–0,2   | 0,1–0,2                   |
| olvasztási munka                         | 396                                      | 6,8     | 0–0,1   | 0,1–0,2                   |
| salakeltávolítás                         | 432                                      | 7,4     | 0–0,1   | 0,1–0,2                   |
| Garázmunka                               | 128–175                                  | 2,2–3,0 | 0–0,1   | 0,2                       |
| Laboratóriumi munka                      |  |         |         |                           |
| metszetvizsgálat                         | 82                                       | 1,4     | 0       | 0                         |
| normál laboratóriumi munka               | 93                                       | 1,6     | 0       | 0–0,2                     |
| készülék mozgatása                       | 128                                      | 2,2     | 0       | 0–0,2                     |
| Gépi munka                               |  |         |         |                           |
| könnyű (pl. elektromos ipar)             | 116–140                                  | 2,0–2,4 | 0–0,1   | 0–0,2                     |
| gépszerelő                               | 163                                      | 2,8     | 0–0,1   | 0–0,9                     |
| nehéz (pl. festőipar)                    | 232                                      | 4,0     | 0–0,1   | 0–0,2                     |
| Konzervipar                              | 116–232                                  | 2,0–4,0 | 0–0,1   | 0–0,2                     |
| Ülő, de nehéz, végtagokkal végzett munka | 128                                      | 2,2     | 0–0,2   | 0,1–0,4                   |
| Cipész                                   | 116                                      | 2,0     | 0–0,1   | 0–0,1                     |
| Bolti eladó                              | 116                                      | 2,0     | 0–0,1   | 0,2–0,5                   |
| Tanár                                    | 93                                       | 1,6     | 0       | 0                         |
| Órás                                     | 64                                       | 1,1     | 0       | 0                         |
| Járművezetés                             |  |         |         |                           |
| autó kis forgalomban                     | 58                                       | 1,0     | 0       | 0                         |
| autó nagy forgalomban                    | 116                                      | 2,0     | 0       | 0                         |
| erőgép                                   | 187                                      | 3,2     | 0–0,1   | 0,05                      |
| éjszakai repülés                         | 70                                       | 1,2     | 0       | 0                         |
| műszeres landolás                        | 105                                      | 1,8     | 0       | 0                         |
| Nehéz munka                              |  |         |         |                           |
| targoncatolás (57 kg, 4,5 km/h)          | 145                                      | 2,5     | 0,2     | 1,4                       |
| 50 kg-os zsák hordása                    | 232                                      | 4,0     | 0,2     | 0,5                       |
| kubikus munka                            | 232–280                                  | 4,0–4,8 | 0,1–0,2 | 0,5                       |
| árokásás                                 | 350                                      | 6,0     | 0,2     | 0,5                       |
| <b>Házimunka</b>                         |  |         |         |                           |
| Takarítás                                | 116–198                                  | 2,0–3,4 | 0–0,1   | 0,1–0,3                   |
| Főzés                                    | 93–116                                   | 1,6–2,0 | 0       | 0–0,2                     |
| Mosogatás állva                          | 93                                       | 1,6     | 0       | 0–0,2                     |
| Mosás kézzel és vasalás                  | 116–210                                  | 2,0–3,6 | 0–0,1   | 0,2                       |
| Bevásárlás                               | 93                                       | 1,6     | 0       | 0,2–1                     |

| Tevékenység   | M/F <sub>Du</sub><br>[W/m <sup>2</sup> ] | met     | η     | v <sub>rel</sub><br>[m/s] |
|---|--|---------|-------|---------------------------|
| <b>Irodai munka</b>                                     |  |         |       |                           |
| Gépelés (elektromos)                                    |  |         |       |                           |
| szó/min   |  |         |       |                           |
| 30  | 52                                       | 0,9     | 0     | 0,05                      |
| 40  | 58                                       | 1,0     | 0     | 0,05                      |
| Gépelés (kézi)  |  |         |       |                           |
| szó/min   |  |         |       |                           |
| 30  | 64                                       | 1,1     | 0     | 0,05                      |
| 40  | 70                                       | 1,2     | 0     | 0,05                      |
| Számítógépes  | 70                                       | 1,2     | 0     | 0                         |
| Különböző irodai munka (pl. ívek kitöltése, ellenőrzés) | 58–70                                    | 1,0–1,2 | 0     | 0–0,1                     |
| Rajzolás  | 70                                       | 1,2     | 0     | 0–0,1                     |
| <b>Sporttevékenység</b>                                 |  |         |       |                           |
| Torna   | 175–232                                  | 3,0–4,0 | 0–0,1 | 0,5–0                     |
| Tánc  | 140–266                                  | 2,4–4,6 | 0     | 0,2–2                     |
| Tenisz  | 268                                      | 4,6     | 0–0,1 | 0,5–2                     |
| Vívás   | 410                                      | 7,0     | 0     | 0,5–2                     |
| Tollaslabda   | 420                                      | 7,2     | 0–0,1 | 0,5–2                     |
| Kosárlabda  | 440                                      | 7,6     | 0–0,1 | 1–3                       |
| Birkózás  | 510                                      | 8,8     | 0–0,1 | 0,2–0,3                   |

1. táblázat: Különböző tevékenységek metabolikus értékei

### 3.1.3. Az emberi test hőleadása, hőcseréje és az azt befolyásoló tényezők

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

- ▶ konvekcióval,
- ▶ sugárzással,
- ▶ vezetéssel,
- ▶ párolgással.

A műszaki gyakorlatban a vezetéssel (mivel kicsi 2-4%) és konvekciós hőleadás értékét együttesen kezelik. Az első három hőleadási módot száraz, utóbbit nedves hőleadásnak is nevezik.

A műszaki gyakorlatban, illetve a számítások során a komfortparaméterek tartományában az összhőleadásnak

- ▶ a sugárzásos hőleadás 42-44%-a,
- ▶ a konvekciós hőleadás 32-35%-a,
- ▶ a párolgásos hőleadás 21-26%-a.

Míg a sugárzás és konvekció lehet pozitív és negatív, azaz hőfelvétel és hőleadás is, a párolgás csak negatív, azaz csak hőleadás lehet.

### 3.1.4. Az emberi test hőcseréjének számításakor alkalmazott hőmérsékletértékek

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

- ▶ az ambiens hőmérséklet, jele  $t_a$ ,
- ▶ a közepes sugárzási hőmérséklet, jele  $t_{ks}$ ,
- ▶ az operatív hőmérséklet, jele  $t_o$ ,
- ▶ az eredő hőmérséklet, jele  $t_R$ ,
- ▶ a ruházat közepes hőmérséklete, jele  $t_{cl}$ ,
- ▶ a test ( $t_e$ ) és bőr ( $t_b$ ) hőmérséklete.

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

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

#### Ambiens hőmérséklet $t_a$ [°C]

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

#### Közepes sugárzási hőmérséklet $t_{ks}$ [°C]

A közepes sugárzási hőmérséklet - mint az emberi test sugárzásos hőcseréje szempontjából alapvetően fontos értéke - meghatározására a szakirodalomban több összefüggést találunk, ezekből kettőt mutatunk be:

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

$$t_{ks} = \frac{F_1 t_1 + F_2 t_2 + \dots + F_n t_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n} \quad (^\circ\text{C}) \quad (3.6)$$

összefüggés, ahol

$F_1, \dots, F_n$  - a környező felületek területe ( $\text{m}^2$ )

$t_1, \dots, t_n$  - az azonos indexű felületek hőmérséklete (°C)

- b) A következő az általánosan ismert összefüggés (Macskásy 1952), amely már figyelembe veszi a sugárzásos hőcserében részt vevő testek közötti besugárzási tényezőt is:

$$t_{ks} = \sqrt[4]{\sum_{i=1}^n \phi_{EF_i} T_{F_i}^4} - 273 \quad (^\circ\text{C}) \quad (3.7)$$

mivel

$\phi_{EF_i}$  - a test súlypontjába helyezett függőleges felületelem és az egyes határoló felületek közötti besugárzási tényező

$T_{F_i}$  - a környező határoló felületek hőmérséklete (K)

### Operatív hőmérséklet $t_o$ [ $^\circ\text{C}$ ]

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

$$t_o = \frac{(\alpha_s t_k + \alpha_c t_l)}{\alpha_s + \alpha_c} \quad (^\circ\text{C}) \quad (3.8)$$

összefüggés, ahol

$\alpha_s$  - a sugárzásos hőátadási tényező (W/m<sup>2</sup>K)

$\alpha_c$  - a konvekciós hőátadási tényező (W/m<sup>2</sup>K)

$t_l$  - a levegő hőmérséklete ( $^\circ\text{C}$ )

### Eredő hőmérséklet $t_R$ [ $^\circ\text{C}$ ]

Az eredő hőmérséklet ( $t_R$ ) általános matematikai formája:

$$t_R = (1-R) t_l + R t_{ks} \quad (3.9)$$

és a  $t_{ks}$  sugárzási hőmérséklet a (3.6) vagy (3.7) összefüggésből számítható, R pedig 0,5 körüli érték.

A korábbi magyar előírások szerint az eredő hőmérséklet a következő összefüggéssel számítható:

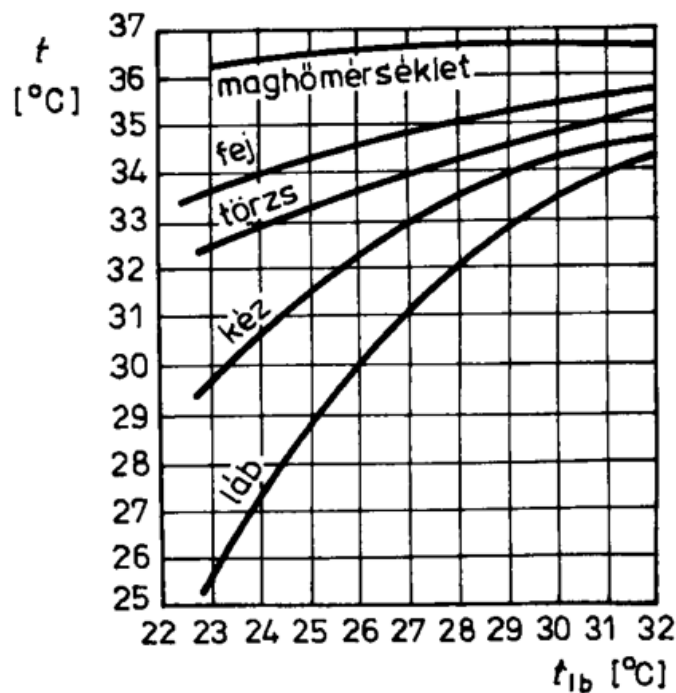
$$t_R = 0,5t_l + 0,5t_{ks} \quad (^\circ\text{C}) \quad (3.10)$$

### A ruházat közepes hőmérséklete $t_{cl}$ [°C]

A ruházat közepes hőmérséklete a különböző összefüggésekben található  $t_{cl}$  kifejezés tulajdonképpen a ruházat és a ruházattal nem borított testfelületek átlagos hőmérséklete. Mivel a ruházattal nem borított testfelület még a rövidujjú inget feltételező 0,6 clo értékkel reprezentált nyári ruházat esetén is csak kb. 15%-a a teljes testfelületnek, ezért alkalmazzák a hőmérséklet indexeként a clo-t. Számszerű értéke a 21-26 °C közötti komforthőmérséklet-tartományban 28 °C.

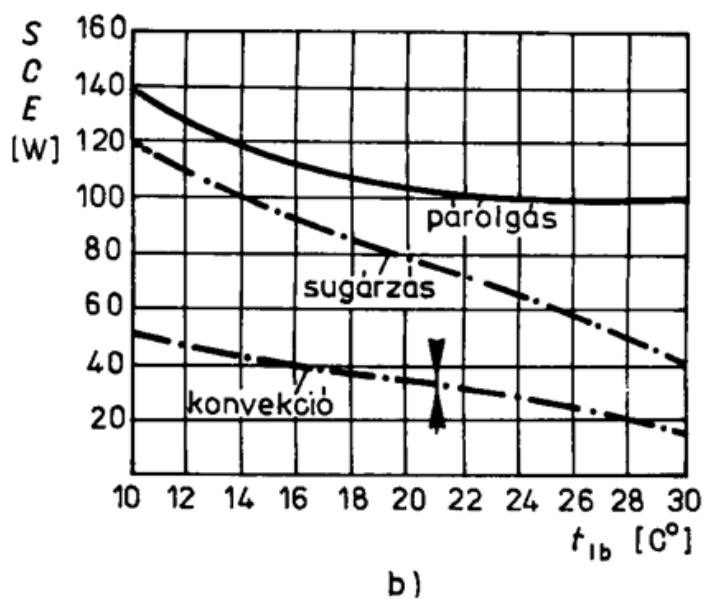
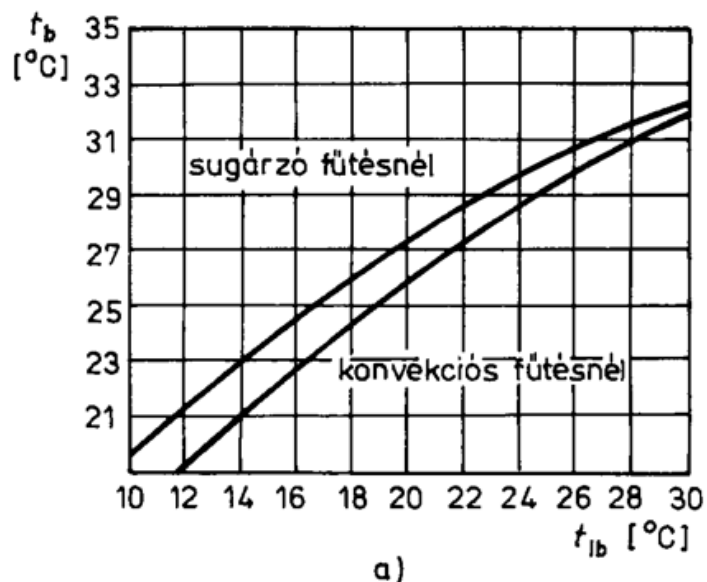
#### 3.1.5. A bőrhőmérséklet értékei

Az emberi test bőrfelületeinek hőmérsékletértéke eltérő. A műszaki gyakorlatban azonban általában az átlagos bőrhőmérséklet-értékek ismerete szükséges. Ezek meghatározására az alábbi két diagram figyelembevételre javasolt (1. és 2. ábra).



1. ábra: A test- és bőrhőmérséklet összefüggése a levegő hőmérséklettel





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

A mért értékek alapján történő átlaghőmérsékletek megállapítására napjainkban a szakirodalomban nagyon sok módszer található. Ezeket Olesen (1984) hasonlította össze és ebből a legfontosabb adatokat mutatjuk be a 2. táblázatban.

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

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

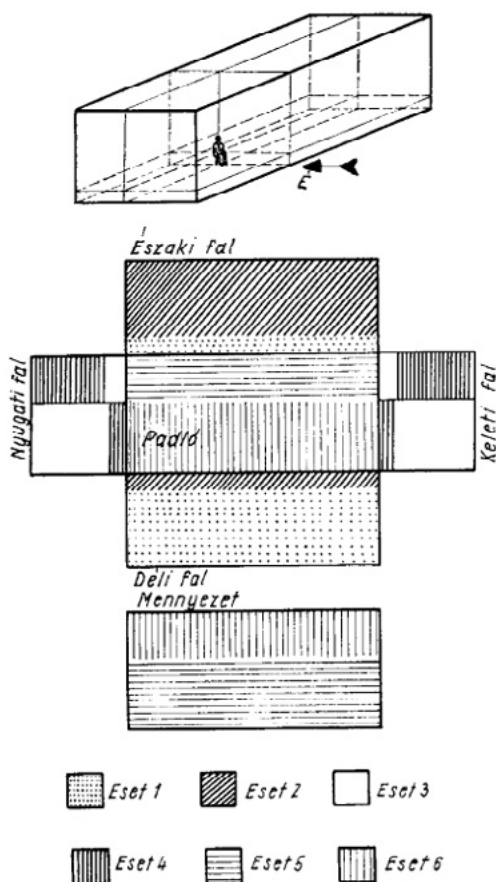
### 3.1.6. Az emberi testre vonatkozó besugárzási tényező meghatározása

A műszaki számítások során gyakori a sugárzásos hőcsere meghatározásának szükségessége. Hőkomfort vonatkozásában a műszaki gyakorlatra kidolgozott besugárzási tényezők döntő többsége az emberre vonatkoztatva nem alkalmazható, mivel az emberi test háromdimenziós.

Az erre vonatkozó elméletet Fanger dolgozta ki és részletesen megtalálható a szakkönyvekben. A gyakorlati alkalmazásra diagramokat dolgozott ki, amelyek a besugárzási tényező számítását hat esetben összegzi. Ennek magyarázata a 3. ábra jelöléseit figyelembe véve a következő:

- ▶ az első esetben az egyénnel szemben, középpontja felett vagy háta mögött, középpontja alatt levő függőleges felület (3. ábrán a pontozott terület);
- ▶ a második esetben az egyénnel szemben, középpontja alatt vagy háta mögött, középpontja felett levő függőleges felület (3. ábrán a balra dőlt, ferdén sraffozott terület);
- ▶ a harmadik esetben az egyén oldala melletti, függőleges felületek, ezek elöl középpontja felett vagy hátul középpontja alatt levő (3. ábrán a jobbra dőlően, ferdén sraffozott terület);
- ▶ a negyedik esetben az egyén oldala melletti függőleges felületek, elöl középpontja alatt vagy hátul középpontja felett (3. ábrán a függőleges sraffozott terület);
- ▶ az ötödik esetben az egyén középpontjával szemben elöl, a feje fölött (mennyezet) és középpontja mögött hátul, alul (padló) elhelyezkedő vízszintes felületek;

- ▶ a hatodik esetben az egyén középpontjával szemben, hátul, alul (padló) és középpontja mögött, hátul a feje felett (mennyezet) levő vízszintes felületek.



3. ábra: A szögtényezők meghatározásának felosztása zárt térben lévő emberre

A konkrét méretezési ábrák egyhelyben ülő ember esetében a 1. melléklet 1-6. ábráin láthatók.

Abban az esetben, ha az ülő ember elfordulhat (tehát nem állandó a helyzete) a 1. melléklet 7-8. ábrái alkalmazhatók.

Meghatározott helyen álló ember esetében a besugárzási tényező meghatározható a 1. melléklet 9-11. ábráiból.

Végül álló, de nem állandó helyzetben maradó ember esetére vonatkoznak a 1. melléklet 12-13. ábrái.

### 3.1.7. A ruházat hőszigetelő képessége

Teljesen egyértelmű, hogy az emberi test hőcsere viszonyait a ruházat, illetve annak hőszigetelő képessége befolyásolja.

A ruházat hőszigetelő képességének meghatározására az ún. "clo" egységet használják:

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

Az egyes ruhadarabok, illetve öltözetek szigetelő képessége táblázatosan került kidolgozásra, amelyből kettőt mutatunk be:

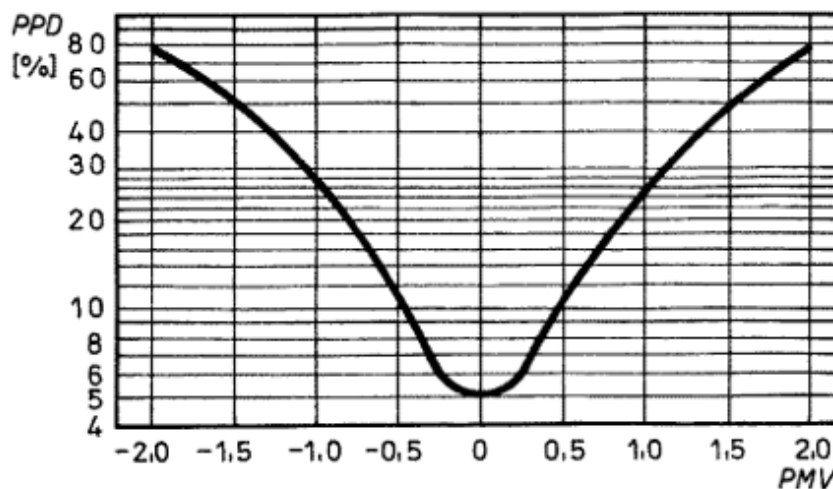
A Fanger-féle összes fő értékeket (3. táblázat), ahol  $f_{cl}$  jelölés a ruházattal borított és mezítelen test felületének aránya (tehát 1,0-nél nagyobb szám).

| Ruházat  | $I_{clo}$ | $f_{cl}$ |
|--|-----------|----------|
| Mezítelen  | 0         | 1,0      |
| Short  | 0,1       | 1,0      |
| Tipikus trópusi ruházat: short, nyitott nyakú ing rövid ujjal, könnyű zokni és szandál   | 0,3-0,4   | 1,05     |
| Könnyű nyári ruházat: hosszú szárú nadrág könnyű anyagból, nyitott nyakú ing, rövid ujjak  | 0,5       | 1,1      |
| Könnyű munkaruha: short, gyapjúzokni, pamut munkaing és munkanadrág  | 0,6       | 1,1      |
| Tipikus üzletember-ruházat   | 1,0       | 1,15     |
| Tipikus üzletember-ruházat + pamutkabát  | 1,5       | 1,15     |
| Nehéz tradicionális európai üzletember-ruházat: pamut alsónemű hosszú ujjakkal és szárral, ing, gyapjúzokni, cipő, öltöny, beleértve nadrágot, kabátot és mellényt | 1,5       | 1,15-1,2 |
| Könnyű sportöltözet: pamuting, nadrág, short, zokni, cipő és szimpla orkáncabát  | 0,9       | 1,15     |
| Nehéz téli öltözet, igen hideg területeken (sarkvidék)   | 3-4       | 1,3-1,5  |

3. táblázat: Különböző ruházatra vonatkozó adatok

### 3.1.8. A várható szubjektív hőérzet meghatározása, PMV és PPD értékek

A zárt tér adott pontjára a különböző paraméterek ismeretében meg lehet határozni a várható szubjektív hőérzeti értékeket a PMV és PPD értékek alapján. A PMV érték, amelynek legkedvezőbb magyar fordítása a várható hőérzeti érték és a PPD érték, amely viszont a kedvezőtlen hőérzet várható százalékos valószínűsége. E két mutató ismerete feltétlenül szükséges.



4. ábra: A hőkönyezetükkel várhatóan elégedetlenek százalékos aránya (PPD) a PMV érték függvényében

A diagram a hőkönyezet gyakorlati értékelésének alapját képezi. A görbe PMV értéke szimmetrikus minimumát 5%-nál éri el, kifejezve ezzel azt, hogy a legjobb eredmény, amelyet egy mikroklíma kialakításakor hőérzeti szempontból elérhetünk, ha a benttartózkodók 95%-a a hőkönyezetét kellemesnek érzi.

### 3.2. Belsőlevegő-minőség értelmezése, alapfogalmak

A belsőlevegő-minőség egy új interdiszciplináris szakterület, művelői között az épületgépészekon kívül megtalálhatók a vegyészmérnökök, biológusok és orvosok is.

A belsőlevegő-minőség (BLM) elnevezés megfelelője az angolszász nyelvterületen "Indoor Air Quality" (IAQ), míg a német nyelvterületen "Raumluftqualität". A BLM tudományterület elméleti alapjait Fanger professzor (Technical University of Denmark) dolgozta ki. Tulajdonképpen a BLM szakterület úttörőjének tekinthető Max von Pettenkofer, aki 1858-ban egy müncheni orvosi lapban ismertette kutatási eredményeit. A komfortterek levegőjében a széndioxid koncentráció növekedésének élettani hatásait vizsgálta.

#### 3.2.1. A belsőlevegő-minőség definíciója

A nemzetközi gyakorlatban leggyakrabban alkalmazott definíció értelmében a BLM alatt a komfort terek levegőjének minden olyan nem termikus jellemzőjét értjük, amelyek az ember közérzetét befolyásolják.

A belsőlevegő-minőséget befolyásoló szennyezőanyagok:

- ▶ gázok és gőzök (pl. CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, radon);
- ▶ szaganyagok (pl. szerves anyagok bomlástermékei, emberi, állati és növényi eredetű szaganyagok, építő és burkoló anyagok kipárolgási termékei);
- ▶ aerosolok (porok, lebegő anyagok, nehézfém szálak, pollen anyagok);
- ▶ vírusok;
- ▶ baktériumok és spórák (pl. legionella baktérium);
- ▶ gombák és spóráik (pl. nedvesítő kamra kórokozói).

Az ember a belsőlevegő minőségét két érzékszervével érzékeli. Alapvetően szaglász útján az orral, valamint a szem kötőhártyájának viselkedésén keresztül.

A levegő minősége ezeken kívül még egyéb érzékszervekkel, testi tünetekkel is észlelhető az ember számára. Például megfelelő fényviszonyok mellett a levegőben lebegő nagyobb porszemcséket akár szabad szemmel is meg lehet figyelni. A levegőben lévő szennyezőanyagok irritációt okozhatnak a légcső és a tüdő nyálkahártyáján is, neheztett légzést, köhögést kiváltva, így közvetetten ez a reakció is jelzés értékű az ember számára. A megnövekedett CO koncentráció fejfájást, szédülést, álmoságot, hányingert, ájulást, sőt akár halálos kimenetelű mérgezést is okozhat stb.

A szennyezőanyagok származhatnak a külsőlevegőből, épületszerkezeti és burkoló anyagokból, berendezési tárgyakkól, bútorokból. További szennyezőanyag forrás a komforttérben tartózkodó személy és a kiszolgáló klímatechnikai rendszer.

### 3.2.2. A belsőlevegő-minőség kapcsolódása más szakterületekhez

A "belsőlevegő-minőség" szakterület a levegőtisztasági követelmények szempontjából rokon a "levegőtisztaság védelemmel" és a "munkahelyi egészségvédelemmel". Mindhárom szakterület az ember egészségének védelmével foglalkozik, a kutatások célja azonos. Azonban mindhárom szakterület más és más zárt terekre, illetve a külső levegőre vonatkozik. Kapcsolatukat az 5. ábra szemlélteti.



5. ábra: A belsőlevegő-minőség értelmezése

A külsőlevegő-minősége a levegőtisztaság védelem témaköréhez tartozik. Az egyes levegőszennyező anyagokra vonatkozóan a levegőterheltségi szint határértégeiről és a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértégeiről szóló 4/2011. (I. 14.) VM rendelet tartalmaz határértékeket az alábbi bontásban:

- ▶ levegőterheltségi szint egészségügyi határértékei,
- ▶ ózon határértékek,
- ▶ egyes rákkeltő levegőszennyező anyagok határértékei,
- ▶ PM<sub>2,5</sub>-re (particulate matter, 2,5 mikron alatti finomszemcsés anyagok) vonatkozó specifikus kötelezettségek,
- ▶ egyes levegőszennyező anyagok tervezési irányértékei,
- ▶ ülepedő porra vonatkozó tervezési irányértékek,
- ▶ bűzre vonatkozó tervezési irányértékek,
- ▶ tájékoztatási és riasztási küszöbértékek,
- ▶ az ökológiai rendszerek védelmében meghatározott kritikus levegőterheltségi szintek,
- ▶ általános technológiai kibocsátási határértékek,
- ▶ eljárás-specifikus technológiai kibocsátási határértékek és egyéb előírások.

A 4. táblázat tartalmazza a levegőterheltségi szint határértékeket. A veszélyességi fokozat az egészségre és a környezetre gyakorolt hatásuk alapján:

- I. különösen veszélyes
- II. fokozottan veszélyes
- III. veszélyes
- IV. mérsékelten veszélyes

| Levegőtisztosítási anyag<br>(CAS-szám) | Határérték (µg/m³) |             |            |             |            |                 |                       |
|--|--------------------|-------------|------------|-------------|------------|-----------------|-----------------------|
|  | órás               |             | 24 órás    |             | éves       |                 | Veszélyességi fokozat |
|  | Határérték         | Tűrőhatár % | Határérték | Tűrőhatár % | Határérték | Tűrőhatár %     |                       |
| Kén-dioxid<br>7446-09-5                | 250/24*            | 150         | 125/3*     |             | 50         |                 | III.                  |
| Nitrogén-dioxid<br>10102-44-0          | 100/18*            | 50          | 85         |             | 40         | 50 <sup>2</sup> | II.                   |
| Szén-monoxid<br>630-08-0               | 10 000             |             | 5 000      | 60          | 3000       |                 | II.                   |
| Szálló por<br>PM <sub>10</sub>         |                    |             | 50/35*     | 50          | 40         | 20              | II.                   |
| Benzol<br>71-43-2                      |                    |             | 10         |             | 5          | 100             | I.                    |

\* Megjegyzés: évente max. hányszor léphető túl

4. táblázat: a levegőterheltségi szint határértékeiről és a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről szóló 4/2011. (I. 14.) VM rendelet: Levegőterheltségi szint határértékek (kivonat)

A határértékek mérésével kapcsolatos további adatok megtalálhatók a rendeletben. Külföldön alkalmazzák a MIK-értéket (Maximale Immissions-Konzentration) hasonló célból (5. táblázat).

| Szennyező anyag       | Vegyjel         | MIK-érték *g/m³ |        |       |
|-----------------------|-----------------|-----------------|--------|-------|
|                       |                 | 30 perc         | 24 óra | 1 év  |
| Kén-dioxid            | SO <sub>2</sub> | 1000            | 300    |       |
| Nitrogén-dioxid       | NO <sub>2</sub> | 200             | 100    |       |
| Nitrogén-monoxid      | NO              | 1000            | 500    |       |
| Szén-monoxid          | CO              | 50000           | 10000  | 10000 |
| Ózon                  | O <sub>3</sub>  | 120             |        |       |
| Fluor-hidrogén        | HF              | 200             | 100    | 50    |
| Formaldehid           | HCHO            | 70              |        | 30    |
| Por                   |                 |                 |        |       |
| Finompor              |                 | 300             | 200    | 100   |
| Összesen:             |                 | 450             | 300    | 150   |
| Ólom és vegyületei    | Pb              |                 | 3      | 1,5   |
| Kadmium és vegyületei | Cd              |                 | 0,05   |       |

5. táblázat: MIK-értékek

A munkahelyek (technológiai terek) levegőminősége a munkahelyi egészségvédelem témakörébe tartozik. Mivel a megengedett határértékek felnőtt korú egészséges munkavállalókra vonatkoznak, ezek számszerűleg magasabbak, mint az imissziós értékek. A vonatkozó hazai előírásokat a kémiai kóroki tényezők hatásának kitett munkavállalók egészségének és biztonságának védelméről szóló 5/2020. (II. 6.) ITM rendelet tartalmazza. A rendeletről kivonatolt adatok a 6. táblázatban találhatóak.

| Szennyezőanyag vegyjel<br>(CAS-szám)                                     | Jellemző<br>tulajdonság | Hivatkozás | Megengedett határértékek |                   |
|--|-------------------------|------------|--------------------------|-------------------|
|  |                         |            | ÁK                       | CK                |
|  |                         |            | mg/m <sup>3</sup>        | mg/m <sup>3</sup> |
| ACETON (CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub> ), (67-64-1)                   | i                       | EU1        | 1210                     |                   |
| AMMÓNIA (NH <sub>3</sub> ), (7664-41-7)                                  | m                       | EU1        | 14                       | 36                |
| ARZIN (AsH <sub>3</sub> ), (7784-42-1)                                   | b                       |            | 0,2                      | 0,8               |
| BENZOL (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> ), (71-43-2)                       | k(1A), b, i, BEM        | EU6        | 3,25                     |                   |
| BRÓM (Br <sub>2</sub> ), (7726-95-6)                                     | b, m                    | EU2        | 0,7                      |                   |
| CIÁN-HIDROGÉN (HCN), (74-90-8)   | b, i                    | EU4        | 1                        | 5                 |
| CINK-OXID (ZnO), (1314-13-2)   | i                       |            | 5                        |                   |
| DIETIL-ÉTER (CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> O) <sub>2</sub> , (60-29-7) | b, i, sz                | EU1        | 308                      | 616               |
| DIKLÓR-METÁN (CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> ), (75-09-2)               | b                       | EU4        | 353                      | 706               |
| FENOL (C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH), (108-95-2)                     | b, m, BEM               | EU3        | 8                        | 16                |
| FLUOR (F <sub>2</sub> ), (7782-41-4)                                     | m                       | EU1        | 1,58                     | 3,16              |
| FORMALDEHID (HCHO), (50-00-0)  | k(1B), b, m, sz         |            | 0,6                      | 0,6               |
| FOSZFOR (P), (7723-14-0)   | i                       |            | 0,1                      | 0,1               |
| FOSZFOR-TRIKLORID (PCl <sub>3</sub> ), (7719-12-2)                       | m                       |            | 1                        | 2                 |
| FOSZGÉN (COCl <sub>2</sub> ), (75-44-5)                                  | m                       | EU1        | 0,08                     | 0,4               |
| JÓD (I <sub>2</sub> ), (7553-56-2)                                       | i, sz, b                |            | 1                        | 1                 |
| KADMIUM ÉS SZERVETLEN VEGYÜLETEI (Cd-ra számítva), (7440-43-9)           | k(1B), BEM              |            | 0,004 resp.              |                   |
| KÁLCIUM-CIÁNAMID (CaNCN), (156-62-7)                                     | b, i                    |            | 1                        | 2                 |
| KÉN-DIOXID (SO <sub>2</sub> ), (7446-09-5)                               | m                       | EU4        | 1,3                      | 2,7               |
| KÉN-HIDROGÉN (H <sub>2</sub> S), (7783-06-4)                             | i                       | EU3        | 7                        | 14                |
| KLÓR (Cl <sub>2</sub> ), (7782-50-5)                                     | i                       | EU2        |                          | 1,5               |
| KLÓRBENZOL (C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Cl), (108-90-7)                |                         | EU2        | 23                       | 70                |
| MAGNÉZIUM-OXID (MgO), (1309-48-4)  | i                       |            | 6 resp.                  |                   |
| METIL-ALKOHOL (CH <sub>3</sub> OH), (67-56-1)                            | b, i                    | EU2        | 260                      |                   |
| NAFTALIN (C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> ), (91-20-3)                    | i                       | EU91       | 50                       |                   |
| NIKOTIN (C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> N <sub>2</sub> ), (54-11-5)     | b, i                    | EU2        | 0,5                      |                   |
| NITROBENZOL (C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NO <sub>2</sub> ), (98-95-3)  | b, i                    | EU2        | 1                        |                   |
| NITROGÉN-DIOXID (NO <sub>2</sub> ), (10102-44-0)                         | m                       | EU4        | 0,96                     | 1,91              |
| ÓLOM és SZERVETLEN VEGYÜLETEI (Pb-re számítva), (7439-92-1)              | i, BEM, BHM             |            | 0,1 / 0,05 resp.         |                   |
| ÓZON (O <sub>3</sub> ), (10028-15-6)                                     | i                       |            | 0,2                      | 0,2               |
| RÉZ és VEGYÜLETEI (Cu-re számítva), (7440-50-8)                          |                         |            | 0,1                      | 0,2               |
| SALÉTROMSAV (HNO <sub>3</sub> ), (7697-37-2)                             | i, m                    | EU2        |                          | 2,6               |



|   |        |     |      |     |
|---|--------|-----|------|-----|
| SZELÉNEGYÜLETEK (Se-re számítva)  | i, BEM |     | 0,1  | 0,2 |
| SZÉN-DIOXID (CO <sub>2</sub> ), (124-38-9)                              |        | EU2 | 9000 |     |
| SZÉN-MONOXID (CO), (630-08-0)   | BHM    | EU4 | 23   | 117 |
| SZTIROL (C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH=CH <sub>2</sub> ), (100-42-5) | i, BEM |     | 86   | 172 |

6. táblázat: Munkahelyek levegőtisztasági követelményei Magyarországon a kémiai kóroki tényezők hatásának kitett munkavállalók egészségének és biztonságának védelméről szóló (5/2020. (II. 6.) ITM rendelet 1. melléklet kivonata: Veszélyes anyagok munkahelyi levegőben megengedett átlagos koncentráció és megengedett csúcskoncentráció értékei, valamint jellemző tulajdonságai

**MEGJEGYZÉS:**

|              |  |
|--------------|--|
| <i>resp.</i> | <i>respirábilis frakció</i>                                      |
| <i>b</i>     | <i>bőrön át is felszívódik</i>                                   |
| <i>i</i>     | <i>ingerlő anyag</i>   |
| <i>k</i>     | <i>rákkeltő</i>  |
| <i>m</i>     | <i>maró hatású anyag</i>   |
| <i>sz</i>    | <i>túlérzékenységet okozó (szenibilizáló) tulajdonságú anyag</i> |
| <i>EUA</i>   | <i>2009/148/EK irányelvben közölt érték</i>                      |
| <i>EU91</i>  | <i>91/322/EGK irányelvben közölt érték</i>                       |
| <i>EU1</i>   | <i>2000/39/EK irányelvben közölt érték</i>                       |
| <i>EU2</i>   | <i>2006/15/EK irányelvben közölt érték</i>                       |
| <i>EU3</i>   | <i>2009/161/EK irányelvben közölt érték</i>                      |
| <i>EU4</i>   | <i>2017/164 EU irányelvben közölt érték</i>                      |
| <i>EU6</i>   | <i>2019/130 EU irányelvben közölt érték</i>                      |
| <i>BEM</i>   | <i>biológiai expozíciós mutató</i>                               |
| <i>BHM</i>   | <i>biológiai hatásmutató</i>                                     |

A hazai gyakorlatban az alábbi koncentráció értékeket különböztetjük meg:

- ▶ Átlagos koncentráció (ÁK): a műszak során mért átlagos koncentráció, a dolgozó egészségére nem fejt ki káros hatást;
- ▶ Csúcskoncentráció (CK): rövid ideig megengedett legnagyobb levegőszennyezettség.

Külföldön munkahelyek esetében a MAK-értékeket (Maximale Arbeitsplatz-Konzentration) alkalmazzák, a kivonatolt értékeket a 7. táblázat tartalmazza.

| Szennyezőanyag                 | Vegyjel  | MAK érték |                   |
|--------------------------------|--|-----------|-------------------|
|                                |  | ppm       | mg/m <sup>3</sup> |
| Aceton                         | CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub>                              | 1000      | 2400              |
| Ammónia                        | NH <sub>3</sub>  | 50        | 35                |
| Arzin                          | AsH <sub>3</sub>   | 0,05      | 0,2               |
| Benzol                         | C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>                                  | 5         | 16                |
| Bután                          | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>                                 | 1000      | 2350              |
| Kadmium-oxid                   | CdO  |           | 0,1               |
| Kálcium-oxid                   | CaO  |           | 5                 |
| Klór                           | Cl <sub>2</sub>  | 0,5       | 1,5               |
| Klór-benzol                    | C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> Cl                               | 50        | 230               |
| Klór-dioxid                    | ClO <sub>2</sub>   | 0,1       | 0,3               |
| Klór-metán                     | CH <sub>3</sub> Cl   | 50        | 105               |
| Kloroform                      | CHCl <sub>3</sub>  | 10        | 50                |
| Cián-hidrogén                  | HCN  | 10        | 11                |
| Diklór-difluor-metán (R-12)    | CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>                                | 1000      | 5000              |
| Diklór-metán                   | CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>                                | 100       | 360               |
| Diklór-fluor-metán (R-21)      | CHFCl <sub>2</sub>   | 10        | 45                |
| Diklór-tetrafluor-etán (R-114) | CF <sub>2</sub> ClCF <sub>2</sub> Cl                           | 1000      | 7000              |
| Dietil-éter                    | C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OC <sub>2</sub> H <sub>5</sub>   | 400       | 1200              |
| Etanol                         | C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH                               | 1000      | 1900              |
| Fluor                          | F <sub>2</sub>   | 0,1       | 0,2               |
| Fluor-hidrogén                 | HF   | 3         | 2                 |
| Formaldehid                    | HCHO   | 1         | 1,2               |
| Hexan                          | C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>                                 | 50        | 180               |
| Jód                            | J <sub>2</sub>   | 0,1       | 1                 |
| Szén-dioxid                    | CO <sub>2</sub>  | 5000      | 9000              |
| Szén-monoxid                   | CO   | 30        | 33                |
| Réz (füst)                     | Cu   |           | 0,1               |
| Réz (por)                      | Cu   |           | 1                 |
| Magnézium-oxid (füst)          | MgO  |           | 6                 |
| Metil-alkohol (Metanol)        | CH <sub>3</sub> OH   | 200       | 260               |
| Naftalin                       | C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>                                 | 10        | 50                |
| Nikotin                        |  | 0,07      | 0,5               |
| Nitro-benzol                   | C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> (NO <sub>2</sub> )               | 1         | 5                 |
| Nitroglicerín                  | C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> (ONO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> | 0,05      | 0,5               |
| Ózon                           | O <sub>3</sub>   | 0,1       | 0,2               |
| Fenol                          | C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH                               | 5         | 19                |
| Foszgén                        | COCl <sub>2</sub>  | 0,1       | 0,4               |
| Foszfor-hidrogén               | PH <sub>3</sub>  | 0,1       | 0,15              |
| Propán                         | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>                                  | 1000      | 1800              |
| Kvarc                          |  |           | 0,15              |

|   |  |      |      |
|---|--|------|------|
| Higany  | Hg   | 0,01 | 0,1  |
| Salétromsav                                   | HNO <sub>3</sub>                                 | 10   | 25   |
| Kén-dioxid                                    | SO <sub>2</sub>                                  | 2    | 5    |
| Kénsav  | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                   |      | 1    |
| Kén-hidrogén                                  | H <sub>2</sub> S                                 | 10   | 15   |
| Szelén-hidrogén                               | H <sub>2</sub> Se                                | 0,05 | 0,2  |
| Nitrogén-oxid                                 | NO <sub>2</sub>                                  | 5    | 9    |
| Sztirol                                       | C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH=CH <sub>2</sub> | 100  | 420  |
| Terpentilolaj                                 |  | 100  | 560  |
| Toluol  | C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>    | 100  | 375  |
| Triklór-fluor-metán                           | CFCl <sub>3</sub>                                | 1000 | 5600 |
| Vanádium (V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -por) | V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                    |      | 0,05 |
| Hidrogén-peroxid                              | H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>                    | 1    | 1,4  |
| Cink-oxid (füst)                              | ZnO  |      | 5    |

.....

### 7. táblázat: MAK-értékek

A komfortterekben megengedett szennyezőanyag koncentrációra - belsőlevegő-minőségre - vonatkozóan a honosított EU előírások tartalmazznak határértékeket. A nemzetközi gyakorlatban is alkalmazott szabványok, előírások:

- ▶ MSZ CR 1752:2000 Épületek szellőztetése. Épületek belső környezetének tervezési alapjai;
- ▶ MSZ EN 16798-1:2019 Épületek energetikai teljesítőképessége. Épületek szellőztetése. 1. rész: Beltéri bemeneti paraméterek az épületek beltéri levegőminőségéhez, hőmérsékleti, világítási és akusztikai környezetéhez kapcsolódó energetikai teljesítőképességének tervezéséhez és értékeléséhez. M1-6 modul.

### 3.2.3. A belsőlevegő-minőség minősítése

A BLM tartalmazza a komforttér levegőjében lévő valamennyi levegőszennyező anyagot. Együttes hatásuk, eredőjük értékelése jelent bonyolult feladatot. Valamennyi komponens szelektív módon mérhető, ez azonban nem azonos az együttes hatás értékelésével.

#### Az érzékelhető belsőlevegő-minőség

Fanger professzor kutatásai alapján kidolgozta a belsőlevegő-minőség értékelésének módját és új egységeket vezetett be a levegőminőség értékelésére és a szennyezőanyag forrásereőségének meghatározására. A viszonyítás alapjául az embert választotta.

#### A szennyezőanyag forrásereőségének a mértékegysége: 1 olf

Definíció értelmében 1 olf (olfacio = szagol, szagot áraszt) a szennyezőanyag forrásereősége egy átlagos embernek (standard személy) ülő helyzetben nyugalmi fizikai állapotban, kellemes termikus hőegyensúlyt biztosító környezetben, átlagos tisztálkodási feltételek (0,7 fürdés naponta) esetén.

## Az érzékelhető levegőminőség mértékegysége: 1 decipol

Definíció értelmében 1 decipol (polluo = beszennyez) a levegőminősége tökéletes keveredés esetén a komforttérben, ha 1 olf a szennyezőanyag forrásereossége és a szellőző levegő térfogatárama 10 l/sec, azaz 36 m<sup>3</sup>/h.

### Az egészségügyi követelmények

A komforttérben tetszőleges levegőszennyező anyag koncentrációja szelektív módon mérhető. A nemzetközi gyakorlatban javasolt határértékeket tartalmazza a jellemző anyagok esetében az MSZ CR 1752:2000, valamint az MSZ EN 16798-1:2019 szabvány (8. táblázat).

|                  | Időbeli átlag   | Időtartam                                      |
|------------------|---|--|
| Kadmium          | 1-5 ng/m <sup>3</sup><br>10-20 ng/m <sup>3</sup>  | 1 év (vidéki terület)<br>1 év (városi terület) |
| Szén-diszulfid   | 100 µg/m <sup>3</sup>   | 24 óra   |
| Szén-monoxid     | 100 mg/m <sup>3</sup><br>60 mg/m <sup>3</sup><br>30 mg/m <sup>3</sup><br>10 mg/m <sup>3</sup> | 15 perc<br>30 perc<br>1 óra<br>8 óra           |
| 1,2-Diklor-etán  | 0,7 mg/m <sup>3</sup>   | 24 óra   |
| Diklor-metán     | 3 mg/m <sup>3</sup>   | 24 óra   |
| Formaldehid      | 100 µg/m <sup>3</sup>   | 30 perc  |
| Hidrogén-szulfid | 150 µg/m <sup>3</sup>   | 24 óra   |
| Ólom             | 0,5-1,0 µg/m <sup>3</sup>   | 1 év   |
| Mangán           | 1 µg/m <sup>3</sup>   | 1 év   |
| Higany           | 1 µg/m <sup>3</sup>   | 1 év   |
| Nitrogén-dioxid  | 400 µg/m <sup>3</sup><br>150 µg/m <sup>3</sup>  | 1 óra<br>24 óra                                |
| Ózon             | 150-200 µg/m <sup>3</sup><br>100-120 µg/m <sup>3</sup>  | 1 óra<br>8 óra                                 |
| Sztirén          | 800 µg/m <sup>3</sup>   | 24 óra   |
| Kén-dioxid       | 500 µg/m <sup>3</sup><br>350 µg/m <sup>3</sup>  | 10 perc<br>1 óra                               |
| Tetraklór-etilén | 5 mg/m <sup>3</sup>   | 24 óra   |
| Toluol           | 8 mg/m <sup>3</sup>   | 24 óra   |
| Trikolor-etilén  | 1 mg/m <sup>3</sup>   | 24 óra   |
| Vanádium         | 1 µg/m <sup>3</sup>   | 24 óra   |

8. táblázat: Levegőszennyező anyagokra vonatkozó határértékek különböző hatásokat figyelembe véve, kivétel a rák és a szaghatás (MSZ CR 1752:2000)

### 3.2.4. Beteg épületek, „Sick Building Syndrom”

Az elmúlt évtizedekben az építési technológia és az építőanyagok, valamint az épületgépészeti rendszerek sokat változtak, fejlődtek. Elsősorban a klimatizált irodaépületek, bevásárlóközpontok számának ugrásszerű

növekedése hozta magával a változásokat. A modern építészet ma már elképzelhetetlen nagy külső üveg határolófelületek és klímaberendezés nélkül.

A klimatizált modern épületekben dolgozó személyek panaszait tartalmazza a "beteg épület szindróma" (SBS). A panaszok közül a legjellemzőbbek:

- ▶ huzatérzet,
- ▶ szárazságérzet,
- ▶ fáradtság,
- ▶ fejfájás,
- ▶ zajterheléssel kapcsolatos panaszok,
- ▶ reumatikus panaszok,
- ▶ levegő minőséggel kapcsolatos panaszok stb..

Az SBS panaszokat és a lehetséges okokat a 9. táblázat tartalmazza.

| SBS panaszok  | Lehetséges okok  |
|---|--|
| Huzatérzet<br>Megfázás<br>Reuma                             | magas levegő sebesség<br>magas turbulencia fok<br>rossz levegővezetés, alacsony szellőző levegő hőmérséklet  |
| Szárazságérzet, inger (szem, nyálkahártya)                  | mikrobiológiai szennyezők (penész)<br>por, atka  |
| Láz<br>Légzési panaszok<br>Ízületi panaszok                 | mikrobiológiai szennyezők a nedvesítő kamrából   |
| Fáradtság<br>Koncentrációs zavarok<br>Kábultság<br>Fejfájás | az ember hőegyensúlyának zavara<br>$t > 23^{\circ}\text{C}$<br>nedvességtartalom növekedés<br>ablakszellőzés nem lehetséges<br>alacsonyfrekvenciás zaj (* 100 Hz)<br>allergének<br>kevés frisslevegő |
| Termikus diszkomfort<br>(huzatérzeten kívül)                | napárnyékolás hiányzik<br>túl nagy ablakfelület<br>falak kicsi hőtárolása<br>klímaberendezés teljesítménye, szabályozása, üzemeltetése   |
| Rossz levegőminőség   | klímaberendezés szennyező hatása<br>szűrő, nedvesítő<br>kevés frisslevegő<br>levegő visszakeverése   |

**9. táblázat: SBS panaszok és lehetséges okok**

Az okok között gyakran szerepel a nem megfelelő hőérzet, levegőminőség. A hőérzeten belül elsősorban a nagy üvegfelületek miatti aszimmetrikus sugárzást, a levegőminőség témakörén belül a nem megfelelő frisslevegő-ellátást kell említenünk. Ezekkel a kérdésekkel az építésügyi műszaki irányelv részletesen foglalkozik. A panaszok okaként szintén gyakori a magas turbulenciafok, amely alacsony levegő-átlagsebesség esetén is előállhat.

A zajhatások a klímatechnikai rendszer nem megfelelő tervezésére vagy kivitelezésére vezethetők vissza. Megfelelő zajcsillapítás esetén - amikor a dB(A) határértéket betartjuk - az alacsony frekvenciás zajok (< 100 Hz) okozhatnak irodahelyiségekben fejfájást, fáradtságérzetet.

A klímaberendezéssel kapcsolatban a mikrobiológiai okok sokszor a nem megfelelő levegőnedvesítésre vezethetők vissza. Az adiabatikus nedvesítő kamrák helyett javasolt gőz levegőnedvesítőt alkalmazni. Ott, ahol ez nem megoldható, a nedvesítő kamra tisztántartása szükséges. Mikrobiológiai szennyezőanyag források lehetnek a szűrők, a légcsatorna.

Az épülettel és a klímaberendezéssel kapcsolatban megfogalmazott követelményeket a 10. táblázat foglalja össze.

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| Épület                        | klímaberendezés nélkül is használható nyitható ablak (min. 1 db helyiségenként)<br>nincs ablak nélküli helyiség<br>nagyteres irodák mellőzése<br>nagyobb belmagasság<br>üvegezési arány < 50%<br>külső napárnyékolás<br>falak nagy hőtároló képessége<br>épület tájolása<br>építőanyagok megválasztása (BLM)<br>megfelelő világítás (természetes fény spektrum) |
| Klímarendszer kialakítása     | hőmérsékletállandóság a térben (22°C +/- 1°C)<br>levegősebesség < 0,15 m/s<br>turbulenciaszegény levegőbevezetés<br>alacsonyfrekvenciás zajok (10-100 Hz) < 50 dB(C)<br>elektrofilter a mechanikus szűrő helyett<br>légcsatornák tisztíthatósága<br>rekuperatív hővisszanyerés a levegő visszakeverés helyett   |
| Klímaberendezés üzeme         | helyi hőmérsékletszabályozási lehetőség<br>helyi kikapcsolási lehetőség az ablaknyílásnál   |
| Klímaberendezés karbantartása | › a szellőzőlevegő légcsatornák rendszeres tisztítása<br>› a nedvesítőkamra mikrobiológiai tisztítása<br>› a komfortfeltételek ellenőrzése méréssel (hőmérséklet, nedvesség, levegősebesség, zaj)<br>› karbantartási szerződés a gyártóval  |

10. táblázat: Lehetőségek az SBS panaszok elkerülésére

### 3.2.5. A szennyezőanyagok koncentrációja

A komforttér levegőjében a levegőminőséget befolyásoló szennyezőanyagok nagyrészt gáz halmazállapotúak (kivéve porok, aeroszolok, baktériumok stb.). A levegő ideális gázkeverék, amelyben tökéletesen keveredik a gáz halmazállapotú levegőszennyező anyag.

#### A gázkoncentráció mértékegységei

A gázkeverékben az egyes alkotók koncentrációja különböző módon fejezhető ki, annak függvényében, hogy tömegük vagy térfogatuk ismert:

a) térfogat-térfogatra vonatkoztatott koncentráció

$$k_{t,t} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3}, \frac{\text{cm}^3}{\text{cm}^3} \right]$$

külföldön használatos mértékegység az 1 ppm (Parts pro Millionen)  $1 \text{ ppm} = 1 \text{ cm}^3/\text{m}^3$

A térfogat-százalékos érték

$$k_{t,t\%} = 100 \cdot k_{t,t} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3} \right]$$

$0,1 \text{ tf\%} = 1\,000 \text{ ppm}$

b) tömeg-térfogatra vonatkoztatott koncentráció

$$k_{s,t} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right]$$

c) tömeg-tömegre vonatkoztatott koncentráció

$$k_{s,s} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{kg}}, \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right]$$

A tömegszázalékos érték:  $k_{s,s\%} = 100 k_{s,s} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \right]$

Az átszámítás módja:

$$k_{s,s} = \frac{k_{s,t} (\text{kg}/\text{m}^3)}{\rho (\text{kg}/\text{m}^3)} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \right]$$

d) darab-térfogatra vonatkoztatott koncentráció

$$k_{db,t} \left[ \frac{\text{db}}{\text{m}^3} \right]$$

Por, valamint aerosol részecske koncentrációjának értékelésére használjuk.

A levegő is ideális gázok keveréke, az alkotók részarányát a 11. táblázat tartalmazza.

| Gáz         | Kémiai jel      | M ; %   | V ; %    |
|-------------|-----------------|---------|----------|
| Oxigén      | O <sub>2</sub>  | 23,01   | 20,93    |
| Nitrogén    | N <sub>2</sub>  | 75,51   | 78,10    |
| Argon       | Ar              | 1,286   | 0,9325   |
| Szén-dioxid | CO <sub>2</sub> | 0,04    | 0,03     |
| Hidrogén    | H <sub>2</sub>  | 0,001   | 0,01     |
| Neon        | Ne              | 0,0012  | 0,0018   |
| Helium      | He              | 0,00007 | 0,0005   |
| Kripton     | Kr              | 0,0003  | 0,0001   |
| Xenon       | Xe              | 0,00004 | 0,000009 |

**MEGJEGYZÉS:** M - tömegszázalék  
V - térfogatszázalék

11. táblázat: A száraz levegő összetétele

### Az ideális gázok állapotegyenletei

A gázok azon jellemzőit, amelyek alapján a rendszer körülményei azonosíthatók és reprodukálhatók, állapotjelzőknek nevezzük.

Azokat az állapotjelzőket, amelyeknek az egész rendszerre vonatkozó értéke az egyes rendszerelemekre meghatározott értékek összegével egyenlő, extenzív állapotjelzőnek nevezzük. Extenzív állapotjelző például a térfogat, tömeg, energia. Az intenzív állapotjelző értéke a rendszer egészére és részeire vonatkozóan egyenlő. Intenzív állapotjelző a hőmérséklet, nyomás, fajtérfogat, entalpia. Az állapotjelzők további sajátossága, hogy értékük csak a közeg adott állapotától függ és ugyanakkor független az előzetesen megtett állapotváltozások sorozatából.

A két állapotegyenletből kifejezhető a gáz két különböző állapotára vonatkozóan:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Különböző gázok molnyi mennyiségét vizsgálva a  $pV/T$  hányados azonos, értéke az univerzális gázállandó:

$$R_u = \frac{p \cdot V_{mol}}{T} = 8315 \frac{J}{kmol \cdot K}$$



Valamennyi gáz esetén meghatározható a molekulásúly (M) ismeretében a specifikus gázállandó:

$$R = \frac{R_u}{M} \quad \left[ \frac{J}{kg \cdot K} \right]$$

Különböző gázok molekulásúlyát és gázállandóját a 12. táblázat tartalmazza.

| Anyag        | Kémiai jel                                    | Molekulásúly<br>kg/kmol | Gázállandó<br>J/kgK |
|--------------|---|-------------------------|---------------------|
| Acetilén     | C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>                 | 26,038                  | 319,5               |
| Ammónia      | NH <sub>3</sub>                               | 17,03                   | 488,2               |
| Argon        | Ar  | 39,948                  | 208,2               |
| Bután        | C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>                | 58,12                   | 143,07              |
| Etán         | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>                 | 30,07                   | 276,5               |
| Etilén       | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>                 | 28,054                  | 296,6               |
| Fluor        | F <sub>2</sub>                                | 37,996                  | 218,8               |
| Foszgén      | COCl <sub>2</sub>                             | 98,92                   | 84,1                |
| Freon-11     | CCl <sub>3</sub> F                            | 137,38                  | 60,5                |
| Freon-12     | CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>               | 120,92                  | 68,7                |
| Freon-21     | CHCl <sub>3</sub> F                           | 102,93                  | 80,8                |
| Freon-22     | CHClF <sub>2</sub>                            | 86,48                   | 96,2                |
| Freon-113    | C <sub>2</sub> Cl <sub>3</sub> F <sub>3</sub> | 187,39                  | 44,7                |
| Freon-114    | Cl <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>              | 170,94                  | 48,6                |
| Hélium       | He  | 4,0026                  | 2 077,0             |
| Hidrogén     | H <sub>2</sub>                                | 2,0159                  | 4 124,0             |
| Kén-dioxid   | SO <sub>2</sub>                               | 64,06                   | 129,8               |
| Klór         | Cl <sub>2</sub>                               | 70,906                  | 117,3               |
| Levegő       | O <sub>2</sub> +N <sub>2</sub>                | 28,96                   | 287,1               |
| Metán        | CH <sub>4</sub>                               | 16,043                  | 518,3               |
| Metil-klorid | CH <sub>3</sub> Cl                            | 50,488                  | 164,7               |
| Nitrogén     | N <sub>2</sub>                                | 28,0134                 | 296,8               |
| Oxigén       | O <sub>2</sub>                                | 32,00                   | 259,8               |
| Ózon         | O <sub>3</sub>                                | 47,9982                 | 173,2               |
| Propán       | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>                 | 44,097                  | 186,8               |
| Szén-dioxid  | CO <sub>2</sub>                               | 44,01                   | 188,9               |
| Szén-monoxid | CO  | 28,011                  | 296,8               |

12. táblázat: Gázok molekulásúlya és gázállandója

A bevezetett jelölésekkel felírhatjuk a gázkeverék állapotegyenletét tetszőleges "m" tömegre:

$$p \cdot V = m \cdot R_k \cdot T \quad ; \quad R_k = \frac{\sum m_i R_i}{m_k}$$

Összefoglalásként megállapítható, hogy ideális gázok esetében tetszőleges állapotra vonatkozó állapotjelzőkre felírva fennáll az alábbi összefüggés:

$$\frac{p \cdot v}{R \cdot T} = 1$$

A valóságos gázok esetében kismértékű eltérés tapasztalható az egységtől. Az eltérés függ a gáz fajtájától és nyomásától. A komforttartományban jól használhatók az ideális gázok és gázkeverékek állapotegyenletei.

### 3.2.6. Élettani és higiéniai alapok

A komfortterekben tartózkodó ember metabolizmusának (anyagcsere) feltétele a szervezet oxigén felvétele és széndioxid leadása. A kilélegzett levegőben a széndioxid tartalom nagyobb, mint a külső levegőben. Emiatt a zárt tér szén-dioxid koncentrációja növekszik. Ebben a fejezetben a légzés folyamatát röviden áttekintve az ember szén-dioxid kibocsátását és a szén-dioxid-koncentráció élettani hatását foglaljuk össze.

#### A légzés folyamata, O<sub>2</sub> felvétel, CO<sub>2</sub> leadás

A légzés során a levegő a felső légutakon, majd az alsó légutakon keresztül jut a tüdőbe. A tüdő két tüdőfélből áll, a jobboldali tüdőfélből három, a bal oldali tüdőfélből kettő tüdőleány található. A felső légút részei az orr-, illetve szájüreg, a garat és a gége. Nyugodt légzés során csukott szájjal lélegzünk, fokozott légzés során a belélegzett levegő a nyitott szájon át is a garatba juthat. A felső légutak a belélegzett levegőt megszűrik. A nagyobb szennyeződések az orrlyuk szőrszálain rakódnak le, a kisebbeket ( $d > 10 \mu\text{m}$ ) pedig az orrnyálkahártyája köti meg. A még kisebb részecskék ( $2 \mu\text{m} < d < 10 \mu\text{m}$ ) pedig a garat, gége és a légcső (trachea) nyálkahártyájában tapadnak meg. A felső légutak további feladata a belélegzett levegő megfelelő hőmérsékletének és nedvességtartalmának biztosítása.

A légzési folyamat során a mellkas térfogata megváltozik a légzőizmok hatására. A tüdő mozgása passzívan követi a mellkas térfogatváltozását.

Az oxigénfelvétel a tüdő léghólyagocskáiban (alveolusaiban) történik. Nyugodt légzés esetén a légzési levegő térfogata (respiratio) kb. 500 ml. Percenként az átlagos légzésszám 14-18. Így a légzési perctérfogat (1 perc alatt belélegzett levegő) értéke 7-9 l. Az alveolusok átmérője 150-300  $\mu\text{m}$ , darabszámuk 300 millió és a légzőhólyagocskák összfelülete így 70-80  $\text{m}^2$ .

Az oxigén felvétele és szállítása két módon történik:

- ▶ oldódás a vérben

$$P_{\text{O}_2 \text{ foly}} <> P_{\text{O}_2 \text{ levegő}}$$

- ▶ haemoglobin oxigénfelvétele során.

A tüdőből a vér szállítja az oxigént a szövetekbe, illetve a szén-dioxidot vissza. Az oxigén a parciális nyomáskülönbségnek megfelelően az alveolaris térből ( $p_{\text{O}_2} = 13,3 \text{ kPa}$ ) a tüdő kapillárisokban áramló vénás jellegű vérbe ( $p_{\text{O}_2} = 5,3 \text{ kPa}$ ) diffundál.

A szén-dioxid felvétele és szállítása szintén két módon történik:

- ▶ oldódás a vérben

$$p_{\text{CO}_2 \text{ foly}} < > p_{\text{CO}_2 \text{ levegő}}$$

- ▶ kémiai kötés.

A tüdőbe érkező vénás vérben a szén-dioxid parciális nyomása 6,1 kPa, az alveolaris levegőben a szén-dioxid parciális nyomása 5,3 kPa. A diffúziós állandó értéke 3 000 ml/min kPa.

A vérben a szén-dioxid részaránya szintén nagyobb, mint a diffúzió folyamat alapján számolható. Ennek oka, hogy az izommunka során a szövetekben keletkezett szén-dioxid a vörös vérsejtekbe diffundál.

Az ember CO<sub>2</sub> kibocsátására vonatkozó adatokat a 13. táblázat tartalmazza

| Tevékenység             | $\Sigma \dot{Q}$<br>W/fő | légzési $\dot{V}$<br>m <sup>3</sup> /h | $\dot{K}_{\text{CO}_2}$<br>l/h | O <sub>2</sub> fogy.<br>l/h |
|-------------------------|--------------------------|--|--------------------------------|-----------------------------|
| Nyugalmi állapot        | -                        | 0,3                                    | 12                             | 14                          |
| I. ülés, olvasás        | 120                      | 0,375                                  | 15                             | 18                          |
| II. nagyon könnyű munka | 150                      | 0,575                                  | 23                             | 27                          |
| III. könnyű munka       | 190                      | 0,75                                   | 30                             | 35                          |
| IV. nehéz munka         | >270                     | >0,75                                  | >30                            | >35                         |

13. táblázat: Az ember szén-dioxid termelése

### 3.2.7. A CO<sub>2</sub> koncentráció hatása az ember közérzetére

Max von Pettenkofer a XIX. század közepén vizsgálta higiéniai szempontból a komfortterek levegőjét. Az 1858-ban megjelent publikációjában a belsőlevegő minőségét a levegő CO<sub>2</sub> tartalma alapján értékelte. Kimutatta, hogy a lakások, iskolák, előadótermek levegőjének összetétele eltér a külsőlevegő összetételétől. A külső levegőben a szén-dioxid-koncentráció 0,03-0,04 tf% (300-400 ppm). A lakásokban 0,09 tf%, míg előadóterekben lényegesen magasabb értékeket mért. Megállapította, hogy 0,1 tf% (1 000 ppm) maximális CO<sub>2</sub> tartalom a "jó levegő" kritériuma, amelyet Pettenkofer-számnak nevez a szakirodalom.

Kutatók vizsgálták a levegő CO<sub>2</sub> koncentrációjának a hatását az emberre. A jellemző értékeket a 13. a. táblázat tartalmazza.

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| 0,1 tf% 1 000 ppm           | Pettenkofer-szám                          |
| 2,5 tf% 25 000 ppm          | nincs még hatás                           |
| 3 tf% 30 000 ppm            | erős mély légzés                          |
| 4 tf% 40 000 ppm            | szédülésérzetet, pszichikai izgalmat okoz |
| 5 tf% 50 000 ppm            | 0,5-1 órán át halált okozhat              |
| 8-10 tf% 80 000-100 000 ppm | azonnali halál                            |

13.a. táblázat: CO<sub>2</sub> hatása az emberekre

A munkahelyeken megengedett CO<sub>2</sub> koncentráció:

9 000 mg/m<sup>3</sup> (~4 370 ppm) a kémiai kóroki tényezők hatásának kitett munkavállalók egészségének és biztonságának védelméről szóló 5/2020. (II. 6.) ITM rendelet szerint, megengedett átlagos koncentráció

5 000 ppm MAK érték

A belélegzett levegő CO<sub>2</sub> tartalmának hatását a légzési folyamatra a 14. táblázat szemlélteti.

| Belélegzett levegő CO <sub>2</sub> tf% | Respirációs levegő milliliter | Légzésszám 1/min | Légzési perctérfogat liter |
|--|-------------------------------|------------------|----------------------------|
| 0,03                                   | 440                           | 16               | 7                          |
| 1                                      | 500                           | 16               | 8                          |
| 2                                      | 560                           | 16               | 9                          |
| 5                                      | 1300                          | 20               | 26                         |
| 10,4                                   | 2500                          | 35               | 76                         |

14. táblázat: A CO<sub>2</sub> koncentráció hatása a légzési folyamatra

### 3.2.8. A légzés frisslevegő igénye

Különböző jellegű munkavégzés esetén szükséges frisslevegőigényt a 15. táblázat tartalmazza.

| Tevékenységi szint      | Q<br>W/fő | Külső CO <sub>2</sub> koncentráció tf% |      |      |
|-------------------------|-----------|--|------|------|
|                         |           | 0,03                                   | 0,04 | 0,05 |
| I. ülés, olvasás        | 120       | 13                                     | 14   | 15   |
| II. nagyon könnyű munka | 150       | 19                                     | 21   | 23   |
| III. könnyű munka       | 190       | 25                                     | 27   | 30   |

15. táblázat: Frisslevegő igény (m<sup>3</sup>/h, fő)

A hazai MSZ 04-135-1:1982 szabvány (visszavont) szerinti kötelező frisslevegőigény:

20 m<sup>3</sup>/h,fő dohányzás nélkül

30 m<sup>3</sup>/h,fő dohányzás esetén

A később megjelent MSZ 21875-2:1990 szabvány a frisslevegőigényt pontosítja a munkavégzés jellege alapján: szellemi munka és könnyű fizikai munka 30 m<sup>3</sup>/h,fő ; közepesen nehéz fizikai munka 40 m<sup>3</sup>/h,fő; nehéz fizikai munka 50 m<sup>3</sup>/h,fő.

A németországi előírások a fejadag mellett figyelembe veszik az egy főre jutó fajlagos alapterületet is (16. táblázat).

| Térfajta               | Példa                                       | Fejadag szerint<br>m <sup>3</sup> /h | Alapterület szerint<br>m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ,h |
|------------------------|---|--------------------------------------|--|
| Munkatér               | Kisterű iroda<br>Nagyterű iroda             | 40<br>60                             | 4<br>6   |
| Rendezvényterek        | Koncertterem<br>Színház<br>Konferenciaterem | 20                                   | 10-20  |
| Oktatási terek         | Olvasóterem<br>Osztályterem<br>Előadóterem  | 20<br>30                             | 12<br>15   |
| Közönségforgalmi terek | Előadótér<br>Vendéglő                       | 30<br>20                             | 3-12<br>8  |

16. táblázat: Fajlagos frisslevegőigény a DIN 1946/2 szerint

A fenti értékekből számított frisslevegőigény közül mindig a nagyobbat kell választani.

Az MSZ EN 16798-1:2019 a frisslevegőigényt a létszám, valamint az épület levegőminőségi szennyezettsége alapján határozza meg. Komfortkategóriákat különböztet meg: I. – IV. kategóriákat értelmeg. Csak a létszám alapján adódó frisslevegőigény a fenti értékeknél kisebb is lehet (14,4- 40,5 m<sup>3</sup>/h, fő), azonban ez kiegészül az alapterület alapján számolható frisslevegőigénnyel. Részletesen a 4.2.2. fejezetben található.

### 3.2.9. A szagérzékelés, olfaktometria

Az ember a környezeti hatásokat érzékszerveivel érzékeli, ezek egyike a szagok felismerése és minősítése. A belsőlevegő-minőség, a különböző levegőszennyező anyagok, elsősorban a szagló érzékszerven keresztül hatnak az emberre, de további hatás a szemben (pl. könnyezés) és a bőrön keresztül is jelentkezhet. A szagérzet vizsgálatával és mérésével foglalkozó tudományterület az olfaktometria.

A szaglóérzékelő receptorok tulajdonsága, hogy az állandó szagintenzitáshoz alkalmazkodnak. Hosszabb érzékelési időtartam után az érzetintenzitás lecsökken. Egy állandó ingererősség (szagkoncentráció) mellett, meghatározott idő után beáll egy állandó érzetintenzitás. Ezt a folyamatot adaptációnak nevezzük.

### 3.2.10. Az olfaktometria alaptörvényei

Az olfaktometria az ember esetében a szaghozó gázok által kiváltott érzékszervi hatások vizsgálatával és mérésével foglalkozik. A szagérzékelő receptorok alakítják át a szaginger idegrendszeri érzetté. A szaginger és az idegrendszerben keletkező érzet között nem lineáris a kapcsolat. A XIX. század közepén Weber vizsgálataival igazolta, hogy az ingernövekedés ( $\Delta R$ ) miatt bekövetkező ingererősség ( $R$ ) közötti kapcsolat az alábbi módon írható le:

$$\frac{\Delta R}{R} = C$$

A "C" hányados (Weber hányados) értéke 0,07 és 0,12 között van. Ez annyit jelent, hogy minimálisan 7-12% ingernövekedés szükséges ahhoz, hogy érzékelhető ingererősség jöjjön létre.

Fechner integrálta a Weber-hányadost. A Weber-Fechner törvény értelmében:

$$I = k \cdot \log \frac{R}{R_0}$$

ahol: k- Weber-Fechner konstans

Stevens kutatásai alapján arra a következtetésre jutott, hogy az ingererősség és az érzetintenzitás közti kapcsolatot a hatványfüggvény jobban leírja:

$$I = k \cdot R^n$$

ahol: „n” - ingerspecifikus kitevő (n < 1)

### 3.2.11. Az olfaktometria alaptörvényének alkalmazása

A Stevens-törvény alapján a különböző "szagos" gázok esetében az olfaktometrikus érzetintenzitás kifejezhető a gázkoncentrációval:

$$I = k \cdot c^n$$

Az exponenciális kitevő értéke kisebb egynél. Cain és Miskowitz kutatásai alapján (1974) a kitevő értéke különböző gázok esetében 0,2 és 0,7 között változik.

A szagérzet értékeléséhez szubjektív szagérzeti skálát vezettek be. Az egyes kategóriák megkülönböztethető számokkal vagy szavakkal. A 17. táblázat az ASHRAE publikált szubjektív skáláit tartalmazza.

| Számokkal jelölve |           | Szóval jelölve   |                      |
|-------------------|-----------|------------------|----------------------|
| Skála I.          | Skála II. | Skála I.         | Skála II.            |
| 0                 | 0         | semmilyen        | egyáltalán semmilyen |
| 1                 | 1         | érezélesi küszöb | éppen érzékelhető    |
| 2                 | 2,5       | nagyon gyenge    | nagyon enyhe         |
| 3                 | 5         | gyenge           | enyhe                |
| 4                 | 7,5       | gyenge-mérsékelt | enyhe-érezhető       |
| 5                 | 10        | mérsékelt        | érezhető             |
| 6                 | 12,5      | mérsékelt-erős   | érezhető-erős        |
| 7                 | 15        | erős             | erős                 |

17. táblázat: ASHRAE-féle szubjektív szagérzeti skálák

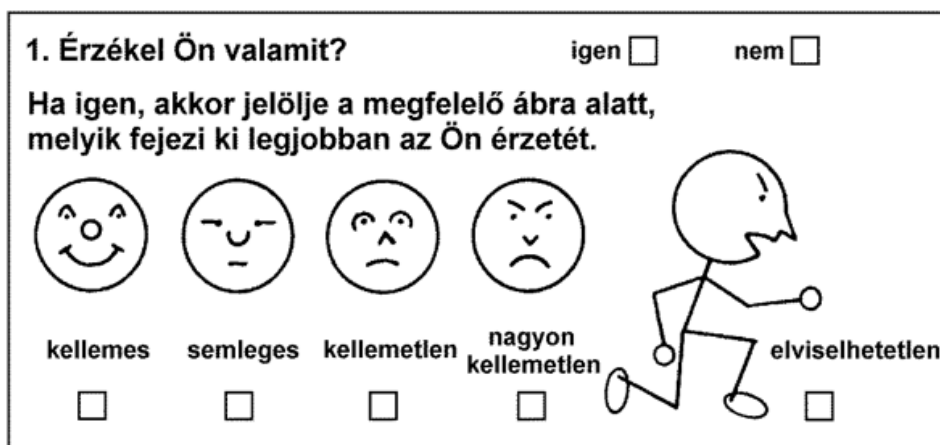
A szagegység jelölése angol, illetve német nyelvterületen

1 OU (Odor Units)

1 GE (Geruchseinheit)

A szagok elfogadhatóságának értékelésére használható a szagintenzitás vagy a szubjektív skálák. A szagok nem mindenkor okoznak kedvező hatást. Az elfogadottság értékelésére alkalmazható az ASHRAE

Hedonic-skála a 6. ábra szerint. A feltett kérdések és kategóriák negatív és pozitív értékelést is tartalmazhatnak a Hedonic-skála szerint. Az eljárást a levegőminőség értékelésén kívül alkalmazzák különböző termékek szaghatásának értékelésénél is, például a parfümök esetében.



6. ábra: Hedonic-skála az emberekkel történő szag-vizsgálathoz

Többek között német műszaki előírásokban (VDI Richtlinien) találkozhatunk még a szaganyag koncentráció, a szagszint és a szagszökkentési fok értelmezésével.

Szaganyag-koncentráció (k):

A mérendő gázt a szaglási küszöb eléréséig hígítva semleges levegőben kapjuk a szaganyag-koncentráció számértékét:

$$K = \frac{\dot{V}_P + \dot{V}_N}{\dot{V}_P} \quad (\text{GE}/\text{m}^3)$$

$$\dot{V}_P ; \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] \quad : \text{ a mérendő gáz térfogatárama}$$

$$\dot{V}_N ; \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] \quad : \text{ a semleges levegő térfogatárama}$$

Szagszint ( $L_G$ ):

Értelmezése analóg módon történik az akusztikában tanultakkal:

$$L_G = 10 \cdot \lg \cdot \frac{k}{k_0} ; \quad [\text{dB}_G]$$

Szagáram ( $q_G$ ):

$$q_G = k \cdot v \cdot A = k \cdot V ; \quad \left[ \frac{\text{GE}}{\text{s}} \right]$$

$$\dot{V} ; \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] ; \quad \text{a szaghozó gáz térfogatárama}$$

Szagcsökkentési fok ( $\eta_G$ )

$$\eta_G = \frac{q_{G1} - q_{G2}}{q_{G1}}$$

Az indexek jelentése:

1. leválasztó, szűrő előtti érték
2. leválasztó, szűrő utáni érték

Szintén német műszaki irányelvek tartalmaznak előírásokat és módszert a szag értékelésére, meghatározására. A mérés során a szaganyag-koncentráció értékét határozzák meg  $\text{GE}/\text{m}^3$  egységben. A mérés során a mintavételezés során nyert szagmintát hígítják semleges levegőben.

### 3.2.12. Levegőszennyező anyagok a komforttérben

A belsőlevegő-minőséget több száz levegőszennyező anyag befolyásolja, közülük a legjellemzőbbek:

- ▶ szén-dioxid,
- ▶ formaldehid (HCHO),

A formaldehid illékony szerves vegyület, vízben jól oldódik, egészségre káros hatású. Színtelen, szúrós szagú gáz, a természetben minden élő sejt termeli. Az egyik legjelentősebb vegyipari alapanyag. Az EU 1985-ben kiadott irányelveiben rákkeltő hatású vegyületnek minősítette. A formaldehid széles körben elterjedt, szinte valamennyi iparág alkalmazza.

- ▶ illékony szerves anyagok (VOC),

A szennyezőanyagok ezen csoportja a formaldehid kivételével az összes többi illékony szerves anyag gázokat tartalmazza. Elsősorban a mesterséges építészeti anyagok, bútorok és berendezési tárgyak bocsátják ki. Közös elnevezésük az angol nyelvű szakirodalomban: volatile organic compounds (VOC). Együttes koncentrációjuk: total volatile organic compounds (TVOC).

Néhány jellemző VOC vegyületfajta: toluol, butadién, tetraklór-etilén, kloroform, metil-klorid stb. Illékony szerves anyagokra és egyéb más vegyületekre vonatkozóan a kémiai kóroki tényezők hatásának kitett munkavállalók egészségének és biztonságának védelméről szóló 5/2020. (II. 6.) ITM rendelet tartalmaz határértékeket, azonban azok előírásai munkahelyekre vonatkoznak.

- ▶ radon,

Az építőanyagok és a talaj az elsődleges forrásai a radioaktív bomlástermékeknek és a sugárzásnak.

A sugárzás aktivitása az időegység alatt (1 másodperc) átalakuló atommagok számát jelenti, mértékegysége: 1 Bq (Bequerel).



Az energiadózis az abszorbeált sugárzási energia és a tömeg hányadosaként határozható meg, mértékegysége: 1 Gy (Gray).

Az emberi test sugárterhelésének a megítélése történhet az egyenértékű sugárzási dózis alapján, mértékegysége: 1 Sv (Sievert)

$$1 \text{ Sv} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

A sugárterhelés megítélésére bevezetett további egység: 1 WL (Working-level) (1 WL radon munkaszintnek 3 700 Bq/m<sup>3</sup> koncentráció a megfelelője).

Az elmúlt években került a kutatások középpontjába a gáz halmazállapotú radon (Rn-222)  $\alpha$ - részecske kisugárzása miatt.

A radioaktív elemek az átalakuláskor viszonylag kis áthatoló képességű alfa- és béta-részecskéket, valamint nagy áthatoló képességű gamma-sugarakat bocsátanak ki.

A biológiai és fizikai hatása alapján a természetes sugárzó anyagok veszélyessége:

|               |                 |
|---------------|-----------------|
| nagyon magas: | rádium (Ra-226) |
| magas:        | bizmut (Bi-210) |
| közepes:      | radon (Rn-222)  |
| alacsony:     | urán (U-238)    |

► dohányfüst,

A dohányfüsttel ezernél több szennyezőanyag komponens jut a levegőbe, köztük: szén-dioxid, hamu részecskék, nikotin.

A dohányfüst ingerli a szemet, orrot és a betegségeknel rizikófaktor. A krónikus hatások kialakulásánál döntő szerepe van az expozíciós időnek. Vizsgálatok igazolták rákkeltő hatását és mint szívinfarktus rizikófaktor.

A dohányzás jelentősen (2-6 szorosára) megnöveli az érzékelhető szennyeződésterhelést. A cigarettázás levegőminőségrontó hatása csak a légcsereszám jelentős növelésével ellensúlyozható. Külföldi vizsgálati eredmények alapján az ingerhatás megszüntetése elszívott cigarettánként 100 m<sup>3</sup> frisslevegő bevezetését igényli. Ez annyit jelent, hogy ha a helyiségben 50%-os dohányzó részarányt, óránként 2 db elszívott cigarettát feltételezünk, abban az esetben a szükséges frisslevegőigény 100 m<sup>3</sup>/h, fő.

► nitrogén-oxidok,

A nitrogén-oxidok magas hőmérsékletű égésnél keletkeznek. Az ember nyálkahártyáján oldódik, izgatja, a vérbe felszívódva a haemoglobinban a vasat oxidálja és így a szervezet oxigénfelvételét akadályozza.

- ▶ azbeszt,

Az azbeszt gyűjtőneve a természetes szilikátszálaknak. Megkülönböztetjük a fehér, a barna és a kék azbesztet. Az azbesztszálak jellemző átmérője 0,05-0,1  $\mu\text{m}$ . Az emberi haj átlagos átmérője 40  $\mu\text{m}$ . Az épületeknél korábban széles körben alkalmazták szilárdság és kopásállóság növelő hatása miatt pl.: azbesztcement, eternit lemezek, azbeszt cementcső, padlóburkoló anyagok, szigetelőanyagok stb.

A levegőbe került azbesztszálak a légzés útján juthatnak a tüdőbe és lerakódhatnak. Hosszabb idő után tüdőelváltozást, tüdő daganatot (Pleura daganat) okozhatnak.

- ▶ porok,

A por apró, tetszőleges alakú, sűrűségű szilárd, vagy cseppfolyós részecskékből álló ún. diszpergált anyag, amely az összefüggő teret kitöltő gázfázisú diszperziós közeggel együtt egy kétfázisú diszperz-rendszert alkot.

### 3.2.13. A belsőlevegő-minőség értékelése

A belsőlevegő-minősége megítélhető a levegőben lévő szennyezőanyagok szelektív értékelése és együttes hatásuk alapján. A szelektív minősítés során adott gáz koncentrációját az egészségügyi követelménnyel (határértékkel) kell összevetni. Mint a korábbi fejezetekben már említettük, a nemzetközi gyakorlatban alkalmazott normaértékeket vehetjük alapul.

A komforttér levegőjében lévő szennyezőanyagok hatásának együttes értékeléséhez Fanger professzor dolgozott ki módszert, amely segítségével megítélhető az érzékelhető belsőlevegő-minőség az olf-decipol rendszerben. A két eltérő minősítési mód jelölésrendszere is különbözik.

Az alkalmazott jelölések:

- $c_b$ ; dp- az érzékelhető belsőlevegő-minőség a tartózkodási zónában
- $c_{sz}$ ; dp- az érzékelhető szellőző levegő-minőség
- $c_t$ ; dp- az érzékelhető távozó levegő-minőség
- G; olf- az érzékelhető szennyezőanyag terhelés
- $k_b$ ;  $\text{mg}/\text{m}^3$ - adott szennyezőanyag koncentrációja a tartózkodási zónában
- $k_{sz}$ ;  $\text{mg}/\text{m}^3$ - adott szennyezőanyag koncentrációja a szellőző levegőben
- $k_t$ ;  $\text{mg}/\text{m}^3$  - adott szennyezőanyag koncentrációja a távozó levegőben
- K;  $\text{mg}/\text{h}$ - adott szennyezőanyag forráserevése a belső térben

### Az érzékelhető belsőlevegő-minőség alapjai

A definíció értelmében a belsőlevegő-minőség magába foglalja a komforttér levegőjének minden olyan nem termikus jellemzőjét, amely az ember közérzetét befolyásolja. A témakör kutatásával már a XIX. században foglalkoztak.

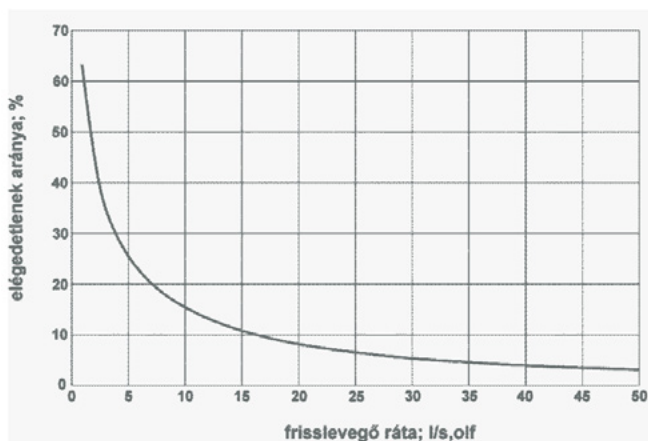
A belsőlevegő-minőség témakörét Max von Pettenkofer vizsgálta a XIX. század közepén. A "Münchner medizinische Wochenschrift" orvosi folyóirat elődjében 1858-ban publikálta kutatásainak eredményeit. Vizsgálatai során megállapította, hogy a lakások, iskolák, előadótermek és más komfortterek levegőjének összetétele eltér az atmoszférikus levegő összetételétől. "Idegen" anyagok keverednek a levegőbe, illetve egyes alkotók aránya megváltozik. Mérései alapján megállapította, hogy a szén-dioxid aránya jelentősen növekszik.

A külsőlevegőben 500 ppm koncentrációt mért, s ezzel szemben a lakásokban, előadóterekben 900 ppm, vagy ennél is magasabb értékek voltak a jellemzők. Ő állapította meg, hogy a jó levegőminőség feltétele, hogy a szén-dioxid-koncentráció ne legyen nagyobb 1000 ppm-nél, amelyet ma is Pettenkofer-számként tart nyilván a nemzetközi szakirodalom.

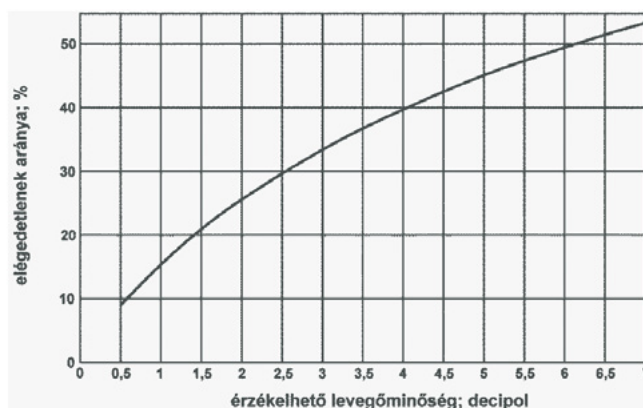
Fanger kutatási eredmények alapján vezette be a szennyezőanyag forrás erőssége (1 olf) és a belsőlevegő-minőség (1 decipol) új egységeit.

### A belsőlevegő-minőséggel elégedetlenek aránya

Az olf-decipol rendszer bevezetése után az elégedetlenek százalékos aránya kifejezhető volt a fajlagos frisslevegő ráta (7. ábra) és az érzékelhető belsőlevegő-minőség (8. ábra) függvényében.



7. ábra: Az érzékelhető levegőminőséggel elégedetlenek aránya különböző frisslevegő rátánál



8. ábra: Az érzékelhető levegőminőséggel elégedetlenek aránya különböző levegőminőségnél

A fajlagos frisslevegő ráta miatt elégedetlenek százalékos arányát kifejező egyenlet:

$$PD = 395 \cdot \exp(-1,83 \cdot \dot{V}^{0,25}); \quad \%$$

ahol:  $\dot{V}$  ; [l/s,olf vagy l/s,fő] fajlagos frisslevegő ráta

Ha l/s,olf, akkor PD = 100%.

Az érzékelhető levegőminőség miatt elégedetlenek arányának regressziós egyenlete:

$$PD = 395 \cdot \exp(-3,25 \cdot c^{-0,25}); \quad \%$$

ahol:  $c$  ; [dp] az érzékelhető levegőminőség

Ha  $c > 31,3$  dp, akkor PD = 100%.

### Az érzékelhető levegőminőség komfortegyenlete

A szellőztetett tér szennyezőanyag mérlegegyenlete alapján a helyiség érzékelhető levegő minősége:

$$c_b = c_k + 10 \cdot \frac{G}{\dot{V}};$$

ahol:  $G$ ; [olf] - a helyiség összes érzékelhető szennyezőanyag forraserőssége (ember, berendezési tárgyak, burkoló anyagok, légtechnikai rendszer)

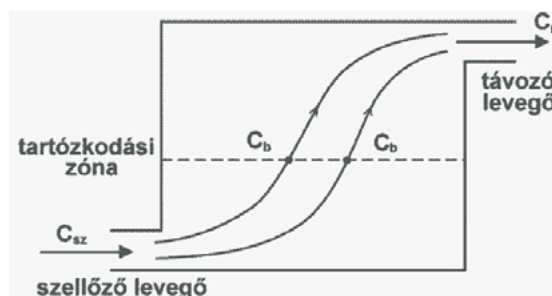
$\dot{V}$  ; [l/s] - frisslevegő térfogatáram

$c_b$ ; [dp] - érzékelhető belseőlevegő-minőség a tartózkodási zónában

$c_k$ ; [dp] - érzékelhető külsőlevegő-minőség

### A kontaminációs fok és a szellőztetés hatásossága

A kontaminációs fok azt fejezi ki, hogy a helyiség adott pontjában milyen mértékben szennyeződött a levegő a szellőző és a távozó levegő szennyezettségét figyelembe véve (9. ábra).



9. ábra: A levegő szennyeződése

A kontaminációs fok számítása:

$$\mu = \frac{c_b - c_{sz}}{c_t - c_{sz}} = \frac{k_b - k_{sz}}{k_t - k_{sz}}$$

A kontaminációs fok reciproka a szellőztetés hatásossága:

$$\varepsilon = \frac{1}{\mu} = \frac{c_t - c_{sz}}{c_b - c_{sz}} = \frac{k_t - k_{sz}}{k_b - k_{sz}}$$

Ideális higításos szellőzés esetében:

$$\mu = \varepsilon = 1$$

Minden más esetben általában:

$$\mu < 1 \text{ és } \varepsilon > 1$$

A levegővezetés módján kívül a szellőző és távozó levegő hőmérséklete is befolyásolja a szellőztetés hatásosságát. Levegőminőségi szempontból az a célszerű, ha a kontaminációs fok minél kisebb, illetve a szellőztetés hatásossága minél nagyobb. Különböző levegővezetés esetére kísérleti úton meghatározott szellőztetés hatásossága az MSZ CR 1752:2000 szabvány F1 táblázata alapján határozható meg.

### A szükséges frisslevegő igény méretezése az érzékelhető belsőlevegő-minőség biztosításához

A komfortegyenlet átrendezése után:

$$\dot{V} = 10 \cdot \frac{G}{(c_b - c_k)}; \quad \text{l/s}$$

A szellőztetés hatásosságát ( $\varepsilon$ ) is figyelembe véve:

$$\dot{V} = 10 \cdot \frac{G}{(c_b - c_k) \cdot \varepsilon}; \quad \text{l/s}$$

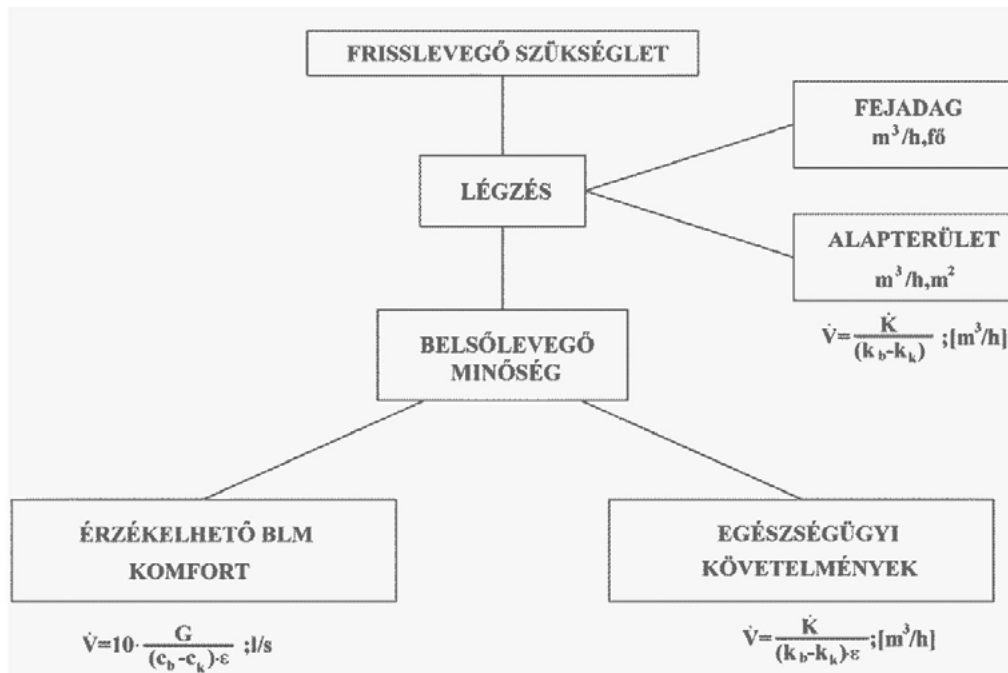
### A szükséges frisslevegő igény méretezése az egészségügyi követelmények alapján

A méretezést adott szennyezőanyag fajtára vonatkozóan végezzük el. A korábban már ismertetett jelölésekkel:

$$\dot{V} = \frac{\dot{K}}{(k_b - k_k) \cdot \varepsilon}; \quad \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$$

ahol:  $\dot{K}$  (mg/h)  
 $k_b, k_k$  (mg/m<sup>3</sup>)

A komfortterekben a nemzetközi szakirodalom, illetve a honosított szabvány szerint javasolt megengedett egészségügyi határértékeket már ismertettük. A méretezés menetét a 10. ábra szemlélteti.



10. ábra: A frisslevegő igény méretezésének blokkvázlata

#### 4. KÖVETELMÉNYRENDSZER

##### 4.1. Hőkomfort

A hőérzeti méretezés módját elsőként megfogalmazó MSZ CR 1752:2000 szabványhoz képest a később közreadott MSZ EN 16798-1:2019 szabványban az jelent újdonságot, hogy megkülönbözteti a gépi szellőzéssel és természetes szellőzéssel rendelkező épületeket a tervezési alapértékek szempontjából. A szabványok mellett a jogszabályi háttér az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról szóló 7/2006 (V. 24.) TNM rendelet tartalmazza, többek között a komfortkövetelményekre vonatkozó előírásokat, számítási módszertant is.

##### 4.1.1. Belső terek méretezési szabványa (MSZ CR 1752:2000)

A méretezendő hőkörnyezet esetében - a követelményértékek "szigorúságának" függvényében - három kategória vehető figyelembe az MSZ CR 1752:2000 szabvány A1 táblázata alapján. A kategóriába sorolás jellemzően beruházási döntés függvénye. A táblázat megadja az egész test hőállapota függvényében a szabvány szerinti A-B-C kategóriákban az elégedetlenek százalékos értékét (PPD) és a várható hőérzeti érték (PMV) tartozó értékeit, valamint az elégedetlenek arányát különböző diszkomfort hatások esetén (huzat/vertikális hőmérsékletkülönbség/meleg vagy hideg padló/sugárzási aszimmetria esetében).

A különböző rendeltetésű épületek, illetve terek tervezési alapértékeit a szabvány 1. táblázata tartalmazza.

#### 4.1.2. Helyi diszkomfort-tényezők

Az elmúlt években bebizonyosodott, hogy egy legkorszerűbb módszerekkel méretezett zárt téren belül is adódhatnak olyan diszkrét pontok, ahol az ott tartózkodó egyénnek hőkomfort panaszai vannak. A panaszok előfordulásának jellegénél fogva ezeket helyi diszkomfort-tényezőknek nevezik. E fogalom alatt azokat a paramétereket értjük, amelyek

- ▶ egy adott zárt térnek csak egyes pontjaiban érvényesülnek,
- ▶ hatásuk általában nem az egész emberi testre, hanem csak annak egyes részeire vonatkozik.

Az emberi hőcsere, szubjektív hőérzet szempontjából jelenleg négy ilyen tényezőt tartunk számon:

- ▶ vertikális hőmérséklet-differencia,
- ▶ hideg- és meleg padlók,
- ▶ aszimmetrikus sugárzás és
- ▶ huzathatás.

#### 4.1.3. Az aszimmetrikus sugárzás

Az aszimmetrikus sugárzáson azt a jelenséget értjük, ha a zárt térben tartózkodó ember egyes testrészei, valamint azok hőmérsékleténél viszonylag magasabb vagy alacsonyabb hőmérsékletű felületek között sugárzásos hőcsere jön létre. Azaz a testrészt hőszugárzás éri, vagy sugárzásos hőleadása van e felületek felé. Ennek egyik gyakori változata, ha a test egyik oldalán magasabb, másik oldalán viszonylag alacsonyabb hőmérsékletű felület helyezkedik el, amelyek közül az egyikből a testet sugárzásos hőnyereség éri, a másik felé viszont ő ad le, gyakran tekintélyes mennyiségű hőt sugárzás útján.

#### 4.1.4. Vertikális hőmérséklet-differencia

A vertikális hőmérséklet-differencia (amennyiben a hőmérséklet felfelé növekszik) helyi diszkomfortot okozhat. Ennek meghatározására alkalmazható az MSZ CR 1752:2000 szabvány A4 diagramja.

Megemlítjük, hogy a vertikális hőmérséklet-differencia szempontjából is alkalmaznak osztályozást a 0,1 és 1,1 m magasságban mért értékekre vonatkoztatva:

| Csoport | Hőmérséklet-differencia |
|---------|-------------------------|
| A       | < 2 °C                  |
| B       | < 3 °C                  |
| C       | < 4 °C                  |

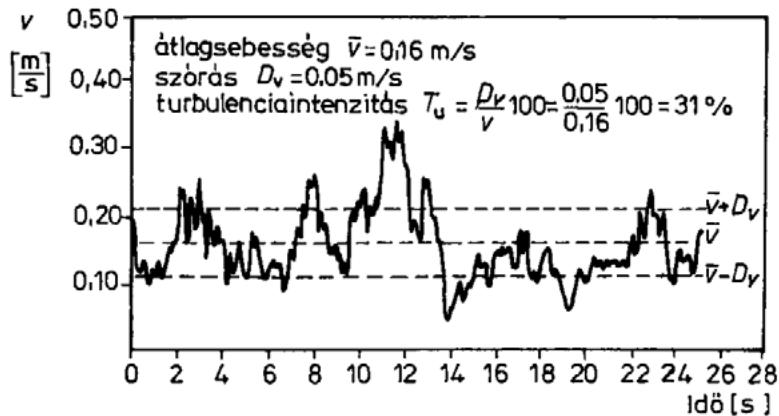
#### 4.1.5. Hideg- és meleg padlók

A hideg- és melegpadlók által okozott diszkomfort érzés várható százalékos aránya a MSZ CR 1752:2000 szabvány A5 diagramjával határozható meg. E helyi diszkomfort-tényező szempontjából a padlók ugyancsak három kategóriába sorolhatók, mégpedig a padló felületi hőmérséklet függvényében:

| Csoport | Felületi hőmérséklet |
|---------|----------------------|
| A       | 19-29 °C             |
| B       | 19-29 °C             |
| C       | 17-31 °C             |

#### 4.1.6. Huzathatás

A huzathatás vonatkozásában a légáramlás jellegének, a turbulenciaintenzitásnak van fontos szerepe. A turbulenciaintenzitás meghatározására a 11. ábra ad felvilágosítást.



11. ábra: Turbulenciaintenzitás meghatározása (eredeti forrás: P. O. Fanger - N. K. Christensen: Perception of draught in ventilated spaces. Ergonomics, 1986; 29:2, pp. 215-235)

Méretezés szempontjából a megengedhető átlagos levegőhőmérséklet a helyi léghőmérséklet és turbulencia intenzitás függvényében az elégedetlenek százalékos értéke meghatározható a következő összefüggésből:

$$DR = (34 - t_i) (v - 0,05)^{0,62} (0,37 v Tu + 3,14)$$

ahol:

$DR$  - a huzattal elégedetlenek százalékos aránya, %

$t_i$  - a helyi levegőhőmérséklet, °C

$v$  - a helyi átlagos légsebesség, m/s

$Tu$  - a helyi turbulenciaintenzitás, %

#### 4.1.7. Sugárzási hőmérsékletaszimmetria

Méretezéskor a sugárzási hőmérsékletaszimmetria okozta PPD érték hideg és meleg mennyezetek és falak esetében a MSZ CR 1752:2000 szabvány A6 diagramja alapján határozható meg. E tényező szempontjából is három kategóriát különböztetnek meg:



| Kategória | Sugárzási hőmérsékletaszimmetria °C |           |                 |           |
|-----------|-------------------------------------|-----------|-----------------|-----------|
|           | meleg mennyezet                     | hideg fal | hideg mennyezet | meleg fal |
| A         | < 5                                 | < 10      | < 14            | < 23      |
| B         | < 5                                 | < 10      | < 14            | < 23      |
| C         | < 7                                 | < 13      | < 18            | < 35      |

#### 4.1.8. A hőkönyezet méretezésének egyes lépései

Az alkalmazott (a szabványban is rögzített) méretezés egyes lépései a következők:

- az aktivitási szint ( $W/m^2$ , illetve met) meghatározása,
- a ruházat szigetelőképességének meghatározása,
- az optimális operatív hőmérsékletek megállapítása,
- a kategóriának megfelelő PPD érték meghatározása,
- a kategóriában előírt megengedett huzatra vonatkozó elégedetlenségi faktor és az átlagos légsebesség meghatározása,
- a megengedhető elégedetlenségi százalék és a maximális vertikális hőmérsékletdifferencia meghatározása,
- a megengedhető elégedetlenségi százalék és a megengedhető padlőhőmérséklet meghatározása,
- a megengedhető elégedetlenségi százalék, illetve a megengedhető sugárzási hőmérsékletaszimmetria meghatározása.

## 4.2. Belsőlevegő-minőség

A belsőlevegő-minőség követelményrendszerét legátfogóbban két uniós honosított irányelv, illetve szabvány tartalmazza:

- ▶ MSZ CR 1752:2000 Épületek szellőztetése. Épületek belső környezetének tervezési alapjai.;
- ▶ MSZ EN 16798-1:2019 Épületek energetikai teljesítőképessége. Épületek szellőztetése. 1. rész: Beltéri bemeneti paraméterek az épületek beltéri levegőminőségéhez, hőmérsékleti, világítási és akusztikai környezetéhez kapcsolódó energetikai teljesítőképességének tervezéséhez és értékeléséhez. M1-6 modul.

### 4.2.1. Az MSZ CR 1752:2000 alapadatai

#### Komfort-kategóriák

Az elégedetlenek aránya alapján különböző komfortfokozatú kategóriákba sorolhatók a terek (A, B, C kategóriák). Az egyes levegőminőségi kategóriákra vonatkozó alapadatokat és az előírt szellőzési arányt az MSZ CR 1752:2000 szabvány A5 táblázata tartalmazza.

A levegőszennyezőanyagok közül a szén-dioxidra vonatkozóan is megállapították az elégedetlenek arányát. Az egyes kategóriákhoz tartozó szén-dioxid-koncentráció értékek:

A kategória: 460 ppm CO<sub>2</sub> tartalom a külsőlevegő értéke felett,

B kategória: 660 ppm CO<sub>2</sub> tartalom a külsőlevegő értéke felett,

C kategória: 1190 ppm CO<sub>2</sub> tartalom a külsőlevegő értéke felett.

A tervezésnél a külsőlevegő CO<sub>2</sub> tartalma 350 ppm (700 mg/m<sup>3</sup>) értékkel vehető figyelembe.

A helyiség szén-dioxid-koncentrációja miatt elégedetlenek százalékos arányát kifejező egyenlet:

$$PD = 395 \cdot \exp(-15,15 \cdot k_{CO_2}^{-0,25}); \quad \%$$

ahol:  $k_{CO_2}$ ; [ppm]- a helyiség CO<sub>2</sub> koncentrációja a külsőlevegő értéke felett.

### Szennyezőanyag-források

A komfortterekben elsősorban a bent tartózkodó személyek, burkolatok, a bútorok, valamint a klímatechnikai rendszerek a szennyezőanyag-források.

A belsőlevegő szennyezőanyag mennyisége a felsoroltakon kívül még más forrásokból is adódhat: pl. szennyezett külső szellőző levegő, belső terekben végzett tevékenység (pl. főzés), egyéb gépészeti berendezés (pl. nyílt égésterű kazán, kandalló), háziállatok (akvárium, kutya, macska, hullók, madarak stb.)- ez utóbbi esetben az allergének is fokozottan jelen vannak a levegőben.

A személyek szennyezőanyag kibocsátása függ a tevékenységi szinttől, a dohányzók arányától.

A személyek érzékelhető szennyezőanyag termelését a tevékenység intenzitásának függvényében az MSZ CR 1752:2000 szabvány A6 táblázata tartalmazza. A méretezésnél a szabvány A7 táblázata alapján figyelembe vehetjük a személyek átlagos helyigényét is.

Az épület, bútor, burkolat és a légtechnikai rendszer okozta szennyezőanyag kibocsátásának meghatározásához MSZ CR 1752:2000 szabvány A8 táblázata tartalmaz adatokat.

Kutatók különböző helyiségtípusoknál vizsgálták az egységnyi alapterületre vonatkoztatott szennyezőanyag terhelést. A 18. táblázat tartalmazza a jellemző átlagos értékeket.

| Helyiség típus | Szennyezőanyag terhelés olf/m <sup>2</sup> |         |               |
|----------------|--|---------|---------------|
|                | Személyek                                  | Anyagok | Klímarendszer |
| Iroda          | 0,08                                       | 0,12    | 0,25          |
| Előcsarnok     | 0,11                                       | 0,32    | 0,28          |
| Iskola         | 0,2  | 0,11    | 0,20          |
| Óvoda          | 0,38                                       | 0,07    | 0,32          |
| Hivatalok      | 0,05                                       | 0,23    |               |

18. táblázat: Jellemző szennyezőanyag terhelések

## A külsőlevegő minősége

A külsőlevegő minőségének megállapítása az épület elhelyezkedése, környezete alapján a MSZ CR 1752:2000 szabvány A9 táblázata alapján történhet.

## A levegőminőségi követelmények biztosításához szükséges frisslevegő

Az ismertetett belsőlevegő-minőség méretezési módszer és alapadatok felhasználásával végzett összehasonlító számítások eredményeit tartalmazza a 19. táblázat. Vizsgálatainknál közepes minőségű városi levegőt (0,2 decipol) és tökéletes keveredést eredményező hígítósos szellőzést vettünk alapul ( $\epsilon = 1$ ).

| Ember           |     | Csak ember (0,1 fő/m <sup>2</sup> ) |                      |                      | Ember + épület + légtechnika<br>(ép. + légtech. = 0,2 olf/m <sup>2</sup> ) |                      |                      |
|-----------------|-----|-------------------------------------|----------------------|----------------------|--|----------------------|----------------------|
|                 |     | $\dot{V}$ , m <sup>3</sup> /h,fő    |                      |                      |  |                      |                      |
| Tevékenység     | olf | $c_b = 1,0$<br>≤ 15%                | $c_b = 1,4$<br>≤ 20% | $c_b = 2,5$<br>≤ 30% | $c_b = 1,0$<br>≤ 15%   | $c_b = 1,4$<br>≤ 20% | $c_b = 2,5$<br>≤ 30% |
| Aktivitás: 120W | 1   | 45                                  | 30                   | 15,6                 | 135  | 90                   | 46,8                 |
| Aktivitás: 150W | 1,5 | 67,5                                | 45                   | 23,5                 | 157,5  | 105                  | 54,8                 |
| 20% dohányzik   | 2   | 90                                  | 60                   | 31,3                 | 180  | 120                  | 62,6                 |
| 40% dohányzik   | 3   | 135                                 | 90                   | 47,0                 | 225  | 150                  | 78,3                 |

19. táblázat: Frisslevegőigény különböző emberi tevékenység és belsőlevegő minőségkövetelmény esetén

A számított eredmények alapján megállapítható:

- ▶ a belsőlevegő-minőség a vizsgált esetek döntő többségénél a légzéshez szükséges kötelező frisslevegő rátával (30 m<sup>3</sup>/h,fő) nem biztosítható,
- ▶ a belsőlevegő minőségi követelmények fokozása jelentősen megnöveli a szükséges frisslevegőigényt,
- ▶ a dohányzás hatásának kompenzálása további frisslevegőigény-növekedést eredményez, illetve 20% feletti dohányzó részarányánál már a megfelelő belsőlevegő-minőség csak irreálisan magas frisslevegő rátával biztosítható.

A nemzetközi gyakorlatban általában a méretezéseknél 20%-os elégedetlenségi arányt vesznek alapul. Több jelenleg külföldön folyó kutatási munka célja a levegőminőség biztosításához szükséges frisslevegőigény további pontosítása. A klimatizált épületek közül különösen kritikusak az irodaépületek, mivel a dolgozók folyamatosan napi nyolc órát töltenek ott. A munka jellege, a szükséges szellemi koncentráció is megköveteli a jó levegőminőséget. A levegőminőségi panaszok megelőzése céljából 60-90 m<sup>3</sup>/h,fő értékre célszerű a tervezést elvégezni konkrét levegőminőségi előírások és méretezés hiányában. Nagyobb, kiterjedt épületeknél a légcsatorna hálózat hidraulikai beszabályozási adottságait is figyelembe véve, a felső határ közelében célszerű a tervezési alapadatokat megválasztani.

## 4.2.2. Az MSZ EN 16798-1:2019 alapján történő méretezés

### Komfort-kategóriák

A méretezés alapjául szolgáló honosított szabvány négy komfort-kategóriát különböztet meg. Jelölésük: I – IV. Az egyes kategóriák értelmezése a következő:

- ▶ I: A nagyon magas követelményszintű tér, a bent tartózkodók nagyon érzékeny és sérülékeny személyek, pl. rokkantak, betegek, nagyon fiatal vagy nagyon idős személyek.
- ▶ II. Az elvárások szintje normál, amelyet új épületek, illetve felújított épületek esetében kell alkalmazni.
- ▶ III. Elfogadható, mérsékelt elvárási szint, amelyet meglévő épületek esetében lehet alkalmazni.
- ▶ IV.: A fenti kategóriák követelményein kívül eső elvárásszint (Ezt a kategóriát csak az év egy behatárolt szakaszában lehet elfogadni.).

Az MSZ EN 16798-1:2019 szabvány B1 táblázata az egész test komfortja függvényében megadja a szabvány szerinti négy kategóriában (I-IV.) az elégedetlenek százalékos értékét (PPD) és a várható hőérzeti érték (PMV) tartozó értékeit.

A különböző terekben megengedett CO<sub>2</sub> koncentráció értékeket a szabvány B9 táblázata tartalmazza.

### Szennyezőanyag-források

A szabvány B melléklete 3 alfejezetben és a mellékletekben foglalkozik a témakörrel.

A javasolt szellőzés mértékének meghatározása során a szabványban közölt adatok két fő szennyező forrást különböztetnek meg: emberek / épületek.

A helyiségek teljes szellőzési igénye az alábbi összefüggéssel számítható:

$$q_{\text{tot}} = nq_p + Aq_B$$

ahol

n- a helyiségben tartózkodó emberek száma

q<sub>p</sub> - szellőzési igény az ott tartózkodók l/s, személy

A- a helyiség alapterülete m<sup>2</sup>

q<sub>s</sub>- az épület emissziójára vonatkozó érték l/s, m<sup>2</sup>

A méretezési alapadatok a 20. táblázatban találhatóak.

| Épület vagy tér típusa | Kategória | Padló-felület | $q_p$                                 | $q_B$  | $q_{tot}$  | $q_B$   | $q_{tot}$ | $q_B$ | $q_{tot}$ | ha a dohányzás engedélyezett hozzáadandó l/s, m <sup>2</sup> |
|------------------------|-----------|---------------|---------------------------------------|--|--|---|-----------|-------|-----------|--|
|                        |           |               | l/s, m <sup>2</sup> benntartózkodókra | l/s, m <sup>2</sup> nagyon alacsony szennyezettségű épület | l/s, m <sup>2</sup> alacsony alacsony szennyezettségű épület | l/s, m <sup>2</sup> nem alacsony szennyezettségű épületre |           |       |           |  |
| Kisterű iroda          | I         | 10            | 1,0                                   | 0,5  | 1,5  | 1,0   | 2,0       | 2,0   | 3,0       | 0,7  |
|                        | II        | 10            | 0,7                                   | 0,3  | 1,0  | 0,7   | 1,4       | 1,4   | 2,1       | 0,5  |
|                        | III       | 10            | 0,4                                   | 0,2  | 0,6  | 0,4   | 0,8       | 0,8   | 1,2       | 0,3  |
| Nagyterű iroda         | I         | 15            | 0,7                                   | 0,5  | 1,2  | 1,0   | 1,7       | 2,0   | 2,7       | 0,7  |
|                        | II        | 15            | 0,5                                   | 0,3  | 0,8  | 0,7   | 1,2       | 1,4   | 1,9       | 0,5  |
|                        | III       | 15            | 0,3                                   | 0,2  | 0,5  | 0,4   | 0,7       | 0,8   | 1,1       | 0,3  |
| Konferenciaterem       | I         | 2             | 5,0                                   | 0,5  | 5,5  | 1,0   | 6,0       | 2,0   | 7,0       | 5,0  |
|                        | II        | 2             | 3,5                                   | 0,3  | 3,8  | 0,7   | 4,2       | 1,4   | 4,9       | 3,6  |
|                        | III       | 2             | 2,0                                   | 0,2  | 2,2  | 0,4   | 2,4       | 0,8   | 2,8       | 2,0  |
| Előadóterem            | I         | 0,75          | 15                                    | 0,5  | 15,5   | 1,0   | 16        | 2,0   | 17        |  |
|                        | II        | 0,75          | 10,5                                  | 0,3  | 10,8   | 0,7   | 11,2      | 1,4   | 11,9      |  |
|                        | III       | 0,75          | 6,0                                   | 0,2  | 0,8  | 0,4   | 6,4       | 0,8   | 6,8       |  |
| Étterem                | I         | 1,5           | 7,0                                   | 0,5  | 7,5  | 1,0   | 8,0       | 2,0   | 9,0       |  |
|                        | II        | 1,5           | 4,9                                   | 0,3  | 5,2  | 0,7   | 5,6       | 1,4   | 6,3       | 5,0  |
|                        | III       | 1,5           | 2,8                                   | 0,2  | 3,0  | 0,4   | 3,2       | 0,8   | 3,6       | 2,8  |
| Iskolai osztályterem   | I         | 2,0           | 5,0                                   | 0,5  | 5,5  | 1,0   | 6,0       | 2,0   | 7,0       |  |
|                        | II        | 2,0           | 3,5                                   | 0,3  | 3,8  | 0,7   | 4,2       | 1,4   | 4,9       |  |
|                        | III       | 2,0           | 2,0                                   | 0,2  | 2,2  | 0,4   | 2,4       | 0,8   | 2,8       |  |
| Óvoda                  | I         | 2,0           | 6,0                                   | 0,5  | 6,5  | 1,0   | 7,0       | 2,0   | 8,0       |  |
|                        | II        | 2,0           | 4,2                                   | 0,3  | 4,5  | 0,7   | 4,9       | 1,4   | 5,8       |  |
|                        | III       | 2,0           | 2,4                                   | 0,2  | 2,6  | 0,4   | 2,8       | 0,8   | 3,2       |  |
| Áruház                 | I         | 7             | 2,1                                   | 1,0  | 3,1  | 2,0   | 4,1       | 3,0   | 5,1       |  |
|                        | II        | 7             | 1,5                                   | 0,7  | 2,2  | 1,4   | 2,9       | 2,1   | 3,6       |  |
|                        | III       | 7             | 0,9                                   | 0,4  | 1,3  | 0,8   | 1,7       | 1,2   | 2,1       |  |

20. táblázat: Méretezési alapadatok alapján összeállítva

### A levegőminőségi követelmények biztosításához szükséges frisslevegő

A méretezés elméleti alapjai és egyenletei azonosak a korábbi 3.2.8. és 3.2.13. fejezetben leírtakkal. A méretezés lépései azonosak és a frisslevegő térfogatáramával kapcsolatban ott leírtak itt is érvényesek.

#### 4.2.3. A belsőlevegő-minőség mérése

A belsőlevegő-minőség mérése során megkülönböztetjük az érzékelhető belsőlevegő-minőségre jellemző decipol érték meghatározását, illetve tetszőleges kiválasztott szennyezőanyag koncentrációjának szelektív mérését.

#### Az érzékelhető levegőminőség mérése

Fanger professzor és munkatársai az olf-decipol rendszer kidolgozása során a decipol skála értékeit egy jellegzetes gáz, az elpárolgott aceton adott koncentrációjához rögzítették. Az érzékelhető levegőminőség értéke:

$$c = 0,84 + 0,22 k ; \text{ decipol}$$

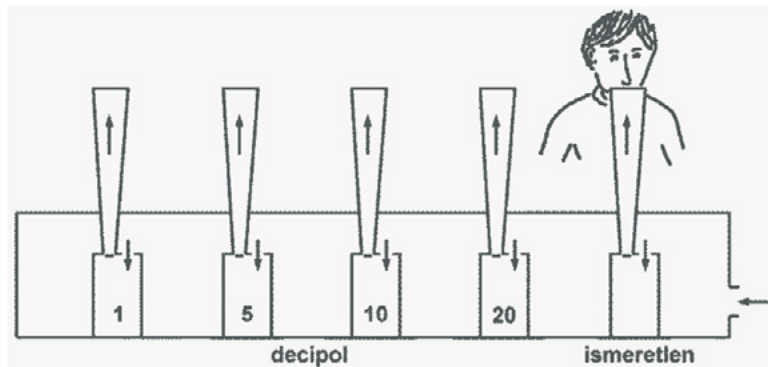
ahol:  $k$ ; ppm:- az aceton koncentrációja

A mérés az emberi orr alapján történik. A méréseket végezhetjük tréningelt és nem tréningelt személyekkel.

A nemzetközi szakirodalomban a tréningelt személyeket „olf-tester”-eknek, míg a nem tréningelt személyeket „naiv panel”-ként említik.

### Mérés tréningelt személyekkel

A tréninghez és a méréshez "olf-box"-ot kell készíteni, amely az 1, 5, 10, 20 decipolnak megfelelő levegőminőségi etalonokat (decipolméter), valamint az ismeretlen szennyezőanyag-forrást tartalmazza (12. ábra).



12. ábra: A levegőminőségi etalonok (olf-box)

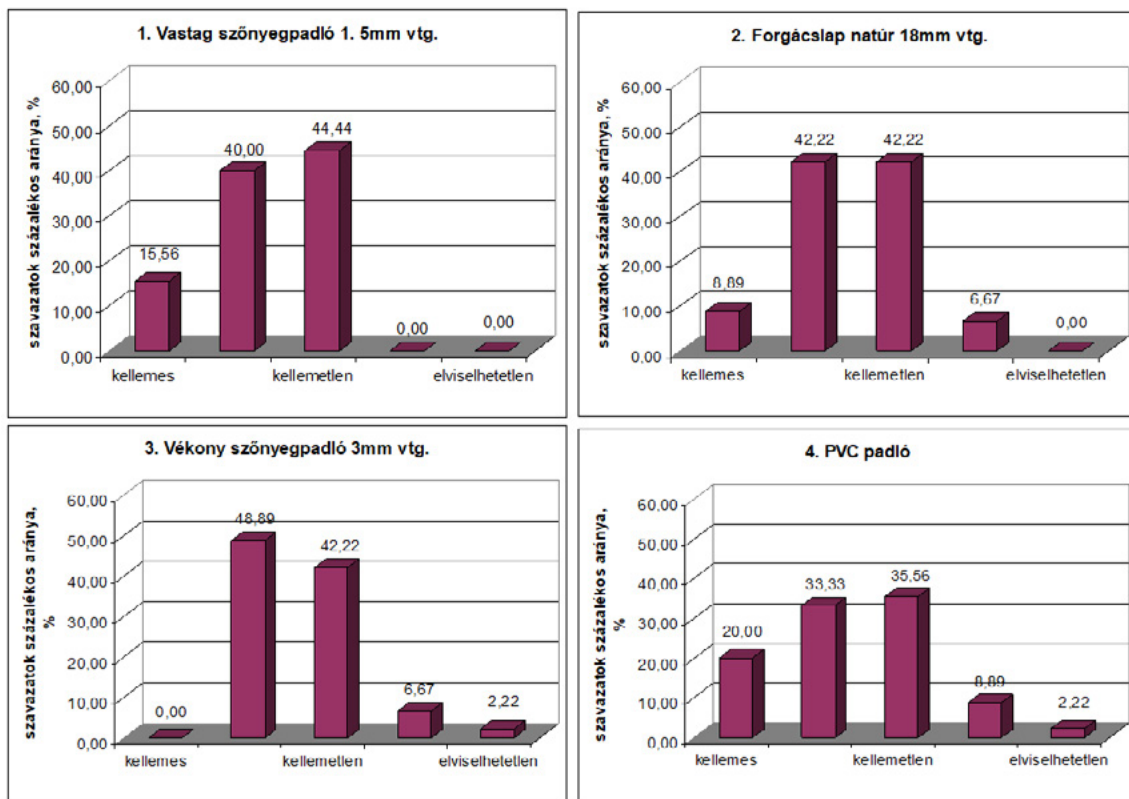
A levegőminőségi etalon (decipolméter) részei: mintavevőtölcsér, ventilátor, keverőtér, acetoforrás. A ventilátor ~ 0,78 l/s (2,8 m<sup>3</sup>/h) levegőt szállít. A befújt levegő a keverőtérben az acetoforrásból párologó aceton gőzökkel keveredik. A mintavevőtölcséren kiáramló aceton-levegő gázkeveréket értékeli az ember. A levegőminőségi etalon elkészítésénél olyan anyagokat használnak fel, amelyek minimális szagmisszióval rendelkeznek, ilyen például az üveg. Az etalonokkal a különböző decipol értékeknek megfelelő aceton-koncentrációt kell előállítani. Ez az acetoforrást lezáró alumínium lemezen lévő furatok számának és átmérőjének változtatásával lehetséges.

### Mérés nem tréningelt személyekkel

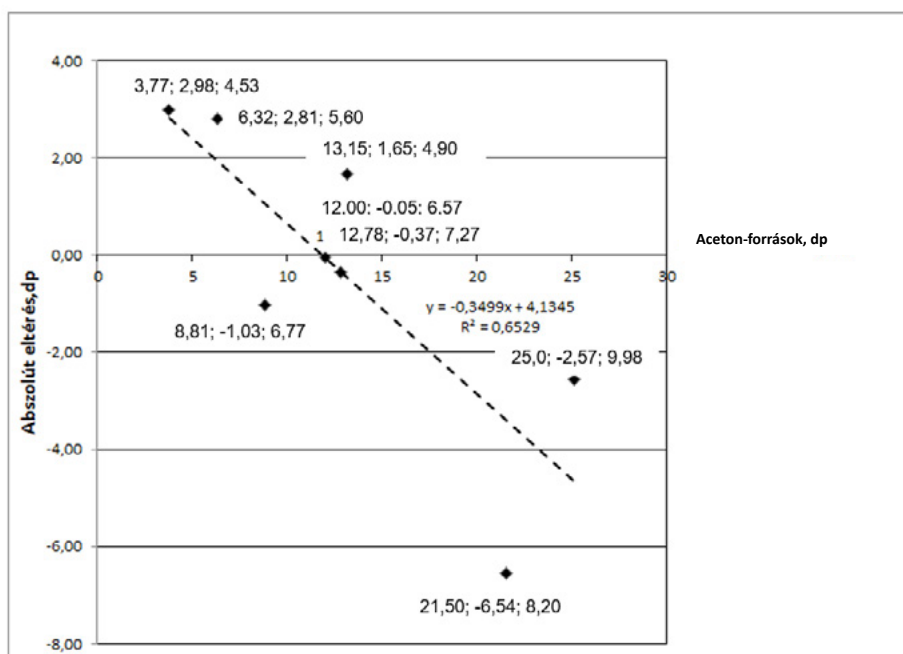
A mérést végző személyek csak egy rövid előkészítő ellenőrzésen vesznek részt, a mérőcsoport létszáma a nemzetközi gyakorlat szerint min. 32 fő. Általában egyetemi hallgatókat, illetve irodai dolgozókat vonnak be a mérésbe, akik életkora 20-30 év közötti. A nemek szerinti megoszlást tekintve általában a nők vannak többségben jobb szagérzékenységük miatt. A létszám megállapításának valószínűség elméleti okai vannak.

Az előkészítés során laboratóriumban a szagérzékenységüket ellenőrzik. Ehhez az olf-box-ot használják. A levegőminőségi etalonokkal történő összehasonlítás alapján számukra ismeretlen aceton-koncentrációt kell értékelnük. A vizsgálat során kiszűrik a szagra érzéketlenek, illetve a rossz szaglású személyeket. Ezen kívül vizsgálják, hogy a résztvevők nem szenvednek-e allergiás vagy asztmás betegségben. Az ilyen személyek is részt vehetnek a további mérésekben, azonban részarányuk nem haladhatja meg az 5%-ot. Mérési eredményeik alapján ellenőrizni tudják, hogy a betegségek mennyiben befolyásolják a levegőminőség-érzetet.

A tényleges mérés során a résztvevők egy kérdőívet töltenek ki, amely alapján történik a kiértékelés. A Hedonic-skála eredményeit a 13. ábra szemlélteti. A 14. ábrán a mérőcsoport abszolút hibája látható a tényleges érték függvényében.



13. ábra: Hedonic-skála histogramja VII. mérőcsoport (45 fő) 2005. X-XI.



14. ábra: Az öt mérőcsoport összesített abszolút hibája a tényleges értékek függvényében (Jelmagyarázat: a pontoknál szereplő számsorban az első szám a tényleges etalon érték (e), a második szám az összesített abszolút hiba, a harmadik szám a szórás)

## Gázhalmazállapotú szennyezőanyagok koncentrációjának szelektív mérése

A levegőben lévő szennyezőanyagok koncentrációjának meghatározása folyamatos méréssel és mintavételezési eljárással is megoldható.

A folyamatos mérés nagy pontossággal elvégezhető az infravörös spektroszkópia és a fotoakusztikus spektroszkópia elvén működő gázmonitorokkal. Ezek a műszerek általában drágák. Olcsóbbak az elektrokémiai elven működő műszerek. Hátrányuk a pontatlanabb mérés, az érzékelő elhasználódása és többszöri hitelesítése.

A mintavételezési eljárásoknál megkülönböztetjük a vizsgálócsövekkel és az adszorpciós mintavételezéssel történő eljárást.

A vizsgálócsövek egy kézi pumpával használhatók. A vizsgálócsövet a mérendő gáz fajtájának és a várható koncentrációnak megfelelően kell megválasztani. A vizsgálócső zárt, a benne lévő kémiai anyagot elválasztja a külsőlevegőtől. A mérés során az üvegcső két végét le kell törni, majd a kézipumpával a vizsgált levegőt a csövecskén át kell áramoltatni. A vizsgálócső elszíneződése alapján leolvashatjuk a koncentráció értékét. Kereskedelmi forgalomban többféle gázhoz kapható vizsgálócső: szén-dioxid, szén-monoxid, nitrogén-oxidok, kén-oxid, ózon, formaldehid stb. A vizsgálócsövek adott mérési tartományon belül használhatók. A kézipumpák segítségével a mérési tartománytól függően 1 liter, illetve 5 liter vizsgált levegőt kell a csövecskéken átáramoltatni. A módszer előnye a gyors mérés és a műszer alacsony ára, hátránya, hogy folyamatos mérésre nem használható. Az egyes gázokhoz általában az alábbi tartományokban készülnek vizsgáló csövek:

|                  |                  |         |                |
|------------------|------------------|---------|----------------|
| szén-dioxid:     | 1000-12 000 ppm, | illetve | 100-3000 ppm   |
| szén-monoxid:    | 5-150 ppm,       | illetve | 1-30 ppm       |
| nitrogén-oxidok: | 0,5-10 ppm,      | illetve | 0,01-0,25 ppm  |
| kén-dioxid:      | 0,1-3 ppm,       | illetve | 0,02-0,6 ppm   |
| ózon:            | 0,05-0,7 ppm,    | illetve | 0,005-0,07 ppm |
| formaldehid:     | max. 0,04 ppm,   | illetve | max. 0,1 ppm   |

Az adszorpciós eljárás a levegőben alacsony koncentrációval előforduló illékony szénhidrogének esetében használható. A helyszíni mintavételezés után a kiértékelés laboratóriumban történik gázkromatográfokkal. Megkülönböztetjük az aktív és passzív mintavételezést. Az aktív mintavételezéshez használt csövek aktív szénnel vagy szilikagéllal vannak töltve. A gázpumpával adott levegőtérfogatot (max. 300 liter) kell átáramoltatni, majd a csövet lezárni. A passzív mintavételezés során a vizsgált anyag a kihelyezett mintavevőn lévő aktív szén adszorpciós rétegbe diffundál. A mintavételezés ideje 1-2 hét, függ a helyiség levegő hőmérsékletétől és nedvességtartalmától.



## 4.3. Mérés, kiértékelés

### 4.3.1. A légállapot jellemzők, mint valószínűségi változók

A zárt tér minden egyes hőkomfort jellemzője (lég hőmérséklet, páratartalom, közepes sugárzási hőmérséklet, átlagos légsebesség, turbulencia-intenzitás) valószínűségi változók. Értékük ennek megfelelően átlagértékkel, szórással, konfidencia-intervallummal stb. jellemezhető. A komfort értékeléséhez két feladatot kell megoldani:

- ▶ a komfortot befolyásoló paraméterek folyamatos mérése és gyűjtése,
- ▶ a komfort értékelése valószínűségelméleti modell alapján.

A helyszíni mérésekhez a 4.3.2. fejezetben ismertetett mérési módszer és kiértékelési metodika alkalmazható. A komfort értékeléséhez a nemzetközi gyakorlatban alkalmazott PMV, PPD, Tu, DR paramétereket célszerű alkalmazni. A komfort elemzéséhez elméleti modell és megfelelő számítógépes háttér alkalmazása szükséges.

A klimatechnikai rendszerekkel üzemelő komfortterek az előírások és szabványok alapján differenciált komfort-kategóriák szerint minősíthetők. A komforttér minősíthető a légállapot, a hőérzet, a huzatérzet és a levegőminőség szempontjából. Tervezési fázisban az adott komfort-kategóriához tartozó határértékek figyelembevételével történik a méretezés, tervezés. Már meglévő, üzemelő klímarendszer esetében pedig a komforttérben történő helyszíni mérésekkel vizsgálható a megvalósult komfort. A mérési eredmények alapján lehet a komfortot értékelni, elemezni. Az erre vonatkozó mérési módszert az 4.3.2. fejezet, a komfort kiértékelését pedig az 4.3.3. fejezet taglalja részletesen. A mérési eredmények feldolgozása és kiértékelése valószínűségelméleti modell alapján történhet.

### 4.3.2. Mérési metodika, mérési módszer

Összességében a kidolgozott módszerek szerepelnek részletesen ebben a fejezetben (mérések során felhasznált mérőeszközök, mért jellemzők, a mérési paraméterek).

A fizikai jellemzők mérésének követelményei (mérési tartomány, válaszidő, pontosság) és ajánlásai az MSZ EN ISO 7726:2003 szabvány szerint veendőek fel.

A helyszíni mérések során figyelembe kell venni a fenti szabványban közölt ajánlásokat, az MSZ CR 1752:2000 és az MSZ EN 16798-1:2019 szabvány komfort követelményértékeit.

A mérési időköz úgy állapítandó meg, hogy a mérőműszer válaszüvéjének ( $t_{90}$ ) legalább 1,5-szeresének kell lennie. A gömbhőmérő esetében nem teljesül a műszer beállási idejére és a mintavételezés gyakoriságára vonatkozó kritérium. Mivel az összes hőmérsékleti adatról azonos mért adatmennyiséget szerettünk volna kapni, ezen megfontolásból választottunk gyakoribb mintavételezést. A gömbhőmérő esetében 150 mm átmérőjű Vernon-féle gömbhőmérőt alkalmaztunk, amelynek a beállási ideje - saját méréseink és mások mérései is ezt igazolták - jellemzően 7-30 min között változott, csak néhány esetben haladta meg ezt az értéket (~40 min). A gyakorlatban elterjedt még az  $\varnothing 50$  mm átmérőjű gömbhőmérő is, amelynek előnye a gyorsabb válaszüvé (<20 min), azonban hátránya a nagyobb pontatlanság a kisebb sugárzási és az erőteljesebb konvekciós hatások miatt a  $\varnothing 150$  mm-es gömbhőmérővel szemben.

A kétféle gömbhőmérő közt azonban nincs számottevő különbség.

Mérési módszert és mérési metodikát dolgoztunk ki a komfort értékelésére. A komfortterek kiértékeléséhez a PMV modell alkalmazható, amely hat paramétert vesz figyelembe, amelyek közül kettő az egyén adottságait veszi figyelembe (emberi test hőtermelése, ruházat hőszigetelő képessége), négy pedig a termikus környezet fizikai jellemzőit (levegő hőmérséklete, környező felületek közepes sugárzási hőmérséklete, levegő relatív nedvességtartalma, levegő relatív sebessége). A termikus környezet jellemzői időben folyamatosan változó paraméterek. A módszer folyamatos mintavételezésen alapszik, amelynél a levegő hőmérsékletét, környező felületek közepes sugárzási hőmérsékletét és a levegő relatív nedvességtartalmát 5 perces mintavételi gyakorisággal határozandó meg. A turbulenciafok és átlagos relatív légsebesség meghatározása érdekében a relatív légsebesség mérésének mintavételezését ennél nagyobb gyakorisággal szükséges elvégezni. A mintavételezési időköz maximuma a légsebesség mérésére vonatkozólag 5 másodperc kell legyen. Amennyiben 5 sec-nál magasabb ez az érték, abban az esetben a mérési sokaság száma alapján már nem adható megfelelő statisztikai becslés a turbulenciaintenzitás számszerű adataira. A szén-dioxid-koncentráció mérésének szükséges mintavételezési időköze 5 perc. A 21. táblázat tartalmazza a helyszíni komfort mérőrendszerekkel szemben támasztott követelményeket.

| Mért fizikai jellemző                          | Mérési tartomány              | Pontosság  | Válaszidő    | Minta-vételezési időköz | Megjegyzés   |
|--|-------------------------------|--|--------------|-------------------------|--|
| Szén-dioxid koncentráció                       | 0 - 3 000 ppm<br>0 - 0,2 V/V% | $\pm [ 50 + 0,05 k_{CO_2} ]$ ppm   | 3 min (t90)  | 5 min                   | -  |
| Levegőhőmérséklet                              | 10 - +40°C                    | $\pm 0,3$ °C   | 3 min (t90)  | 5 min                   | érzékelőt sugárzástól védett kialakítás  |
| Relatív páratartalom<br>Parciális vízgőznyomás | 10 - 90%<br>150 - 6 500 Pa    | $\pm 3$ %RH<br>$\pm 150$ Pa<br>* abban az esetben, ha $ t_{15} - t_a  \leq 4$ °C | 3 min (t90)  | 5 min                   | -  |
| Gömbhőmérséklet                                | 5 - 50°C                      | $\pm 0,5$ °C   | 20 min (t90) | 30 min                  | -  |
| Légsebesség                                    | 0,02 - 1,0 m/s                | $\pm ( 0,02 + 0,07 v_a )$ m/s<br>* $\geq 3$ π sr térszögtartományban             | 0,5 s (t63)  | 2 s                     | amennyiben a szenzor nem irányfüggetlen, abban az esetben a levegő áramlási irányának megfelelően helyezendő az érzékelő |

21. táblázat: A mérési metodika szerint támasztott követelmények

### 4.3.3. Kiértékelés módszere, eredmények

#### Eloszlás identifikálása

A tapasztalati diszkrét eloszláshoz keresünk elméleti folytonos eloszlásfüggvényt, amellyel a mérési adathalmazt jellemezni, majd később ez alapján elemezni tudjuk. Az elméleti eloszlást véges kevert modellel (FMM: Finite Mixture Model) állíthatjuk elő. A tapasztalati eloszlások alapján normál eloszlások keverékeként (GMM: Gaussian Mixture Model) keressük. Végezzék K darab Gauss-féle normál eloszlás lineáris szuperpozíciója:

$$p(x) = \sum_{k=1}^K [n_k \cdot \mathcal{N}(x|\mu_k, \sigma_k)]$$

ahol  $n_k \in [0; 1]$  - az egyes normál eloszlás komponensek részaránya

$$\sum_{k=1}^K n_k = 1$$

$$\mathcal{N}(x|\mu_k, \sigma_k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_k^2}} \cdot e^{\left[-\frac{(x-\mu_k)^2}{2\sigma_k^2}\right]}$$

A tapasztalati eloszlásra való elméleti eloszlás illesztésének több módja is lehetséges kevert eloszlások esetében: grafikus módszer, momentumok módszere, minimum-távolság módszer, maximum likelihood (ML) és Bayes-féle módszer. Amennyiben kevert eloszlások esetében az eloszlás komponensek ismertek, akkor ennek egyik leggyakrabban alkalmazott módszere a maximum likelihood függvény (ML) identifikációja. Az ML módszer a keresett elméleti eloszlás paramétereinek becslését a legnagyobb valószínűség elve alapján végzi. A módszer értelmében az idősor leírásába bevezetjük a „z” rejtett paramétert az alábbi feltétellel:

$$p(z) = \prod_{k=1}^K n_k^{z_k}$$

ahol  $z_k \in [0; 1]$  - az egyes normál eloszlás komponensek részaránya, így

$$\sum_{k=1}^K z_k = 1$$

Visszahelyettesítve a fenti kevert eloszlás egyenlete az alábbiak szerint módosul:

$$p(x) = \sum_z p(z) \cdot p(x|z) = \sum_z \prod_{k=1}^K [n_k^{z_k} \cdot \mathcal{N}(x|\mu_k, \sigma_k)^{z_k}]$$

Ekkor az alábbiak szerint áll elő a likelihood függvény:

$$p(X|n, \mu, \sigma) = \prod_{n=1}^N \sum_{k=1}^K \{n_k \cdot \mathcal{N}(x_n|\mu_k, \sigma_k)\}$$

A későbbi egyszerűbb matematikai eljárás érdekében mindkét oldal normál alapú logaritmusát vehetjük, mivel a logaritmus függvény szigorúan monoton növekvő. Ekkor a produktum szorzat számítása egyszerű szumma összeadássá alakul. Az így előállított log-likelihood függvény az alábbi formában áll elő:

$$\ln p(X|n, \mu, \sigma) = \sum_{n=1}^N \ln \sum_{k=1}^K \{n_k \cdot \mathcal{N}(x_n|\mu_k, \sigma_k)\}$$

A cél ezen függvény maximumának megtalálása, ezzel a három vektor ( $n, \mu, \sigma$ ) értékeiből nyert eloszlás optimális paramétereinek meghatározása.

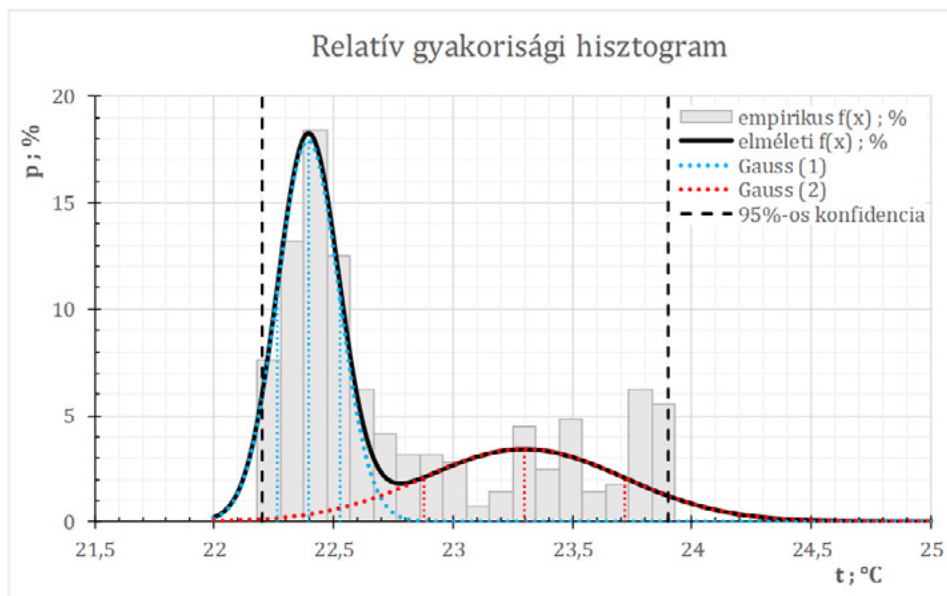
A maximum likelihood megkeresésére alkalmas a jól ismert EM algoritmus (expectation-maximization algorithm), amely egy fix-pont iterációs eljárás a likelihood függvény (LF) helyi maximumának hatékony megkeresésére. Az EM algoritmus jellemzően a lokális optimumok felé konvergál, amely nem feltétlen jelenti a globális optimumot. Mivel a megoldás nagyon érzékeny a kiinduló értékekre, valamint jellemzően elfajult globális megoldások megtalálása, ezért ezt az eljárást önmagában nem tekinthetjük alkalmasnak a globális optimum megkeresésére. Léteznek azonban eljárások, amelyekkel a módszert alkalmassá lehet tenni a globális optimum megkeresésre. Ezeket vizsgálták Lourens és társai is kifejezetten két normál eloszlás keveréke esetén, különös tekintettel azon esetekre, amikor kicsik az eltérések az eloszlások komponensei között. Az ismertetett módszer már alkalmas a már vizsgált probléma megoldására, azonban további lehetséges globális optimumhoz vezető eljárás is alkalmazható. A problémára a genetikus algoritmus (GA) a leginkább alkalmas, amely szintén alkalmas globális optimum keresésére.

A Lourens és társai által kidolgozott módszer és genetikus algoritmus egyaránt felhasználható az optimum-keresési számításokhoz. Az eredményeket tekintve - a probléma jellegéből és behatárolhatóságából adódóan - mindkét módszer hatékonynak tekinthető. Az algoritmus összetettsége, programstruktúrába való megírása és az optimalizációs algoritmus számítási igényében azonban már vannak eltérések a két algoritmus között.

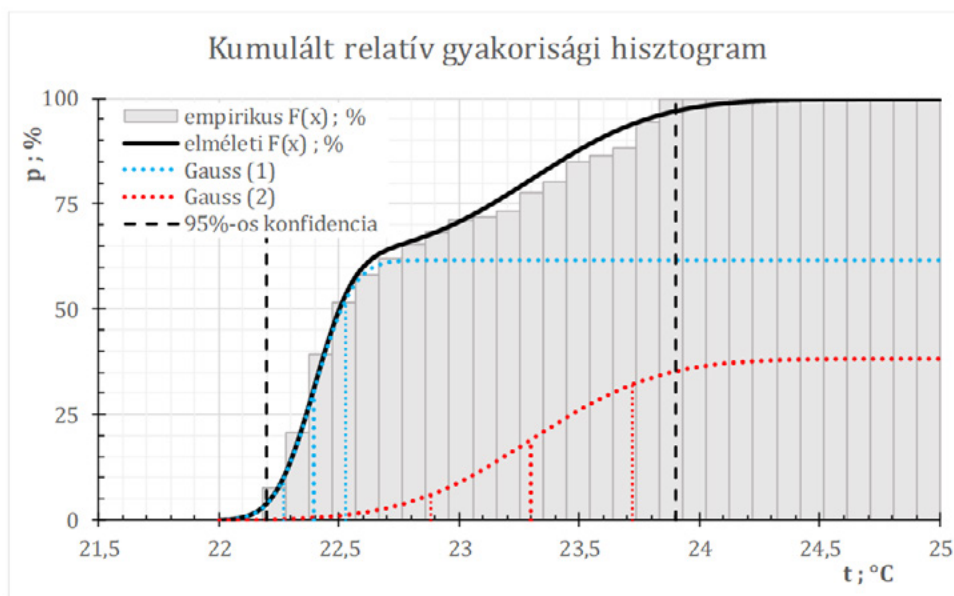
Minden egyes mérés esetén, a követelményekkel összehasonlítható mérési változóra vonatkozólag meghatároztuk a legjobban illeszkedő kettős kevert eloszlást. Az alábbi példával szemléltetjük egy mérési nap végére kapott hőmérsékleteloszlás relatív gyakorisági diagramját (15. ábra), kumulált relatív gyakoriságát (16. ábra), valamint a legjobban illeszkedő (optimális) kettős kevert normál eloszlás paramétereit (22. táblázat). A grafikonokon a diszkrét és folytonos eloszlások lényegesen eltérő értéktartományban helyezkedhetnek el (a lenti példa esetén is), így a két eloszlás nem ábrázolható azonos léptékű skálán. Annak érdekében, hogy jól szemléltethető legyen, - standard maradék hibára épülő- léptéktranszformációs eljárás alkalmazható. A kidolgozott eljárás már alkalmas a kétféle eloszlás egy ábrán történő összehasonlítására, megjelenítésére.

|                  |             |       |
|------------------|-------------|-------|
| <b>Gauss (1)</b> | $A_1:$      | 0,62  |
|                  | $\mu_1:$    | 22,40 |
|                  | $\sigma_1:$ | 0,13  |
| <b>Gauss (2)</b> | $A_2:$      | 0,38  |
|                  | $\mu_2:$    | 23,30 |
|                  | $\sigma_2:$ | 0,42  |

22. táblázat: Hőmérsékletmérésre optimalizálva illesztett kettős kevert normál eloszlás paramétereit (az ábrákkal megegyező színjelölést alkalmazva)

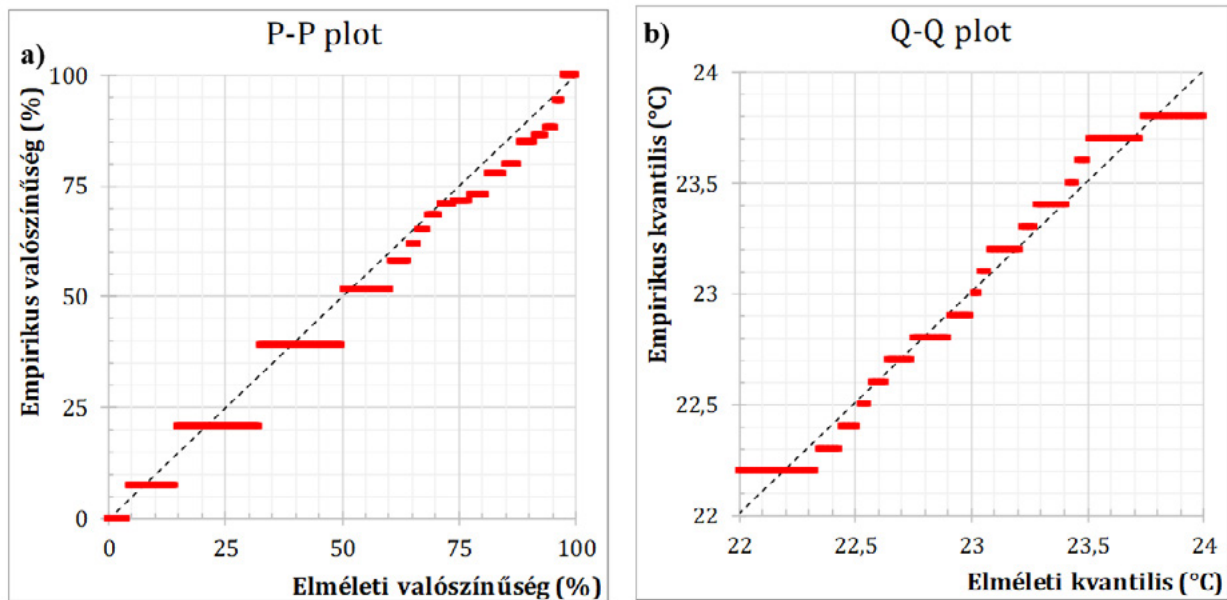


15. ábra: Hőmérsékletmérés gyakorisági hisztogramja



16. ábra: Hőmérsékletmérés kumulált relatív gyakorisági hisztogramja

Az így kapott folytonos elméleti és diszkrét empirikus eloszlások illeszkedése grafikus módon is ábrázolható. Az illeszkedés mértékét Q- Q plot (kvantilis-kvantilis ábra), valamint P- P plot (percentilis-percentilis ábra) grafikonjain a mérési pontok  $x=y$  egyenesére való illeszkedésével szemléltethető. Mindkét diagram az eloszlás más-más részeinek illeszkedéséről ad megfelelő képet. A P- P plot 17.a) ábra elsősorban az eloszlás „közepének” (magas relatív gyakoriságú pontok), míg a Q- Q plot 17.b) ábra az eloszlás „széleinek” (alacsony relatív gyakoriságú pontok) vizsgálatára alkalmas. Jól látható, hogy a legjobban illeszkedő kettős kevert normál eloszlás folytonos görbéje és a mért jellemzők gyakorisági hisztogramja azonos eloszlásúnak tekinthető.



17. ábra: Hőmérsékletmérés a) P - P és b) Q - Q plot ábrája

Az illeszkedésvizsgálat az előzőekben bemutatott grafikus módszer mellett analitikusan is elvégezhető. Statisztikai próbák segítségével elvégeztük a két eloszlás illeszkedés vizsgálatát. Az illeszkedésvizsgálat  $\chi^2$ -próbával végezhető az empirikus és az elméleti eloszlás esetén. A próbastatisztika értéke alapján a szignifikanciaszint jelentős, a két eloszlás illeszkedése bizonyított. A komfortjellemzők eloszlása az optimalizált kettős kevert normál eloszlással jól közelíthető.

#### 4.3.4. Helyszíni hő- és levegőminőségi komfortvizsgálat, esettanulmány

A hő- és levegőminőségi komfort szempontjából kiemelt szerepe van az irodaépületeknek a szellemi munka komfortigénye miatt.

A módszerek illusztrálására ismertetjük a BME Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszéke által végzett helyszíni mérésorozatot, amely különböző klímarendszerekkel felszerelt irodaépületekben valósult meg. A klímatechnikai rendszerek közül a legelterjedtebben alkalmazott rendszerek vizsgálata történt meg:

- ▶ parapet fan-coil,
- ▶ légcsatornázható fan-coil,
- ▶ aktív klímagerenda rendszerek.

A komfort értékelésének eredményeképpen általánosítható következtetések fogalmazhatók meg az egyes rendszerekkel elérhető komfortra vonatkozóan (hő- és levegőminőség).

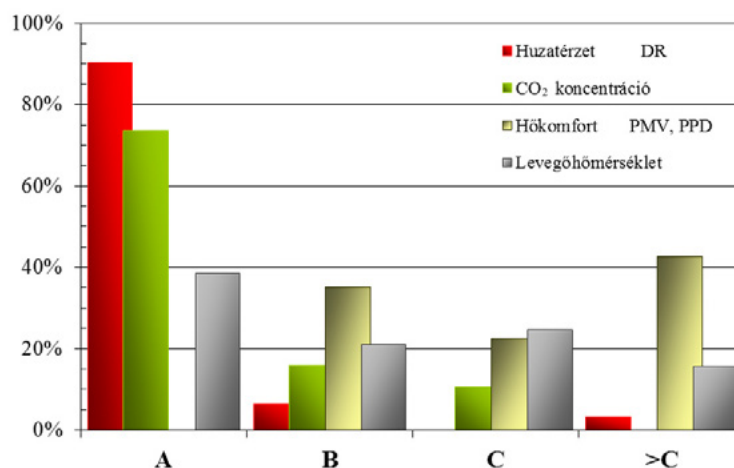
Valamennyi rendszer esetében a helyszíni mérések kiértékelését követően lehetővé vált az egyes rendszerek összehasonlítása. Valamennyi rendszer esetében igaz, hogy beüzemelt, beszabályozott állapotról volt szó. Klimatizálás szempontjából jellemzően a nyári időszak a kritikus, ennek megfelelően nyári időszakban végeztük a komfortvizsgálatokat. Az összehasonlítás is ezen eredmények alapján tehető meg, amely összehasonlítási szempontjait két részre lehet bontani: rendszertípusok, valamint kategóriák szerinti

összehasonlítás. Az eredmények számszerűsítve és grafikus formában is ábrázolhatók az előbbi csoportosításoknak megfelelően. A 23. táblázat egy hőkomfort-vizsgálat eredményeit tartalmazza. A kiértékelés a 95%-os konfidenciaszint alapján történt. A táblázatban megtalálhatók a komfort-kategóriák a mért értékek alapján.

| Helyiség | Dátum  | PMV   |        |                                | PPD, % |        |                                | Kategória |
|----------|--------|-------|--------|--------------------------------|--------|--------|--------------------------------|-----------|
|          |        | Átlag | Szórás | 95%-os konfidencia intervallum | Átlag  | Szórás | 95%-os konfidencia intervallum |           |
| 1. iroda | 08.07. | -0,24 | 0,02   | [ -0,26; -0,20 ]               | 6,17   | 0,23   | [ 5,87; 6,38 ]                 | B         |
|          | 08.08. | -0,26 | 0,01   | [ -0,27; -0,24 ]               | 6,39   | 0,15   | [ 6,18; 6,52 ]                 | B         |
|          | 08.09. | 0,15  | 0,31   | [ -0,13; 0,50 ]                | 7,45   | 1,89   | [ 5,75; 9,91 ]                 | B         |
|          | 08.10. | 0,30  | 0,21   | [ 0,05; 0,60 ]                 | 7,78   | 1,83   | [ 6,32; 9,43 ]                 | B         |
|          | 08.11. | 0,38  | 0,19   | [ 0,18; 0,59 ]                 | 8,70   | 3,83   | [ 5,00; 13,29 ]                | C         |
| 2. iroda | 08.03. | 0,31  | 0,18   | [ 0,06; 0,49 ]                 | 7,67   | 1,87   | [ 5,23; 9,17 ]                 | B         |
|          | 08.04. | 0,15  | 0,21   | [ -0,13; 0,36 ]                | 6,34   | 1,34   | [ 5,00; 7,95 ]                 | B         |
|          | 08.05. | 0,29  | 0,16   | [ 0,10; 0,48 ]                 | 7,21   | 1,67   | [ 5,54; 8,55 ]                 | B         |
| 3. iroda | 08.13. | 0,48  | 0,21   | [ 0,20; 0,70 ]                 | 10,81  | 4,23   | [ 7,42; 15,46 ]                | >C        |
|          | 08.14. | 0,56  | 0,27   | [ 0,30; 0,80 ]                 | 13,09  | 6,22   | [ 6,25; 20,56 ]                | >C        |
|          | 08.15. | 0,31  | 0,09   | [ 0,22; 0,38 ]                 | 7,12   | 1,27   | [ 6,11; 8,39 ]                 | B         |
|          | 08.16. | 0,29  | 0,13   | [ 0,12; 0,39 ]                 | 7,10   | 1,74   | [ 5,02; 9,01 ]                 | B         |
|          | 08.17. | 0,36  | 0,14   | [ 0,20; 0,54 ]                 | 8,07   | 1,79   | [ 6,28; 9,68 ]                 | B         |
|          | 08.18. | 0,57  | 0,21   | [ 0,36; 0,85 ]                 | 12,76  | 4,64   | [ 8,59; 17,86 ]                | >C        |

23. táblázat: A hőkomfort-vizsgálatok eredményei

Egy nyári időszakban vizsgált irodaépület komfortparamétereinek kategóriaszintek szerinti hisztogramja látható a 18. ábrán.



18. ábra: Komfort-kategóriák eloszlása: nyári időszak

További részletek megtalálhatók a Szabó János: Energiatudatos klimatizálás, különös tekintettel eltérő rendeltetésű zárt terek komfortjára című PhD disszertációjában (témavezető: Dr. habil Kajtár László).



## 5. HIVATKOZOTT ÉS FELHASZNÁLT DOKUMENTUMOK

### 5.1. Jogszabály

1. 5/2020. (II. 6.) ITM rendelet a kémiai kóroki tényezők hatásának kitett munkavállalók egészségének és biztonságának védelméről
2. 3/2002. (II. 8.) SzCsM-EüM együttes rendelet a munkahelyek munkavédelmi követelményeinek minimális szintjéről
3. 306/2010. (XII. 23.) Korm. rendelet a levegő védelméről
4. 4/2011. (I. 14.) VM rendelet a levegőterheltségi szint határértékeiről és a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről
5. 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról

### 5.2. Szabvány

1. MSZ EN ISO 7730:2006 A hőmérsékleti környezet ergonómiája. A hőkomfort analitikus meghatározása és megadása a PMV- és a PPD-index kiszámításával, valamint a helyi hőkomfort kritériumai (ISO 7730:2005)
2. MSZ CR 1752:2000 Épületek szellőztetése. Épületek belső környezetének tervezési alapjai (Ventilation for buildings. Design criteria for the indoor environment)
3. MSZ EN 16798-1:2019 Épületek energetikai teljesítőképessége. Épületek szellőztetése. 1. rész: Beltéri bemeneti paraméterek az épületek beltéri levegőminőségéhez, hőmérsékleti, világítási és akusztikai környezetéhez kapcsolódó energetikai teljesítőképességének tervezéséhez és értékeléséhez M1-6 modul
4. MSZ EN 16798-3:2018 Épületek energetikai teljesítőképessége. Épületek szellőztetése. 3. rész: Nem lakóépületek szellőztetése. Helyiségek szellőztető- és légkondicionáló rendszereinek teljesítménykövetelményei (M5-1, M5-4 modul)
5. MSZ EN ISO 7726:2003 A hőmérsékleti környezet ergonómiája. A fizikai mennyiségek mérőeszközei (ISO 7726:1998)



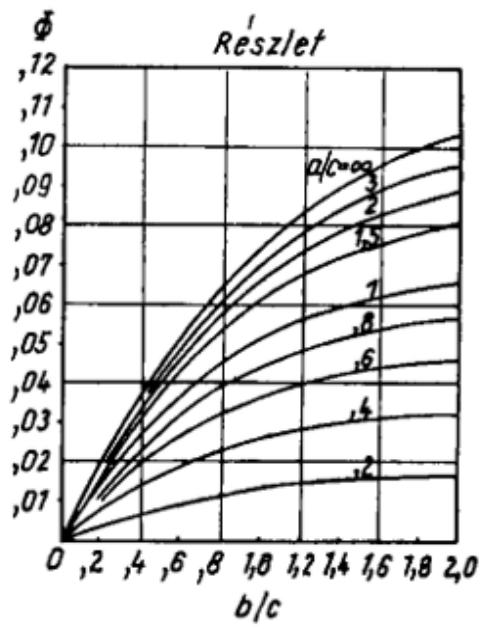
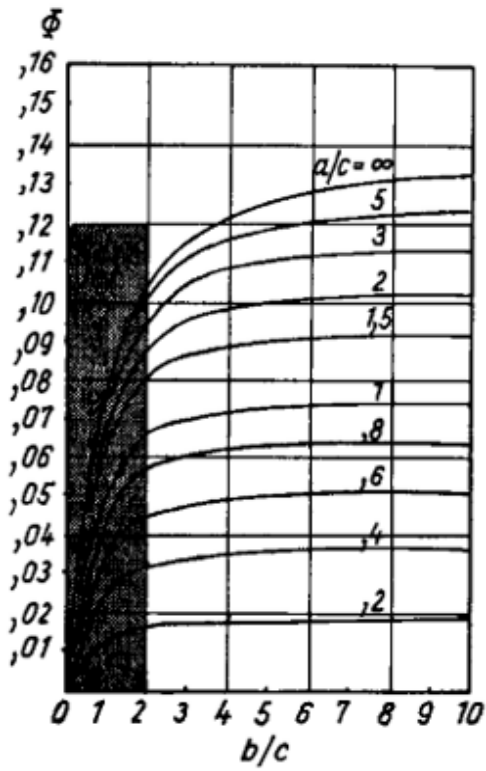
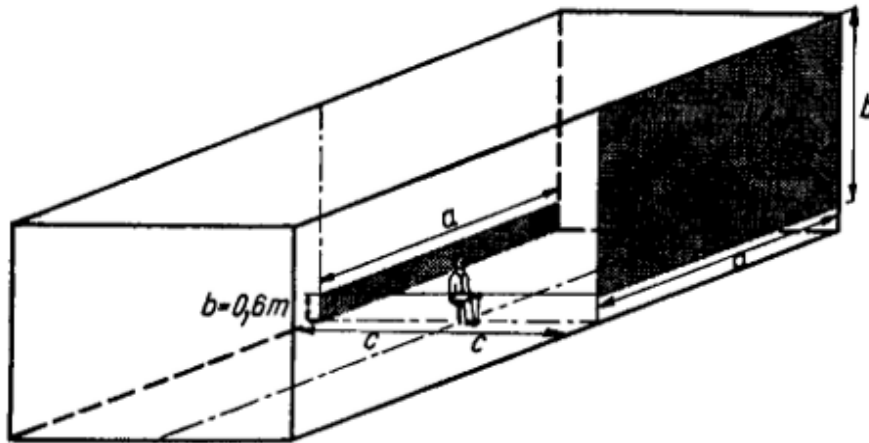
6. MSZ 21875-2:1990 Munkahelyek fűtésének és szellőztetésének munkavédelmi követelményei. A szennyezőanyagok eltávolítása a munkahelyi légtérből
7. MSZE 24140:2012 Épületek és épülethatároló szerkezetek hőtechnikai számításai (visszavont)
8. MSZ 24140:2015 Épületek és épülethatároló szerkezetek hőtechnikai számításai
9. MSZ-04-135-1:1982 Légtechnikai berendezések. Általános előírások (visszavont)

### 5.3. Szakirodalom

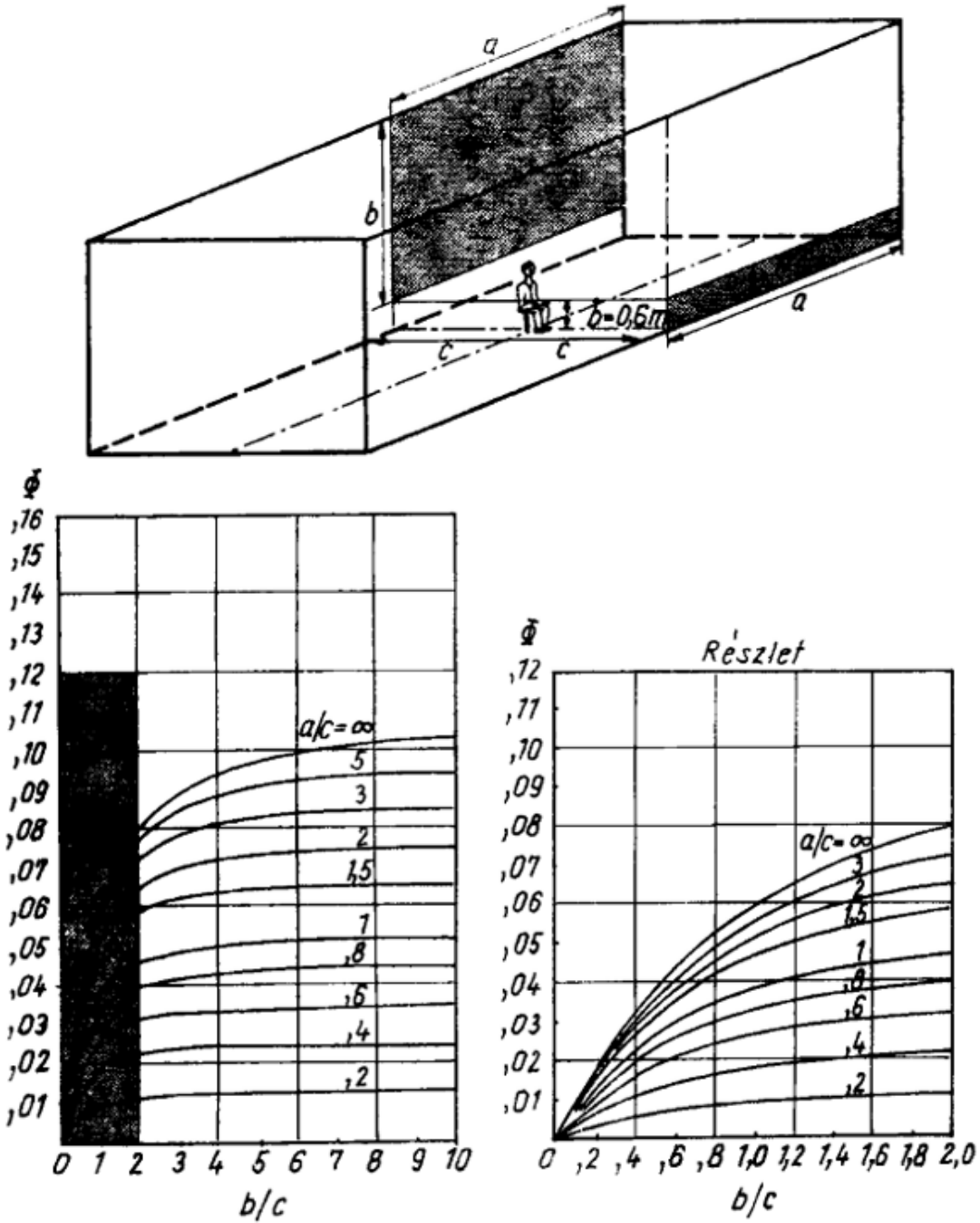
1. Bánhidi L. - Kajtár L.: Válogatott fejezetek a komfortelmélet témaköréből. Akadémiai Kiadó. ISBN 978-963-454-063-2. Budapest 2017
2. Bálint P.: Orvosi élettan. Medicina Könyvkiadó. Bp. 1981
3. Baumbach, G.: Luftreinhalung. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, New York. 1993
4. Bradtke, F. - Liese, W.: Hilfsbuch für Raum- und Aussenklimatische Messungen. Springer-Verlag. Berlin. 1952
5. Fanger, P. O.: Thermal Comfort. Robert E. Krieger Publ. Co., Malabar, Florida. 1982 p. 244.
6. Fanger, P. O.: Introduction of the Olf and Decipol Units to Quantify Air Pollution. Perceived by Humans Indoors and Outdoors. Energy and Buildings. 1988
7. Kollmar, A. - Liese, B.: Die Strahlungsheizung. R. Oldenburg. München. 1957
8. Kröling, P.: Das Sick Building Syndrom aus medizinischer Sicht: Ursachen und Prophylaxe. CCI Sonderdruck 9/92
9. Recknagel - Sprenger - Schramek: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. R. Oldenbourg Verlag GmbH. München. 1995
10. Hrustinszky Tamás: Komfortterek belső levegőminőség emisszióforrásainak vizsgálata. PhD disszertáció, BME. 2013 Témavezető: Dr. Kajtár L.
11. Dr. Kajtár László: Irodaházak hő- és levegőminőségi komfort elemzése. Habilitációs disszertáció, BME. 2017

12. Szabó János: Energiatudatos klimatizálás, különös tekintettel eltérő rendeltetésű zárt terek komfortjára. PhD disszertáció, BME. 2017 Témavezető: Dr. Kajtár L.
13. ASHRAE: Standard 55-81: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. ASHRAE, New York. 1981
14. ASHRAE Handbook, Fundamentals. Atlanta, American Society of Heating, Refrigerating and Air - Conditioning Engineers. 1997

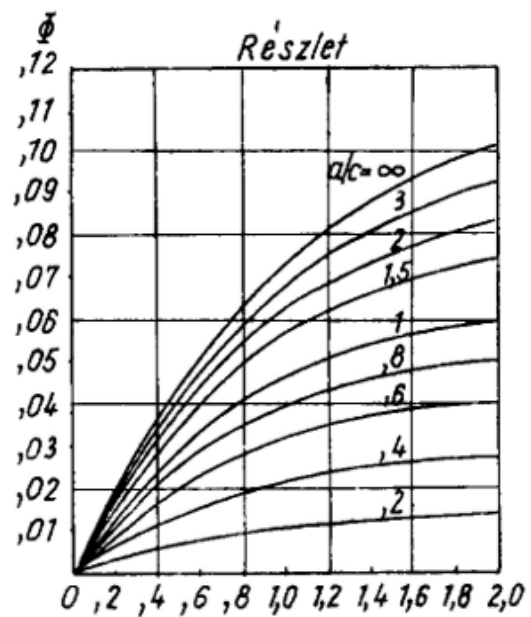
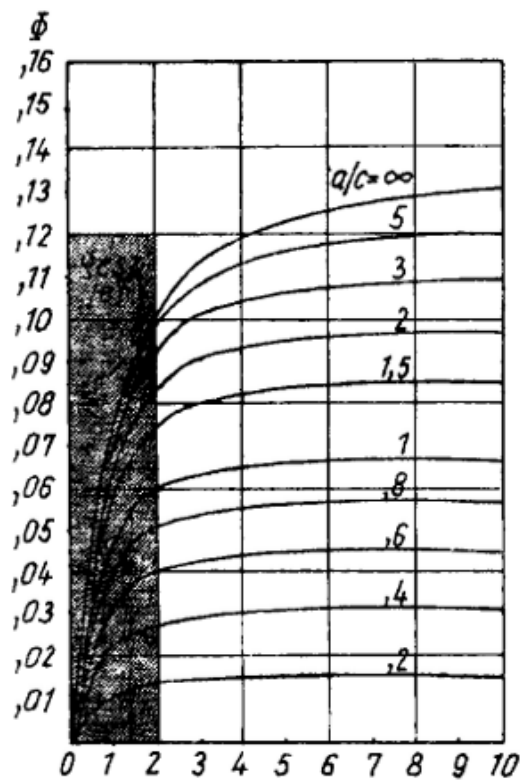
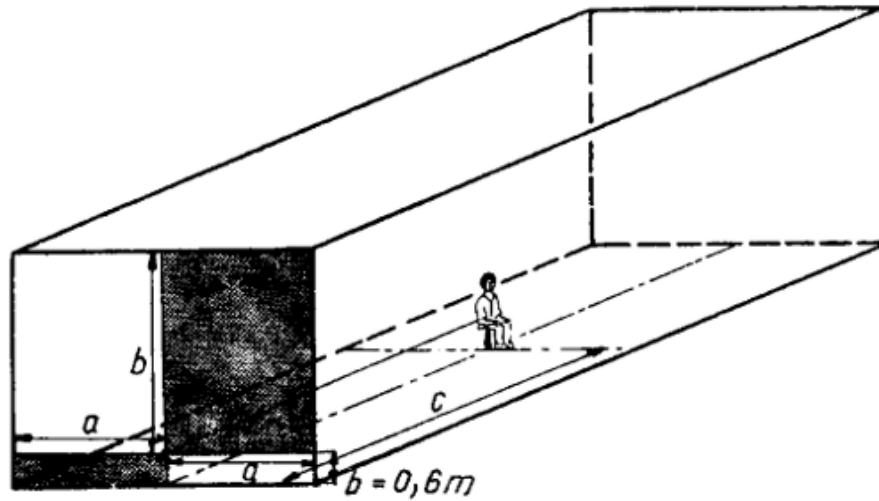
**6.1. 1. számú melléklet: Besugárzási tényezők meghatározása**



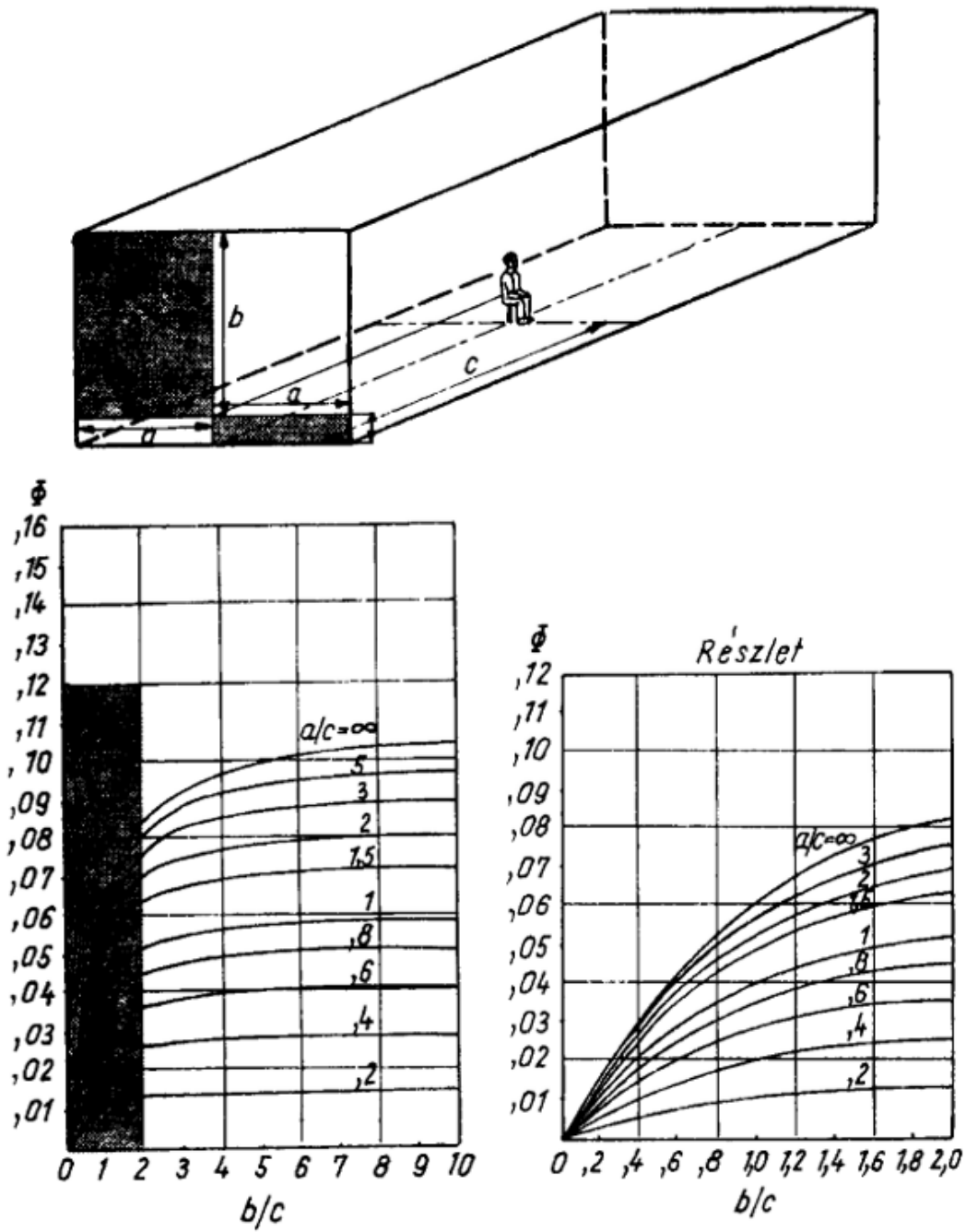
1. ábra: Besugárzási tényező ülő ember és vertikális síkok között, ha az vele szemben súlypontja felett vagy háta mögött súlypontja alatt van



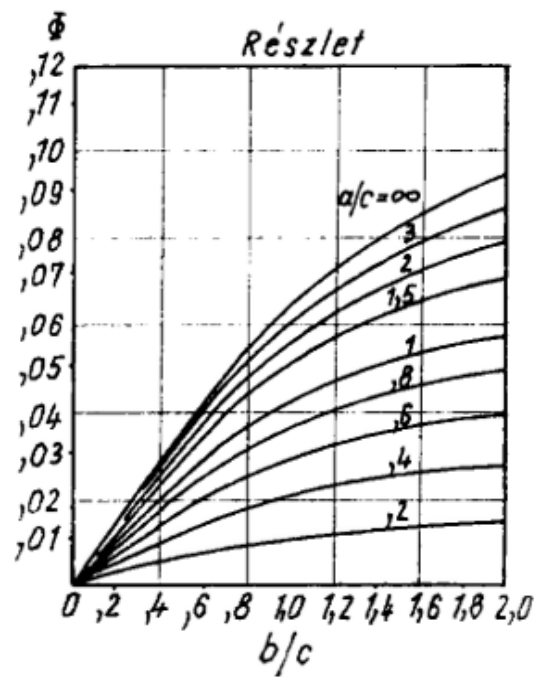
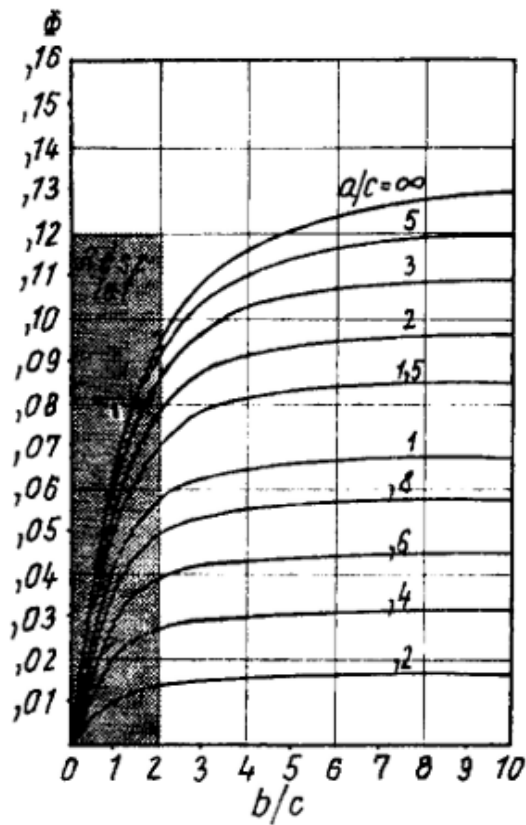
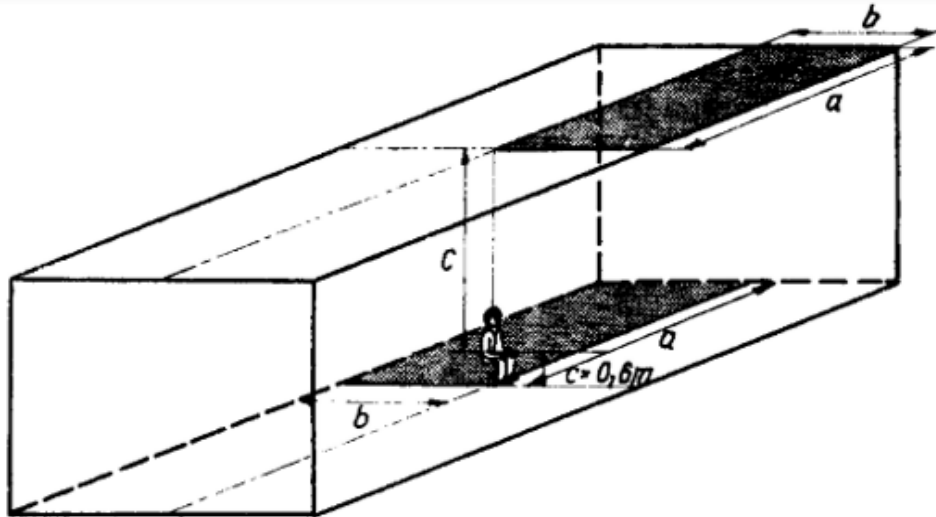
2. ábra: Besugárzási tényező ülő ember és vertikális síkok között, ha az vele szemben súlypontja alatt vagy háta mögött súlypontja felett van



3. ábra: Besugárzási tényező ülő ember és oldalt lévő vertikális síkok között, ha az testsíkja előtt, súlypontja felett, vagy a testsíkja mögött, súlypontja alatt helyezkedik el

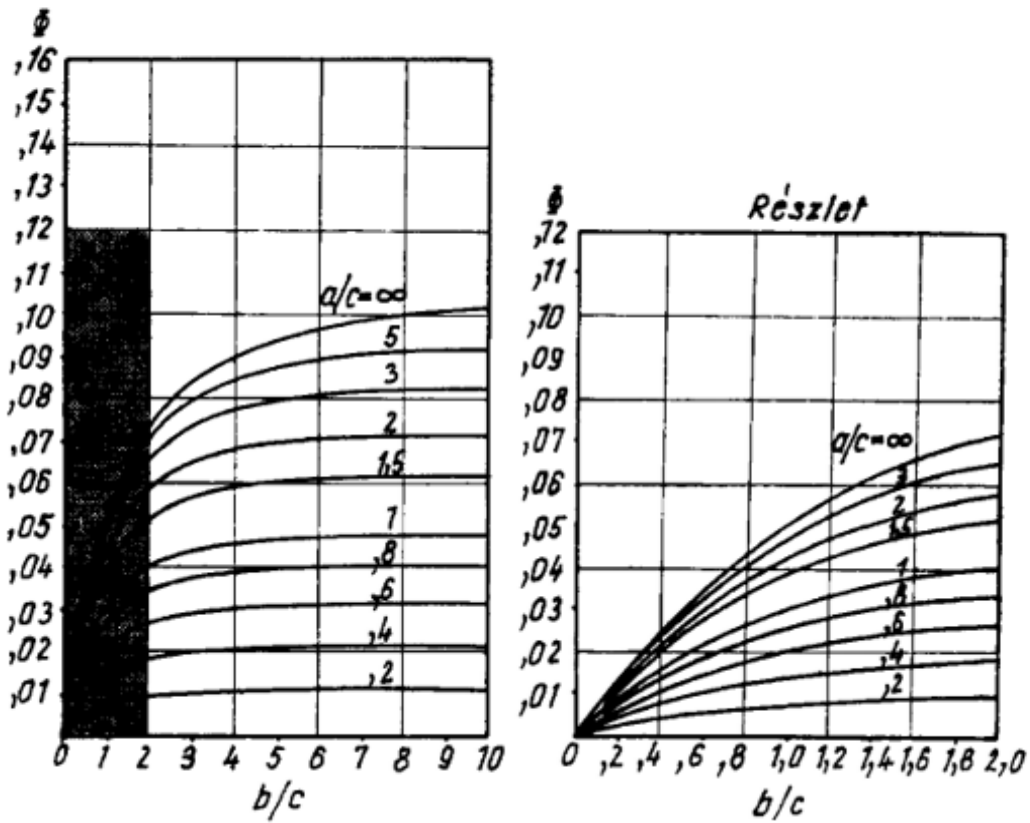
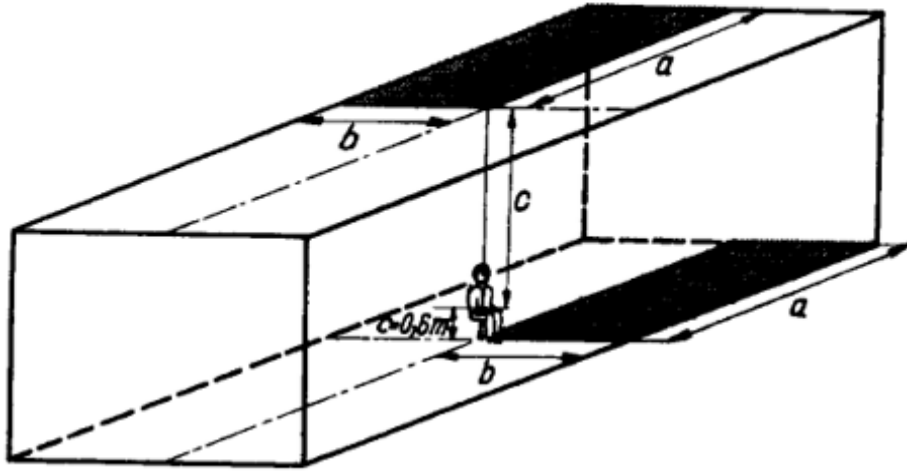


4. ábra: Besugárzási tényező ülő ember és oldalt lévő vertikális síkok között, ha az testsíkja előtt, súlypontja alatt, vagy testsíkja mögött, súlypontja felett helyezkedik el

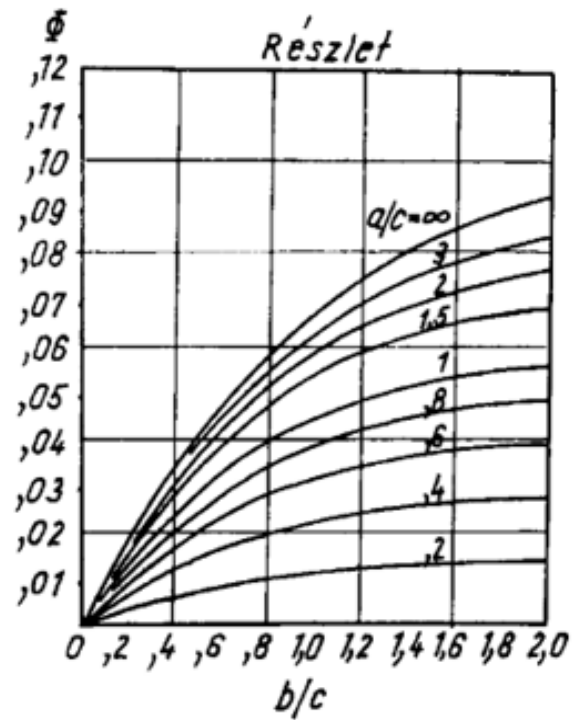
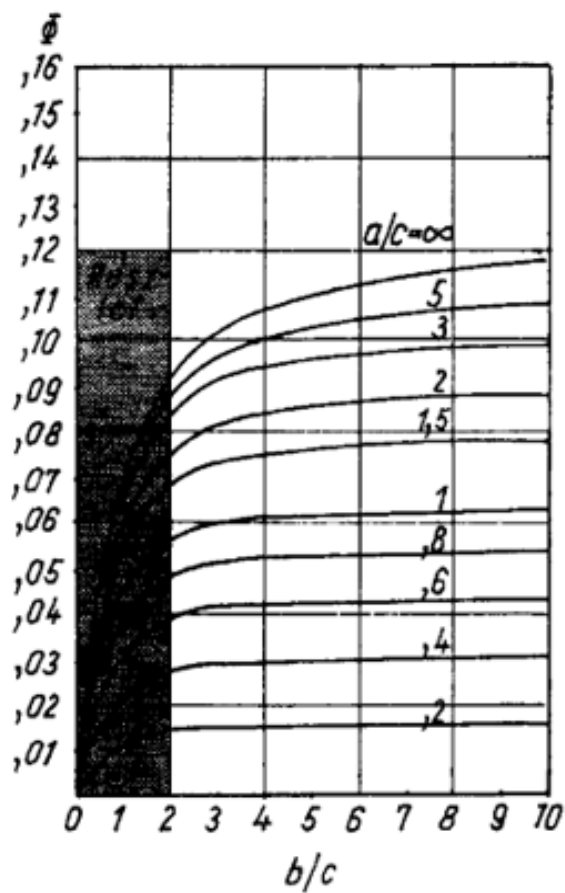
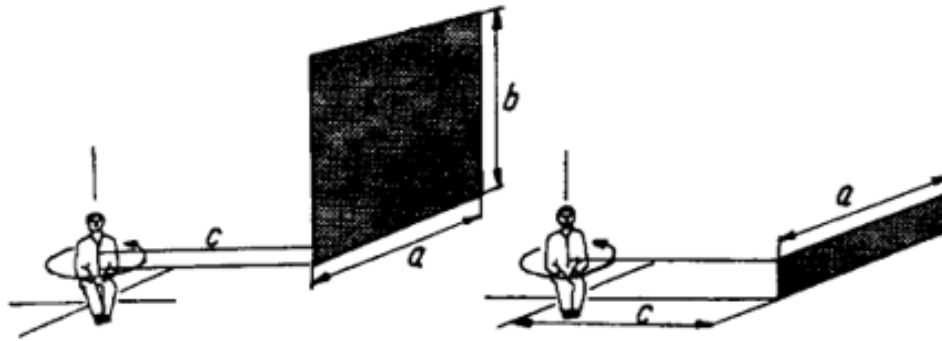


5. ábra: Besugárzási tényező ülő ember és testsíkja előtti mennyezeti vagy testsíkja mögötti padló felületére

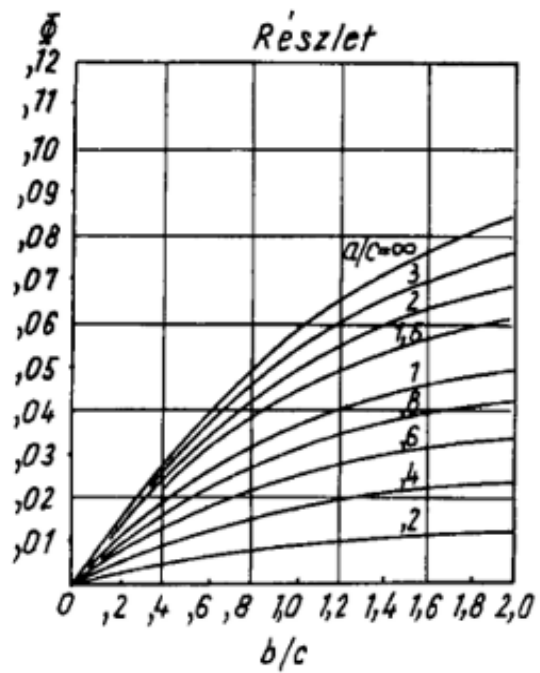
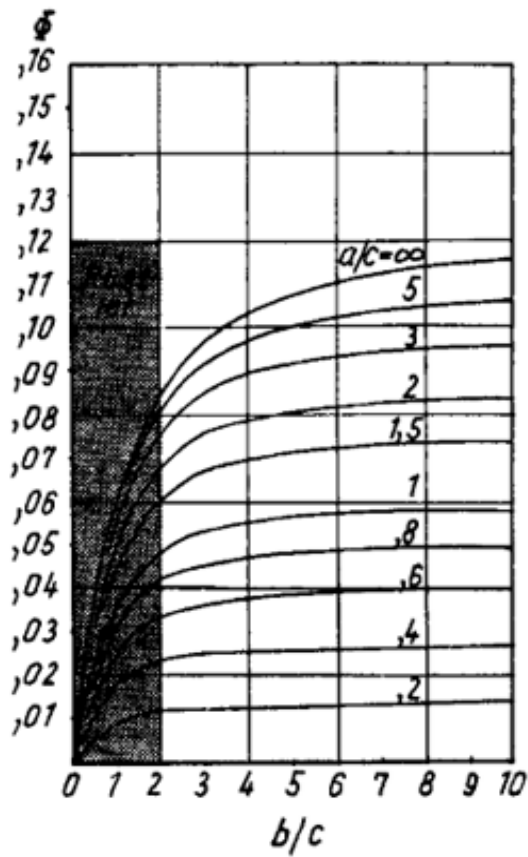
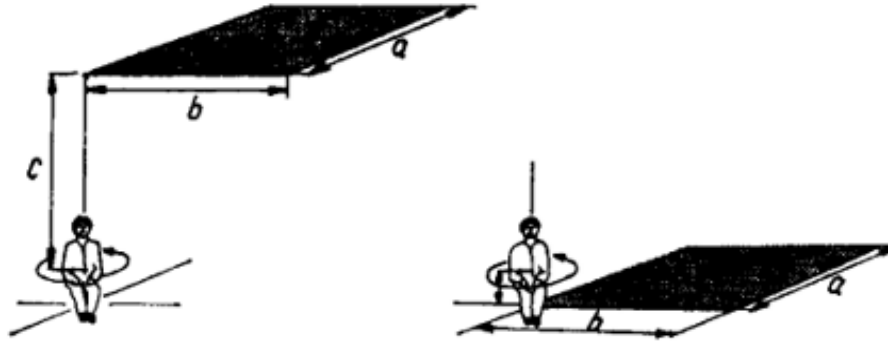




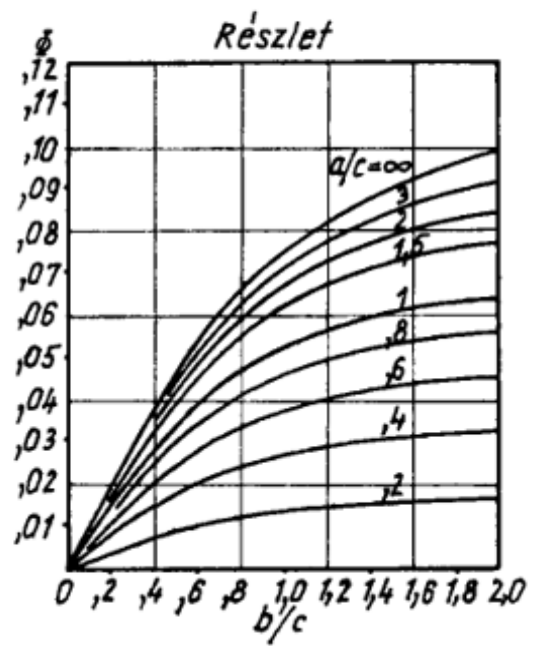
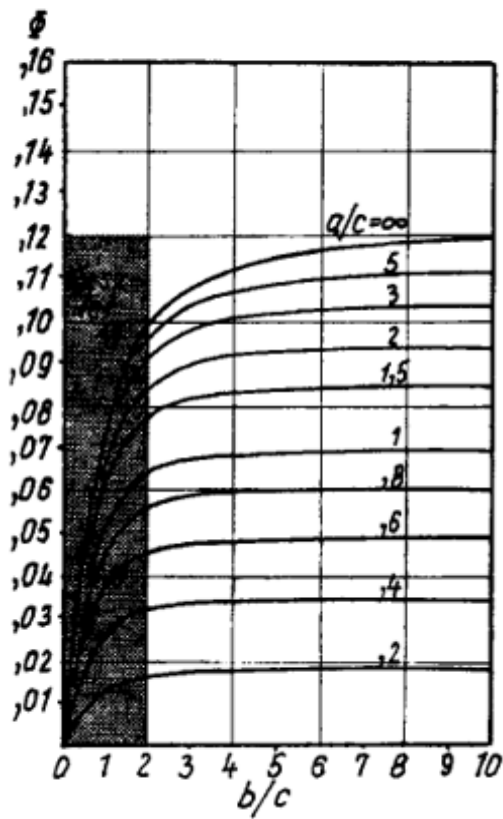
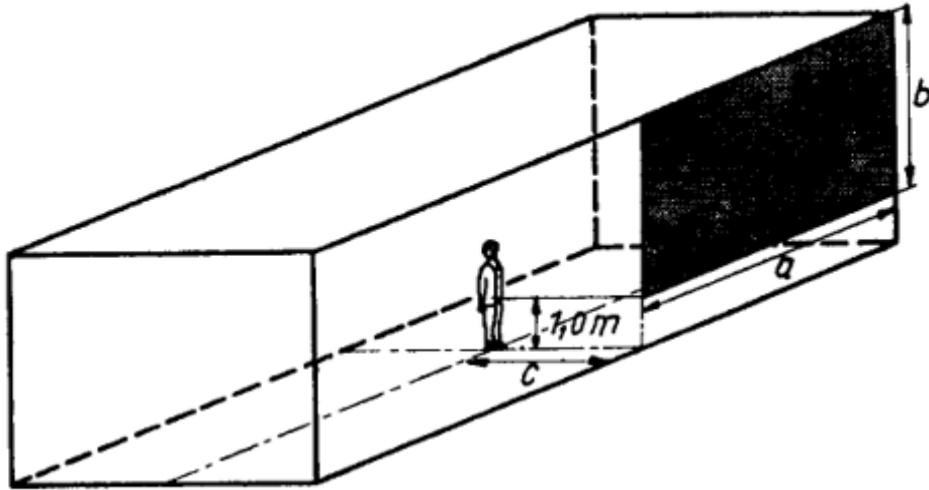
6. ábra: Besugárzási tényező ülő ember és testsíkja előtt padló vagy testsíkja mögött mennyezeti felületre



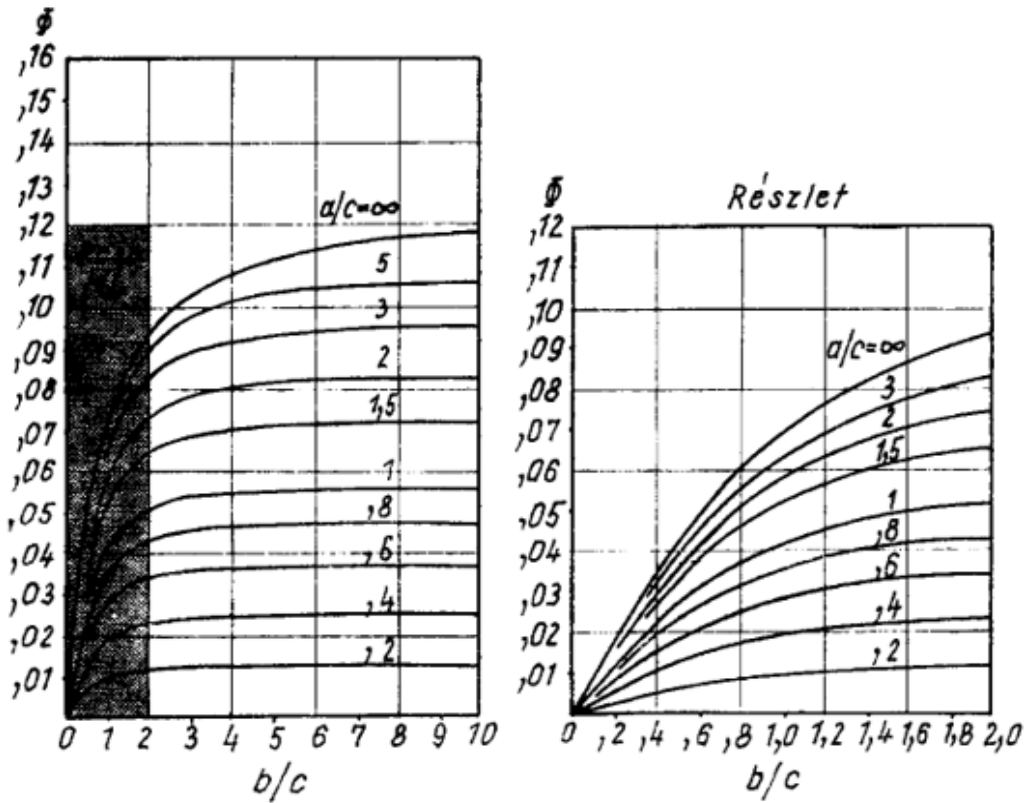
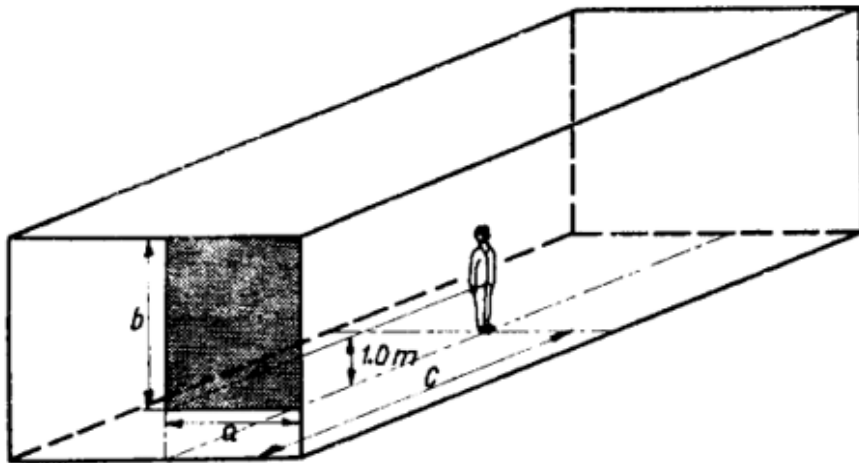
7. ábra: Besugárzási tényező ülő ember és szemben lévő vertikális sík (súlypont felett vagy alatt) között, ha a személy elfordulhat függőleges tengelye körül (Akkor alkalmazható, ha az egyén helye ismert, de a szemben lévő síkhoz viszonyított elfordulása nem)



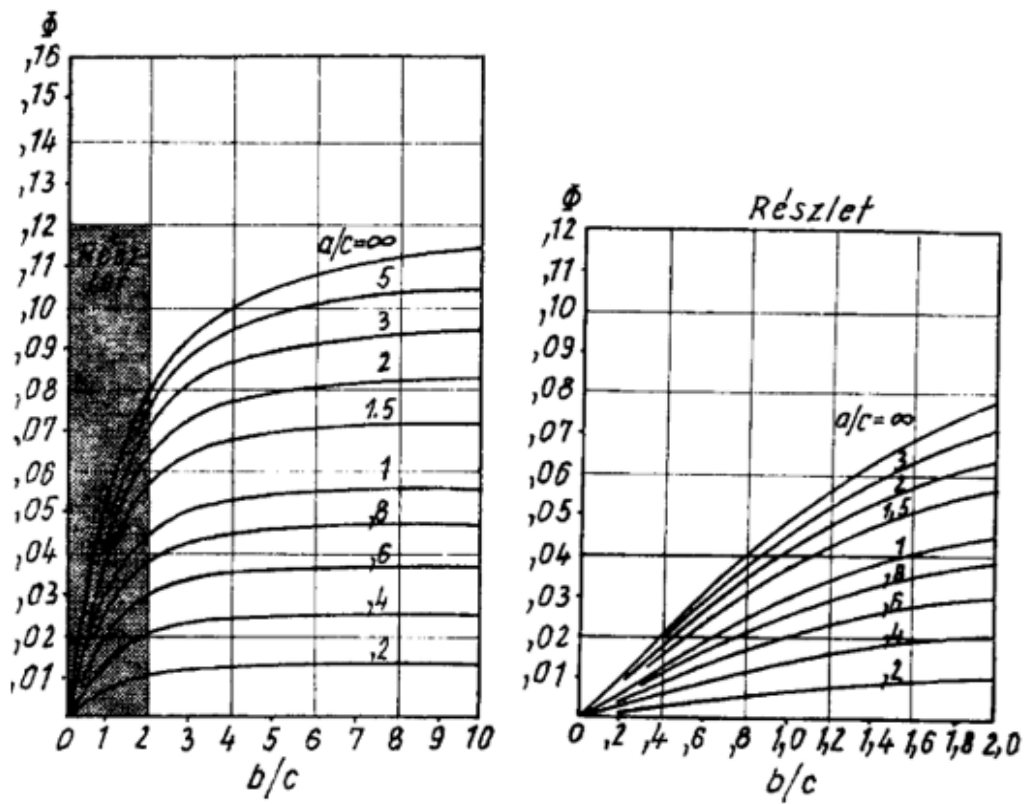
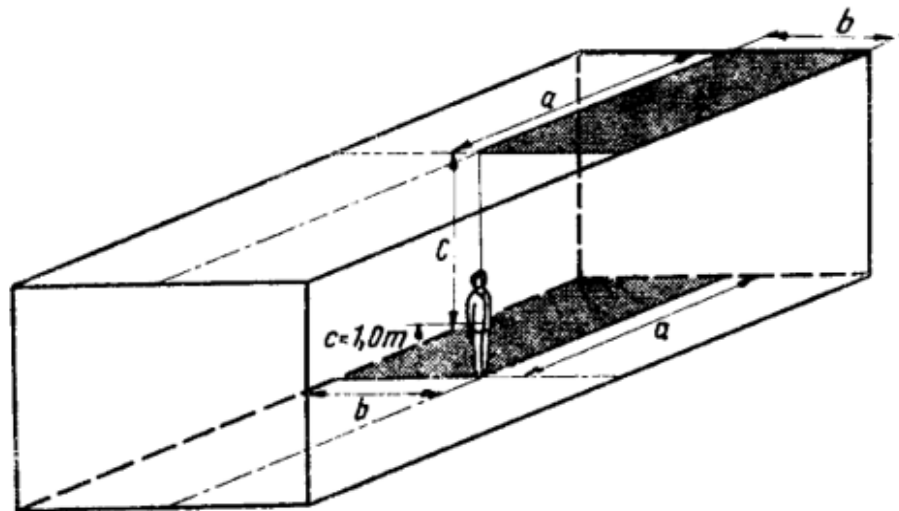
8. ábra: Besugárzási tényező ülő ember és felette, vagy alatta lévő vízszintes sík között (Akkor alkalmazható, ha az egyén helye ismert, de a szemben lévő síkhoz viszonyított elfordulása nem)



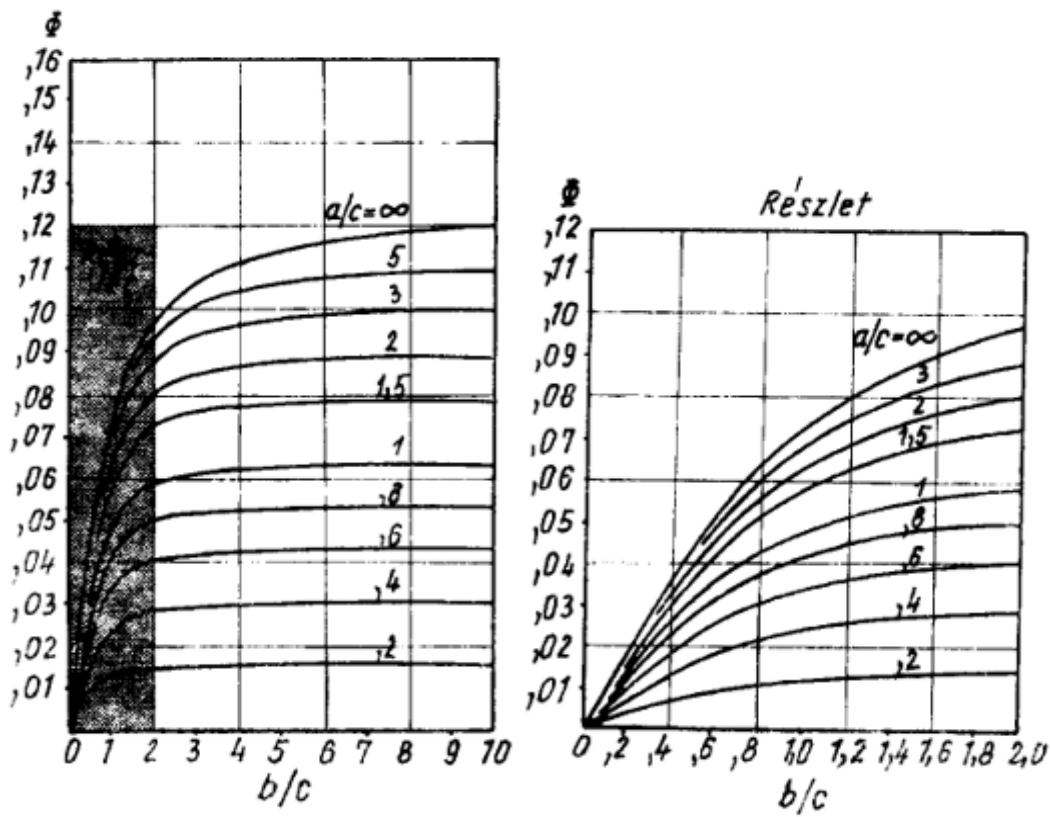
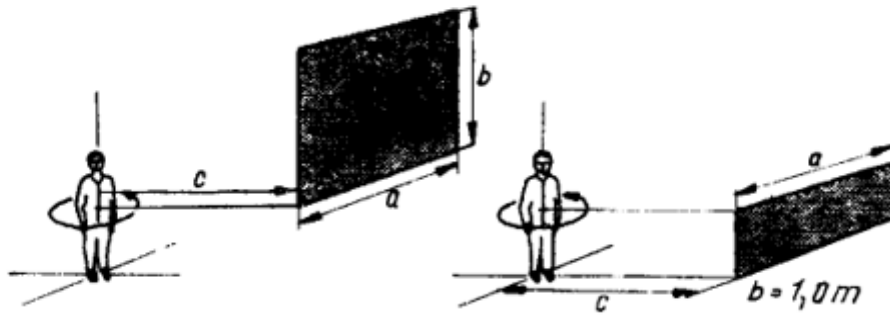
9. ábra: Besugárzási tényező álló ember és súlypontja felett, vele szemben vagy háta mögött lévő függőleges sík között



10. ábra: Besugárzási tényező álló ember és súlypontja felett oldalt elöl vagy hátul elhelyezett függőleges sík között

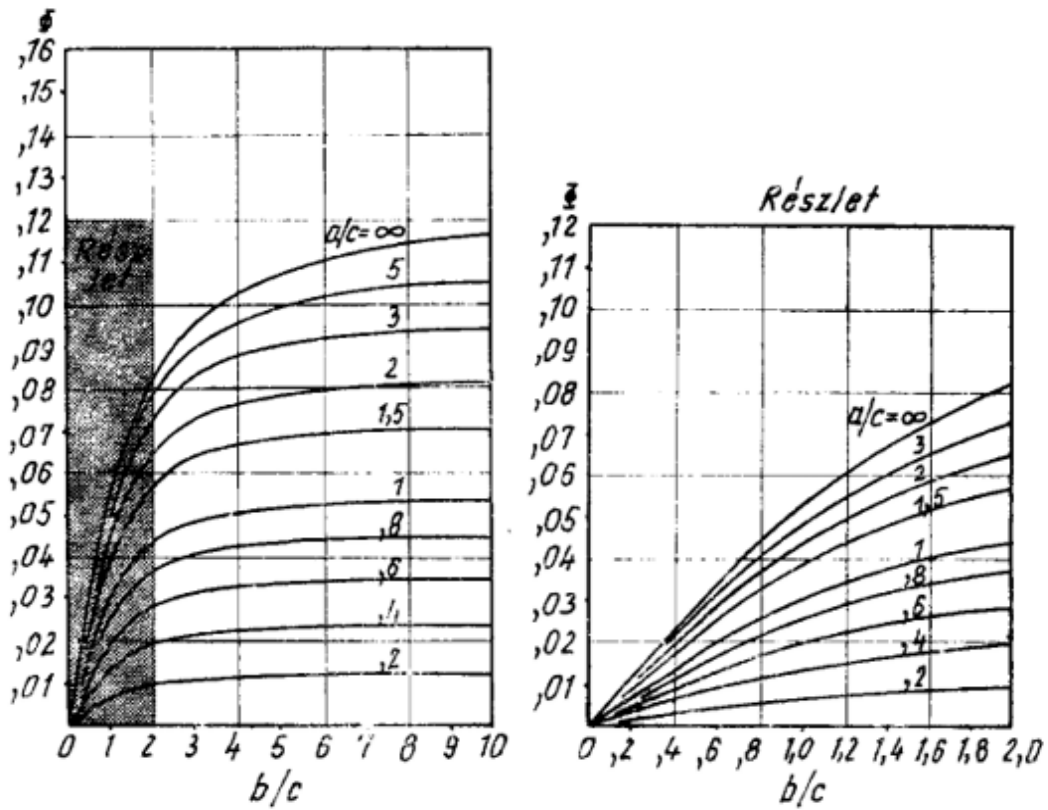
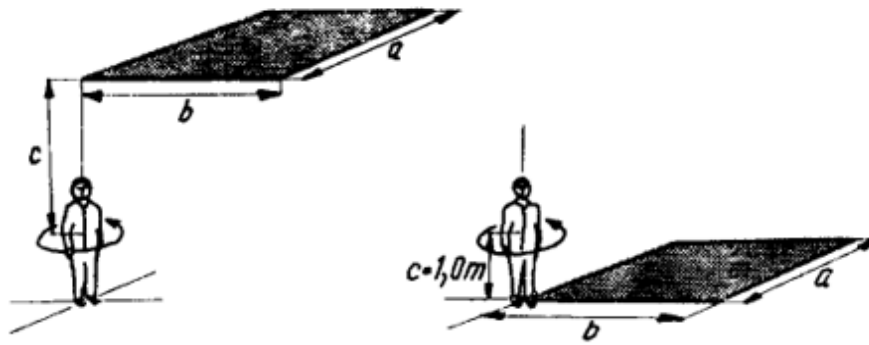


11. ábra: Besugárzási tényező álló ember és súlypontja feletti vagy alatti, előtte vagy mögötte lévő vízszintes sík között



12. ábra: Besugárzási tényező álló ember és szemben lévő vertikális sík (súlypontja felett és alatt) között, ha a személy elfordulhat függőleges tengely körül (Akkor alkalmazható, ha az egyén helye ismert, de a szemben lévő síkhoz viszonyított előfordulása nem)





13. ábra: Besugárzási tényező álló ember és felette vagy alatta lévő vízszintes sík között (Akkor alkalmazható, ha az egyén helye ismert, de a szemben lévő síkhoz viszonyított elfordulása nem)



*AZ ÉPÜLETEN BELÜLI KOMFORT-TÉNYEZŐK KÖVETELMÉNYEI (HŐ- ÉS LEVEGŐMINŐSÉGI KOMFORT)*  
című építésügyi műszaki irányelvet a szakmai szervezetek véleményezése mellett  
összeállította, a tervezet előkészítéséért felelős:

▶ Építésügyi Minőségellenőrző Innovációs Nonprofit Kft.  
2000 Szentendre, Dózsa György út 26.

▶ Telefon: +36 (26) 502 300

▶ E-mail: [emszb@emi.hu](mailto:emszb@emi.hu)

▶ Honlap: [www.emi.hu](http://www.emi.hu)

*A kiadvány megjelenése a Miniszterelnökség és az Innovációs és Technológiai Minisztérium  
támogatásával valósult meg.*



INNOVÁCIÓS ÉS TECHNOLÓGIAI  
MINISZTERIUM

 **ÉMSZB**  
ÉPÍTÉSÜGYI MŰSZAKI SZABÁLYOZÁSI BIZOTTSÁG

