



M ű e g y e t e m 1 7 8 2

# **A sugárzási hőmérsékletaszimmetria emberre gyakorolt hatásának vizsgálata**

**Doktori értekezés\***

Vajdáné Frohner Ilona

Témavezető: Dr. Bánhidi László  
Prof. emeritus

**BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM  
ÉPÜLETGÉPÉSZETI TANSZÉK**

Budapest  
2006.

---

\* A dolgozat bírálatai és a védésről készült jegyzőkönyv a védés után a BME Gépészmérnöki Kar  
Dékáni Hivatalában megtekinthetők



M ű e g y e t e m 1 7 8 2

# **Investigation of the Impacts of Radiation Asymmetry on Humans**

**Ph.D. Dissertation**

Vajdáné Frohner Ilona

Supervisor: Bánhidi László Dr.  
Prof. Emeritus

**BUDAPEST UNIVERSITY OF TECHNOLOGY AND ECONOMICS  
DEPARTMENT OF BUILDING SERVICE ENGINEERING**

Budapest  
2006.

## TARTALOMJEGYZÉK

<b>Jelölések jegyzéke</b> .....	1
<b>1. Bevezetés</b> .....	3
1.1. Előzmények .....	3
1.2. Célkitűzések .....	4
<b>2. A sugárzási hőmérsékletaszimmetria és a helyiségek hőkomfortja</b> .....	5
<b>2.1. A sugárzási hőmérsékletaszimmetria</b> .....	5
<b>2.2. A sugárzásos hőcsere</b> .....	6
2.2.1. A besugárzási tényező meghatározása a vizsgálótest alakja szerint .....	7
2.2.2. Felület és felületelem közti besugárzási tényező számítása .....	8
2.2.3. Besugárzási tényező számítása felület és az elemi gömb esetén .....	13
2.2.4. Besugárzási tényező felület és az emberi test között .....	15
<b>2.3. A termikus komfort és befolyásoló tényezői</b> .....	16
2.3.1. A várható szubjektív hőérzetet befolyásoló tényezők .....	18
2.3.2. A várható hőérzet és a helyiségparaméterek kapcsolata .....	20
2.3.3. Ajánlások tervezéshez a gyakorlati tapasztalatok alapján .....	20
2.3.4. Diagramok a hőérzeti optimum meghatározására .....	21
2.3.5. Komforttartományok .....	22
<b>2.4. A termikus komfort különböző források alapján meghatározott peremfeltételei irodai és hasonló helyiségekre vonatkozóan</b> .....	24
2.4.1. Az MSZ CR 1752:2000 hőkomfortra vonatkozó előírásai .....	24
2.4.1. Előírások a hőkomfortra .....	25
2.4.2. A sugárzási hőmérsékletaszimmetriára vonatkozó előírások .....	25
<b>2.5. A sugárzási hőmérsékletaszimmetria különböző számítási módszerei és összehasonlításuk</b> .....	26
<b>2.6. A sugárzási hőmérsékletaszimmetria megengedett értékeit megalapozó kutatások</b> .....	27
2.6.1. A sugárzási hőmérsékletaszimmetria kutatásnál elvégzett kísérletek kritikai megjegyzései .....	33
2.6.2. A meglévő vizsgálati adatok Glück szerinti átértékelése .....	35

<b>3. A komforttartomány szerkesztése a PMV = állandó görbékkel</b>	37
<b>3.1. Az új komforttartomány szerkesztésének elve</b>	37
<b>3.2 A komforttartomány szerkesztésének menete</b>	38
3.2.1 A PMV=állandó vonalak vizsgálata	39
3.2.2 A $t_{lev}$ - $t_{ks}$ síkon ábrázolt PMV-tartományok helyzetét befolyásoló tényezők..	41
3.2.3 Az operatív hőmérséklet- tartomány szerkesztése a $t_{lev}$ - $t_{ks}$ síkon	43
3.2.4 A komforttartomány oldalsó lezárása	45
3.2.5. A paraméterek változásának hatása az operatív hőmérséklet tartományára és a komforttartományra	48
<b>3.3. A téli estre vonatkozó komforttartomány fűtött helyiség esetén</b>	49
<b>3.4. A változók hatásának figyelembevétele</b>	50
3.4.1. A relatív nedvességtartalom változásának hatása a komforttartományra	51
<b>3.5. Eredmények</b>	53
<b>3.6 A közepes felületi és közepes sugárzási hőmérséklet</b>	56
<b>3.7. Példa a komforttartomány gyakorlatban történő alkalmazására</b>	58
<b>3.8. Kiegészítő megjegyzések a komforttartományhoz</b>	59
<b>3.9. A z új komforttartomány szerkesztése alapján levonható következtetések (tézisek)</b>	60
<b>4. A sugárzási hőmérsékletek és sugárzási hőmérsékletaszimmetria számítása</b>	61
<b>4.1. A sugárzási hőmérséklet, a közepes sugárzási hőmérséklet és a sugárzási hőmérsékletaszimmetria</b>	61
<b>4. 2. A sugárzási hőmérséklet hatványfüggvényének linearizálása</b>	65
<b>4.3. A sugárzási aszimmetria lehetséges értelmezései, számításmódjai</b>	68
4.3.1. Az összehasonlító számítások alapjai	68
4.3.2. A vizsgálat eredménye	72
<b>4.4. A sugárzási hőmérsékletaszimmetria számításának új módszere</b>	72
4.4.1. A besugárzási tényező számítása a szerkesztéses módszer felhasználásával	72
4.4.2. A felületelem és a vizsgálósík helyzete	73
4.4.3. A sugárzási félterek a sugárzási hőmérsékletaszimmetria meghatározásának különböző eseteinél	74
4.4.4. A szerkesztéses módszer alkalmazása a Maple matematikai program segítségével	76

---

4.5. A CR 1752 szerinti sugárzási aszimmetria megengedett határgörbéinek átszerkesztése az új számítási módszernek megfelelően .....	81
4.6. Az új módszer szerint átszerkesztett megengedett határgörbékre vonatkozó megállapítások .....	87
4.7. A sugárzási hőmérsékletaszimmetria meghatározásának új módszerével elért eredmények összefoglalása .....	89
4.8. Tézisek .....	90
5. Az aszimmetria kutatásának keretében elvégzett hőkomfortmérések .....	91
5.1. A mérések metodikája .....	91
5.2. A mérések ismertetése .....	92
5.2.1. A hőérzeti laboratórium .....	92
5.2.2. A mérések lefolytatása és változó paraméterei .....	93
5.3. A vizsgálatok eredménye .....	94
5.4. A vizsgálati eredmények kiértékelése .....	97
5.5. A sugárzási hőmérsékletaszimmetria új számítási módszerének alkalmazása a hőérzeti laborban elvégzett mérések eseteire .....	98
5.6. A hideg-, és meleg-aszimmetria szerinti értékelés .....	101
5.7. Az élőalanyos és műemberes mérések eredményeinek összehasonlítása .....	103
5.8. Az élőalanyos és műemberes mérések eredményeiből levonható következtetések .....	106
5.9. Tézisek .....	107
6. Összefoglalás, tézisek .....	108
6.1. Összefoglalás tudományos eredmények .....	108
6.2. Tézisek .....	112
6.3. PhD Thesis .....	113
6.4. További kutatási feladatok .....	114
6.5. Az értekezés magyar nyelvű összefoglalója .....	115
6.6. English summary - angol nyelvű összefoglaló .....	116

<b>Irodalomjegyzék</b> .....	117
<b>Publikációk</b> .....	123
<b>Függelék</b> .....	126
F.2.1. A besugárzási tényező meghatározására szolgáló méretezési diagramok .....	126
F.2.2. A Fanger-féle komfortdiagram .....	126
F.3.1. A komforttartomány szerkesztésére készített Maple-ban megírt program ismertetése	127
F.3.1.1. A PMV=állandó és $t_{op}$ =állandó vonalak vizsgálata .....	129
F. 3. 2. Az operatív hőmérséklet-, és PMV- tartományok összehasonlítása .....	141
F. 3.3. A komforttartomány szerkesztése az A kategóriára a sebesség és parciális vízgőznyomás hatásának figyelembevételével .....	144
F.3.4. Eredmények .....	145
F 4. A szerkesztéses eljárás ellipszis ívei szerinti korrekció .....	152
F. 5. Az élőalanyos és műemberes mérések mérési körülményei .....	154
F.5.1. A mérési körülmények ismertetése .....	154
F.5.2. Az élőalanyos mérések .....	155
F.5.3. A műemberes mérések .....	157
F.5.4. A mérési eredmények .....	159
F.5.4.1. A mért adatok mennyisége .....	159
F.5.4.2. A mérési eredmények feldolgozási módszere .....	159
F.5.5. A PMV-PPD kapcsolata az épületminőségi kategóriák összetartozó PMV-PPD értékpárainak, tartományainak feltüntetésével .....	160
F.5.6. A sugárzási hőmérsékletaszimmetria értékei a hőérzeti laboratórium $\Delta t_{fal}= 8\text{ °C}$ és $\Delta t_{fal}= 13\text{ °C}$ falhőmérsékletei esetén .....	161
F.5.7. Az élőalanyos és műemberes mérések eredményeinek összehasonlítása ...	164

## Jelölések jegyzéke

a	[-]	abszorpciós tényező
$f_{cl}$	[%]	a ruházat felülete és a ruházattal borított testfelület aránya
met	[W/m <sup>2</sup> ]	a munkavégzés hőegyenértéke
$p_{vg}$	[Hgmm; Pa]	parciális vízgőznyomás
$\dot{q}$	[W/m <sup>2</sup> ]	sugárzási teljesítmény felületegységre vonatkoztatva
r	[m]	távolság
t, T	[°C; K]	hőmérséklet
$t_{ks}$	[°C]	közepes sugárzási hőmérséklet
$t_{kf}$	[°C]	közepes felületi hőmérséklet
$t_{op}$	[°C]	operatív hőmérséklet
$t_s$	[°C]	sugárzási hőmérséklet
$t_{sug,i}$	[°C]	féltérre vonatkozó sugárzási hőmérséklet
$\Delta t$	[°C; K]	hőmérsékletkülönbség
$\Delta t_a$	[°C; K]	sugárzási hőmérsékletaszimmetria
v	[m/s]	légsebesség
$v_r$	[m/s]	relatív légsebesség
A	[m <sup>2</sup> ]	felület
C	[W]	konvektív hőcsere
$C_i$	[W/(m <sup>2</sup> ·K <sup>4</sup> )]	i-edik felület sugárzási együtthatója
$C_o$	[W/(m <sup>2</sup> ·K <sup>4</sup> )]	fekete test sugárzási együtthatója
DR	[%]	a huzatra érzékenyek százalékos értéke
E	[W]	párolgásos hőleadás
$E_d$	[W]	hőleadás a bőrön diffúzióval
$E_s$	[W]	sugárzásos hőleadás
$E_{re}$	[W]	a kilégzés rejtett hője
$E_{sw}$	[W]	hőleadás a bőrön keresztül izzadással
$F_{Du}$	[m <sup>2</sup> ]	Du Bois testfelület
H	[W]	belső hőszükséglet
I	[W/m <sup>2</sup> ]	műember hőleadása

$I_{cl}$	$[m^2 \cdot K/W]$	ruházat hőszigetelő képessége
$K$	$[W]$	hővezetés ruházaton keresztül
$L$	$[W]$	a kilégzés száraz hője
$L_h$	$[W]$	hőterhelés
$M$	$[W]$	metabolikus hő
$PMV$	$[-]$	várható hőérzeti érték
$PPD$	$[%]$	a hőkönyezettel elégedetlenek százalékos aránya
$\dot{Q}$	$[W]$	hőáram
$R$	$[m]$	kör sugara
$S$	$[W]$	sugárzásos hőcsere
$Tu$	$[%]$	turbulencia intenzitás
$\alpha$	$[W/(m^2 \cdot K)]$	hőátadási tényező
$\varepsilon$	$[-]$	emissziós tényező
$\varphi_{1,2}$	$[-]$	az 1 jelű felületelem besugárzási tényezője a 2 jelű felületre
$\varphi^o_{1,2}$	$[-]$	az 1 jelű elemi gömb besugárzási tényezője a 2 jelű felületre
$\varphi$	$[%]$	relatív nedvességtartalom
$\Phi$	$[-]$	felületek közti besugárzási tényező
$\eta$	$[%]$	mechanikai munka hatásfoka

## Az indexekben

a	aszimmetria
b	bőr
cl	ruházat
fe	felületelem
konv	konvektív
lev	levegő
e	ember
meg	megengedett
sug	sugárzás



## 1. Bevezetés

Az épületek hűtési és fűtési energiafelhasználásának csökkentésére irányuló törekvések is arra ösztönöznek, hogy az emberi test hőkomfortját befolyásoló paraméterek meghatározásával kapcsolatban ismereteinket a valóságot jobban leíró tudományos megállapításokkal egészítsük ki, és a tervezési gyakorlat számára iránymutató számítási eljárásokat vezessünk be.

A hőkomforttal kapcsolatos kutatások tudományosan elismert eredményei az 1980-as évek óta nem csak a tudományos életben kaptak egyre nagyobb szerepet, hanem az új eredmények az elmúlt években bevezetésre került szabvány [MSZ CR 1752:2000] révén a tervezési gyakorlatban is megjelentek.

Az emberi test hőkomfortját alapul vevő méretezési módszer szükségessé teszi azokat a kutatásokat, amelyek az emberi test hőkomfortját befolyásoló paraméterekre irányulnak. Az eredmények várhatóan nem csak az épületgépészeti tervezés területén hoznak változásokat, hanem az építészeti tervezésben való hasznosítás révén az építészeti és épületgépészeti tervezés szorosabb integrációját eredményezik.

### 1.1. Előzmények

A 2000-ben meghirdetett doktori téma az aszimmetrikus sugárzás emberre gyakorolt hatásának vizsgálatát és a tervezést segítő komplex méretezési módszer kidolgozását célozza.

A téma aktualitását a következő tényezők alapozzák meg:

- Az energiatakarékosság általános követelménye, és az épületek európai energiatakarékossági rendeletek szerinti minősítése. A helyiségek komfortkritériumainak biztosítása mellett a primerenergia-felhasználás csökkentése fontos szempont lesz a középületek és lakóépületek épületgépészeti, és építészeti tervezésénél. Ennek kapcsán előtérbe kerültek azok a számítások, amelyek a helyiségen belül - a hőkomfort érdekében - a fűtő- és hűtőfelületek optimális elhelyezésével, gazdaságos kialakításával foglalkoznak, és a felhasznált energia vonatkozásában az épületgépészeti rendszerek gazdaságos üzemeltetését tűzik ki célul, előnyben részesítve a megújuló energiaforrásokat. A helyiségek hűtésénél és fűtésénél előtérbe kerültek a kis hőmérsékletkülönbséggel üzemelő termikusan aktivált felületek (pl. betonfödémek). Ugyanakkor egyre nagyobb tért hódít az üvegépítészeti, amely következtében a nagyméretű üvegfelületek hideg, illetve meleg belső felületi hőmérsékletével, azoknak a hőmérséklet-aszimmetriára, ezáltal a hőérzetre gyakorolt hatásával számolni szükséges.

- A sugárzási hőmérsékletaszimmetria szerepe a szabvány követelményeiben megfogalmazott komfortkritériumok közül a legjelentősebb, mivel egyrészt ez az egyik olyan diszkomforttényező, amelynek a (pl. ülő helyzetben munkát végző) ember hőérzetére gyakorolt kellemetlen hatását más, a hőérzetet befolyásoló paraméterrel (pl. levegőhőmérséklettel), vagy az embertől függő tényezőkkel (pl. az öltözettel) sem lehet kompenzálni. Másrészt, hatásában megtalálható a padló felületi hőmérséklete, mint hideg, vagy meleg felület, valamint hatással van a helyiségben kialakuló légsebességre is, a termikusan aktív felületek mellett kialakuló természetes légáram révén. A helyiségben kialakuló hőmérsékletaszimmetria alapvetően a hely függvényében változik, de az építészeti kialakítás és az épületgépészeti rendszer együttes hatásától, valamint a külső időjárási viszonyoktól, azok időbeni lefutásától is függ.

- A sugárzási hőmérsékletaszimmetria értékére vonatkozó elméleti számítások s azok eredményei eltérőek.

Mindezek a tényezők és hatásuk indokolttá teszik, hogy a hőérzeti kutatásokban a sugárzási hőmérsékletaszimmetria kiemelt szerepet kapjon, és az ember hőérzetére gyakorolt hatásának vizsgálatánál a többi diszkomforttényező elé helyezzük.

## 1.2. Célkitűzések

1. A kutatás célja, hogy a sugárzási aszimmetria értelmezésében, számításában és a PMV-PPD összefüggéssel való kapcsolatában új tudományos eredményeket hozzon létre. Az első saját eredmények arra engedtek következtetni, hogy a sugárzási hőmérsékletaszimmetria hatása nem értelmezhető az általános hőérzettől függetlenül, ezért a kettő közti kapcsolatot is szükségesnek tartottam megvizsgálni.
2. Az általános hőérzet megítélésére szolgáló komfortos tartományok és a PMV-értékek közötti kapcsolat meghatározására célul tűztem ki egy új komforttartomány megszerkesztését, amely a szabványban rögzített PMV követelményeknek megfelelő - a különböző épületminőségi kategóriákra vonatkozó - tartományokat ábrázolja.
3. A nemzetközi gyakorlatban a sugárzási aszimmetria számítására különböző vizsgálótesteket alkalmaznak, és a besugárzási tényezők számítására alkalmazott összefüggések is különbözőek. Céлом volt, hogy
  - a sugárzási hőmérsékletek számítására vonatkozó különböző összefüggéseket feltárjam,
  - ezek összehasonlító vizsgálatát elvégezzem, végül
  - a sugárzási hőmérsékletaszimmetria számítására új módszert dolgozzak ki, amely az ismert számítási eljárásokhoz viszonyítva az aszimmetriát jobban, nagyobb mértékben kimutatja.
4. További célkitűzésem, hogy a sugárzási hőmérsékletaszimmetria megengedett értékeit tartalmazó diagramot, az eredeti, a sugárzási hőmérsékletaszimmetria megengedett értékeit megalapozó mérések eredményeinek felhasználásával átdolgozzam, azért, hogy az elkészített programok eredményei a tervezési gyakorlatban felhasználhatók legyenek.
6. A kutatás keretében az OTKA támogatásával 2001. és 2002. években Dr. Láng Eszter orvos pszichológus közreműködésével, élőalanyos méréseket végeztem az Épületgépészeti Tanszék hőérzeti laboratóriumában, amely méréseknél egyrészt célunk volt a fotopletizmográf sugárzási hőmérsékletaszimmetria mérésére való alkalmasságának bizonyítása. Céлом volt továbbá, hogy olyan körülmények között végezzek komfortméréseket, amelyet az eddigi komfortkutatások során még nem vizsgáltak.
7. Végül célkitűzésem volt az is, hogy az élőalanyos mérésekkel azonos körülmények között a termikus műemberrel is végezzek méréseket, hogy a korrelációs kapcsolat meghatározható legyen az élőalanyos méréseknél mért PMV, és a műember testrészeinek hőleadása között.

## 2. A sugárzási hőmérsékletaszimmetria és a helyiségek hőkomfortja

Ha az ember testfelületét a különböző hőmérsékletű környezet alapján erősen különböző hőáramsűrűségek jellemzik, akkor az ember termikus diszkomfortot érez. Ez az eset fordul elő, pl. akkor, ha az egymással szemben fekvő féltérek átlagos felületi hőmérsékletei egymástól erősen eltérnek, bár az átlagos környezeti hőmérséklet (a teljes térre vonatkoztatva) a léghőmérséklettel együtt komfortos érzeti hőmérsékletet eredményez. Hogy az ember által leadott konvekciós és sugárzásos hőáramsűrűségeket az ember mennyire érzékeli összességében vagy elkülönítve, az még nem teljesen tisztázott. A hosszú hullámú sugárzások révén átadott hőáramokat az ember széles tartományokban úgy érzékeli, mint a konvektív hőáramokat. Mivel az ember az épületekben való tartózkodás során rendszerint minden oldalról azonos léghőmérsékletnek és csekély légmozgásnak van kitéve, ezért a megengedett sugárzási hőmérsékletkülönbségek különösen érdekesek. Fanger és kutatócsoportja 1985-ben publikálták [Fanger, Ipsen 1985] kísérleti személyekkel elvégzett komfortvizsgálatok eredményeit, amelyet geometriailag és termikusan különböző sugárzási hőmérsékletaszimmetriánál vettek fel. Az erősen szóró eredményekből meghatározott összefüggések a PPD érték és a sugárzási hőmérsékletaszimmetria között világszerte elterjedtek, és a szabványokba is bekerültek. Néhány ellentmondás okot adott arra, hogy a kérdőívek eredményeinek kiértékelését a sugárzási hőmérsékletaszimmetriára vonatkozóan újból elvégezzék [Glück 1997].

### 2. 1. A sugárzási hőmérsékletaszimmetria

A sugárzási hőmérsékletaszimmetria az adott helyiségben, az adott vizsgálati pontban a vizsgálatotest alakja és helyzete szerint megosztott két féltér sugárzási hőmérsékletének a különbsége.

$$\Delta t_a = |t_{sug,1} - t_{sug,2}| \quad (2.1)$$

ahol:  $\Delta t_a$  - a sugárzási hőmérsékletaszimmetria ( $^{\circ}\text{C}$ ),  
 $t_{sug,1}$ , - az 1 jelű féltér sugárzási hőmérséklete ( $^{\circ}\text{C}$ ),  
 $t_{sug,2}$  - a 2 jelű féltér sugárzási hőmérséklete ( $^{\circ}\text{C}$ ).

A sugárzási hőmérséklet az általános értelmezés szerint a környező felületeknek az az egyöntetű hőmérséklete, amely mellett a pontban levő elemi testtel ugyanaz a sugárzási hőcsere jön létre, mint a pontban lévő elemi test és az eredetileg különböző hőmérsékletű felületek között.

A sugárzási hőmérséklet féltérre vonatkozó általános egyenlete [Macskásy, Bánhidi 1985] :

$$t_{sug,i} = \sqrt[4]{\sum_{j=1}^n \varphi_{i,j} \cdot T_j^4} - 273 \quad (^{\circ}\text{C}). \quad (2.2)$$

ahol:  $t_{sug,i}$  - a sugárzási hőmérséklet féltérre vonatkoztatva ( $^{\circ}\text{C}$ );  
 $i=1$  vagy  $2$ ,  
 $\varphi_{i,j}$  - az  $i$  felületnek a  $j$ -edik felületre vonatkozó besugárzási tényezője, ahol  $j=1 \div n$ ,  
 $n$  - a féltérben lévő felületek száma,  
 $T_j$  - a  $j$ -edik felület hőmérséklete (K).

## 2.2. A sugárzásos hőcsere

Egy testnek a fajlagos és a kisugárzó felületre vonatkoztatott össz-sugárzási teljesítményét a következőképpen definiáljuk:

$$\dot{q} = \varepsilon \cdot \sigma_0 \cdot T^4 \left[ \frac{W}{m^2} \right] \quad (2.3)$$

ahol:

- $\varepsilon$  – a test felületének emissziós tényezője,
- $\sigma_0$  – a Stefan-Boltzmann állandó :  $5,67 \cdot 10^{-8} [W/(m^2 \cdot K^4)]$ ,
- $T$  – a felületi hőmérséklet [K].

A helyiségben lévő minden felületet szürkesugárzónak tekintünk, vagyis ezek optikai tulajdonságai a sugárzás hullámhosszától függetlenek. A kibocsátott sugárzási teljesítmény irányfüggésére a Lambert-féle sugárzási törvény szerint érvényes egyenlet:

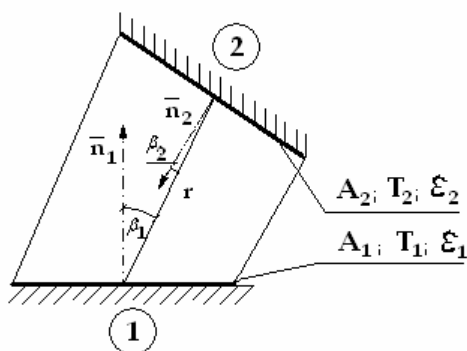
$$\dot{q} = \varepsilon \cdot \sigma_0 \cdot T^4 \cdot \cos \beta \quad (2.4)$$

Két különböző felületi hőmérsékletű felület között kicserélt sugárzási energia a mindkét felület által kibocsátott és a mindenkori másik felület által elnyelt sugárzás különbsége. A fenti egyszerűsítésekkel és a kölcsönös visszaverődés elhanyagolásával az  $A_1$  és  $A_2$  felület közti, felületegységre jutó hőáram (2.1. ábra):

$$\dot{q} = \Phi_{1,2} \cdot \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \sigma_0 \cdot (T_1^4 - T_2^4) \left[ \frac{W}{m^2} \right] \quad (2.5)$$

ahol:

- $\varepsilon_1$  – az 1 jelű felület emissziós tényezője,
- $\varepsilon_2$  – a 2 jelű felület emissziós tényezője,
- $\Phi_{1,2}$  – az 1 jelű felületnek a 2 jelű felületre vonatkoztatott besugárzási tényezője.



**2.1. ábra:** A sugárzási hőcsereben résztvevő felületek geometriai jellemzése egymáshoz képest

A (2.5) egyenletben minden geometriai jellemző a  $\Phi_{1,2}$  besugárzási tényezőben van összefoglalva.

A besugárzási tényező általános egyenlete felületek esetén:

$$\Phi_{1,2} = \frac{1}{\pi \cdot A_1} \cdot \int_{A_1} \int_{A_2} \frac{\cos \beta_1 \cdot \cos \beta_2}{r^2} dA_2 dA_1 \quad (2.6)$$

A besugárzási tényező jelentése a következőképpen adható meg:

A  $\Phi_{1,2}$  értéke az  $A_1$  felületről kiinduló és az  $A_2$  felületre érkező sugárzásnak, és az  $A_1$  felületről kiinduló összes sugárzásnak az aránya [Meyer 1999].

A besugárzási tényező és a sugárzásos hőcsere kapcsolata nem tekinthető függetlennek a látás működési mechanizmusától. Az adott vevő-felületre történő sugárzásos hőleadás nagysága erősen függ attól a térszögtől, amelyet az illető sugárzó felület sugárzó teréből, illetve a féltérből a vevő-felület elfoglal, vagyis függ a látási kontaktus mértékétől.

A besugárzási tényezők számításának ellenőrzésére alkalmazható a következő összefüggés, amely minden, az  $A_1$  felülettel látási kontaktusban álló felület besugárzási tényezőjére vonatkozik, és az energia megmaradásának törvényéből származik:

$$\sum_{i=1}^N \Phi_{1,i} = 1 \quad (2.7)$$

A (2.6) egyenletben levő kettős integrál csak nagyon kevés geometriai elrendezésre oldható meg analitikusan, és a numerikus eljárások sem mindig alkalmazhatók. Meghatározására alkalmazhatók statisztikai megfontolásokon alapuló eljárások is.

A besugárzási tényezők meghatározása a sugárzásos hőcserével kapcsolatos számítások fő problémáját jelenti, és a sugárzási hőmérsékletaszimmetria meghatározásánál is ennek van a legnagyobb jelentősége, bonyolultsága és időigénye miatt.

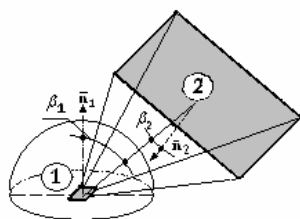
A besugárzási tényező meghatározása központi kérdés, amelyet az alapvető esetekre vázlatosan, részletesebben az elemi felületnek sík felületre vonatkozó esetét ismertetjük.

### 2.2.1. A besugárzási tényező meghatározása a vizsgálótest alakja szerint

A térbeli kiterjedésű felületek besugárzási tényezőjét a vizsgálótest alakja szerint a következő módon [Glück 1981] határozzuk meg:

#### • Felület és felületelem közti besugárzási tényező

Az 1 jelű felületelem a féltérbe sugároz ki. A sugárzás egy része eléri az „r” távolságban lévő 2 jelű felületet. A teljes sugárzásnak ezt az arányát  $\varphi_{1,2}$ -vel jelöljük. Azt mondjuk, hogy ez az 1 felületelemnek a 2 felületre vonatkozó besugárzási tényezője.



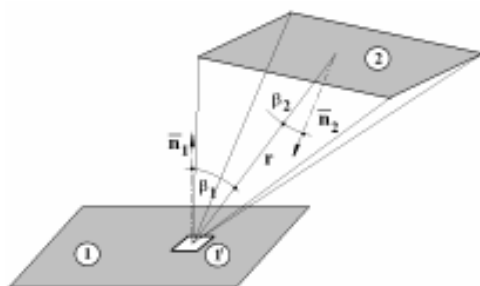
$$\varphi_{1,2} = \frac{1}{\pi} \int_{A_2} \frac{\cos \beta_1 \cdot \cos \beta_2}{r^2} dA_2 \quad (2.8)$$

### 2.2. ábra: Felület és felületelem közti besugárzási tényező

• **Felület és felület közti besugárzási tényező**

Az 1 jelű felületen lévő 1' jelű felületelem az „r” távolságban lévő 2 jelű felületre sugároz. A sugárzásnak a 2 jelű felületet elérő arányát analóg módon az előbbiekben leírt variációval,  $\varphi_{1,2}$  -vel jellemezzük. Ha ezt az 1' felületelemre vonatkozó besugárzási tényezőt, az 1 jelű felület minden felületelemére, helyére vonatkoztatjuk, akkor a végtelen számú  $\varphi_{1,2}$  értékekből egy középértéket képezhetünk. Ezt  $\Phi_{1,2}$ -vel jelöljük. Azt mondjuk, hogy az 1 jelű felületnek a 2 jelű felületre vonatkozó közepes besugárzási tényezője:

$$\Phi_{1,2} = \frac{1}{\pi \cdot A_1} \cdot \int_{A_1} \int_{A_2} \frac{\cos \beta_1 \cdot \cos \beta_2}{r^2} dA_2 dA_1 \equiv \frac{1}{A_1} \int_{A_1} \varphi_{1,2} dA_1 \quad (2.9)$$



2.3. ábra: Felület és felület közti besugárzási tényező

A (2.9) egyenlet az  $A_1$  felület hőleadása esetén érvényes. A két felület közötti eredő hőáram az  $A_2$  felülettel is kifejezhető. A (2.10) egyenletben  $\Phi_{2,1}$  jelenti az  $A_2$  felületnek az  $A_1$  felületre vonatkozó közepes besugárzási tényezőjét.

$$Q_{1,2} = \sigma_0 \cdot \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \Phi_{1,2} \cdot A_1 [T_1^4 - T_2^4] = \sigma_0 \cdot \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \Phi_{2,1} \cdot A_2 [T_2^4 - T_1^4] \quad (2.10)$$

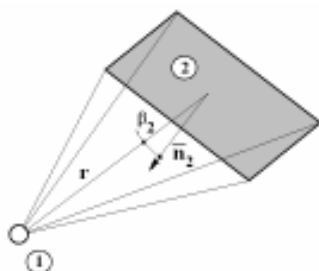
A hőcsere jelensége két szemszögből vizsgálható, az 1 jelű felület hőleadása a 2 felület részére ugyanaz, mint a 2 jelű felület hőnyeresége az 1 jelű felülettől. A (2.11) összefüggés, a reciprocitási szabály:

$$\Phi_{1,2} \cdot A_1 = \Phi_{2,1} \cdot A_2 \quad (2.11)$$

• **Elemi gömb és felület közti besugárzási tényező**

Az 1 jelű elemi gömb formájú elem ellentétben az előbbi két esettel, nem csak a féltérbe, hanem a teljes térbe sugároz ki. A gömb formájú elemet egyszerűen pontnak nevezhetjük. A kibocsátott sugárzás egy része eléri az „r” távolságban lévő 2-vel jelölt felületet. A teljes sugárzásnak ezt az arányát  $\varphi_{1,2}^o$  -vel jelöljük. Azt mondjuk, hogy ez az 1-es jelű, gömb alakú elemnek a 2-es jelű felületre vonatkozó besugárzási tényezője:

$$\varphi_{1,2}^o = \frac{1}{4 \cdot \pi} \cdot \int_{A_2} \frac{\cos \beta_2}{r^2} dA_2 \quad (2.12)$$



2.4. ábra: Elemi gömb és felület közti besugárzási tényező

## 2.2.2. Felület és felületelem közti besugárzási tényező számítása

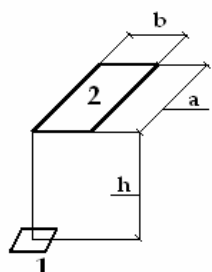
### • Analitikus összefüggések alkalmazása

A 2.5. és 2.6. ábrák szerinti elrendezésekre vonatkozóan -a rendelkezésre álló összefüggések közül - a (2.13) és (2.14) egyenletek lehetőséget adnak a vizsgálati pontban lévő felületelem és felület közötti besugárzási tényező meghatározására.

Mindkét esetben a felületelem a felület egyik sarokpontja alatt van [Glück 1981].

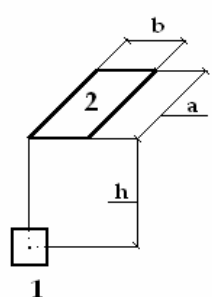
A sugárzási hőmérsékletaszimmetria számításához a helyiség különböző hőmérsékletű határoló felületeinek besugárzási tényezőit ezekkel az egyenletekkel meg tudjuk határozni.

Többféle felületi hőmérséklet esetén azonban a számítások egyszerűen nem végezhetőek el, és ha figyelembe vesszük a vizsgálati pontok nagy számát az adott helyiségben, ennek a módszernek az alkalmazása időigényessége miatt nem célszerű.



$$\varphi_{1,2} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \left[ \frac{\frac{a}{h}}{\sqrt{\left(\frac{a}{h}\right)^2 + 1}} \cdot \arctan \frac{\frac{b}{h}}{\sqrt{\left(\frac{a}{h}\right)^2 + 1}} + \frac{\frac{b}{h}}{\sqrt{\left(\frac{b}{h}\right)^2 + 1}} \cdot \arctan \frac{\frac{a}{h}}{\sqrt{\left(\frac{b}{h}\right)^2 + 1}} \right] \quad (2.13)$$

2.5. ábra: A besugárzási tényező párhuzamos felület és felületelem esetén



$$\varphi_{1,2} = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{\frac{a}{h}}{\sqrt{\left(\frac{a}{2 \cdot h}\right)^2 + 1}} \cdot \arctan \frac{\frac{b}{h}}{2 \cdot \sqrt{\left(\frac{a}{2 \cdot h}\right)^2 + 1}} + \frac{\frac{b}{h}}{\sqrt{\left(\frac{b}{2 \cdot h}\right)^2 + 1}} \cdot \arctan \frac{\frac{a}{h}}{2 \cdot \sqrt{\left(\frac{b}{2 \cdot h}\right)^2 + 1}} \right] \quad (2.14)$$

2.6. ábra: A besugárzási tényező egymásra merőleges felület és felületelem esetén

A besugárzási tényező, és a sugárzási aszimmetria analitikus egyenletekkel történő meghatározása túlságosan bonyolult, emellett csak meghatározott geometria – párhuzamos és merőleges felületek - esetén alkalmazható. Ez a feltétel, - így az egyenletek alkalmazhatósága - a bonyolultabb helyiséggeometriák esetén jelentős korlátozó tényező.

### • A besugárzási tényező közelítő egyenlettel történő számítása

A besugárzási tényező számításához alkalmazhatjuk a (2.15) egyenlet szerinti egyszerűbb összefüggést, amelyet a (2.6) egyenletből kapunk, ha az  $A_1$  és  $A_2$  felületek kicsik az „r” távolsághoz képest. Így a felületei integrálok számításánál a  $\beta_1$  és  $\beta_2$  szögek helyett középértékeik

helyettesíthetők be (2.1. ábra). Figyelembe véve, hogy felületelem esetén (2.2. ábra) az  $A_1$  elemi felületnek nincs kiterjedése, akkor azt kapjuk, hogy:

$$\varphi_{1,2} \approx \frac{A_2}{\pi} \cdot \frac{\cos \beta_1 \cdot \cos \beta_2}{r^2} \quad (2.15)$$

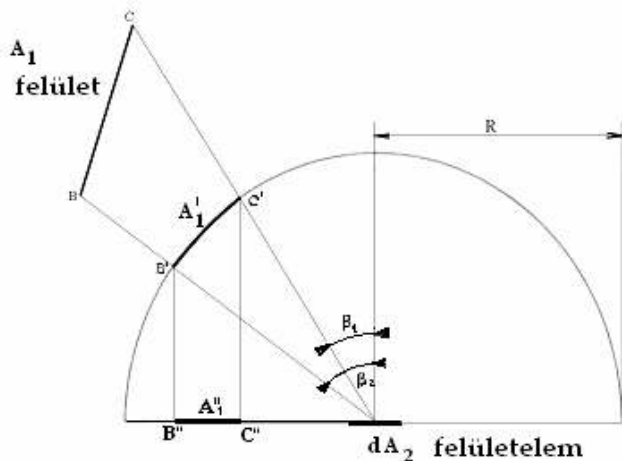
Ezen a közelítő egyenleten alapulnak azok a besugárzási tényezők, amelyeket Glück hőtechnikai helyiségmodelljében alkalmaz [Glück 1997]. Mivel a  $\sqrt{A_2} \ll r$  feltétel gyakran csak elégtelenül teljesül, ezért a geometriai elrendezéstől függően tipikusan 10-20 % -os hibák adódnak a (2.6) egyenlet szerinti összegre vonatkozóan [Meyer 1999].

A helyiségmodell számításaiban ezért a közelítő egyenlet szerint számított besugárzási tényezőket az energiamegmaradási törvénynek megfelelően (a (2.7) egyenlet szerint) korrigálni szükséges.

### • A szerkesztéses eljárás

A besugárzási tényező grafikus módszerrel történő meghatározásának alapötlete 1935-ből, Eckert-től, egy optikustól származik. A szerkesztés később a sugárzásos hőcsere számításainál több szakkönyvben előfordult ugyan [Macskásy 1957], [Macskásy 1973], de a konkrét alkalmazásoknál inkább más számítási eljárások kerültek előtérbe.

A besugárzási tényező meghatározására irányuló eddigi eljárások vizsgálo eleme mindenhol elemi nagyságú, és majdnem minden esetben sík felület. A szerkesztéses módszer a többi eljárástól eltérően a felületelem feletti félgömb alakú teret alkalmazza a besugárzási tényező meghatározására.



**2.7. ábra** : A  $dA_2$  felületelemnek az  $A_1$  felületre vonatkozó besugárzási tényezőjének meghatározása egy kétdimenziós helyiségmodellben.

Az eljárást szemlélteti a 2.7. ábra kétdimenziós modell esetén. Először a felületelem fölött egy ún. sugárzási féltérrel feszítünk ki, amely a kétdimenziós modellben egy félgömb. A  $dA_2$  felületelem a féltér alapfelületének a geometriai középpontjában van. A féltér sugara tetszőlegesen választható meg, azonban a számítási lépések leegyszerűsödnek, ha  $R=1$ . Az  $A_1$  felületet ezután a féltér felületen keresztül annak az alapterületére vetítjük.



A besugárzási tényező a féltér alapterületének (kétdimenziós esetben a körátmérő) és a levetített felület (a  $B''C''$  szakasz) aránya:

$$\varphi_{dA_2, A_1} = \frac{A_1''}{2 \cdot R} \quad (2.16)$$

A számítástechnikai alkalmazás a kétdimenziós esetre a trigonometria a vektoralgebra és az analitikus geometria legegyszerűbb alapfüggvényeire vezethető vissza. A számítás lépései:

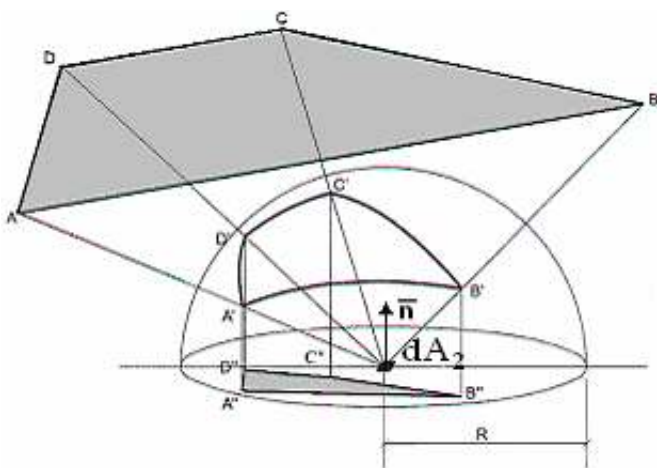
1. Egy lokális kétdimenziós polárkoordináta rendszer felvétele a  $dA_2$  felületelem fölött.
2. A „ $B''$ ” és „ $C''$ ” pontok koordinátáinak transzformációja derékszögűből polárkoordinátába ( $\beta_i, R_i$ ).
3. A  $B'(\beta_2; R)$  és a  $C'(\beta_1; R)$  pontok meghatározása
4. A  $B'$  és  $C'$  pontok levetítése a felületelem alapsíkjára; a  $B''(\frac{\pi}{2}; R \cdot \sin\beta_2)$  és a  $C''(\frac{\pi}{2}; R \cdot \sin\beta_1)$  pontok meghatározása
5. A keresett besugárzási tényező a  $\overline{B''C''}$  és a  $2R$  hosszak arányának felel meg, azaz:

$$\varphi = \frac{\overline{B''C''}}{2 \cdot R} \quad (2.17)$$

és a következőképpen is kifejezhető:

$$\varphi = \frac{1}{2} \cdot | \sin \beta_2 - \sin \beta_1 | \quad (2.18)$$

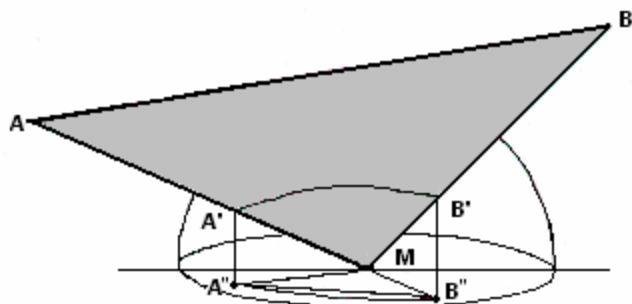
A besugárzási tényező szerkesztéses módszerrel történő meghatározását a háromdimenziós helyiségmodellben a 2.8 ábra mutatja [Macskásy 1957], [Macskásy 1973], [Meyer 1999]. A helyiség tetszőleges helyzetű sarokpontjait a vízszintes helyzetű felületelem feletti félgömb felületen keresztül először a félgömb felületére, majd a metszéspontokat és az íveket merőlegesen a kör alakú alapterületre ismét levetítjük. A vizsgált felület lehet ívelt, de egyenes oldalakkal kell rendelkeznie.



**2.8. ábra :** A  $dA_2$  felületelem (az egyenes oldalakkal rendelkező  $\overline{ABCD}$ ) négyzögfelületre vonatkozó besugárzási tényezőjének meghatározása egy háromdimenziós helyiségmodellben

A besugárzási tényező az  $\overline{A''B''C''D''}$  felület és a  $\pi \cdot R^2$ , a féltér alapterületének aránya. Elvileg ez a számítás megfelelő pontosságú eredményt ad, van azonban néhány olyan geometriai elrendezés, amely esetén a hibák nagyobbak lehetnek, mint a (2.15) közelítő egyenlet alkalmazása esetén.

Ennek az oka, hogy az egyenes oldalvonalaknak a félgömb alapfelületére való levetítése nem egyeneseket, hanem ellipszis szakaszokat eredményez (2.9. ábra). Az  $\overline{ABCD}$  felület besugárzási tényezője azonban megfelelően pontosan számolható, ha a felület a féltér alapfelületre való levetítését, a vetület területét ezekkel az ellipszis szakaszok és az  $\overline{A''B''}$  közti területtel korrigáljuk.



2.9. ábra : Az AB egyenes felületoldal kétszeres levetítése.

A besugárzási tényező szerkesztéses eljárással történő meghatározásához szükséges számítási lépések a 2.9. ábra szerinti  $\overline{AB}$  oldalvonal példáján:

1. Az M pontban lévő  $dA_2$  felületelem fölött felvesszünk egy lokális háromdimenziós polárkoordináta rendszert.
2. Az A és B pontokat a félgömb felületen keresztül annak alapterületére vetítjük. Az A'' és B'' pontok meghatározása analóg a kétdimenziós esetben leírtakkal.
3. Az AB egyenes szakasz alapsíkra történő levetítése révén íveket kapunk. Az ellipszis ív korrekciójához kiindulásként feltételezzük, hogy az A'' és B'' pontok a keresett ellipszisen vannak (2.10. ábra). Az ellipszis nagyobbik tengelye azonos az A, B és M pontok által alkotott sík metszésvonalával, és a hossza  $2R$ . A további számítást megkönnyítjük, ha a félgömb alapterületére egy kétdimenziós derékszögű koordináta rendszert veszünk fel. Ennek az abszcisszája az ellipszis nagytengelyének felel meg, az origója pedig a félgömb alapkörének középpontja.
4. Mivel a koordináta és ellipszis tengelyek egybe esnek, és az ellipszis nagytengelye ismert, így az ellipszis kistengelye (Y) meghatározható az ellipszis normál alakjából:

$$Y = \sqrt{\frac{y^2}{1 - (x^2 / R^2)}} \quad (2.19)$$

A számításhoz vagy az A'' vagy a B'' pontok koordinátáit helyettesítjük be. A keresett ellipszis így teljes mértékben meghatározható.

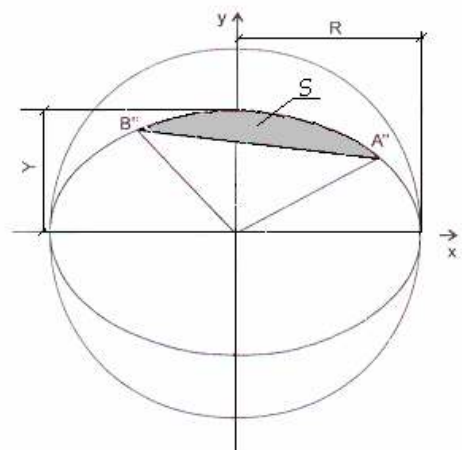
5. Az A''B'' húrral rendelkező ellipszis-szelet S felülete a következőképpen számítható:

$$S = \frac{R \cdot Y}{2} \cdot \left( \arccos \frac{x_B}{R} - \arccos \frac{x_A}{R} \right) - \frac{1}{2} \cdot \left( \overset{-}{a} \overset{-}{x} \overset{-}{b} \right) \quad (2.20)$$

Az  $\left( \vec{a} \times \vec{b} \right)$  az A'' és B'' pontok helyvektorainak vektorszorzata (2.10. ábra).

Az egyenes oldalakkal rendelkező  $\overline{A''B''C''D''}$  négyszög felületét mind a négy oldal ellipszismetszet-felületeivel korrigálni kell.

Az  $\overline{ABCD}$  felület keresett besugárzási tényezője a következő felületarány:



$$\varphi_{dA_2, \overline{A''B''C''D''}} = \frac{(\overline{A''B''C''D''})_{korrigált}}{\pi \cdot R^2} \quad (2.21)$$

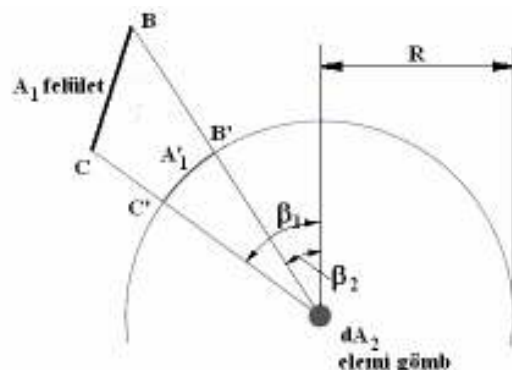
**2.10. ábra:** Az  $\overline{AB}$  felületoldal által a félgömb alapkörén alkotott ellipszis húr számítása

Az eljárást a VDI Wärmeatlas-ban dokumentált és két geometriai esetre vonatkozó analitikus esettel összehasonlították. Az eredmények jól megegyeznek. A  $\varphi < 10^{-3}$  nagyságrendű besugárzási tényezők esetén a számítógépes idő megtakarítása céljából a (2.15) közelítő egyenletet alkalmazták. Az eközben elkövetett hiba elhanyagolható [Meyer 1999].

### 2.2.3. Besugárzási tényező számítása felület és az elemi gömb esetén

Az emberi test a környezetével való sugárzásos hőcsere vonatkozásában végtelenül kicsiny gömbként is kezelhető.

A sík felületemhez viszonyítva fontos különbség, ahogy a gömb sugárzási féltere maga is egy gömbfelület. Ez a gömbfelület a „sugárzási tér”. Egy  $A_1$  felület és az  $dA_2$  elemi gömb közötti besugárzási tényező a sugárzási térre levetített  $A_1'$  felületnek a teljes sugárzási térre vonatkozó felületének az aránya (2.11. ábra).



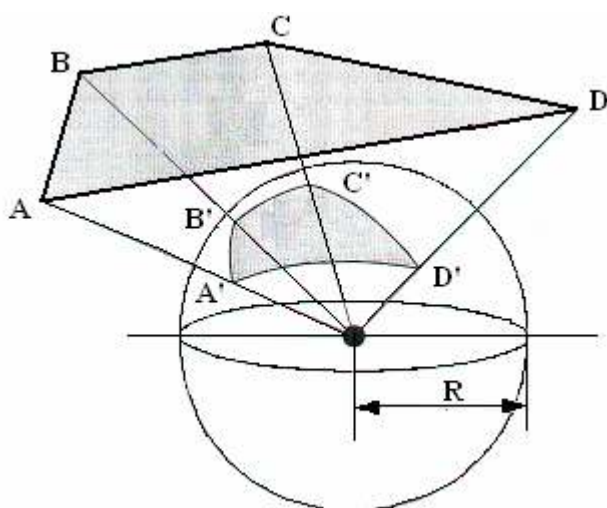
**2.11. ábra:** Az  $A_1$  felületre vonatkozó besugárzási tényező meghatározása a  $dA_2$  elemi gömb esetén a kétdimenziós helyiségmodellben

Az elemi gömb esetén a besugárzási tényező számításánál csak egy levetítésre van szükség, ami révén az egész eljárás jelentősen leegyszerűsödik a sík felületelemeknél ismertetett eljáráshoz képest. A 2.11. ábra mutatja a kétdimenziós esetre vonatkozó eljárást. A sugárzási tér a szemlélt elemi gömb körüli kör lesz.

A lépések következők:

1. Egy helyi lokális kétdimenziós polár-koordináta-rendszer felvétele a  $dA_2$  végtelenül kicsi gömb körül.
2. A B és C pontok koordinátáinak transzformációja derékszögűből polárkoordinátákba ( $\beta_i, r_i$ ).
3. Mindkét pont levetítése a sugárzási tér felületére a sugárkoordinátáik átvitelével  $R_1=R$ .
4. A keresett besugárzási tényező megfelel a  $B'C'$  körív hossz és a  $2\pi \times R$  körkerület arányának és amely a következőképpen fejezhető ki:

$$\varphi_{dA_2, A_1} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot (\beta_1 - \beta_2) \quad (2.22)$$



**2.12. ábra:** Az elemi gömbnek ( $dA_2$ ) az  $\overline{ABCD}$  felületre ( $A_1$ ) vonatkozó besugárzási tényezőjének meghatározása a háromdimenziós helyiségmodellben

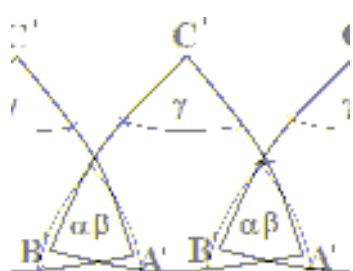
Háromdimenziós esetben a sugárzási tér egy gömbfelület az elemi gömb körül (2.12. ábra). A besugárzási tényező meghatározása a következőképpen történik:

1. Egy háromdimenziós polárkoordináta rendszer felvétele az elemi gömb körül.
2. A kibocsátó négyszögfelület sarokpontjainak a levetítése a sugárzási térre, amely az elemi gömb körüli R sugarú gömb.
3. Az  $A'B'C'D'$  négyszöget két gömbi háromszögre bonthatjuk fel, amelyek a 2.13 ábra jelöléseivel külön- külön a következőképpen számolhatók:

$$\overline{A'B'C'D'} = R^2 \cdot (\alpha + \beta + \gamma - \pi) \quad (2.23)$$

A két háromszög felületének összege kiadja az  $A'B'C'D'$  felületet.

4. A keresett besugárzási tényező a következő felületaránynak felel meg:



$$\varphi_{dA, \overline{ABCD}} = \frac{\overline{A'B'C'D'}}{4 \cdot \pi \cdot R^2} \quad (2.24)$$

**2.13. ábra:** A gömbi háromszög felületének számítása

Ezt az eljárást összehasonlították a VDI-Wärmeatlas-ban ismertetett, különböző geometriákra vonatkozó esetekkel. A besugárzási tényezőkre vonatkozó eredmények jól megegyeznek sík felületelem esetén [Meyer 1999].

Nagyon kicsi ( $\Phi < 10^{-3}$ ) besugárzási tényező esetén alkalmazható - a felület és a végtelen kicsi gömb közötti besugárzási tényező meghatározásánál, a kettős integrált tartalmazó, (2.6) egyenletből levezetett (2.25) közelítő egyenlet:

$$\varphi_{1,2} \approx \frac{A_2}{4 \cdot \pi} \cdot \frac{\cos \beta_2}{r^2} \quad (2.25)$$

### 2.2.4. Besugárzási tényező felület és az emberi test között

A felület és az emberi test közötti besugárzási tényező számításához nyújtanak segítséget Fanger 1982-ben kidolgozott diagramjai. A diagramok a besugárzási tényezőt tartalmazzák az ember és a felület egymáshoz viszonyított helyzetének függvényében. Az egy helyben ülő ember esetére hat diagram vonatkozik. A vízszintes vagy függőleges helyzetű felület az ember középpontjához viszonyítva alatta, illetve felette, és az emberhez viszonyítva elöl, illetve hátul helyezkedik el. Az ülő, de nem állandó helyzetű ember esetére - a vízszintes és függőleges felületre - két diagram szolgál. A méretezési ábrák az álló ember esetét is tartalmazzák, a meghatározott helyen álló ember esetére három diagram, és végül a nem állandó helyzetű álló ember esetére két diagram vonatkozik.

Az ülő ember testsíkjára előtti padló és a testsíkjára mögötti mennyezetre vonatkozó konkrét méretezést (4.9. ábra) egy példán keresztül mutatunk be a 4. fejezetben. Az álló emberre és a függőleges felületre vonatkozó diagramokat tartalmazza a függelék F.2.1. ábrája.

### 2.3. A termikus komfort és befolyásoló tényezői

A hőkörnyezet megítélésében a legfontosabb szerepet játszó környezeti paraméterek:

a levegőhőmérséklet:  $t_{lev}$ ;

a környező felületek közepes sugárzási hőmérséklete:  $t_{ks}$

a relatív nedvességtartalom:  $\varphi$  ;

a relatív légmozgás:  $v_{rel}$ ;

és a személyi paraméterek (ruházat, aktivitási szint).

Az általános hőkomfortra vonatkozó elfogadható hőkörnyezet kritériumait általában az operatív hőmérséklettel, azaz az operatív hőmérsékletet befolyásoló tényezőkkel - a  $t_{lev}$ ,  $t_{ks}$ ,  $v_{rel}$ , és  $\phi$  - határozzák meg.

A helyi diszkomfortérzetet befolyásoló tényezők a huzathatás (vagyis átlagos levegősebesség és turbulencia intenzitás) a függőleges levegőhőmérséklet-különbség, a sugárzási hőmérsékletaszimmetria, és a padló felületi hőmérsékletei.

A komfort előrejelzése a PMV és PPD paraméterekkel számszerűsíthető. A PMV-érték egy 7 pontos ASHRAE komfort-skálán megadott jelzője a hőkomfortnak, ahol:



- 3: hideg,
- 2: hűvös,
- 1: kissé hűvös,
- 0: semleges,
- 1: kissé meleg,
- 2: meleg,
- 3: igen meleg.

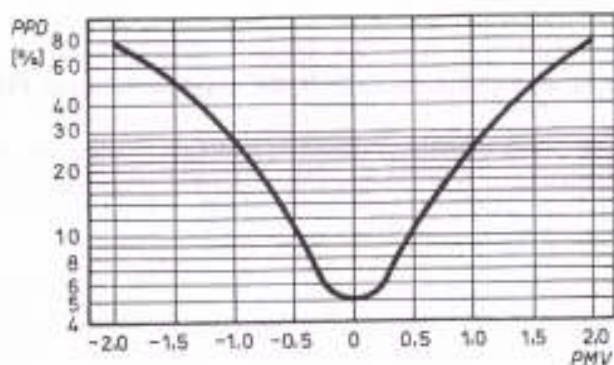
A hőkomfort megítélése függ a helyiség és a helyiséglevegő paramétereitől, mint a levegőhőmérséklet, átlagos sugárzási hőmérséklet, relatív légsebesség, légnedvesség. A fizikai paramétereken kívül megítélése két személytől függő tényezőn is alapul:

- a ruházat szigetelőképességén,  $I_{cl}$  ( clo), és az
- aktivitási szinten ( $M/F_{DU}$ , amelyet met - ben adnak meg,  $1\text{met} = 58\text{ W/m}^2$ ).

Ezek együttesen befolyásolják az egyén általános, egész testre vonatkozó hőérzetét.

A PPD - egy olyan viszonyszám, amely a hőkörnyezettel elégedetlenek százalékos arányát adja meg, vagyis jellemzője a hőkörnyezet minőségének.

A  $PMV=0$  esetén az emberek 5 %-a elégedetlen (a 2.14.ábra alapján), ha a  $PMV=0,5$  akkor a hőkörnyezettel elégedetlenek aránya kb. 10 %.



2.13.ábra: A PMV és PPD kapcsolata

- **A komfortegyenlet**

A termikus komfort előrejelzése, vagyis a várható hőérzet számszerűsítése a Fanger által felállított hőegyensúlyi egyenletből levezetett PMV-egyenletből lehetséges. Az emberi test hőegyensúlya alapján felírt hőegyensúlyi egyenlet, az ember által termelt hő, és a környezet felé leadott hőmennyiségek azonosságát leíró egyenlet (2.26).

A termikus komfort érzésének definiálása arra a feltételezésre épült, hogy az ember akkor érzi komfortosnak a környezetét - amelyben tartózkodik -, ha testének működése által termelt hőt (H) olyan körülmények között, vagyis úgy tudja leadni, hogy közben a hőkönyezetet kellemesnek ítéli meg.

A termelt hő (H) a bőrfelületről a környezet felé

- párolgással, azaz
  - a bőrön keresztüli páradiffúzióval :  $E_d$ ,
  - a bőrfelszínről izzadáshoz kapcsolódó hőmennyiséggel:  $E_{sw}$ , , valamint
  - a kilégzés rejtett hőjével távozik :  $E_{re}$ ;
- a kilégzés miatti száraz hővesztéssel: L
- hőátadással, a bőrfelületről a ruházatra, és a ruházaton keresztül hővezetéssel: K,  
a ruházat külső felületéről, egyrészt
  - sugárzással : S, másrészt
  - konvekcióval C adódik át.

Az emberi test hőegyensúlyát leíró egyenlet:

$$H - E_d - E_{sw} - E_{re} - L = K = S + C \quad (2.26)$$

A hőegyensúlynak az egyenletben szereplő tagok ismert összefüggései behelyettesítése után, a különböző befolyásoló tényezőktől való függését leíró egyenlet a következő:

$$f\left(\frac{H}{F_{Du}}, I_{cl}, t_{cl}, t_{ks}, p_{vg}, v_r, t_b, \frac{E_{sw}}{F_{Du}}\right) = 0 \quad (2.27)$$

ahol:

- $F_{Du}$  - Du Bois felület [ $m^2$ ],
- $I_{cl}$  - a ruházat hőszigetelő képessége [clo],
- $t_{cl}$  - a ruházat külső felületének átlagos hőmérséklete [ $^{\circ}C$  ],
- $t_{ks}$  - a környező felületek közepes sugárzási hőmérséklete [ $^{\circ}C$  ],
- $p_{vg}$  - a levegőben levő vízgőz parciális nyomása [Hgmm],
- $v_r$  - a levegő relatív sebessége [m/s],
- $t_b$  - a bőrhőmérséklet átlagos értéke [ $^{\circ}C$  ].

A (2.27) egyenlet a számos – különböző komfortfeltételek mellett végzett - kísérletre alapozott  $t_b$  bőrhőmérséklet és  $E_{sw}$  párolgásos hőleadás összefüggésének megállapításával:

$$t_b = f\left(\frac{H}{F_{Du}}\right) \quad (2.28)$$

$$E_{sw} = F_{Du} \cdot f\left(\frac{H}{F_{Du}}\right) \quad (2.29)$$

a következő alakra egyszerűsíthető:

$$f\left(\frac{H}{F_{Du}}, I_{cl}, t_{cl}, t_{ks}, p_{vg}, v_r\right) = 0 \quad (2.30)$$

Az emberi testben lejátszódó energiaátalakulási folyamatokat leíró, a test száraz valamint nedves hőleadására vonatkozó egyenleteket a (2.26) egyenletbe beírva kapjuk a hőegyensúlyi egyenlet másik alakját:

$$\begin{aligned} \frac{M}{F_{Du}}(1-\eta)-0,35\left[43-0,0061\cdot\frac{M}{F_{Du}}\cdot(1-\eta)-p_{vg}\right]-0,42\left[\frac{M}{F_{Du}}\cdot(1-\eta)-50\right]-0,0023\cdot\frac{M}{F_{Du}}(44-p_{vg}) \\ -0,0014\cdot\frac{M}{F_{Du}}(34-t_{lev})=\frac{35,7-0,032\cdot\frac{M}{F_{Du}}(1-\eta)-t_{cl}}{0,18\cdot I_{cl}}=3,4\cdot 10^{-8}\cdot f_{cl}\cdot\left[(t_{cl}+273)^4-(t_{ks}+273)^4\right]+f_{cl}\cdot\alpha_{konv}\cdot(t_{cl}-t_{lev}) \end{aligned} \quad (2.31)$$

A (2.31) egyenletben  $f_{cl}$  a ruházat hőleadó felületének és a ruházattal borított testfelületnek az aránya.

Az emberi test hőegyensúlyára felírt (2.31) egyenlet baloldali egyenlőségének felhasználásával a ruházat felületi hőmérsékletére ( $t_{cl}$ ) vonatkozóan kapjuk a (2.32) egyenletet:

$$t_{cl}=35,7-0,032\frac{M}{F_{Du}}(1-\eta)-0,181\cdot I_{cl}\cdot\left[3,4\cdot 10^{-8}\cdot f_{cl}\cdot\left[(t_{cl}+273)^4-(t_{ks}+273)^4\right]+f_{cl}\cdot\alpha_{konv}\cdot(t_{cl}-t_{lev})\right] \quad (2.32)$$

A szakirodalomban a (2.31) egyenlet baloldala, amely az (2.26) hőegyensúlyi egyenlet változóit részletesen tartalmazza, a nevezetes komfortegyenletként szerepel, amely megoldásához a  $t_{cl}$  (2.32) és az  $\alpha_{konv}$  (2.34) összefüggései behelyettesíthetők.

A komfortegyenlet tehát:

$$\begin{aligned} \frac{M}{F_{Du}}(1-\eta)-0,35\left[43-0,0061\cdot\frac{M}{F_{Du}}\cdot(1-\eta)-p_{vg}\right]-0,42\left[\frac{M}{F_{Du}}\cdot(1-\eta)-50\right]-0,0023\cdot\frac{M}{F_{Du}}(44-p_{vg}) \\ -0,0014\cdot\frac{M}{F_{Du}}(34-t_{lev})=3,4\cdot 10^{-8}\cdot f_{cl}\cdot\left[(t_{cl}+273)^4-(t_{ks}+273)^4\right]+f_{cl}\cdot\alpha_{konv}\cdot(t_{cl}-t_{lev}) \end{aligned} \quad (2.33)$$

ahol:

$$\alpha_{konv}=\max\left\{2,05(t_{cl}-t_{lev})^{0,25}; 10,04\sqrt{v_{rel}}\right\} \quad (2.34)$$

### 2.3.1. A várható szubjektív hőérzetet befolyásoló tényezők

Fanger a hőkomfort várható értéke meghatározásának gyakorlati módszeréhez a hőegyensúlyi egyenletből, és az ASHRAE –féle pszichofiziológiai szubjektív hőérzeti skálából indult ki. A két mutató, a PMV (várható hőérzeti érték) és a PPD (a kedvezőtlen hőérzet várható százalékos valószínűsége) ismerete a gyakorlati számításokhoz feltétlenül szükséges.

Fanger feltételezése, hogy a komfortérzet akkor alakul ki, amikor a hőtermelés és a hőleadás egyensúlyban van, és ekkor a  $PMV=0$  értékű. A külső körülmények változásakor a szervezet változtatni tudja a hőegyensúlyt, (izzadással, bőrhőmérséklet változással) de a kellemesnek ítélt tartomány elég kicsi.



A hőérzet a hőterhelés függvénye, amely hőterhelés a belső hőtermelés és a környezet felé leadott hőmennyiség különbsége. A várható hőérzetet ( $Y$ ) a hőterhelés ( $L_h$ ), és az  $1 \text{ m}^2$ -re jutó hőterhelés ( $H/F_{Du}$ ) függvénye.

$$Y = f\left(\frac{H}{F_{Du}}, L_h\right) \quad (2.35)$$

A függvénykapcsolat igazolására Fanger a hőegyensúlyi egyenletet és megfelelő számú helyszíni és laboratóriumi kísérletet vett figyelembe.

A négy kísérletnél a levegő és a közepes sugárzási hőmérséklet azonos volt, és a relatív nedvességtartalom  $\varphi=50\%$ .

A várható hőérzetre kapott eredmény:

$$Y=0,41 \cdot e^{-0,049} (M/F_{Du})+0,037) L_h \quad (2.36)$$

A komfortérzetnél a hőterhelés értéke:  $L_h=0$  és a várható hőérzet  $Y=0$ , azaz a  $PMV=0$ .

Az így kapott egyenlet:

$$PMV = \left( 0,352 \cdot e^{-0,042 \left( \frac{M}{F_{Du}} \right)} + 0,032 \right) \left\{ \frac{M}{F_{Du}} (1-\eta) - 0,35 \left[ 43 - 0,061 \frac{M}{F_{Du}} \cdot (1-\eta) - p_{vg} \right] - \right. \\ \left. 0,42 \left[ \frac{M}{F_{Du}} (1-\eta) - 50 \right] - 0,0023 \frac{M}{F_{Du}} (44 - p_{vg}) - 0,0014 \frac{M}{F_{Du}} (34 - t_{lev}) - \right. \\ \left. 3,4 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \left[ (t_{cl} + 273)^4 - (t_{ks} + 273)^4 \right] - f_{cl} \cdot \alpha_{konv} \cdot (t_{cl} - t_{lev}) \right\} \quad (2.37)$$

Az egyenletben szereplő hőérzetet befolyásoló tényezőket csoportosítani lehet, aszerint, hogy milyen jellemzők határozzák meg őket [Fanger 1970b] :

$I_{cl}$ , $f_{cl}$	$M/F_{Du}$ , $\eta$ , $v$ ,	$v$ , $t_{lev}$ , $p_{vg}$ , $t_{ks}$
a ruházat, és tulajdonságai	az egyén aktivitása	környezeti, helyiségtől függő paraméterek

A légsebességet befolyásolja az aktivitási szint és a helyiségben kialakuló légállapot, a relatív légsebesség, és a hideg, vagy meleg felületek mellett kialakuló természetes légáram. A (2.33) és (2.34) egyenlet nem veszi figyelembe az a légáramlás miatti turbulenciafokot ( $Tu$ ), amelyet a MSZ CR 1752:2000 szabvány a légsebességgel együttesen, a léghőmérséklettől függően korlátoz.

A tervezés során általános a hőérzet - szabvány szerinti - előrejelzéséhez a PMV számítására vonatkozó (2.37) egyenletet a tervezőnek az adott paraméterekkel ki kell számolnia egy helyiségen belül többször is, mivel a PMV-értékek a helyiségen belül változnak. Helyfüggő a légsebesség, a léghőmérséklet, és a közepes sugárzási hőmérséklet is, bár a PMV-egyenlet megalkotásához felhasznált kísérleteknél állandó értékű volt. A közepes sugárzási hőmérséklet a komfortegyenletben csak felületnagysággal súlyozott átlagos hőmérsékletként van figyelembe véve.

### 2.3.2. A várható hőérzet és a helyiségparaméterek kapcsolata

A várható hőérzet a következő tényezőktől függ:

- a helyiségben tartózkodó személyek ruházatától, tevékenységi szintjétől, és attól is, hogyan ítélik meg a hőkönyezetet, vagyis a szubjektív megítélésüktől,
- a közepes sugárzási hőmérséklettől ( $t_{ks}$ ), amely függ
  - az épületfizikai paraméterektől, (amely meghatározza a belső határoló-felületek hőmérsékletét),
  - a helyiség határoló szerkezeteinek hőátviteli tényezőitől, hőtároló képességétől,
  - a tájolástól, a napsugárzástól és a széljárási viszonyoktól,
  - a külső légállapottól, és annak időbeni változásától,
  - az épületgépészeti (fűtési, hűtési) rendszerektől (pl. fűtő-, ill. hűtőfelületek hőmérsékletétől, nagyságától).
- a helyiség levegő állapotától, annak
  - sebességétől, annak
  - hőmérsékletétől, amely függ a
    - légttechnikai rendszer kialakításától, és
    - a hideg, vagy meleg határoló felületek melletti légáram hatásától az adott pontban, annak
  - relatív nedvességtartalmától, vagyis a vízgőz parciális nyomásától.

Az időjárás változásának hatását a belső falhőmérsékletek változására, és a helyiségben tartózkodó személyek időbeni helyzetváltoztatását, vagy aktivitási szintjének változását jelen esetben nem vesszük figyelembe. Csak a stacioner eset megoldására törekszünk, a dinamikus változásra jelenleg még nincs követelményérték a helyiségek hőkomfortjának vizsgálatában.

### 2.3.3. Ajánlások a tervezéshez gyakorlati tapasztalatok alapján

A komfortérzet szempontjából mértékadó a léghőmérséklet és környező felületek átlagos hőmérséklete. Minél kevésbé tér el egymástól ez a két hőmérséklet, és minél jobban megközelíti a 20-22 °C –os közepes értéket, annál egyenletesebb az ember hőleadása. A különbség nem lehet 3 K-nél nagyobb [Recknagel, Sprenger 1995]. Ezen kívül az egyes környezeti felületek hőmérsékletei között ne legyen nagy különbség, hogy a test minden oldalról egyenletesen hűljön le. Emellett a hideg födémekek, vagy a meleg falak komfortosabbak, mint a fűtőmennyezet és hideg fal (lásd 2.19. ábra). A fűtésnél a fűtőfelületek fajtájának csak csekély hatása van a komfortérzetre, bár a konvekció és sugárzás aránya nagyon különböző lehet. Hűtés esetén a hűtőfelület fajtájának jelentős hatása van a komfortérzetre, mivel a konvektív hűtés huzatérzethez, és hőmérsékleti rétegződéshez vezethet. Az érezhető hő összegén belül a konvekció révén elvezetett hő aránya változó a sugárzással elvezetett hő mennyiséghez képest [Recknagel, Sprenger 1995].

A műszaki gyakorlatban a komfortparaméterek tartományában az összhőleadásnak a sugárzások hőleadás 42-45%-a, a konvektív hőleadás 32-35 %-a, és a párolgásos hőleadás 21-26 %-a. A sugárzás és konvekció lehet pozitív és negatív is, a párolgásos hőleadás viszont csak negatív értékű, vagyis csak hőleadás lehet [Bánhidi, Kajtár 2000].

A legújabb irodalmi adatok szerint [Jäger 2006] kellemetlennek érzékeljük az aszimmetrikus sugárzást akkor, ha a különböző testrészekről kiinduló, vagy arra érkező hőáramok különbsége meghaladja a 35-40 W/m<sup>2</sup>-t. Ha a sugárzások hőátadási tényezőre vonatkozóan felveszünk 7 W/m<sup>2</sup> értéket, akkor azt kapjuk, hogy amennyiben a különböző felületek (mennyezet, falak, ablakok)

hőmérséklete 5-6 K-nél nagyobb, akkor az ott tartózkodó emberekre nézve fennáll a sugárzási aszimmetria veszélye.

### 2.3.4. Diagramok a hőérzeti optimum meghatározására

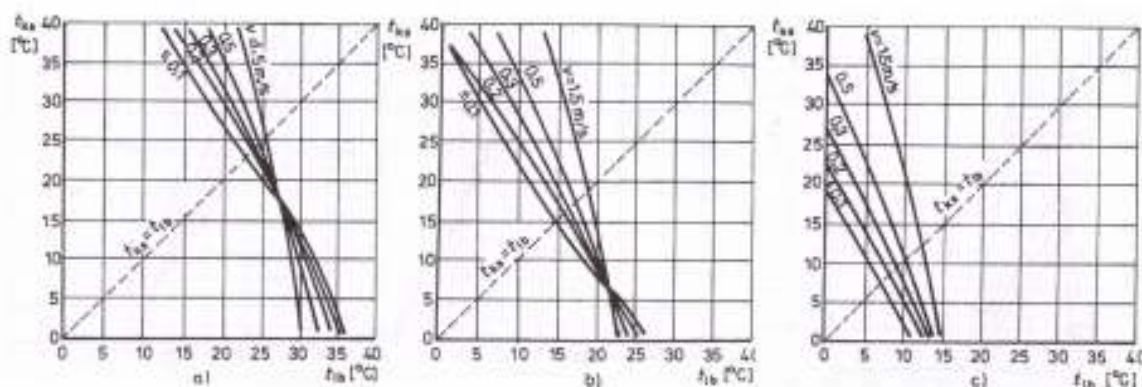
A Fanger nevéhez fűződő komfortdiagramok a PPD érték optimumára, azaz 5 %-ra vannak meghatározva, és nem veszi figyelembe a személy egyéni tulajdonságait, a kor, nem és etnikai adottságok miatti különbségeket. A komfortdiagramok (2.37) egyenlet alapján történő megszerkesztése a tervezés szempontjából volt feltétlenül szükséges, mivel az egyenlet iterációs lépései miatt a gyakorlati felhasználás nehézkes volt.

A diagramok a levegőhőmérséklet valamint közepes sugárzási hőmérséklet függvényében állandó relatív nedvességtartalom esetén ( $\varphi=50\%$ ) a  $PMV=0$  görbéket mutatják változó légsebesség esetén.

A három csoportba sorolt diagramok közül az elsőben, 12 diagram van, négy különböző öltözet esetére, és három aktivitási szintre. Az öltözetek: mezítelen,  $I_{cl}=0.0$  clo; könnyű öltözet,  $I_{cl}=0.5$  clo; közepes  $I_{cl}=1.0$ ; clo és nehéz öltözet  $I_{cl}=1.5$  clo). Az aktivitási szintek: nyugalmi: 1 met; közepes: 2 met; és intenzív: 3 met.

A második csoport  $t_{lev}=t_{ks}$  esetére vonatkozik, amely függvényében eredmény a közepes légsebesség, az aktivitástól, mint paramétertől függően.

A harmadik csoport ugyancsak a négyféle ruházat  $I_{cl}=0$  clo (F.2.2.ábra); 0.5, 1.0 clo és 1.5 clo esetére adja meg a levegőhőmérséklet és a közepes sugárzási hőmérséklet összefüggését, a relatív légsebességtől, mint paramétertől függően. A különböző öltözetekre vonatkozó diagramok három aktivitási szintre vannak meghatározva, amelyek: nyugalmi állapot:  $M/F_{Du}=58$  W/m<sup>2</sup>; közepes aktivitási állapot:  $M/F_{Du}=116$  W/m<sup>2</sup>; intenzív aktivitás:  $M/F_{Du}=174$  W/m<sup>2</sup>.



**2.15. ábra:** Fanger komfortdiagramja mezítelen emberrel [Fanger 1970b]

$PMV=0$ ,  $\varphi=50\%$ ,  $I_{cl}=1.0$  clo esetén

a) nyugalmi állapotra, 1 met, azaz  $M/F_{Du}=58$  W/m<sup>2</sup>,

b) közepes aktivitásra, 2 met,  $M/F_{Du}=116$  W/m<sup>2</sup>,

c) nagy aktivitásra 3 met,  $M/F_{Du}=174$  W/m<sup>2</sup>.

A 2.15. ábra három diagramja szemléltetik a Fanger-féle komfortdiagramok egy csoportját, amelyek  $I_{cl}=1.0$  clo esetére vonatkoznak. A zárt terek hőérzeti méretezésénél ezeket a diagramokat alkalmazzuk, amelyekből megállapítható a kellemes hőérzet feltétel teljesülése adott

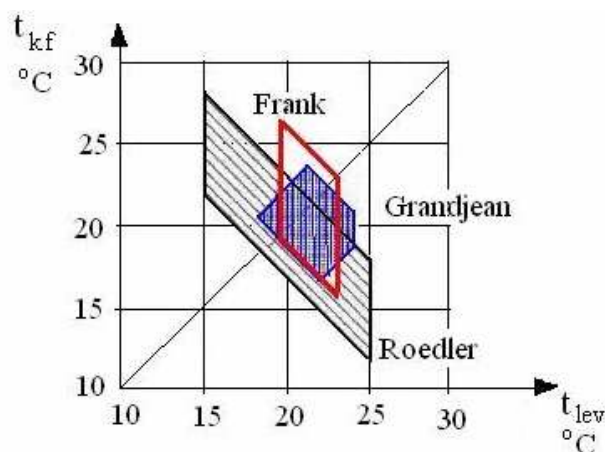
légsebességnél. A diagramokból látható az 5 % PPD –t (2.13. ábra) biztosító közepes sugárzási hőmérséklet és a légsebesség értékei. A relatív légnedvesség állandó érték  $\varphi=50\%$  [Bánhidi 1976].

A szabvány minőségi kategóriákat állapít meg arra vonatkozóan, hogy a helyiségben tartózkodó személyek hőérzetre való panaszainak, vagyis az elégedetlenek százalékos arányának milyen értéke fogadható el megengedettnek. Ezek az épület tervezésénél eldöntésre kerülő besorolások megszabják azokat a komfortkövetelményeket, amelyet az épületnek a bent tartózkodók számára biztosítani kell. A PMV értékek az A, B és C épületminőségi kategóriáknál  $\pm 0.2$ ;  $\pm 0.5$ ;  $\pm 0.7$ . Ezeknek a PMV- értékeknek a meghatározására a Fanger-féle komfortdiagramok (2.15. ábra) nem szolgáltatnak megfelelő adatot.

### 2.3.5. Komforttartományok

A helyiséget határoló felületek hőmérsékletének és a léghőmérsékletnek a hőkomfortra gyakorolt hatását már igen sokan vizsgálták. A kísérletekből származó eredményeket diagramok formájában tették az épületgépészeti tervezés számára közzé. Az irodalomban számos ilyen diagrammal találkozunk, amelyek közösek abban, hogy a komfortosnak ítélt tartományokat ábrázolják a léghőmérséklet és a közepes sugárzási hőmérséklet függvényében.

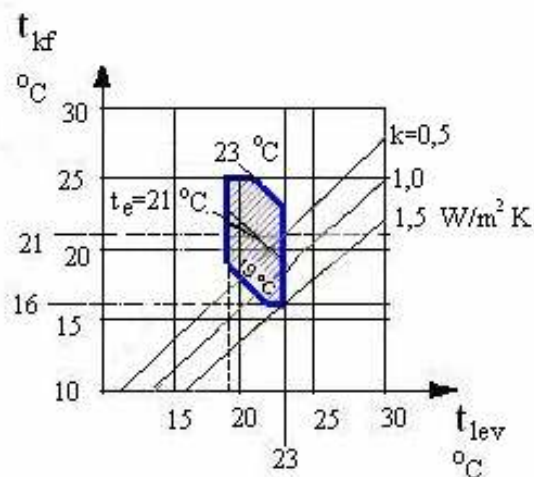
A komforttartomány diagramjai eddig abban nyújtottak segítséget a tervezés számára, hogy segítettek az adott épületszerkezet esetén a belső falhőmérsékletek ismeretében megválasztani azt a léghőmérsékletet, amely esetén azt a helyiségben tartózkodó komfortosnak érzi.



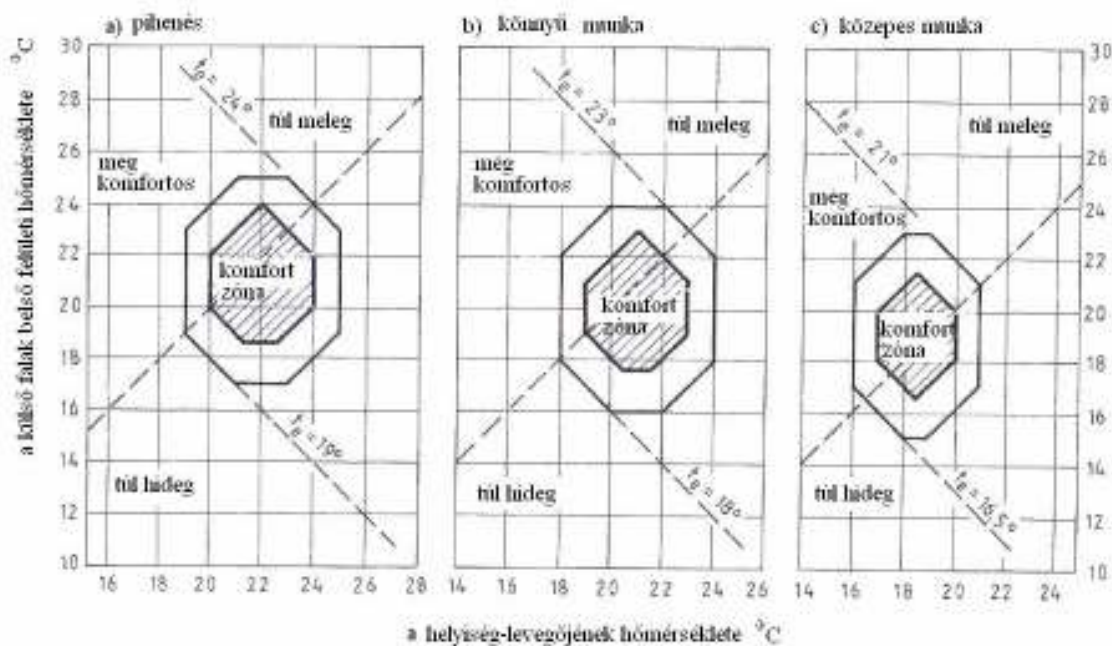
**2.16. ábra:** A komfortosnak ítélt tartományok a levegőhőmérséklet  $t_{lev}$  és a közepes felületi hőmérséklet  $t_{kf}$  függvényében Frank, Grandjean és Roedler szerint [Bánhidi 1976], [Frank 1975]

A legfontosabbnak tartott diagramok közül a 2.16. ábra mutat Grandjean, Roedler, és Frank nevéhez fűződő három különböző komforttartományt.

A 2.17. ábra a német mérnöki gyakorlatban alkalmazott komforttartomány, a 2.18. ábra pedig már a tevékenységi szint befolyását is mutatja a komfortosnak ítélt tartomány eltolódására.



**2.17. ábra:** A komfortosnak ítélt tartományok a levegőhőmérséklet és a közepes felületi hőmérséklet függvényében [Recknagel, Sprenger 1995]



**2.18. ábra:** A komfortosnak ítélt tartományok a levegőhőmérséklet és a közepes felületi hőmérséklet és az aktivitási szint függvényében [Buss 2002]

## 2.4. A termikus komfort különböző források alapján meghatározó feltételei

### 2.4.1. Az MSZ CR 1752:2000 hőkomfortra vonatkozó előírásai

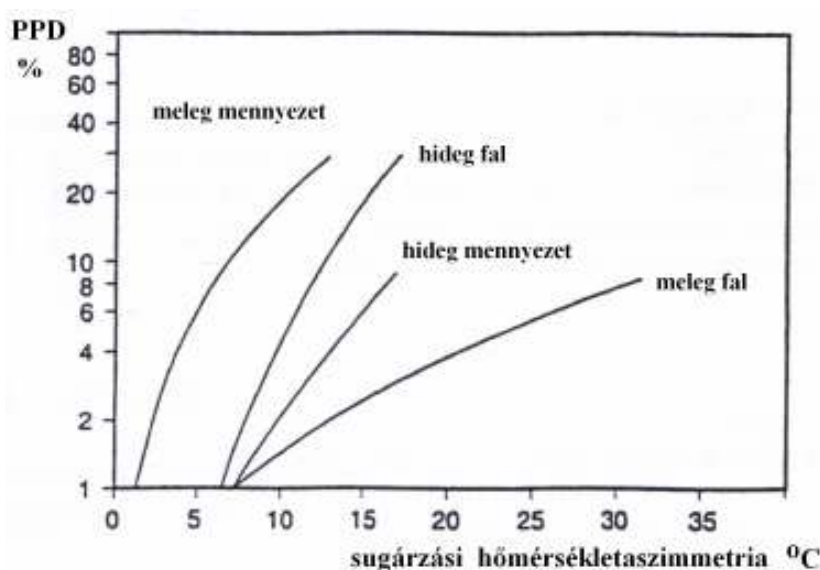
A zárt terek komfortkövetelményeinek előírásait tartalmazó szabvány munkahelyi hőkönyezetre, vagyis ülőmunkát végző személyekre vonatkozik. Nem vonatkozik a szabvány extrém munkakörülményekre, ahol az emberek forró vagy hideg környezetnek lehetnek kitéve. Érvényességi köre nem csak bizonyos épülettípusokra korlátozódik, ezért alkalmazható lakó vagy kereskedelmi, új és meglévő épületekre is.

A szabvány átlagos embercsoportokra és nem egyénekre határozza meg a kritériumokat. Ha a szabvány által előírt kritériumok teljesülnek, sem biztos, hogy mindenki, vagyis a helyiségben levő személyek 100 %-a elégedett.

Az általános hőérzet és a helyi diszkomforttényezők vonatkozásában a 2.1. táblázat mutatja a PMV-PPD követelményértékeit pedig, a sugárzási hőmérsékletaszimmetria megengedett értékeit a termikusan aktív felületek elhelyezkedésétől függően a 2.19. ábra diagramja mutatja.

**2.1. táblázat:** Az épületminőségi kategóriákra vonatkozó általános hőkomfort, és lokális diszkomforttényezők az MSZ CR1752: 2000 szerint

Kategória	A test egészének hőállapota		Helyi diszkomforttényezők			
	Az elégedetlenek százalékos értéke	Várható hőérzeti érték	Az elégedetlenek százalékos értéke huzat esetében	Vertikális hőmérsékletkülönbség esetén	Meleg, vagy hideg padló esetében	Sugárzási hőmérsékletaszimmetria következtében
	PPD %	PMV	DR %	PPD %	PPD %	PPD %
A	< 6	-0,2<PMV<+0,2	<15	<3	<10	<5
B	< 10	-0,5<PMV<+0,5	<20	<5	<10	<5
C	< 15	-0,7<PMV<+0,7	<25	<10	<15	<10



**2.19. ábra:** A sugárzási hőmérsékletaszimmetria megengedett értékei a termikusan aktív felület elhelyezkedése függvényében

## 2.4.2. Előírások a hőkomfortra

A komfort vonatkozásában a nemzetközi irodalomban található előírások, ajánlások különbözőek. A komfort biztosítása az operatív hőmérséklet, PMV-PPD, léghőmérséklet, légsebesség, turbulenciafok, és légnedvesség követelményértékeinek meghatározása révén történik. Az alábbiakban a komfortot jellemző paramétereket foglaljuk össze a különböző előírások szerint [Meyer 2001]:

### Léghőmérséklet

DIN 1946/2 0,1 m-re a padlószinttől:  $t_{lev} \geq 21 \text{ }^\circ\text{C}$

Mayer 0,1 m-re a padlószinttől:  $t_{lev} \geq 22 \text{ }^\circ\text{C}$

### Egyenletes léghőmérséklet

DIN EN ISO 7730 hőmérsékletgradiens fej / láb 1,1 / 0,1 m  $\Delta t_{lev} < 3 \text{ K}$

DIN 1946/2 vertikális irányban  $\Delta t_{lev} < 2 \text{ K/m}$   
horizontális irányban  $\Delta t_{lev} \pm 2 \text{ K/m}$

MSZ CR 1752 hőmérsékletgradiens fej/láb 1,1 / 0,1 m  $\Delta t_{lev} < 2 \div 4 \text{ K}$

### Operatív hőmérséklet

DIN 1946/2 ha  $t_{lev, külső} < 26 \text{ }^\circ\text{C}$ ,: alsó határ :  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  
felső határ:  $25 \div 26 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  
 $t_{lev, külső} > 26 \text{ }^\circ\text{C}$ ,: alsó határ:  $22 \div 24 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  
felső határ:  $25 \div 27 \text{ }^\circ\text{C}$ .

MSZ CR 1752 nyár  $t_{op} = 23 \div 24,5 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \div 3 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  
tél  $t_{op} = 19 \div 22 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \div 4 \text{ }^\circ\text{C}$ .

DIN EN ISO 7730 nyár: hűtés esetén  $23 \div 26 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  
tél: fűtési periódus  $20 \div 24 \text{ }^\circ\text{C}$ .

A helyiség határoló felületeinek közepes hőmérséklete ( Terhaag, Petzold )

$$|t_{lev} - t_{ks}| \leq 3 \text{ K}$$

### A padló felületi hőmérséklete

DIN EN ISO 7730 padlófűtés nélkül:  $19 - 26 \text{ }^\circ\text{C}$ ,

MSZ CR 1752 A, B kat.:  $19 \div 29 \text{ }^\circ\text{C}$ , C kat.:  $17 \div 31 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### Relatív légsebesség és turbulenciafok

DIN 1956/2 a léghőmérséklet függvényében  $v \leq 0,2 \text{ m/s}$ ,  $Tu \leq 10 \text{ } \%$

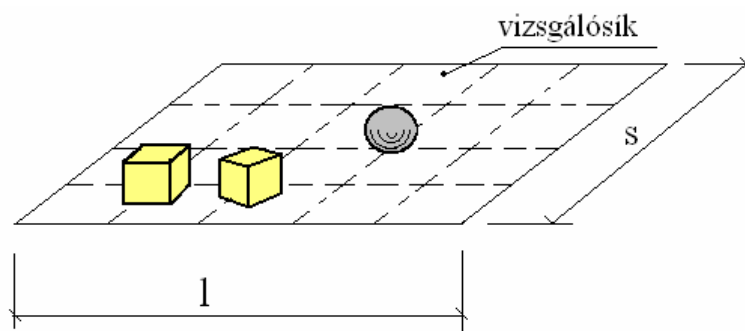
MSZ CR 1752 nyár:  $0,16 \div 0,23 \text{ m/s}$ ,  
tél:  $0,13 \div 0,12 \text{ m/s}$ ,  $Tu = 0 \div 60 \text{ } \%$  a  $t_{lev}$  függvényében.



### 2.4.3. A sugárzási hőmérsékletaszimmetriára vonatkozó előírások

Sugárzási hőmérsékletaszimmetria vonatkozásában mind annak számításában, mind pedig követelményértékeiben is eltérések vannak. Az MSZ CR 1752-ben azonos követelmények vannak rögzítve, mint az ISO 7730-ban, a vizsgálóelem elemi felület, ugyanakkor a DIN 1946/2-ben ismertetett számítási eljárás elemi gömböt alkalmaz a sugárzási aszimmetria számítására.

A sugárzási aszimmetria kutatásával évtizedek óta foglalkozó német professzor Berndt Glück az aszimmetria számítására más módszert javasol [Glück 1997]. A vizsgálóelem elemi kocka, amelynek vizsgálati magassága a padlószinttől 1,3 m. Az elemi kocka az ülő ember fejét szimbolizálja, és mivel az emberi fejnek a törzse felé nincsen sugárzásos hőleadása, így elegendő az öt felületelemre a sugárzási hőmérsékleteket meghatározni. A sugárzási hőmérsékletaszimmetria a legnagyobb különbséget adó sugárzási hőmérséklet különbsége. Az elemi oldalakkal rendelkező kockát a helyiség adott pontjában először a helyiség határoló felületeivel párhuzamos oldallapokkal, majd függőleges tengelye körül  $45^\circ$ -kal elforgatva elhelyezve számolja a sugárzási hőmérsékletkülönbséget. A mértékadó aszimmetria értéke a két a hőmérsékletkülönbség közül a nagyobbik. Ezzel az eljárással az egymásra merőleges szélsőséges hőmérsékletű felületek esetén az aszimmetria értéke jobban megközelíti a valóságot, mivel a helyiségek legalacsonyabb és a legmagasabb hőmérsékletű határoló felületei a gyakorlatban legtöbbször egymásra merőlegesek, nem pedig párhuzamosak. Glück helyiségmodellje szerinti elemi kocka, és a Windisch által javasolt elemi gömb elhelyezkedését mutatja a 2.20. ábra, a helyiség 1,3 m magasan lévő raszterhálózában [Glück 1991a].



**2.20. ábra:** A helyiség alapterületére a vizsgálati magasságban kifeszített rácshálózat, és az embert helyettesítő vizsgálati alakja (elemi kocka és elemi gömb) és elhelyezkedésük a rácsközéppontokban [Glück 1991a]. Az elemi kocka vizsgálati alakját két helyzete: először az oldalfalakkal párhuzamosan, majd  $45^\circ$ -kal elforgatva, és a Windisch által javasolt elemi gömb ábrázolása a rácsközéppontban.

### 2.5. A sugárzási hőmérsékletaszimmetria különböző számítása és összehasonlításuk

A különböző vizsgálati alakok és a besugárzási tényező különböző számítás módjai más értékeket eredményeznek a sugárzási hőmérsékletaszimmetria számításánál. Az aszimmetria értékeinek eltérését legjobban a megengedett határértékek tükrözik, amelyeket a 2.2. táblázat szemléltet az elemi gömb, elemi felület, és az elemi kocka vizsgálati alakja esetén.

A táblázatban megadott értékek a sugárzási hőmérsékletaszimmetria különböző definícióin alapulnak, és ezért egymással közvetlenül nem hasonlíthatók össze. Az alkalmazott jelölések definíciói a következők:



$|t_{f\acute{e}lt\acute{e}r,1} - t_{f\acute{e}lt\acute{e}r,2}|$ : annak a két f\acute{e}lt\acute{e}rnek a sugárzási hőmérséklete, amelyek elválasztó felülete párhuzamos a maximális hőmérséklet-különbségekkel rendelkező felületekkel.

$\Delta t_a$ : a vízszintes, illetve függőleges helyzetű sík felületelemre vett sugárzási hőmérsékletek különbsége közül a nagyobbik érték, PPD=5 % esetén, a padló fölött 0,6 m magasságban.

$\Delta t_{sug}$ : megengedett sugárzási aszimmetria PPD=5 % esetén, és az ülő ember fejmagasságában (1,3 m) lévő kocka formájú vizsgálati testre vonatkoztatva.

**2.2. táblázat:** A sugárzási hőmérsékletaszimmetria értékei különböző források szerint PMV=0 és  $v \leq 0,2$  m/s esetén

Termikusan aktív épületszerkezet	DIN 1946/2	CR 1752 DIN EN ISO 7730	Glück
	elemi gömb	elemi felület	elemi kocka
	$ t_{f\acute{e}lt\acute{e}r,1} - t_{f\acute{e}lt\acute{e}r,2} $	$\Delta t_a$	$\Delta t_{sug}$
Hideg falfelület	$\leq 8,0$ K	$\leq 10,0$ K	$\leq 8,40$ K
Meleg falfelület	$\leq 19,0$ K	$\leq 23,0$ K	$\leq 11,1$ K
Hideg mennyezet	$\leq 17,0$ K	$\leq 14,0$ K	$\leq 14,3$ K
Meleg mennyezet	$\leq 3,5$ K	$\leq 4,0$ K	$\leq 8,1$ K

## 2.6. A sugárzási hőmérsékletaszimmetria megengedett értékeit megalapozó kutatások

A megengedett sugárzási hőmérséklet-aszimmetriára vonatkozóan számos kutatás áll rendelkezésre. Az első ilyenek 1953-ból származnak. Chrenko megadta a megengedhető hőmérsékleteket a fűtőmennyezetekre vonatkozóan, a mennyezethez párhuzamosan lévő felületelem besugárzási tényezőjének a függvényében. Ez a felületelem a koponyatetőt volt hivatott reprezentálni. Kollmar [Kollmar, Liese 1957] ezekre az eredményekre támaszkodva a 2.21. ábrán bemutatott A és B görbékét állította elő, 20 °C helyiség-hőmérsékletre és könnyű tevékenységet végző emberre vonatkozóan. Tartós ülés ill. állás esetén az A görbe, a csak időszakosan álló emberre a B görbét ajánlotta.

Feltételezték, hogy a Chrenko értékek esetében az általános termikus komfort nem volt biztosítva. Macskásy a megengedett mennyezeti hőmérsékletet a fej komfortos száraz hőleadásából vezette le [Macskásy 1978], amelyre a következő egyenlet érvényes:

$$t_{m\acute{e}nnyezet, megeng} = 100 \left[ \frac{1}{\varphi_{f, mennyezet}} \left( \frac{T_f}{100} \right)^4 - \frac{1 - \varphi_{f, mennyezet}}{\varphi_{f, mennyezet}} \left( \frac{T_{k\acute{o}rny\acute{e}}}{100} \right)^4 - \frac{q_K - \alpha_{konv} (t_f - t_{lev})}{C_f \cdot \varphi_{f, mennyezet}} \right]^{\frac{1}{4}} - 273 \quad (2.38)$$

ahol:

$\varphi_{f, mennyezet}$

- a vízszintes felületelem (koponyatető) besugárzási tényezője a fűtőmennyezetre,

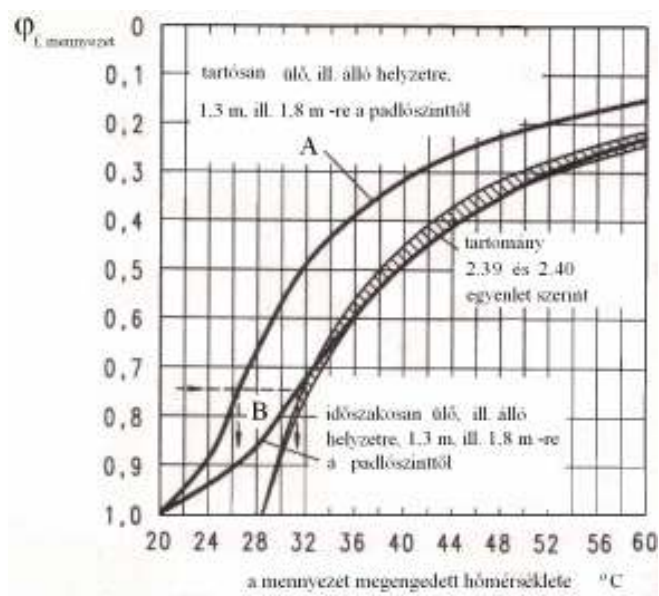
$T_f; t_f$ K; °C	- fejhőmérséklet,
$T_{\text{körny}}$	- a fűtetlen környezet átlagos hőmérséklete,
$t_{\text{lev}}$	- léghőmérséklet fejmagasságban,
$q_K$	- a minimális komfortos hőáramsűrűség a fejnél,
$\alpha_{\text{konv}}$	- konvektív hőátadási tényező a fejnél .

Az irodahelyiségekre jellemző tevékenységek értékeit behelyettesítve, megkapjuk azokat az egyenleteket, amelyek a megengedett hőmérséklettartományt határolják [Glück 1997].

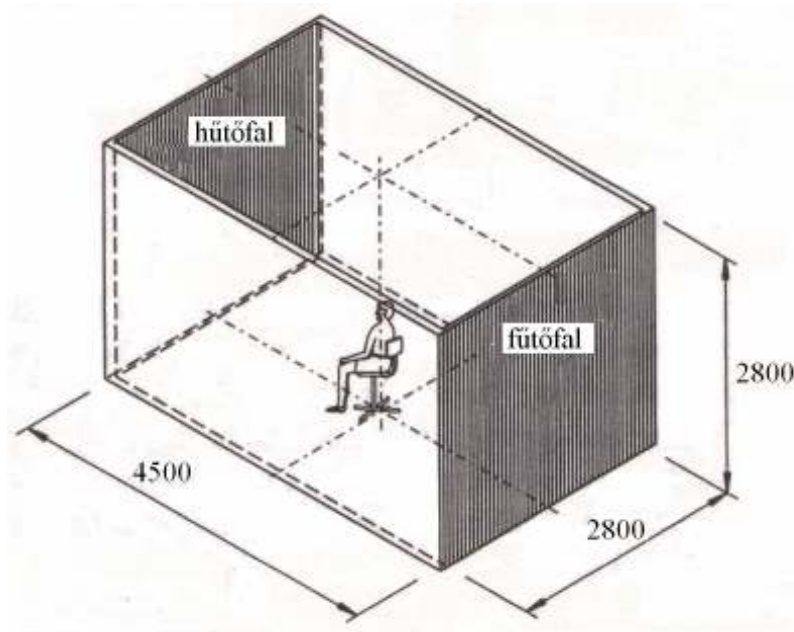
$$t_{\text{mennyezet, megeng}}^* = 100 \left[ \frac{10,9}{\varphi} + 71,7 \right]^{\frac{1}{4}} - 273 \quad (^\circ\text{C}) \quad (2.39)$$

$$t_{\text{mennyezet, megeng}}^{**} = 100 \left[ \frac{12,8}{\varphi} + 69,7 \right]^{\frac{1}{4}} - 273 \quad (^\circ\text{C}) \quad (2.40)$$

Ezt a tartományt a 2.21. ábra sraffozott területe szemlélteti, amely nagyon jól egyezik a Chrenko – Kollmar féle B görbével.



**2.21. ábra:** A fűtőmennyezet megengedett felületi hőmérséklete 20 °C helyiség-hőmérséklet esetén Chrenko és Kollmar nyomán – az A és B görbe [Kollmar, Liese 1957], a sraffozott tartomány Macskásy (2.39) és (2.40) egyenlete szerint [Macskásy 1978].



**2.22. ábra:** A megengedett sugárzási hőmérsékletaszimmetria megállapítására - kombinált hűtő-, és fűtőfal esetére - vonatkozó kísérlet elrendezése [Glück, 1997]

Az 1970-es években kezdődtek a közvetlen kutatások a megengedhető sugárzási aszimmetria terén. Olesen, Fanger, Jensen, Nielsen, 16, majdnem meztelen személyt ( $I_{cl}=0,1$  clo) aszimmetrikus sugárzásnak tették ki, és egyénileg kiválasztott, majd konstans értéken tartott érzeti hőmérsékleteknél kikérdezték őket [Olesen, Fanger 1973]. A geometriai elrendezés a 2.22. ábrán látható. A vizsgálóhelyiség két végfalának hőmérsékleteit  $\pm 5$  K -enként növelték, ill. csökkentették. A termikus diszkomfort érzése először  $\Delta t_{fal} = \pm 15$  és  $\pm 20$  K- nél jelentkezett.

A kísérlet során alapvetően nemek közti különbséget nem állapítottak meg. Az ülési helyzet vonatkozásában viszont az a megállapítás született, hogy az ember a hideg falat az emberrel szemben elhelyezve inkább elfogadja, mint az oldalsó vagy hátsó helyzetben.

A kísérlet eredménye a (2.41) egyenlet, amely összefüggés a sugárzó fűtésre, illetve sugárzó hűtésre vonatkozik, termikusan semleges környezetben és nyugvó levegőben tartózkodó és ülő emberre.

$$-2,5 - 1,2(1 - f_{cl}) - 1,8 \cdot I_{cl} \leq \Phi_{e,s} \cdot \Delta t_m \leq 4 + 1,2(1 - f_{cl}) + 1,8 \cdot I_{cl} \quad (2.41)$$

sugárzó hűtés  sugárzó fűtés

ahol:

$\Phi_{e,s}$  - az ember besugárzási tényezője a termikusan aktív S (hűtő vagy fűtő) felületre. Az álló, ülő és a függőleges tengelye körül forgó emberre vonatkozó besugárzási tényezők meghatározására az irodalomban található diagramok szolgálnak [Bánhidi 1976], [Fanger 1970a]. Windisch szerint jó közelítéssel az 1 méter magasságban lévő gömb besugárzási tényezője is jól alkalmazható [Glück, 1997].

$\Delta t_m$  - a megengedett hőmérsékletkülönbség az S felület  $t_s$  felületi hőmérséklete és a  $t_k$  átlagos környezeti hőmérséklet között, amely  $t_s$  értékét is tartalmazza.

Az  $I_{cl}=1.0$  clo esetre a (2.41) egyenletből a következő (2.42) egyenlet adódik:

$$-8,4 \leq \varphi_{e,s} \cdot \Delta t_m \leq 11,3 \quad (2.42)$$

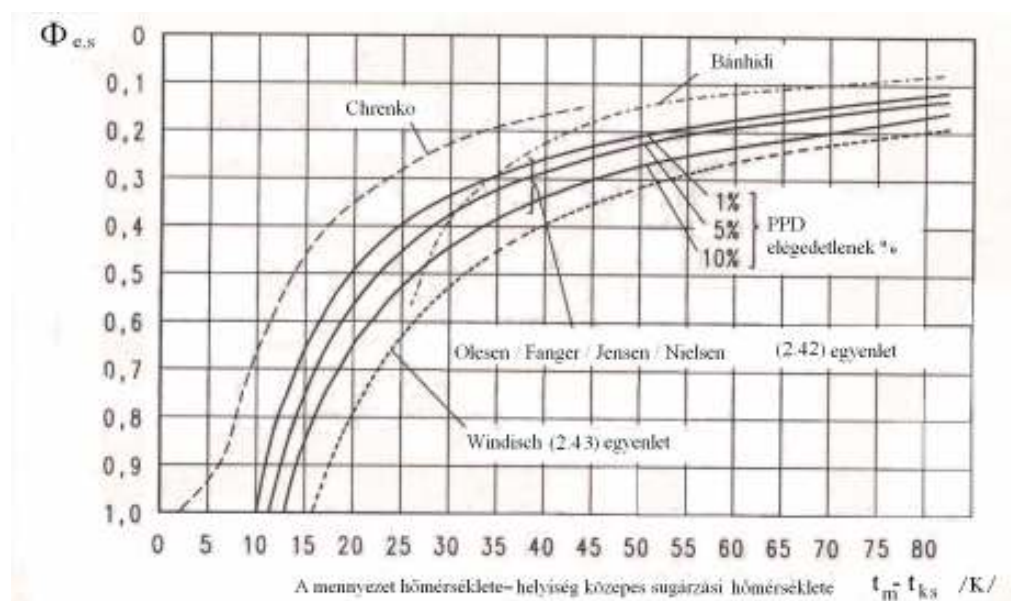
ahol:  $\varphi_{e,s}$ - az emberi test (M) ( pl. a koponyatető) felületelemének a besugárzási tényezője a termikusan aktív (hűtő vagy fűtő) S felületre. Az egyenlet PPD=5 % esetén érvényes.

A 2.23. ábra mutatja a mennyezet megengedett hőmérsékletét a besugárzási tényező függvényében, különböző PPD értékekre átszámítva, sugárzó fűtésre vonatkozóan. Összehasonlítás céljából Bánhidi és Chrenko vizsgálati eredményei is ábrázolva vannak a diagramon [Glück, 1997]. A Chrenko-görbe valamennyire eltér a többi görbétől.

Windisch ugyancsak 2.42 egyenletet alapul véve  $I_{cl}=1.0$  clo esetén a következő összefüggést állapítja meg:

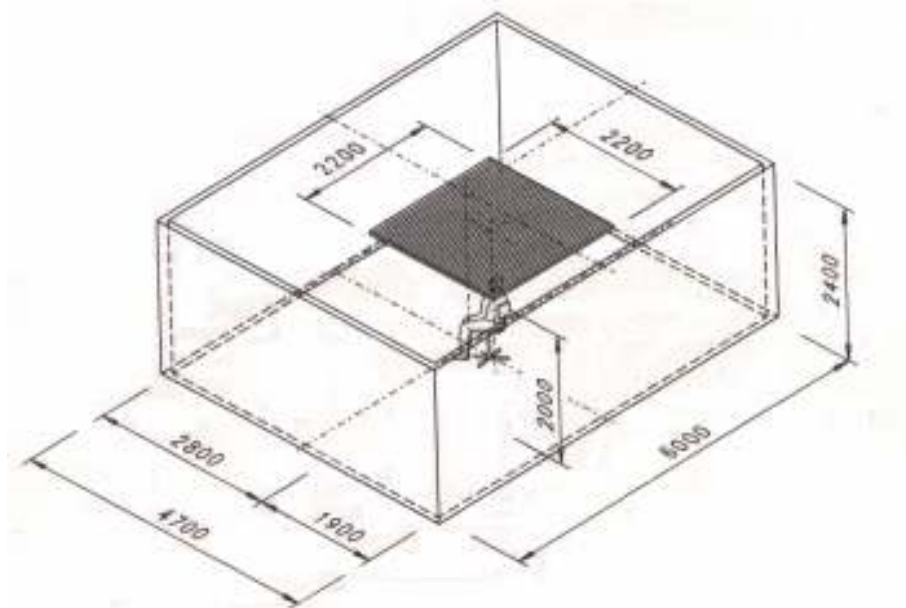
$$\varphi_{e,s} \cdot \Delta t_m \leq 15,8 \quad (2.43)$$

Ezt a görbét is mutatja a 2.23. ábra.

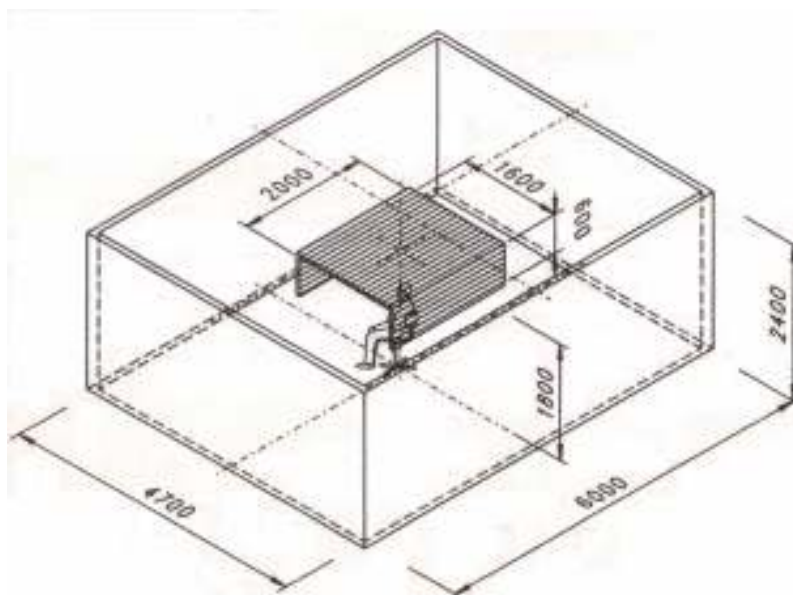


**2.23. ábra:** Megengedett hőmérsékletkülönbségek a sugárzó fűtőfelület és a helyiség átlagos sugárzási hőmérséklete között az emberi testfelület egy exponált felületelemének a fűtőfelületre vonatkoztatott besugárzási tényezőjének függvényében [Glück 1997].

Fanger / Bánhidi / Olesen / Langkilde kísérleténél a vizsgálati helyiségben egy felfüggesztett fűtőmennyezet esetén ugyancsak 16 személyt kérdeztek meg, akik normál öltözetet viseltek [Fanger, Bánhidi, 1980]. A sugárzási aszimmetriát egy, a padló felett 0,6 m magasságban lévő vízszintes felületelem két oldalára vonatkoztatott, a környező felületek sugárzási hőmérsékleteinek különbségeként definiálták. A 0,6 m megfelel az ülő helyzetű ember testközepének. A vizsgálati elrendezést a 2.24. ábra mutatja.

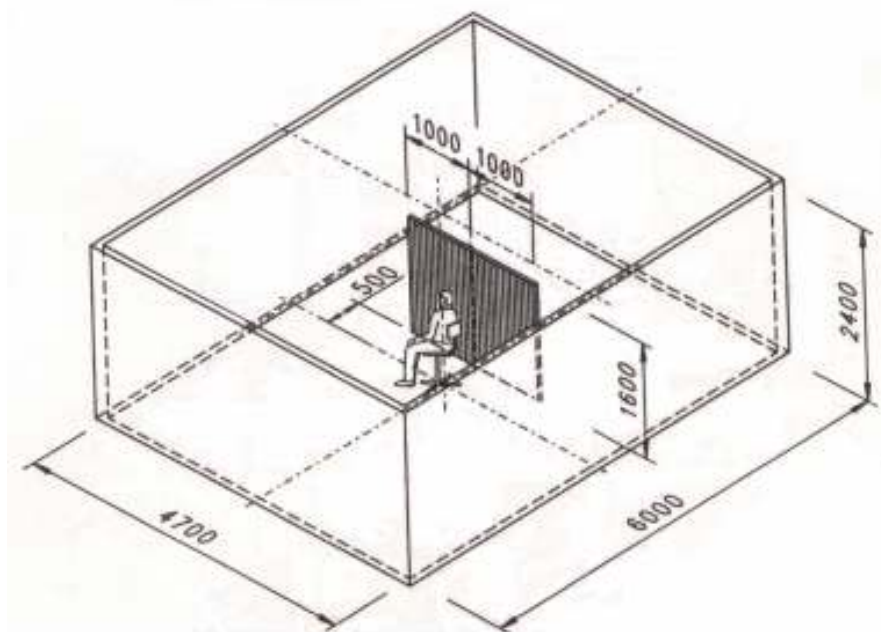


**2.24. ábra:** A fűtőmennyezetre vonatkozó megengedett sugárzási hőmérsékletaszimmetria megállapítására vonatkozó kísérlet elrendezése [Glück 1997] nyomán. A mérési adatokat és eredményeket a 4.5. táblázat tartalmazza.



**2.25. ábra:** A hűtőmennyezetre vonatkozó megengedett sugárzási hőmérsékletaszimmetria megállapítására vonatkozó kísérlet elrendezése [Glück 1997]. A mérési adatokat és eredményeket a 4.6. táblázat tartalmazza.





**2.26. ábra:** A fűtőfal és hűtőfal esetére vonatkozó megengedett sugárzási hőmérsékletaszimmetria megállapítására vonatkozó kísérlet elrendezése [Glück 1997]. A mérési adatokat és eredményeket a 4.7. és 4.8. táblázat tartalmazza.

Griffiths és McIntire 24 személyt vizsgáltak meg egy 3,7x 3,7 x 2,4 méretű helyiségben, amely fűtőmennyezettel volt ellátva [McIntyre 1974]. A szerzők meghatároztak egy un.  $\Delta t_{\text{vrt}}$  - sugárzási hőmérséklet vektort, amely a padló feletti 1 m magasságban lévő vonatkoztatási felületre vonatkozik. Figyelemre méltó, hogy az élőalanyok a különböző vizsgálati körülmények között nem érzékeltek szignifikáns diszkomfort-különbségeket.

Fanger és kutatócsoportja (Ipsen, Langkilde, Olesen, Christensen, és Tanabe) a hűtőmennyezetre, a fűtő-, és hűtőfalakra vonatkozó élőalanyos kísérletei és ezek eredményeinek összefoglalása jelentős lépés volt az aszimmetria kutatásában [Fanger, Ipsen 1985]. A vizsgálati elrendezések geometriája a 2.25. és 2.26. ábrán látható. A hűtőmennyezet és fűtőfal vizsgálatába 16 személyt, a hűtőfalak vizsgálatába pedig 32 személyt vontak be. Az élőalanyok normál öltözetűek voltak ( $I_{cl}=0,6$  clo).

A vizsgálatok során változó paramétereket (a termikusan aktív felület és a helyiség többi, belső határoló-felületeinek hőmérsékleteit), valamint a kérdőívek révén megállapított PPD értékeket, a (4. fejezet) 4.5.-4.8. táblázatait tartalmazzák.

A sugárzási hőmérsékletaszimmetria hűtőmennyezetre vonatkozó definícióját átvették, a fűtő-, és hűtő-falakra vonatkozóan, a vonatkoztatási felület függőleges elhelyezésével. A fűtőmennyezetre vonatkozó [Fanger, Bánhidi 1980] megengedett hőmérsékletaszimmetriák meghatározásával kiegészítve az addigi vizsgálatokat az eredmények összefoglalásaként született a 2.19. ábra, amely a megengedett sugárzási hőmérsékletaszimmetria értékeket tartalmazza [Fanger, Ipsen 1985]. Ezek az eredmények világszerte elterjedtek (pl. DIN 1946/2), és a CR 1752 szabványban is megtalálhatók.

### 2.6.1. A sugárzási hőmérsékletaszimmetria eddigi kísérleteivel kapcsolatos kritikai megjegyzések

Az irodalomban lévő, jól dokumentált vizsgálati feltételek lehetővé teszik a viszonylag pontos rekonstrukciót [Glück 1997], [Fanger, Ipsen 1985], [Fanger, Bánhidi 1980], [Olesen, Fanger 1973]. A megállapítások kis számú paraméter (a termikusan aktív felület hőmérsékletének) felvételével készült mérési eredményeken alapulnak, és az átszámítások valamint az extrapolációk semmi esetre sem teszik az eredményeket biztosabbá. Azok a felhasználók pedig, akik 2.19. ábrát megfontolás nélkül alkalmazzák, ennek nincsenek mindig a tudatában [Glück 1997].

Kritikai megjegyzések:

1. A leggyakoribb kritika, hogy a vizsgálati személyek száma viszonylag kicsi volt (32 személy a hűtőfalaknál és 16 személy a fűtőmennyezeteknél, fűtőfalaknál, valamint fűtőmennyezetnél), és az életkor erősen behatárolt volt (19-25 év).

A szükséges minta nagysága fontos kérdés a belső környezeti hatásokkal foglalkozó kutatásokban. Annak valószínűsége, hogy egy kísérlet eredménye a véletlen műve, csökken, ha a látható hatás nagy, és a mérések, vagy a kísérleti alanyok közötti variabilitás alacsony. Ha ezeket a tulajdonságokat ismernénk, előre meghatározhatnánk, hány kísérleti alanyt szükséges tanulmányozni ahhoz, hogy egy adott nagyságú hatás statisztikailag szignifikánssá váljon a kiválasztott szinten. A tulajdonságokat előző mérésekből bizonyos mértékben ismerjük, mivel a kísérlet meglevő tudás kibővítését jelenti, és minden kísérlet különbözik az előzőtől, logikailag lehetetlen 100 %-ra pontosan megjósolni az eredményt. A követendő eljárás, hogy megbecsülve a környezeti hatás vélhető nagyságát feltételezzük, hogy a variabilitás azonos lesz az előző kísérletekben tapasztaltakkal [Wyon 2003].

Ha a laboratóriumi körülmények a valóságtól irreálisan különböznek, ellenőrzés szükséges. Általánosan elfogadott, hogy a klinikai teszteleket nem kell megismételni, különböző, de alapvetően hasonló populációkban. A belső környezetre válaszul adott reakcióban a pszichológiai és fiziológiai elemek is vehetők ugyanolyan egyetemlegesek, mint azok a reakciók, amelyekkel az azonos betegségben szenvedő betegekre gyakorolt gyógyszeres hatást határozzák meg. Fontosabb a helyszínen ellenőrző méréseket végezni, mint a laboratóriumi kísérletekben az alanyok számát növelni, mivel a kísérleti helyzetek közötti eltérések is lehetnek ugyanolyan meghatározók, mint az emberek közöttiek.

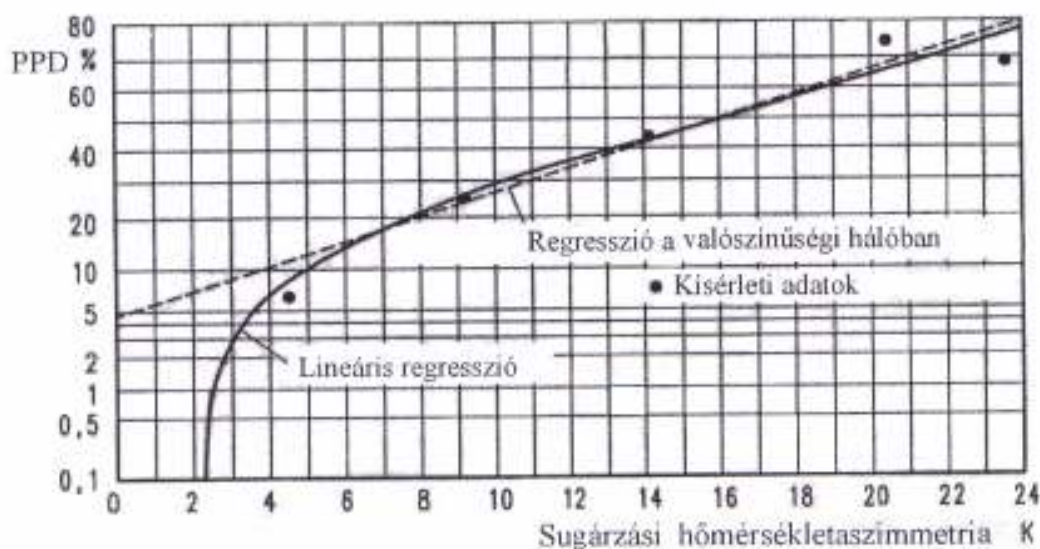
2. A sugárzási hőmérsékletaszimmetriát egy, a padló felett lévő 0,6 m magasságban lévő vízszintes vagy függőleges felületemre vonatkoztatva, pl. a fejnek a sugárzási aszimmetriára való érzékenységgel összehasonlítva csak egy nagyon gyenge korreláció adódik. A fej hőérzete viszont prioritást élvez, mivel a törzs és a végtagok esetén érzett egyéni diszkomfort a hozzá illő öltözettel bizonyos határok között elkerülhető.
3. Az élőalanyok válaszai nagyon bizonytalanok voltak. Így a meghatározott regressziós görbe  $\Delta t_a=0$  °C sugárzási aszimmetria értéknél mennyezetfűtés esetén PPD=5 %, falfűtés esetén pedig PPD=3 % diszkomfortot jelzett. Azért, hogy ezt a nyilvánvalóan „hamis” érzetet korigálják, a görbéket eltolták 5 % ill. 3 % PPD értékkel. A regressziót a valószínűségi hálóban végezték el és nagyvonalúan extrapolálták. A fűtőmennyezetre vonatkozó görbéket mutatja a 2.27. ábra. A teljes test hőérzetre vonatkozó (a 4. fejezet 4.5 táblázat szerinti) öt „válaszeredmény” a valószínűségi hálóban extrapolálva  $\Delta t_a=0$  estén 5 % PPD-t adott. Ez analóg módon a CR 1752-vel és az ISO 7730-val, a PMV = 0-ra elérhető legjobb PPD értéket jelenti. A görbének további 5 %-kal való eltolása eszerint nem

szükséges. Viszont ez a görbelefutás azt követeli meg, hogy a  $\Delta t_a=0$  értékű legyen, ami a gyakorlatban nem megvalósítható, és a tapasztalatok szerint nem is szükséges.

Lineáris regresszió esetén a PPD-re a (2.44) egyenletet kapjuk:

$$PPD = -0,8 + 3,61 \cdot \Delta t_{a,fe,m} \quad / \%/ \quad (2.44)$$

ahol: a  $\Delta t_{a,fe,m}$  - a megengedett sugárzási hőmérsékletaszimmetria felületelemre vonatkoztatva K-ben.



**2.27. ábra:** A „fűtőmennyezet” vizsgálatának eredményei (pontok) [Fanger, Bánhidi 1980] nyomán és a 4. fejezet 4.5. táblázata szerint, valamint a regressziós görbék [Glück 1997].

A (2.44) egyenlet szerinti görbelefutás (2.27. ábra) is jól tükrözi a válasz-eredményeket, és ezen kívül a  $\Delta t_{a,fe,m} < 4$  K-re elfogadhatóbb görbelefutást eredményez. Az önhatalmú görbekorrekció nem szükséges [Fanger, Bánhidi 1980].

4. A sugárzási hőmérsékletaszimmetria megengedett határértékeinek meghatározása céljából végzett kísérleteknél a termikusan aktív felületek geometriája, alakja és méretei a gyakorlatban előforduló esetekhez nem mindig igazodnak és egymással nem összehasonlíthatók. Példa erre a 2.24. ábra szerint fűtőmennyezet és a 2.25. ábra szerinti hűtőmennyezet. Az a sugárzási aszimmetria, amelyet a fej fűtőmennyezet esetén érez, minden esetben kedvezőtlenebb, mint a hűtőmennyezet esetén. A fűtőmennyezetnél a koponyatető sugárzások hőt kap, az arc pedig a hűvösebb környezet felé sugároz, a hűtőmennyezet pedig a fejét részlegesen körbezárja, így a koponyatető és az arc a hideg felületek felé sugároznak (2.25. ábra). Az eredmények (2.19. ábra) jól tükrözik, hogy a fűtőmennyezetek egyáltalán nem illeszkednek a hűtőfalak a hűtőmennyezetek és fűtőfalak, görbéihez.



5. A csekély mértékben felöltözött emberre ( $I_{cl}=0.1$  clo) meghatározott, a megengedett sugárzási hőmérsékletaszimmetriának normál öltözetre való átszámításai nem megfelelőek [Olesen, Fanger 1973].

### 2.6.2. A meglévő vizsgálati adatok Glück szerinti átértékelése

Glück a megkérdezések eredményeinek értékelését a gyakorlat igényeinek megfelelően vizsgálta. Rögzítette azokat a szempontokat, amelyek szerint átértékelte a már elvégzett kutatások meglévő eredményeit. Ezek a következők:

1. Az ember fejét a sugárzási aszimmetria legfontosabb érzékelőjének tekintjük. Mivel az a helyiségben állandóan öltözet nélküli, vagyis csupaszon van, ezért az egyénileg érzékelt termikus diszkomfort nem egyenlíthető ki a megváltoztatott öltözettel.
2. Az ülő ember fejének magasságát a padlószint fölött 1,3 m-re vesszük fel. A sugárzási hőmérsékletaszimmetria matematikai megközelítéséhez a fejet egy kockaformájú elemként képezzük le [Glück 1991a], amelynél a kocka alsó és felső felülete a padlóhoz és a födémhez párhuzamosan helyezkednek el. A kocka függőleges felületei a falakkal párhuzamosan, vagy azokhoz képest 45 fokkal elforgatva helyezkednek el (2.20. ábra). A környezet  $t_{sug,i}$  sugárzási hőmérsékleteit a kocka  $i$ -edik fedő ill. oldalsó felületeire vonatkoztatva a (2.45) egyenlet szerint számítjuk.

$$t_{s,i} = \left[ \sum \varphi_{i,j} (t_j + 273)^4 \right]^{\frac{1}{4}} - 273 \quad ^\circ\text{C} \quad (2.45)$$

ahol:

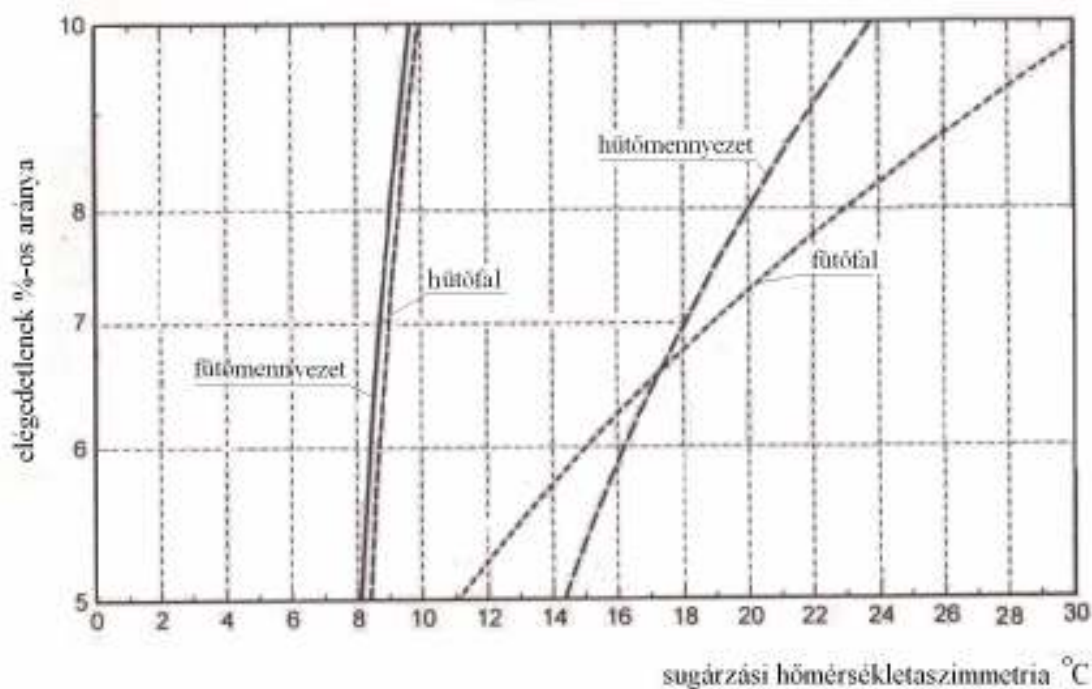
$\varphi_{i,j}$  - a kocka  $i$ -edik felületének besugárzási tényezője a  $j$ -edik környező felületre  
 $t_j$   $^\circ\text{C}$  - a  $j$ -edik környező felület felületi hőmérséklete.

A kocka alsó felületére vonatkozó sugárzási hőmérsékletet nem vesszük figyelembe, mivel a valóságban a törzs a fejet a sugárzási hőcsere vonatkozásában alulról leárnýékolja. A legnagyobb és legalacsonyabb érték különbsége szolgáltatja a sugárzási hőmérsékletaszimmetria újabb definícióját:

$$\Delta t_a = [t_{s,i}]_{\max} - [t_{s,i}]_{\min} \quad /^\circ\text{C}/ \quad (2.46)$$

3. Az ismert kísérleti adatokból (geometria, hőmérsékletek, PPD értékek) számítással meghatározzuk a maximális sugárzási hőmérsékletaszimmetriákat, és a PPD %-os értékeivel egy lineáris regressziós függvényt határozunk meg.

A mérési eredmények Glück szerinti átértékelését tartalmazza a 2.28. ábra. Az ábra a sugárzási hőmérsékletaszimmetria megengedett határgörbéit mutatja, a 2.19. ábra megengedett határgörbéinek Glück által végzett átszerkesztésében. A diagram a megengedett határértékeket a termikusan aktív felület elhelyezkedése függvényében, a 2.1. táblázat szerinti legfontosabb PPD intervallumban mutatják, az A és B kategóriának megfelelő PPD=5 % és a C kategóriánál megengedett PPD=10% között.



**2.28. ábra:** Glück elemi kockára vonatkozó a sugárzási hőmérsékletaszimmetria megengedett határértékeit tartalmazó diagram, a termikusan aktív felületek elhelyezkedése függvényében [Glück 1997]

A PPD = 5%-nál összehasonlítást végezve a 2.19. ábra megengedett határgörbéivel [MSZ CR 1752:2000], a meleg mennyezet esetén nagyobb a megengedett aszimmetria, a meleg fal esetén pedig jelentősen kisebb. A hűtőfal és a fűtőmennyezet görbéje hasonló meredekségű, és közel azonosak, az eltérés közöttük a 4,5 °C helyett mindössze 0,4 °C. A PPD= 5 és 10 % esetén a megengedett értékek változása kisebb 2 °C-nál.

A fűtőfal és a hűtőmennyezet görbéje metszi egymást. A PPD=10 % -nál lényeges korlátozás csak a fűtőmennyezetnél és a hűtőfalnál van, mivel a hűtőmennyezet esetén 20 °C körüli sugárzási hőmérsékletaszimmetria a páralecsapódás elkerülése miatt nem fordulhat elő. A fűtőfalaknál sem fordul elő a gyakorlatban az a 30 °C-os aszimmetriaérték, amelyet a C kategóriára megengedett értéként megad a diagram.

### 3. A komforttartomány szerkesztése a PMV = állandó görbékkel

A PMV előjelzésére, és a ruházat felületi hőmérsékletének meghatározása céljából az erre vonatkozó egyenletek megoldása, illetve kiszámítása szükséges.

A számítást viszont a többszörös iterációs lépések miatt számológéppel, vagy az Excel programmal nem lehet úgy elvégezni, hogy az eredmény megfelelő pontossággal és elfogadható időn belül rendelkezésre álljon.

Szükségnek látszik a tervezést segítő olyan hőmérsékleti komforttartomány megszerkesztése, amely a MSZ CR 1752 szabvány [MSZ CR 1752:2000] szerinti általános hőkomfort A, B és C kategóriáinak megfelelő PMV tartományokat ábrázolja.

A szakirodalomban található, a léghőmérséklet és a környező felületek közepes hőmérséklete függvényében megadott, komforttartományokat tartalmazó diagramok nem adnak utalást a PMV értékekre, a komfortos zónák alakja pedig egymástól igen különbözőek (lásd 2. fejezet) [Bánhidi 1976], [Frank 1975], [Fanger 1970a].

A szabvány megadja a különböző épületminőségi kategóriákra a PMV- határok mellett az operatív hőmérséklet határokat is (a  $t_{op}$  minimális és maximális értékeit, valamint a megengedett maximális sebességeket), de nem adja meg az operatív hőmérséklet és a PPD-érték közötti kapcsolatot.

Cél, hogy a tervezőnek - a PMV-re, és a ruházat felületi hőmérsékletének meghatározására szolgáló egyenletek kiszámítása helyett olyan diagram álljon a rendelkezésére, amelyen ellenőrizni tudja - a falak belső felületi hőmérséklet, illetve a közepes sugárzási hőmérséklet kiszámítása után - hogy a tervezett levegőhőmérséklet biztosítja-e a megkívánt A, B, vagy C követelményszintet, illetve nem magasabb, illetve alacsonyabb értékű-e a szükségesnél.

#### 3.1. Az új komforttartomány szerkesztésének elve

A szabvány [MSZ CR 1752:2000] A, B és C épületminőségi kategóriáihoz tartozó PMV=állandó görbéinek meghatározásával szerkesztett komforttartomány megalkotásánál a következő gondolatmenetet követtem :

1. Az MSZ CR 1752 a különböző hőkönyezeti kategóriákhoz, (A, B és C) növekvő mértékű PMV tartományokat rendel ( $\pm 0,2$ ;  $\pm 0,5$ ;  $\pm 0,7$ ).
2. A Fanger-féle komfortegyenletből levezetett PMV egyenletébe, ezeket a szélsőséges PMV értékeket behelyettesítve adott léghőmérsékletekhez meghatározhatók a hozzá tartozó közepes sugárzási hőmérsékletek. A számítás során szükség van  $t_{cl}$  értékének meghatározására is, amely maga is a léghőmérséklettől és a közepes sugárzási hőmérséklettől függ, így a számítás többszörös iterációval, és számítógéppel végezhető el.
3. A számítás eredményeképpen 6 db PMV=állandó vonalat kaptam, amelyet a diagramba berajzoltatva két oldalról kijelölhetők a komforttartomány határai. (3.3. ábra)
4. A komforttartomány másik két oldalának a lezárása azzal a feltétellel lehetséges, hogy rögzítjük az egyes hőkönyezeti kategóriákhoz tartozóan a konvektív hőleadás arányát, azaz „m” értékét az összes száraz hőleadáson belül.

$$m = \frac{Q_{konv}}{Q_{konv} + Q_{sug}}$$

Irodalmi adatokra támaszkodva és azzal a hipotézissel, hogy a légsebesség növelésével a sugárzásos hőleadásnál nagyobb konvektív hőleadás esetén is kialakul a komfortérzet, a B

és a C kategória esetében az „m” értéket 0,6 és 0,4-re, az A kategória esetében pedig 0,55 és 0,45-re vettem fel [Bánhidi, Kajtár 2000], [Bánhidi 1976].

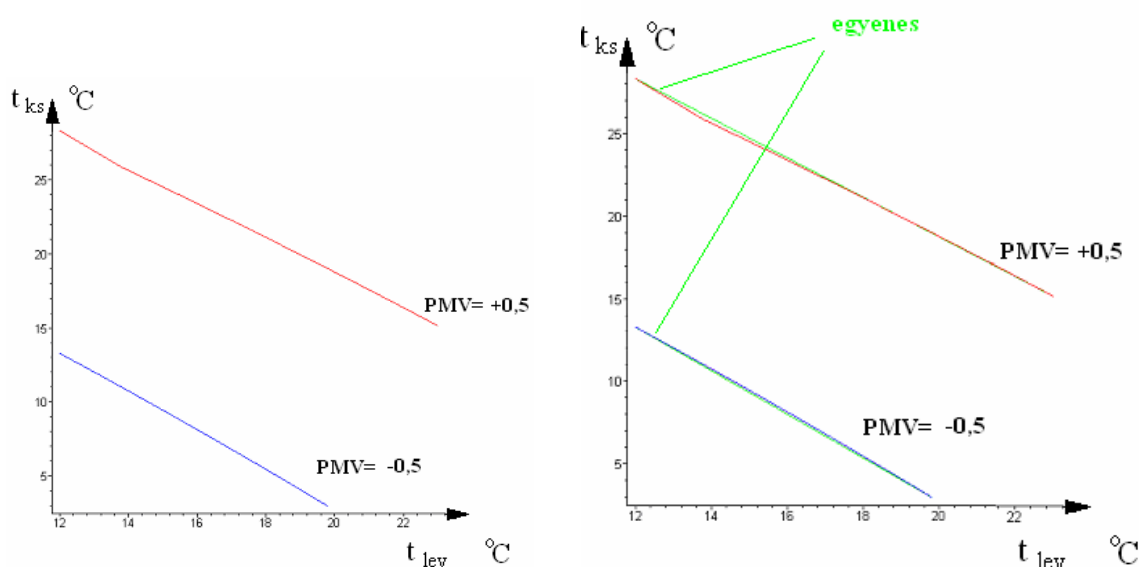
5. Egy külön erre a célra készített számítógépes programmal a PMV=állandó vonalakon kijelöltem azokat a pontokat, amelyekre vonatkozóan a fenti értékek teljesülnek.

### 3.2. A komforttartomány szerkesztésének menete

Az új komforttartomány megszerkesztésénél azt tételeztem fel, hogy a rögzített PMV – tartományok és  $t_{op}$ -tartományok a  $t_{ks}$  és  $t_{lev}$  koordináta-rendszerben zárt területet alkotnak mindhárom épületminőségi kategóriára vonatkozóan.

Első lépésként a programmal a PMV= állandó vonalakat rajzoltattam fel a  $t_{ks}$ - $t_{lev}$  síkon. Ehhez a Fanger-féle komfortegyenletből – négy különböző időben és helyen elvégzett kísérlet eredményeinek figyelembevételével –, az ugyancsak Fanger által levezetett PMV-re vonatkozó (2.37) egyenlet és a ruházat felületi hőmérsékletének meghatározására szolgáló (2.32) egyenlet áll rendelkezésre. A PMV-paramétervonalak felrajzolásához a többszörös iterációt a Maple matematikai programmal oldottam meg. A Maple program az eredményeket grafikusan is ábrázolni tudja. A program részletes ismertetése az alkalmazott matematikai összefüggésekkel együtt a F.3.1. pontban található.

A megírt program három fő részből áll. Az első részben az iterációs eljárással meghatározhatók a  $PMV=\pm 0,2$ ;  $PMV=\pm 0,5$ ; és  $PMV=\pm 0,7$  paramétervonalak. Az iterációs eljárás eredményeként kapott  $PMV=\pm 0,5$  görbét a 3.1. ábra mutatja, amely  $p_{vg}=7,5$  Hgmm,  $v=0,1$  m/s,  $M/F_{Du}=58$  W/m<sup>2</sup>,  $I_{cl}=1,0$  és  $f_{cl}=1,15$  változókra vonatkozik, amely a téli állapotnak felel meg.



**3.1. ábra:** A B épületminőségi kategóriának megfelelő  $PMV=\pm 0,5$  paramétervonalak a  $t_{lev} - t_{ks}$  síkon,  $p_{vg}=7,5$  Hgmm,  $v=0,1$  m/s  $I_{cl}=1,0$  clo, és  $f_{cl}=1,15$ ,  $M/F_{Du}=58$  W/m<sup>2</sup> esetén

**3.2. ábra:** A  $PMV=\pm 0,5$  paramétervonalak összehasonlítása az egyenessel

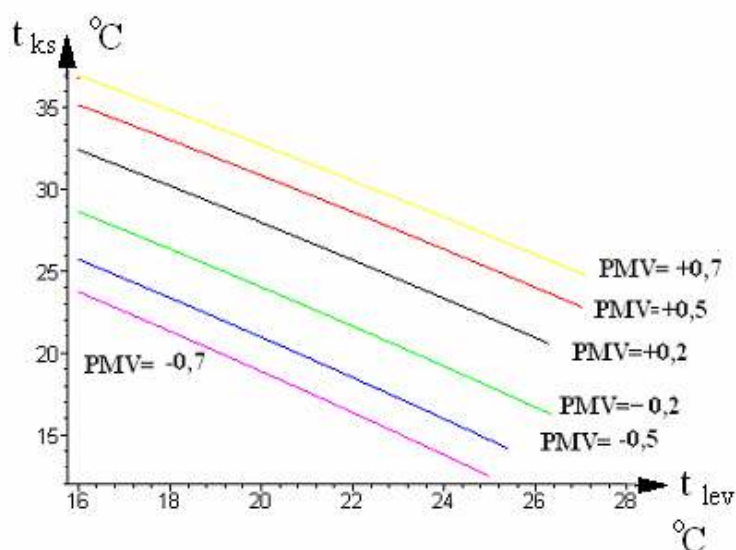
### 3.2.1. A PMV=állandó vonalak vizsgálata

A két végpontot összekötő egyenesek (3.2 ábra) rajzával a PMV állandó görbéket összehasonlítva megállapítható, hogy a PMV görbék jelentősen nem térnek el az egyenestől.

Az ábrából levonható következtetések:

1. A PMV=állandó paramétervonalak a  $T^4$ -es összefüggés ellenére egyenesnek vehetők,
2. Az értékelhető eredmény szempontjából fontosak az iterációs eljárás kiinduló értékei, mert bizonyos léghőmérséklet értékek felett komplex számok adódnak.

Az eljárást a  $PMV=\pm 0,2$  és  $\pm 0,7$  esetére is megismételve az eredmény a 3.3. ábrán látható.



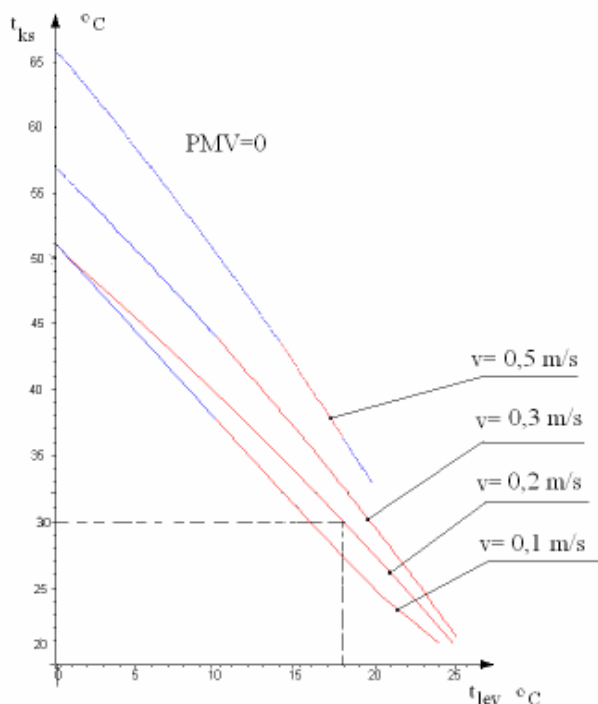
**3.3. ábra:** Az A, B és C épületminőségi kategóriának megfelelő  $PMV = \pm 0,2$ ;  $\pm 0,5$ ;  $\pm 0,7$  tartományok a levegőhőmérséklet és a közepes sugárzási hőmérséklet függvényében ( $p_{vg}=7,5$  Hgmm,  $v=0,1$  m/s,  $M/F_{Du}=58$  W/m<sup>2</sup>,  $I_{cl}=1,0$  és  $f_{cl}=1,15$ )

A Fanger-féle komfortdiagramokkal való összehasonlításhoz a  $PMV=0$  és  $I_{cl}=1,0$  clo esetére különböző légsebességekkel lefuttatott Maple-program eredményeit a 3.4. ábra mutatja. (Az ábra kék és piros vonalai ugyanazt a  $PMV=0$  paramétervonalat ábrázolják, csak az iterációs határok változnak, ezt jelöli különböző színnel a program.)

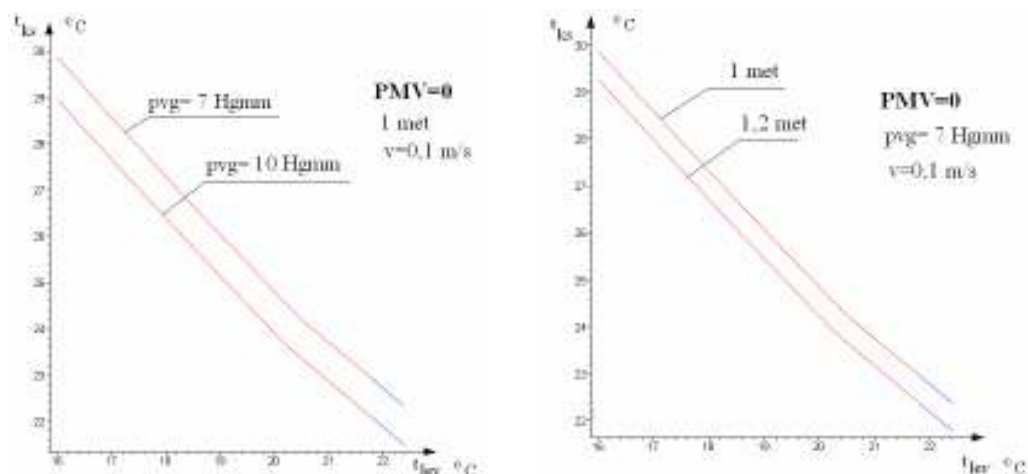
Az alapvető különbség a 2.15. ábra és a 3.4. ábra diagramjai között, hogy a Fanger-féle komfortdiagramok a mindenkor levegőhőmérséklet és rögzített  $\varphi=50$  % relatív nedvességtartalom esetére vonatkoznak, a változó léghőmérsékletre pedig változó  $p_{vg}$  – érték tartozik. A Maple-ben írt program az abszolút nedvességtartalom, azaz a  $p_{vg}$ =állandó értékével dolgozik, vagyis a relatív nedvességtartalom a léghőmérséklettől függően változik. Ez oka lehet a diagramok közti eltérésnek.

A sebesség növekedésének hatása mindkét esetben a görbe meredekségét növeli.

A 3.5. ábra a relatív nedvességtartalom és az aktivitási szint változásának hatását szemlélteti a  $PMV=0$  paramétervonalakra.



**3.4. ábra:** A sebességváltozás hatása a PMV=0 paramétervonalakra,  $p_{vg}=7$  Hgmm;  $M/F_{Du}=58$  W/m<sup>2</sup> esetén



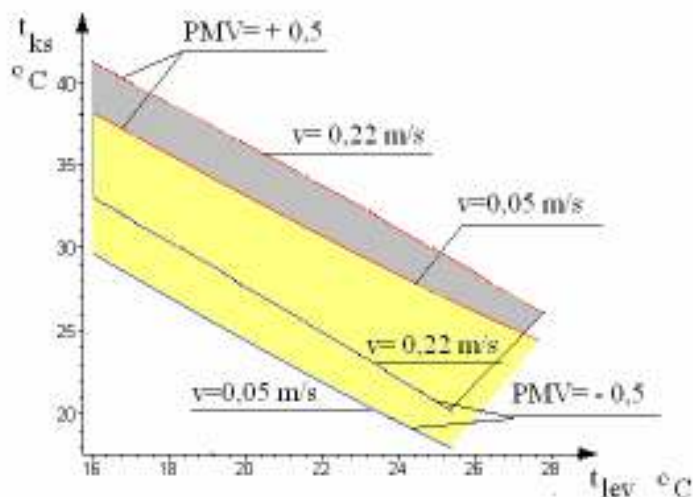
**3.5. ábra:** A légnedvesség és az aktivitási szint változásának hatása a PMV=0 paramétervonalakra

A Fanger-féle komfortdiagrammal való összevetésből megállapítható:

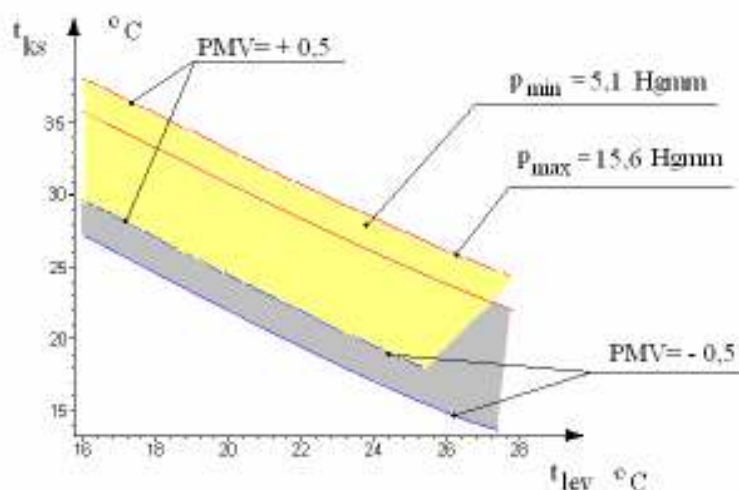
- A Maple-program eredményeként kapott PMV=0 vonalak a Fanger-féle komfortdiagramokkal jó egyezést mutatnak.
- A Fanger-féle görbék a PMV=0 értékre szélesebb hőmérséklet-intervallumban szolgáltatnak eredményt, amelyek (gyakorlati tapasztalatokkal összevetve) a komfortérzésnek nem felelnek meg (pl.  $t_{lev}=30$  °C;  $t_{ks}=12$  °C), ezáltal a komfortkövetelmények teljesítése szempontjából ezek a diagramok kevésbé használhatók.
- A tevékenységi szint és a relatív nedvességtartalom növekedésével a kellemes hőérzetnek megfelelő összetartozó  $t_{lev}$  és  $t_{ks}$  értékek eltolódnak a csökkenő léghőmérséklet irányába.
- A saját számítások során a PMV=0 görbéknek szakadásuk van bizonyos léghőmérsékleteknél a program futtatása során kapott komplex eredmények miatt.

### 3.2.2. A $t_{lev}$ - $t_{ks}$ síkon ábrázolt PMV-tartományok helyzetét befolyásoló tényezők:

A  $t_{lev}$  -  $t_{ks}$  síkon ábrázolt A, B és C épületminőségi kategóriának megfelelő PMV-tartományok helyzetét befolyásoló tényezők a következők: a légsebesség, a levegő parciális vízgőznyomása, az öltözet, és a tevékenységi szint. A változók hatásának szemléltetésére azok minimális és megengedett maximális értékeivel lefuttattuk a programot, és az eredményeket közös diagramban összeszerkesztettük.

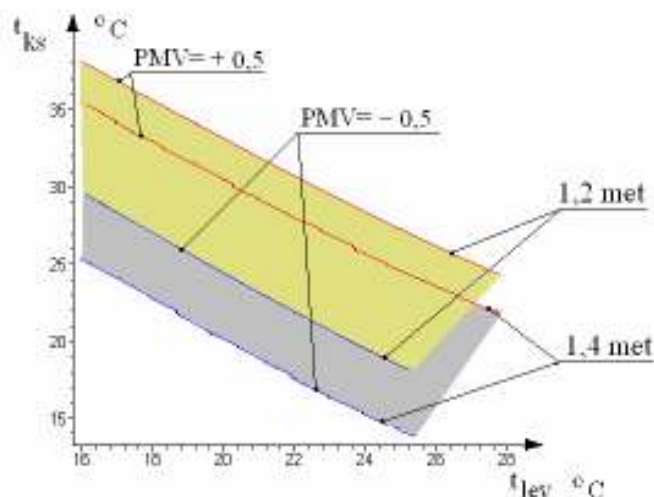


**3.6./a ábra:** A sebességváltozás hatása a  $PMV=\pm 0,5$  paramétervonalak által határolt B kategória tartományára nyári esetben ( $p_{vg}=5.1$  Hgmm,  $I_{cl}=0.5$  clo,  $f_{cl}=1.1$ ;  $M/F_{Du}=69.6$  W/m<sup>2</sup>)

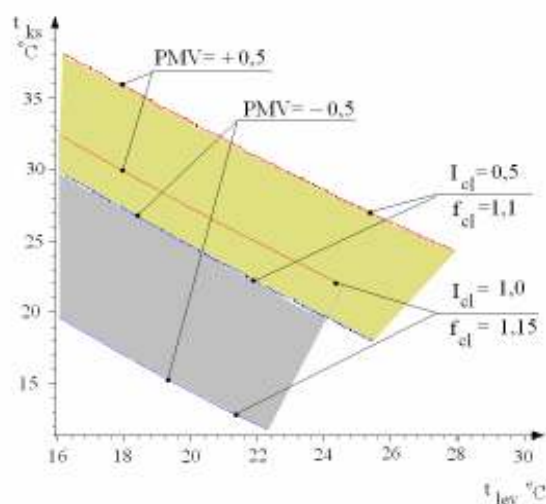


**3.6./b ábra:** A parciális vízgőznyomás változásának hatása a  $PMV = \pm 0.5$  paramétervonalak által határolt B kategória tartományára nyári esetben ( $v=0.05$  m/s,  $I_{cl}=0.5$  clo,  $f_{cl}=1.1$ ;  $M/F_{Du}=69.6$  W/m<sup>2</sup>)





**3.6./c ábra:** Az aktivitási szint változásának hatása a B kategória PMV -tartományára nyári esetben ( $p_{vg}= 5.1$  Hgmm;  $I_{cl}= 0.5$  clo;  $f_{cl}=1.1$ ;  $v=0.05$  m/s)



**3.6./d ábra:** Az öltözet ( $I_{cl}$  és  $f_{cl}$ ) változásának hatása a B kategória PMV- tartományára nyári esetben ( $p_{vg}=5.1$  Hgmm;  $M/F_{Du}=69.6$  W/m<sup>2</sup>;  $v= 0.05$  m/s)

A 3.6/a. ábra mutatja a sebességváltozás, a 3.6/b. ábra a parciális vízgőznyomás változásának, a 3.6/c ábra az aktivitási szint változásának, valamint a 3.6/d ábra az öltözet paramétereinek, a ruházat szigetelőképességének  $I_{cl}$  és az  $f_{cl}$  változásának hatását a B kategóriának megfelelő  $PMV = \pm 0,5$  paramétervonalakra, nyári esetben. A paraméterváltozások hatására a PMV-tartományok eltolódnak a  $t_{lev}-t_{ks}$  síkon.

Az ábrákról levonható következtetés, hogy a légsebesség növelésével a  $PMV = \pm 0,5$  paramétervonalak által határolt (a B kategóriára vonatkozó) tartományok az origótól távolodnak, a relatív nedvességtartalom, (vagyis a  $p_{vg}$ ) növekedése esetén az origóhoz közelítenek, hasonlóan az aktivitási szint és az öltözeti paraméterek növekvő értékeinek hatásához.



### 3.2.3. Az operatív hőmérséklet- tartomány szerkesztése a $t_{lev}$ - $t_{ks}$ síkon

A program második blokkjában az operatív hőmérséklet ( $t_{op}$ =állandó) vonalak felrajzolását végzi a program. Az operatív hőmérséklet

$$t_{op} = \frac{\alpha_{konv} \cdot t_{lev} + \alpha_s \cdot t_{k,f}}{\alpha_s + \alpha_{konv}} \quad (3.1)$$

alapegyenletébe az  $\alpha_{konv}$ -ra a (2.34) szerinti összefüggés érvényes. Az egyenletben a közepes sugárzási hőmérséklet helyett a közepes felületi hőmérséklet ( $t_{k,f}$ ) és egy, az egész helyiségre érvényes levegőhőmérséklet ( $t_{lev}$ ) szerepel. Ezekben a számításokban a helytől (vagyis a besugárzási tényezőtől) függő közepes sugárzási hőmérsékletet nem indokolt szerepeltetni. Ezzel az összefüggéssel a helyiségre egy, jellemző értékű operatív hőmérséklet számolható.

Az emberi test és a helyiséget határoló felületek közötti sugárzásos hőcserére vonatkozó hőátadási tényező:

$$\alpha_s = \frac{\dot{q}_s}{t_{cl} - t_{k,f}} = \frac{\varepsilon_{1,2} \cdot \sigma_o \cdot [T_{cl}^4 - T_{k,f}^4]}{t_{cl} - t_{k,f}} = \frac{\varepsilon_{1,2} \cdot \sigma_o \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{k,f} + 273)^4]}{t_{cl} - t_{k,f}} \quad (3.2)$$

A (3.2) egyenletben szereplő tényezőkre vonatkozó összefüggések:

- A kölcsönös emissziós tényező:

$$\varepsilon_{1,2} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} - \frac{A_e}{A_f} \left( \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)}; \quad (3.3)$$

- az emissziós tényezők:

$$\varepsilon_1 = \frac{C_1}{C_0} \quad \text{és} \quad (3.4)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{C_2}{C_0} \quad . \quad (3.5)$$

- Az emberi test sugárzásos hőcserében résztvevő felülete  $A_e=1,8 \text{ m}^2$ . Ez a szám csak közelítő érték, mert a sugárzásos hőcserében lévő emberi testfelület ülő helyzetben ennél kisebb a takarások ( pl. a székkal való érintkezés és az egymással szemben lévő testfelületek ) miatt, ugyanakkor a ruházat sugárzó felülete a ruházattal borított testrésznél nagyobb ( $f_{cl}$ ), amelyet, mint felületet növelő tényezőt figyelembe kellene venni.

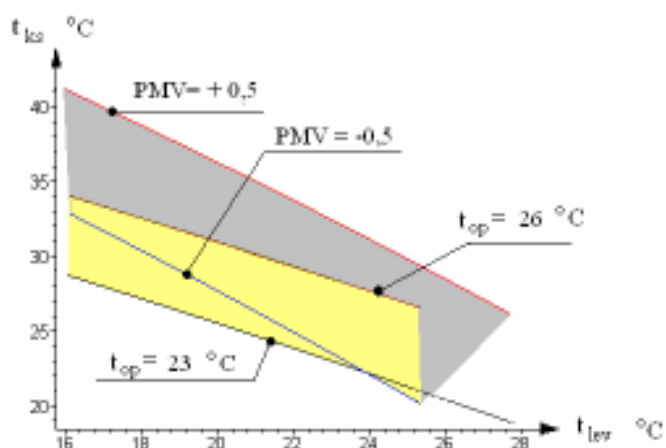
- A (3.3) egyenletben az  $A_f = \sum_{i=1}^n A_i$  (3.6)

jelenti a helyiséget határoló felületeket, amelyek az emberi testtel sugárzásos hőcserében állnak. A számításoknál egy kisméretű helyiségre vonatkozó az  $A_f = 45,6 \text{ m}^2$  felületet vettem fel. Mivel ez az érték a helyiség méretével változik, lehetőség van az  $A_f$

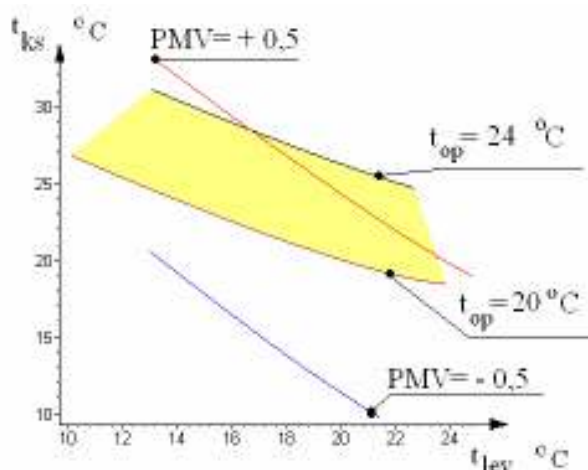
változtatásával megvizsgálni a helyiség méretének, annak változásának hatását az operatív hőmérsékletre is (3.2.5. pont). A számításoknál a bútorok árnyékolását nem tudjuk figyelembe venni.

- További adatok:  $C_0=5,67$ . Az átlagos emissziós tényezőt felvéve: az emberi testre:  $\varepsilon_1=0,98$  ; a belső falfelületekre  $\varepsilon_2=0,94$ , figyelembe véve a ruházat, és a helyiségben mindig jelen lévő nagyobb emissziós tényezővel rendelkező anyagokat.

A  $t_{cl}$  és  $t_{ks}$  - a léghőmérséklet függvényében - változó értékeit a program az első részből már meglévő adatként átveszi, és a kategóriának megfelelő  $t_{op,min}$  és  $t_{op,max}$  értékeire a görbéket felrajzolja, a már meglévő PMV tartományok mellé (3.7. és 3.8. ábra).



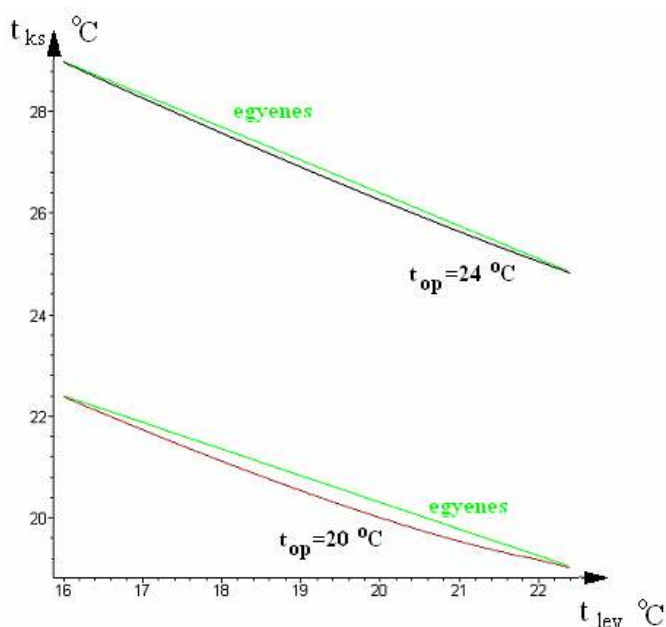
**3.7. ábra:** A  $t_{op}=23\text{ °C}$  és  $t_{op}=26\text{ °C}$  operatív hőmérsékletek közötti tartomány és a PMV tartomány ábrázolása a B épületminőségi kategória nyári esetére ( $v=0,22\text{ m/s}$ ,  $p_{vg}=5,1\text{ Hgmm}$ ,  $I_{cl}=0,5\text{ clo}$ ,  $f_{cl}=1,1$  és  $M/F_{Du}=69,6\text{ W/m}^2$ )



**3.8. ábra:** A  $t_{op}=20\text{ °C}$  és  $t_{op}=24\text{ °C}$  operatív hőmérsékletek közötti tartomány, és a PMV tartomány ábrázolása a B épületminőségi kategória téli esetére ( $v=0,05\text{ m/s}$ ,  $p_{vg}=5,1\text{ Hgmm}$ ,  $I_{cl}=1,0\text{ clo}$ ,  $f_{cl}=1,15$  és  $M/F_{Du}=69,6\text{ W/m}^2$ )

Az operatív hőmérséklet-tartományok és a PMV-tartományok összehasonlítására készített diagramokat részletesen az F.3.2. pontj tartalmazza.

A 3.9. ábrán a  $t_{op}=20\text{ °C}$  és  $t_{op}=24\text{ °C}$  operatív hőmérséklet-vonalakat hasonlítom össze a két végpont között felrajzolt egyenesekkel a  $t_{lev}-t_{ks}$  síkon (téli eset).



**3.9. ábra:** A  $t_{op}=20\text{ °C}$  és  $t_{op}=24\text{ °C}$  görbék összehasonlítása az egyenesekkel a  $t_{lev}-t_{ks}$  síkon (téli eset)

A 3.7., 3.8. és 3.9. ábrák alapján a következő megállapítások tehetők:

1. Az I. csoport B épületminőségi kategória esetére felrajzolt  $PMV=+0,5$  és  $PMV=-0,5$  közötti tartomány és ugyanerre a kategóriára megadott  $t_{op}=20\text{ °C}$  és  $t_{op}=24\text{ °C}$  közötti tartomány nem azonos területet fed le, a két feltétel a helyiséglevegő hőmérsékletére és a közepes sugárzási hőmérsékletre nem azonos.
2. A tartományok oldalsó lezárása nincs megoldva a PMV és  $t_{op}$  tartományok megadásával.
3. Az operatív hőmérsékletek paramétervonala a  $T^4$ -es összefüggés ellenére kis léghőmérséklet intervallumban egyenesnek vehető.

### 3.2.4. A komforttartomány oldalsó lezárása

A komforttartomány oldalsó lezárását a program harmadik része végzi. A számításokban felhasználja az első részben lévő, iterációkat tartalmazó eljárás eredményeit, a PMV=állandó görbéket, vagyis a második programrész szorosan ráépül az első blokkra.

A komforttartomány oldalsó lezárására azzal a hipotézissal jutottam, hogy a száraz hőleadáson belüli konvektív és sugárzásos hőleadás aránya jelentősen befolyásolja a komfortérzetet. Általában az összhőleadáson belül a sugárzásos hőleadás 42-44 %, a konvektív hőleadás pedig 32-35 %. Az irodalomban található diagramok alapján, amelyek a

léghőmérséklet függvényében ábrázolják az emberi test sugárzásos és konvektív, valamint párolgással történő hőleadását, megállapítható, hogy a komfortérzés akkor alakul ki, ha a teljes száraz hőleadáson belül a konvekciós hőleadás aránya levegő hőmérsékletétől függően 40 % körül van [Bánhidi, Kajtár, 2000]. Ezek a diagrammok a légsebesség változásának hatását nem tartalmazzák. Feltételezem, hogy a komfortérzet a növekvő légsebesség mellett, a sugárzásosnál nagyobb részarányú konvektív hőleadás esetén is kialakul, valamint ez az arány eléri a 60 %-ot.

Bevezetve a száraz hőleadáson belüli konvektív arány nagyságát jellemző

$$m = \frac{Q_{konv}}{Q_{konv} + Q_{sug}} \quad (3.7)$$

paramétert, a komfortos tartományok határait az  $m=0,4$  és  $m=0,6$  görbék jelölik ki, amelyek megfelelnek a B és C kategória szélső helyzeteinek.

Az A kategóriára a szigorúbb  $m=0,45$  és  $m=0,55$  értéket vettem fel.

A számításokhoz felhasznált összefüggések:

$$Q_{sug} = C_{1,2} \cdot A_e \cdot \left[ \left( \frac{t_{cl} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{t_{k,f} + 273}{100} \right)^4 \right]; \quad (3.8)$$

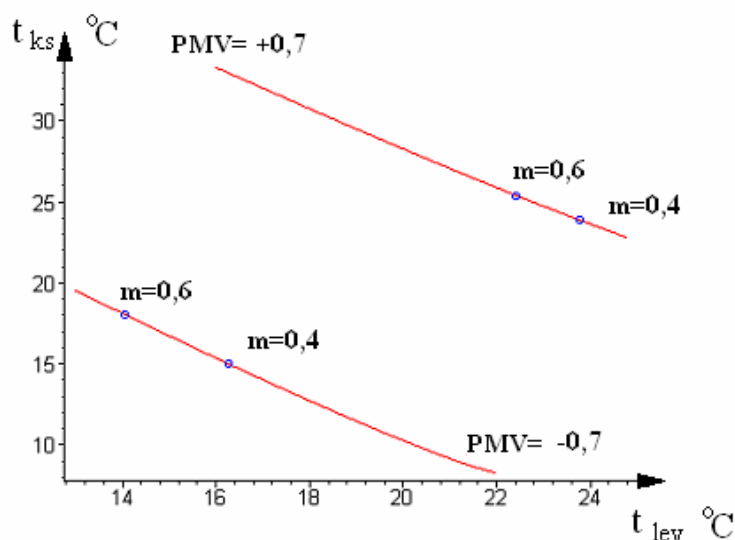
A (3.3) egyenletben lévő  $A_f$  felvételével és az ülő ember környező felületek felé sugárzó felületének nagyságát  $A_e = 1,235 \text{ m}^2$  értékkel behelyettesítve  $C_{1,2}$  számolható.

A konvektív hőátadásra pedig a

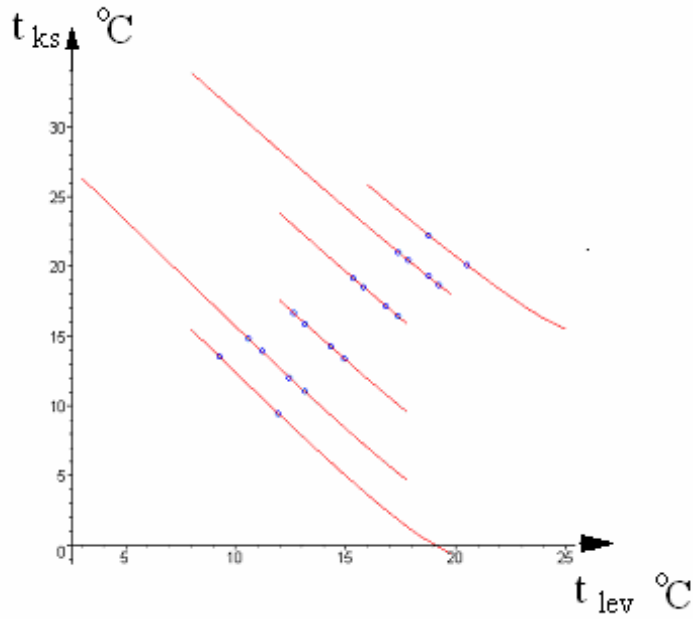
$$Q_{konv} = \alpha_{konv} \cdot f_{cl} \cdot A_{konv} (t_{cl} - t_{lev}), \quad (3.9)$$

ahol:  $A_{konv} = 1,366 \text{ m}^2$ .

A program kiszámolja az „m” értékeket az összetartozó  $t_{lev}$  és  $t_{ks}$  értékekre a PMV állandó vonalakon, megkeresi azokat a pontokat, ahol az m paraméter adott értékei teljesülnek. A grafikus megjelenítés (a C kategóriának megfelelő két PMV paramétervonalon az  $m=0,6$  és  $m=0,4$  aránynak megfelelő pontok) a 3.10. ábrán láthatók.

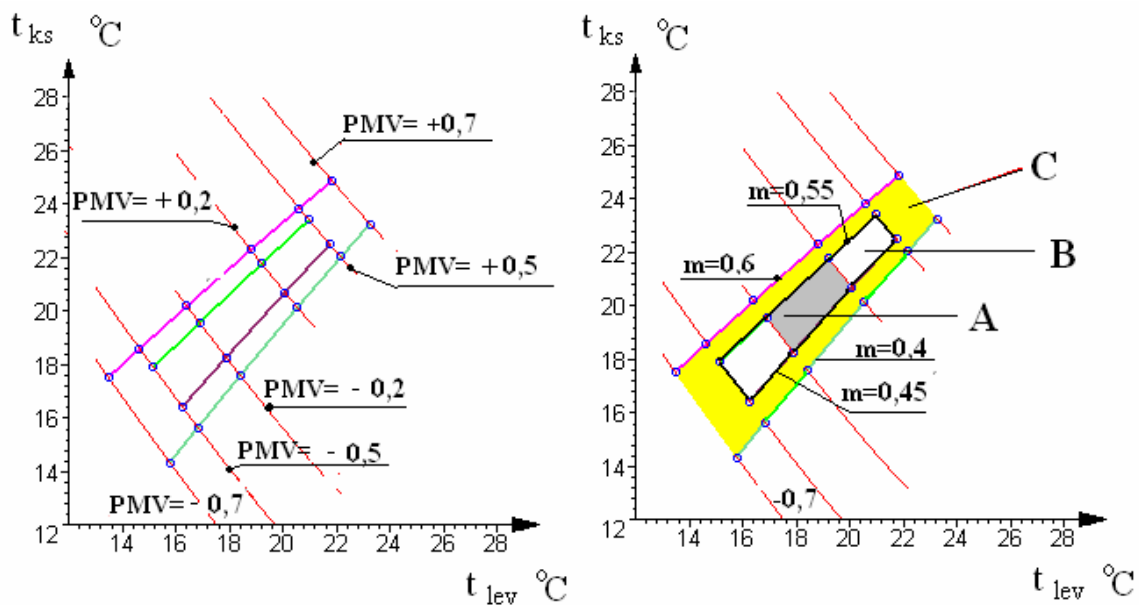


3.10. ábra : Az m= állandó értékek kijelölése a PMV=állandó görbéken



**3.11. ábra:** Az  $m=0.4$ ;  $0.45$ ;  $0.55$  és  $0.6$  arányok bejelölése a  $PMV=\pm 0.2$ ;  $\pm 0.5$ ; és  $\pm 0.7$  paramérvonalakon

Az eredményeket diagramban ábrázolva és az  $m$ =konstans vonalak megrajzolásával megkapjuk az A B és C épületminőségi kategóriának megfelelő tartományokat a  $t_{lev}$  és  $t_{ks}$  síkon, az eljárások során felvett állandó paraméterekre vonatkozóan (3.11. és 3.12. ábra).



**3.12. ábra:** Az  $m$ =állandó és a  $PMV=\pm 0.2$ ;  $\pm 0.5$ ; és  $\pm 0.7$  görbék megrajzolása, az A, B és C tartomány bejelölésével

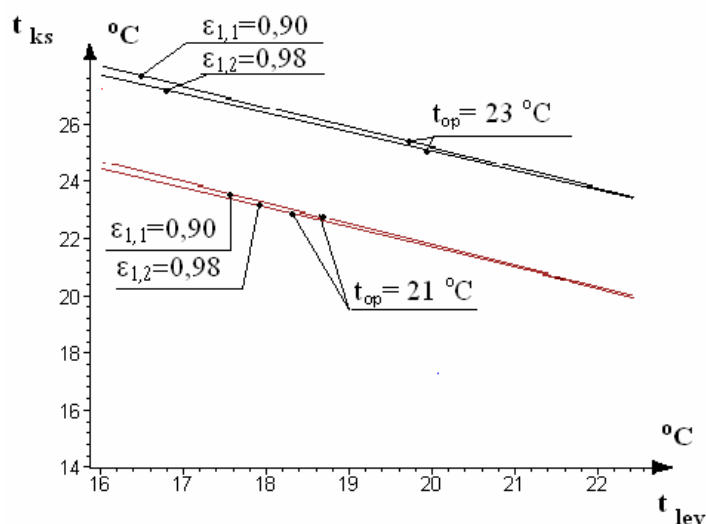
A program egyszeri lefutásánál csak egy adott A, B vagy C tartományt tudunk eredményül kapni, mivel az egyes kategóriákra vonatkozó  $v_{\max}$  és  $p_{\max}$  valamint  $p_{\min}$  értékek nem azonosak. Az elkészített programot minden kategóriára, a változók összes lehetséges értéke mellett le kell futtatni.

A PMV- egyenletében (2.37) lévő személytől függő változókat ( $I_{cl}$ ,  $f_{cl}$ ,  $M/F_{Du}$ ) a szabvány [MSZ CR 1752:2000] rögzíti az adott épülettípusnak megfelelően, adott évszakra.

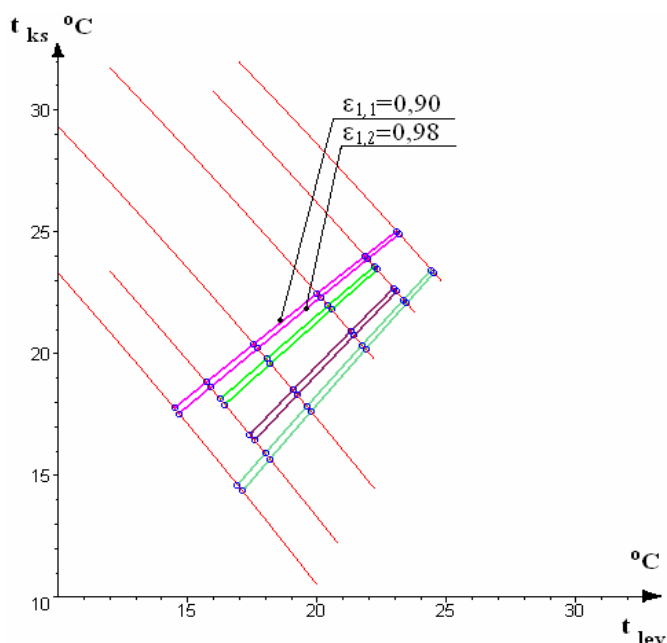
Az elkészített Maple-program többszörös iterációs blokkjai, a megfelelő iterációs határok átírásával bármilyen változó paraméterrel, bármilyen esetre lefutathatók. A program futtatásához azonban annak alapos ismerete szükséges, tehát nem adható át egyszerűen felhasználói alkalmazásra. Nehezíti a program kezelését az a tény, hogy az operatív hőmérséklet és a PMV=állandó görbéknek szakadásuk van. A kiinduló paraméterektől (lég hőmérséklet, ruházat felületi hőmérséklet, tartományok megadásától) függően az iteráció komplex számot ad.

### 3.2.5. A paraméterek változásának hatása az operatív hőmérséklet tartományára és a komforttartományra

A programba állandóként bevitt érték a helyiség határolófelülete, amelyet  $A_f = 45,6 \text{ m}^2$ . Megnövelve ezt az értéket  $A_f = 200 \text{ m}^2$ -re, az operatív hőmérséklet vonalain semmilyen eltérés nem tapasztalható, a komforttartomány szerkesztésénél ez a felület nagyság nem játszik szerepet. A határoló falak emissziós tényezőinek változásánál hasonló az eredmény, az emberi test, (illetve a ruházat) emissziós tényezője változásának hatását a 3.13./a. és 3.13./b. ábrák mutatják, amely alapján megállapítható, hogy az emissziós tényezők hatása az eredményekre nem jelentős.



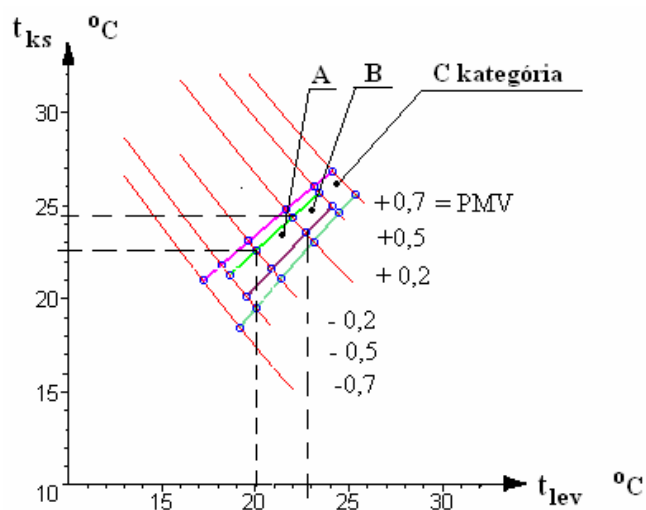
**3.13./a. ábra:** Az emissziós tényezők változásának hatása az operatív hőmérséklet tartományra téli esetre,  $v_{lev} = 0.15 \text{ m/s}$ ,  $p_{vg} = 12.4 \text{ Hgmm}$   $f_{cl} = 1.15$ ,  $I_{cl} = 1.0$  esetén



**3.13./b. ábra:** Az emissziós tényezők változásának hatása a komforttartományra téli esetre,  $v_{lev}=0.15$  m/s,  $p_{vg}=12.4$  Hgmm,  $f_{cl}=1.15$ ,  $I_{cl}=1$  esetén ( $\epsilon_{1,1}$ - az emberi test felületének emissziós tényezője)

### 3.3. A téli esetre vonatkozó komforttartomány fűtött helyiség esetén

A lakó-, és iroda helyiségekben téli esetben túlnyomóan kizárólag fűtőberendezések üzemelnek, a relatív nedvességtartalom szabályozása ritkán fordul elő. A külső levegő kis abszolút nedvességtartalma miatt a helyiségekben, ha nincs nagyobb mértékű nedvesség-felszabadulás, hasonlóan alacsony értékek alakulnak ki. Ebben az esetben a felvett nedvességtartalom  $x=5,8$  g/kg, amely esetén  $p_{vg}=5,8$  Hgmm. Teljes nyugalmi állapotra (aktivitási szint  $1 \text{ met}=58 \text{ W/m}^2$ ), és  $v=0,05$  m/s,  $I_{cl}=1,0$  clo, valamint  $f_{cl}=1,1$  jellemző adatok esetén a komforttartomány a 3.14. ábra szerinti.



**3.14. ábra:** Fűtött lakó-, vagy irodahelyiségekre vonatkozó tartományok kis nedvességtartalom esetén ( $p_{vg}=5.8$  Hgmm)

Az ábra szerinti legjobb minőségű A kategória levegőhőmérséklet intervalluma:  $20 \div 23$  °C, a hozzá tartozó falhőmérsékletek közepes értéke pedig  $22,6 \div 24,4$  °C, amely megfelel a tapasztalati értékeknek.

### 3.4. A változók hatásának figyelembevétele

A megszerkesztett komforttartomány (3.12. ábra) már minden oldalról le van zárva, de így az csak az adott  $p_{vg}$ ,  $v_{lev}$ , esetén érvényes. A levegősebesség és parciális vízgőznyomás változását a diagram úgy tudja követni, ha a változók lehetséges értékeinek megfelelő tartományokat és az egyesített tartományok területét is ábrázoljuk. A megoldást a  $v_{min}$  és  $v_{max}$ , valamint a  $p_{vg, min}$  és  $p_{vg, max}$  variációinak megfelelő diagramok összeszerkesztése adja.

Az épület típusának megfelelő megengedett operatív hőmérsékleteket ( $t_{op}$ ), illetve tartományait a szabvány [MSZ CR 1752:2000] külön megadja, ezzel a maximális légsebességeket is. A szabványban jelölt épülettípusok helyiségei a  $t_{op}$ , és  $v_{lev, max}$  értékei szerint a 3.1. és 3.3. táblázat szerinti három csoportba sorolhatók. A légsebesség minimális értékét minden esetben 0,05 m/sec értékűnek írja elő, a kis sebességű természetes légáramra és a munkavégzés közbeni csekély mozgásra való tekintettel.

A szabvány a helyiséglevegő relatív nedvességtartalmát állandó,  $\varphi=50\%$  értékben rögzíti. Mivel a  $t_{lev}-t_{ks}$  síkon a PMV-tartományok helyzetére a parciális vízgőznyomás értéke jelentős hatással van (3.2.2. pont 3.6/b. ábra), és a helyiségen belül ritkán tartható folyamatosan az előírás szerinti relatív nedvességtartalom, szükséges más források alapján meghatározott komfortos  $p_{vg, min}$  és  $p_{vg, max}$  felhasználása az új komforttartomány szerkesztésénél.

**3.1 táblázat:** A megengedett operatív hőmérsékletek a helyiségek funkciói szerint az [MSZ CR 1752:2000] nyomán

	ruházat $I_{cl}$ (clo)		Aktivitás $M/F_{Du}$ (met)	kategória	operatív hőmérséklet $t_{op}$ (°C)	
	hűtési szezón (nyár)	fűtési szezón (tél)			hűtési szezón (nyár)	fűtési szezón (tél)
Az épület típusa:						
Iroda, előadó-, és konferenciaterem, étterem, iskola*	0.5	1.0	1.2	A B C	24.5±1.0 24.5±1.5 24.5±2.5	22.0±1.0 22.0±2.0 22.0±3.0
Óvoda	0.5	1.0	1.4	A B C	23.5±1.0 23.5±1.5 23.5±2.5	20.0±1.0 20.0±2.0 20.0±3.0
Raktárak	0.5	1.0	1.6	A B C	23.0±1.0 23.0±2.0 23.0±2.5	19.0±1.0 19.0±2.0 19.0±3.0

\* top tartomány: hűtési szezonban az A kategória:  $24.5 \pm 0.5$

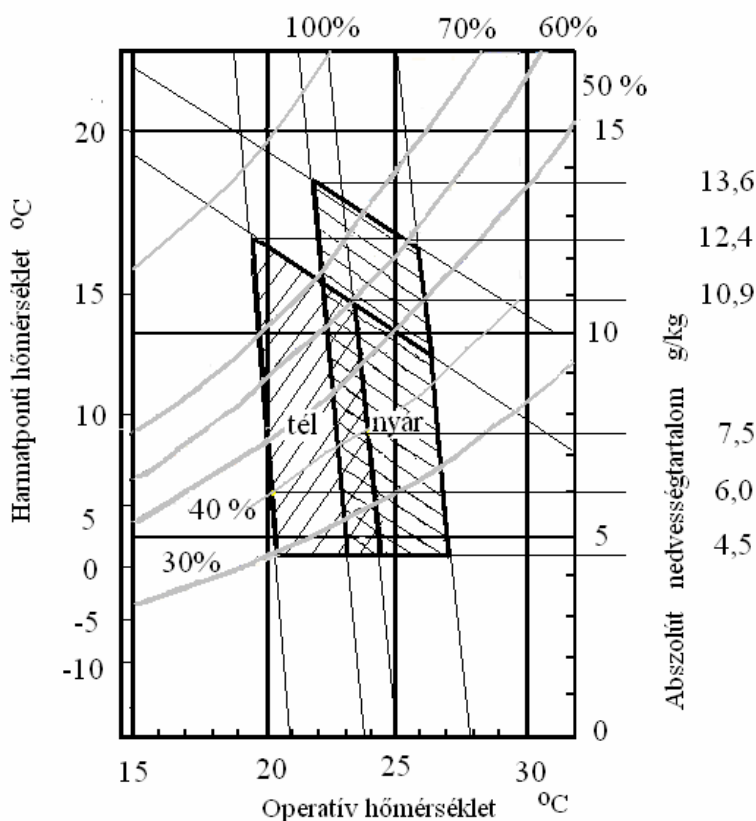
Az MSZ CR 1752:2000 szabványhoz hasonló követelményeket fogalmaz meg a prEN 15251:2005 szabványtervezet [prEN 15251:2005], amelyben az A B és C épületminőségi kategóriák operatív hőmérsékleteire nagyobb toleranciaértékek vannak megengedve.



### 3.4.1. A relatív nedvességtartalom változásának hatása a komforttartományra

A  $\varphi$  változásának a komforttartomány eltolódására gyakorolt hatásáról a szabvány nem ad információt. Az eredeti kutatások, kísérletek, amelyekből a követelmények megszülettek,  $\varphi = 50\%$  értékre vonatkoztak. A parciális vízgőznyomás változását követő komforttartomány megszerkesztéséhez más európai szabványok adnak útmutatást. A  $\varphi$  változásának hatását az 1994-ben kihirdetett ASHRAE STANDARD 55 ajánlásai jól követik, amelyet a 3.15. ábra szemléltet. A hőérzeti szempontból megfelelő abszolút nedvességtartalom egyértelműen meghatározza a vízgőz parciális nyomását, amely a PMV=állandó egyenesek felrajzolásához szükséges.

Az „A” kategóriának megfelelően feltételezett  $\varphi=40-60\%$  relatív nedvességtartalom az ábrán megadja az  $x$  abszolút nedvességtartalmat, annak minimális és maximális értékét, amely értékekből a  $h-x$  diagram segítségével  $p_{vg, \min}$  és  $p_{vg, \max}$  meghatározható. Feltételezve, hogy a „B” és „C” kategóriára vonatkozó minimális és maximális nedvességtartalom egymással azonos, a 3.15. ábráról az előbbihez hasonló módon erre a két kategóriára is megállapítható a  $p_{vg, \min}$  és  $p_{vg, \max}$  értéke. Az eredményeket a 3.2. táblázat tartalmazza.



**3.15. ábra:** A komfortos tartományok az abszolút nedvességtartalom és az operatív hőmérséklet függvényében [ASHRAE 1994] nyomán

**3.2. táblázat:** A komforttartomány szerkesztésénél az abszolút nedvességtartalom és parciális vízgőznyomás figyelembevett minimális és maximális értékei

kategória	nyár				tél			
	min		max		min		max	
	x	p <sub>vg</sub>	x	p <sub>vg</sub>	x	p <sub>vg</sub>	x	p <sub>vg</sub>
	g/kg	Hgmm	g/kg	Hgmm	g/kg	Hgmm	g/kg	Hgmm
A	7,5	8,7	12,4	14,2	6,0	7,0	10,9	12,4
B és C	4,5	5,1	13,6	15,6	4,5	5,1	12,4	14,2

**3.3. táblázat:** A három helyiségcsoport légsebesség és parciális vízgőznyomás értékei a különböző kategóriákra vonatkozóan

Az épület típusa:	Cs o p o r t	Kate- gória	Hűtési szezon (nyár)				Fűtési szezon (tél)			
			p <sub>vg</sub> (Hgmm)		v (m/s)		p <sub>vg</sub> (Hgmm)		v (m/s)	
			min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
Lakások*, irodák, előadó-, és konferenciatermek, éttermek, kávézók, iskolák**		A	8,7	14,2	0,05	0,18	7,0	12,4	0,05	0,15
	I.	B	5,1	15,6	0,05	0,22	5,1	14,2	0,05	0,18
		C	5,1	15,6	0,05	0,25	5,1	14,2	0,05	0,21
Óvodák		A	8,7	14,2	0,05	0,16	7,0	12,4	0,05	0,13
	II.	B	5,1	15,6	0,05	0,20	5,1	14,2	0,05	0,16
		C	5,1	15,6	0,05	0,24	5,1	14,2	0,05	0,19
Raktárak		A	8,7	14,2	0,05	0,16	7,0	12,4	0,05	0,13
	III.	B	5,1	15,6	0,05	0,20	5,1	14,2	0,05	0,15
		C	5,1	15,6	0,05	0,23	5,1	14,2	0,05	0,18

A változó paraméterekkel, azaz a 3.1. táblázat  $I_{cl}$ ,  $M/A_{Du}$  értékeivel, valamint a 3.3. táblázat  $p_{vg, min}$  és  $p_{vg, max}$ , valamint a  $v_{lev, min}$  és  $v_{lev, max}$  értékeivel lefuttatva, a Maple alapprogramot négy ábrát kapunk, amelyek egymásra szerkesztve megadják a lehetséges komforttartományokat (fűtési esetre:  $I_{cl}=1,0$  clo;  $f_{cl}=1,15$ ).

A változó paraméterek közül a parciális vízgőznyomás-, és a levegősebesség-változás a legfontosabb, mivel ezek értékei a légtechnikai rendszertől függenek. A többi paraméter ( $f_{cl}$ ,  $I_{cl}$ ,  $M/A_{Du}$ ) a futtatás során állandó. A szerkesztés menetét az 1. csoport (iroda, előadóterem, étterem, stb.), „A” épületminőségi kategóriájára vonatkozóan a F.3.3. pont (F.3.10. ábra) mutatja be.

A téli és nyári esetre a három csoportra meghatározott A, B és C épületminőségi kategóriák tartományai a  $p_{vg}$  és  $v_{lev}$  paraméterek változásait figyelembe véve összesen 6 komforttartományt tartalmazó diagramot eredményeznek, amelyhez az iterációs alapprogramot 72 alkalommal kellett az iterációs határok megkeresésével eredményesen lefuttatni.

\* Az MSZ CR 1752:2000 szabvány elsősorban munkahelyi hőkörnyezetre vonatkozik, de a követelmények lakóépületekre is kiterjeszthetők. A lakóépületeket az I. csoportba soroljuk, mivel ez tartalmazza a legszigorúbb követelményeket.

\*\*  $t_{op}$  tartomány, hűtési szezon, A kategória:  $24,5 \pm 0,5$  °C

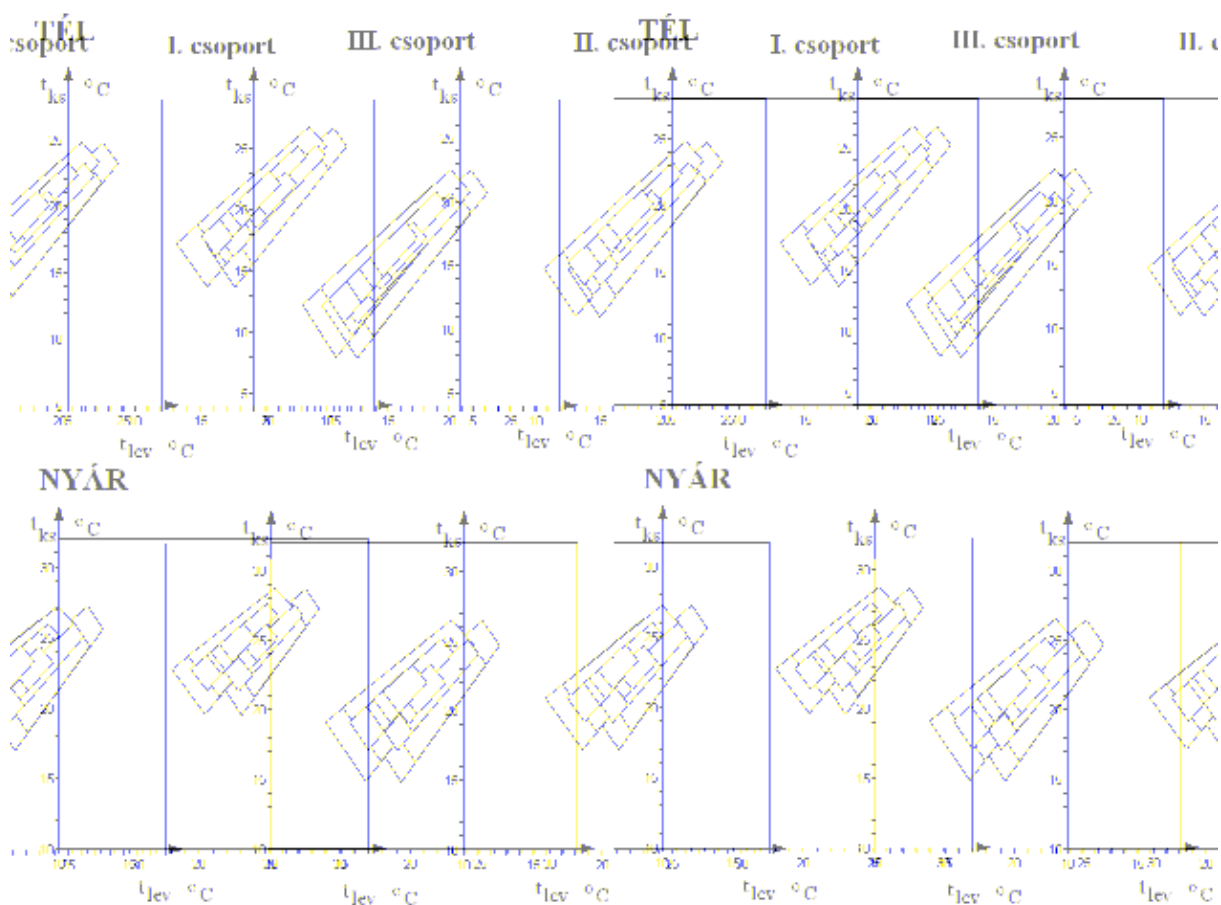
### 3.5. Eredmények

A téli és nyári esetre (a Maple 9.5-ben) összeszerkesztett diagramokat mindhárom kategóriára és tevékenységi szintre a függelék F.3.4. pontja tartalmazza. A szerkesztéssel kapott komforttartományokat a 3.16. ábra mutatja, a 3.1. táblázat alapján meghatározott csoportokra.

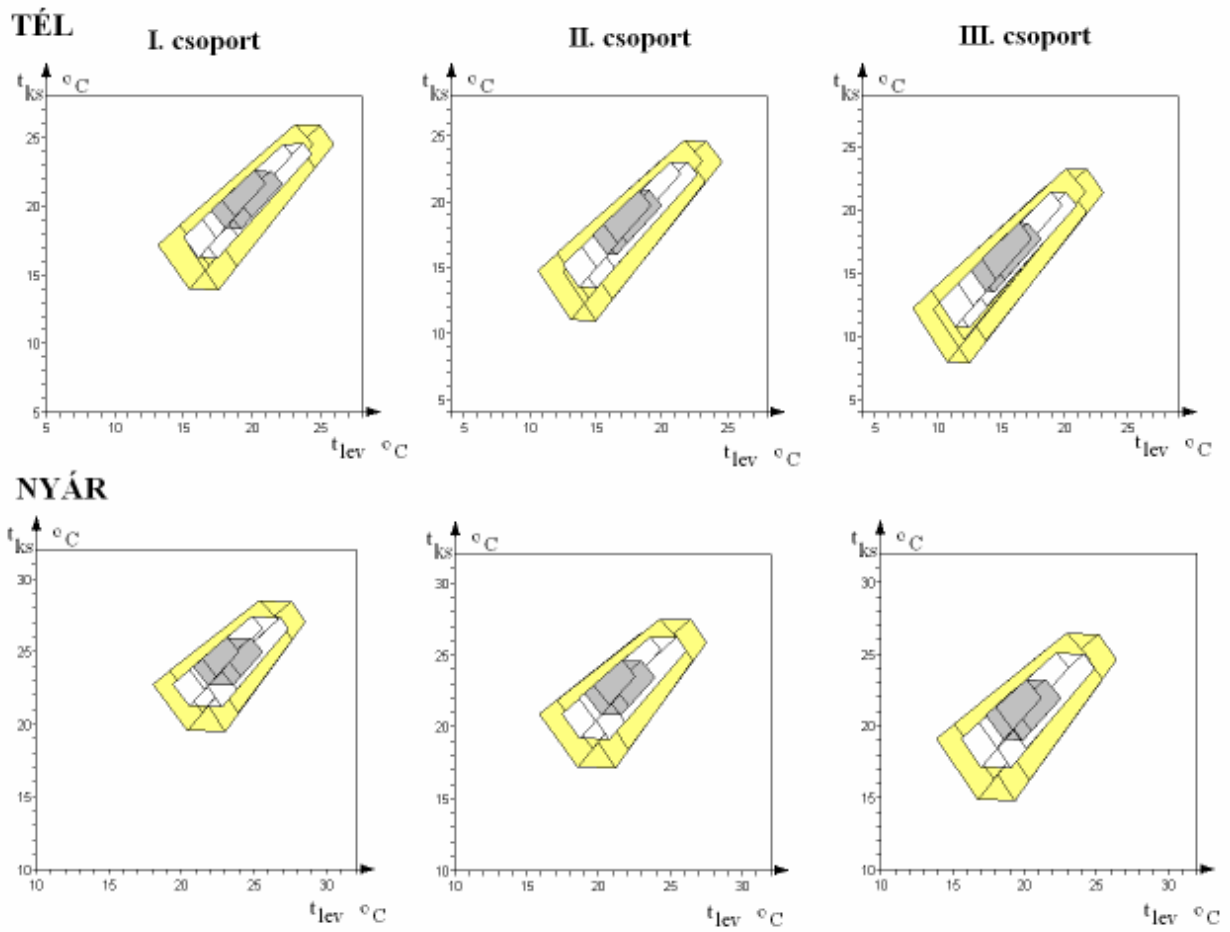
A három csoport:	tevékenységi szint
I. csoport: Irodák, előadó- és konferenciatermek, éttermek, kávézók, iskolák	1,2 met
II. csoport: Óvodák	1,4 met
III. csoport: Raktárak	1,6 met

A programfuttatás révén kapott, összeszerkesztett diagramokat részletesen az F.3.4. pont tartalmazza, a kategóriák összehasonlítása céljából az eredményeket egy ábrában összefoglalva téli és nyári állapotra a 3.16. és 3.17. ábrán tüntettem fel.

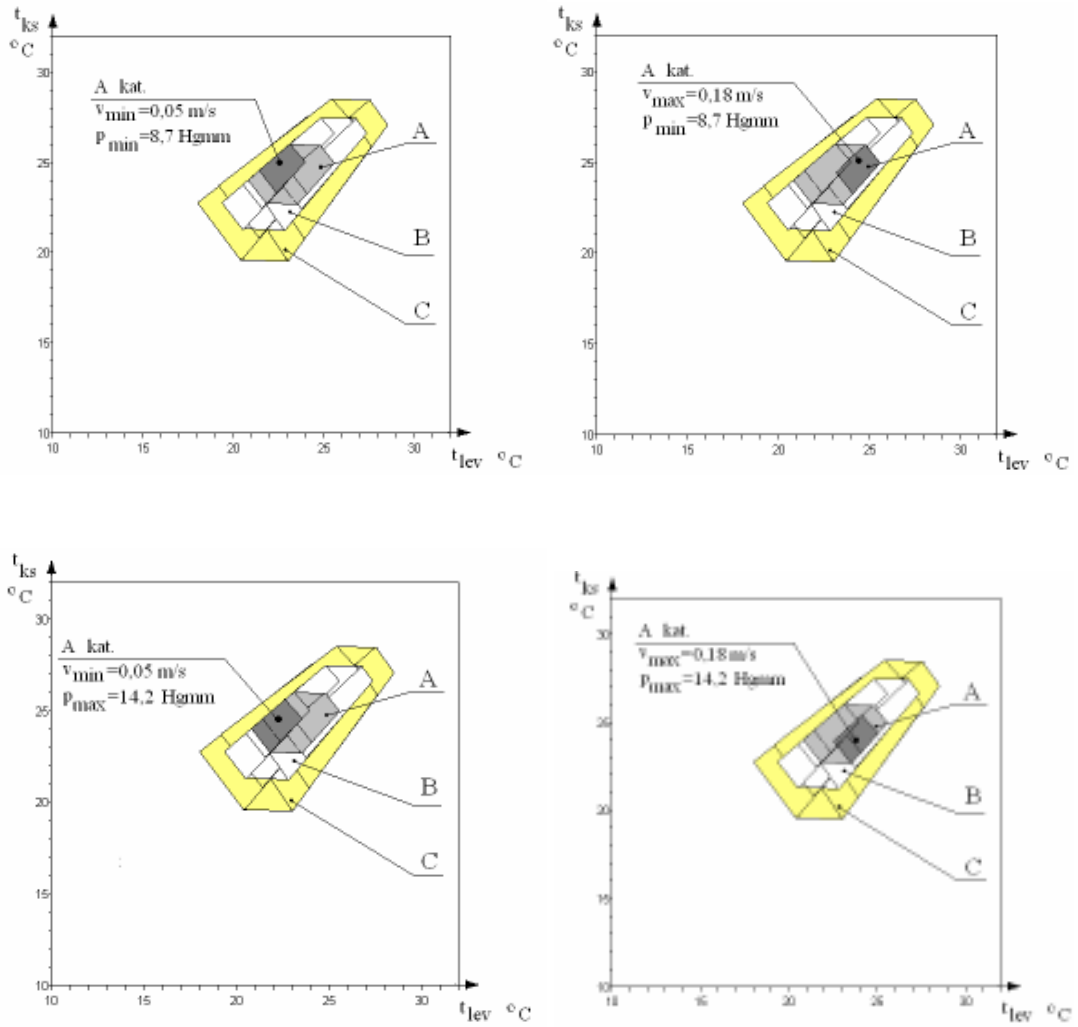
Az A kategóriának a belső, a C kategóriának a külső, összesen 4-4 tartomány felel meg, a légsebesség és a parciális vízgőznyomás változó értékeinek megfelelően. Az A, B és C kategóriákra vonatkozó tartományokat egyesítve és színkitöltéssel ellátva a 3.17 ábra mutatja. A 3.17. ábra a komforttartományok végleges alakját mutatja a különböző csoportokra, amelyek tevékenységi szintje változik. A komforttartományokon, az egyes kategóriákon belüli vonalak jelentését a 3.18 ábra négy diagramja magyarázza.



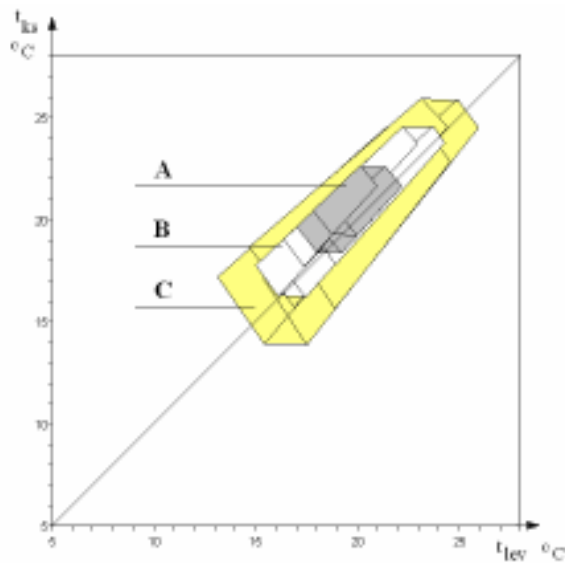
**3.16. ábra:** A komforttartományok A, B és C kategóriájának megszerkesztéséhez felhasznált mezők csoportonként, téli és nyári esetre vonatkozóan



**3.17. ábra:** A PMV=állandó és az  $m$ =állandó paramétervonalak megszerkesztésével, a változó  $v$  és  $p_{vg}$  hatásának figyelembevételével eredményül kapott A, B és C épületminőségi kategóriáknak megfelelő komforttartományok három csoportja, téli és nyári esetre vonatkozóan



**3.18. ábra :** Az I. csoport épületminőségi kategóriái nyári esetre a  $t_{lev}$ -  $t_{ks}$  síkon a sebesség és parciális vízgőznyomás értékeinek megfelelő tartományok bejelölésével



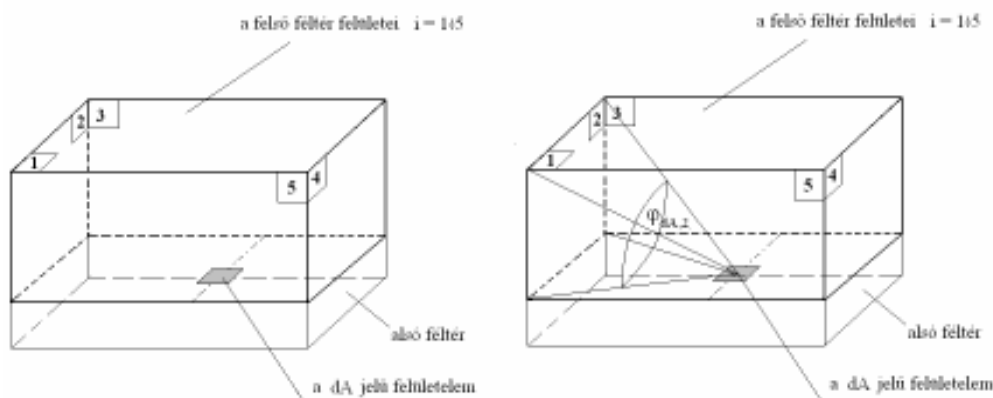
**3.19. ábra:** A  $t_{ks} = t_{lev}$  egyenes berajzolása a téli komforttartományok diagramjába (I. csoport)

A komforttartományok vizsgálata során az alábbiak állapíthatók meg:

1. A csoportok közötti alapvető különbség az aktivitási szint, amely növekedésével a tartományok az origó felé tolódnak el.
2. A kategóriáknak megfelelő tartományok a levegő sebességének növekedésével növekvő  $t_{lev}$  irányában mozdulnak el.
3. A relatív légnedvesség, vagyis a vízgőz parciális nyomásának növekedésével a tartományok az origó irányában csúsznak el, vagyis kisebb léghőmérséklet ( $t_{lev}$ ) és kisebb közepes sugárzási hőmérséklettel ( $t_{ks}$ ) érhető el ugyanaz a komfortérzet.
4. A nyári esetre megszerkesztett tartományok hőmérséklethatárai megfelelőnek mutatkoznak a gyakorlati tapasztalatokhoz képest, annak ellenére, hogy a Fangertől származó PMV-egyenlet megalkotása idején az épületgépészet többnyire a fűtés területére korlátozódott, a hűtésnek kisebb szerepe volt.
5. A téli esetre kidolgozott tartományok - figyelembe véve a parciális vízgőznyomásnak a hétköznapi tapasztalatainknál nagyobb értékeit is - alacsony levegő és közepes sugárzási hőmérséklet értékpárokat tartalmaznak (3.14. ábra), a PMV= -0,7 és PMV= -0,5 paramétervonalak helyzete miatt. A PMV-egyenletek matematikailag helyes feldolgozása ellenére bizonytalan, hogy a gyakorlatban az alacsony hőmérsékleti értékpárok az elvárt komfortérzetet biztosítják-e.
6. A  $t_{ks} = t_{lev}$  egyenes a berajzolásával egyértelművé válik (3.19. ábra és F.3.17. ábra), hogy a komforttartomány a magasabb falhőmérsékletek irányába tolódik el, vagyis a komfort szempontjából kívánatosabb a helyiség-hőmérsékletet kis mértékben ( $1 \div 4$  °C) meghaladó sugárzási hőmérséklet biztosítása.

### 3.6. A közepes felületi és közepes sugárzási hőmérséklet

Az irodalomban előforduló komforttartományoknál alkalmazott közepes sugárzási hőmérséklet elnevezés valójában a környező felületek közepes hőmérsékletét jelenti. A „sugárzási” hőmérséklet megnevezés az emberi test hőleadásának módjára utal. A közepes felületi hőmérséklet viszont a helyiségre nézve állandó érték, nem függ a besugárzási tényezőtől.



**3.20. ábra:** A közepes felületi hőmérséklet  $t_{k,f}$  és a közepes sugárzási hőmérséklet  $t_{ks}$  közti különbség: utóbbi a  $\varphi_{dA,i}$  besugárzási tényező figyelembevételével helyfüggővé válik

A Fanger-féle PMV-egyenletben (2.37) is a közepes sugárzási hőmérséklet, mint állandó, közepes felületi hőmérsékletként kerül a számításokba. De amint a sugárzásos hőleadás számításában a besugárzási tényező felhasználásra kerül, a közepes sugárzási hőmérséklet a helyiségen belül helyfüggővé válik (3.20. ábra).

A komforttartomány értelmezésénél célszerű határozottan megkülönböztetni a közepes felületi hőmérsékletet, és a közepes sugárzási hőmérsékletet ahhoz, hogy a helyiségen belüli PMV –követelményeket, és azok eloszlását pontosan tudjuk számolni (4.1. pont).

A helyiséget határoló falak közepes felületi hőmérséklete, amely az adott helyiségben helytől független állandó érték:

$$t_{kf} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (3.10)$$

A határoló felületek közepes sugárzási hőmérséklete általános esetben pedig a két féltér (a (2.2) egyenlet szerinti egymást teljes térré kiegészítő) sugárzási hőmérsékletének átlagaként is felírható.

A nemzetközi irodalomban gyakran alkalmazzák féltér sugárzási hőmérsékletének számítására a (3.11) egyenletet is [Richter 2003], amellyel a határoló felületek közepes sugárzási hőmérséklete a (3.12) egyenlet alapján számolható. Az így kapott közepes sugárzási hőmérséklet csak közelítő érték.

$$t_{ks} = \sum_{i=1}^n \varphi_{dA,i} \cdot t_i \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (3.11)$$

$$t_{ks} \cong \frac{t_{sug,1} + t_{sug,2}}{2} = \frac{\sum_{k=1}^m \varphi_{dA,k} \cdot t_k + \sum_{j=1}^l \varphi_{dA,j} \cdot t_j}{2} \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (3.12)$$

ahol :

$n = m + 1$  , és

$m$  - a felületelem feletti felső térfél felületeinek száma,

$l$  - a felületelem alatti alsó térfél felületeinek száma.

A (3.12.) egyenletben a felső féltér sugárzási hőmérséklete ( $t_{sug,1}$ ), a felső féltér határoló felületeire vonatkozóan:

$$t_{sug,1} = \sum_{k=1}^m \varphi_{dA,k} \cdot t_k \text{ ;} \quad (3.13)$$

ahol  $k = 1 \div m$ , azaz csak a felső féltér felületeire vonatkozik.

Az alsó féltér sugárzási hőmérséklete ( $t_{sug,2}$ ), az alsó féltér határoló felületeire vonatkozóan:

$$t_{sug,2} = \sum_{j=1}^l \varphi_{dA,j} \cdot t_j \text{ .} \quad (3.14)$$

A (2.2) és (3.11) egyenlet szerinti sugárzási hőmérsékletekkel részletesebben a 4. fejezet 4.1. és 4.2. pontja foglalkozik.

Ezek a sugárzási hőmérsékletek a ( $\varphi_{dA,j}$  és  $\varphi_{dA,k}$ ) besugárzási tényezők miatt a helyiségben helytől függően változnak. Ezáltal a közepes sugárzási hőmérséklet  $t_{ks}$  értéke a vizsgáloelem, a 3.20. ábra szerinti dA jelű felületelem P(x, y, z) koordinátáitól függően változik.

### 3.7. Példa a komforttartomány gyakorlatban történő alkalmazására

A komforttartomány gyakorlatban történő alkalmazásának bemutatására egy konkrét épületen méréseket végeztem, amelynek részleteit és eredményét az alábbiakban adom meg.

A mérésnél rögzített adatok:

A mérés ideje: 2005. augusztus 13. 7<sup>00</sup>.

Esős nap utáni napos időjárás, a külső léghőmérséklet  $t_k=16,5$  °C.

A belső légállapot:  $t_{lev}=23,1$  °C,  $\varphi = 58\%$ .

A helyiség adatai: természetes szellőzéssel rendelkező irodahelyiség, alaprajzi méretei 3,8 x 5,4 m, belmagassága: 2,7 m. A falak, az ablak előtti függöny, a padló és a mennyezet felületi hőmérsékleteinek eltérése  $\Delta t < 2$  °C, amely miatt  $t_{ks}=t_{kf}=21,7$  °C. Gyakorlati tapasztalatok alapján, ha a helyiség határoló felületeinek hőmérsékletkülönbsége kisebb, mint 3 °C, az aszimmetria, káros hatása nem észlelhető, azaz diszkomforttényezőként való vizsgálata nem szükséges.

A többi diszkomforttényezőre vonatkozó megállapítások:

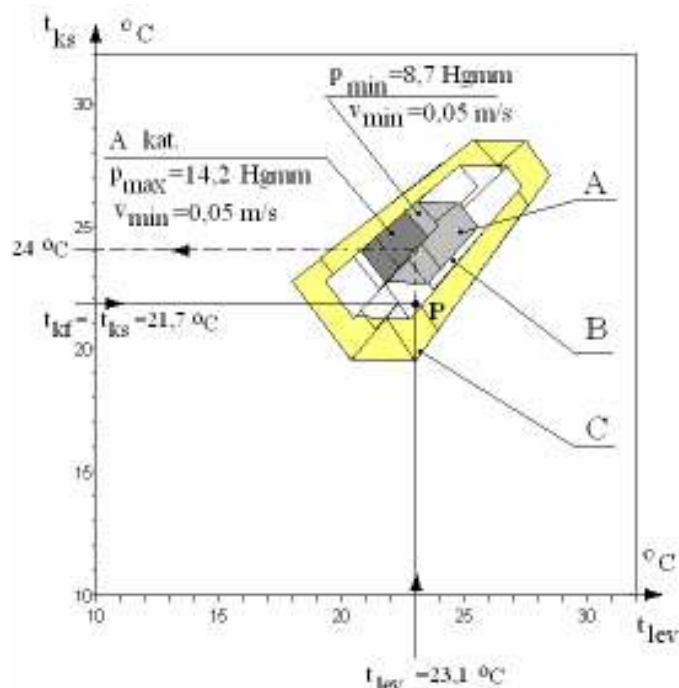
vertikális hőmérsékletkülönbség a teljes belmagasságban:  $\Delta t_{vert} < 1,5$  °C,

a padló felületi hőmérséklete:  $t_{padló}=21,5$  °C

(az A kategória hőmérséklethatárai:  $t_{padló} = 19- 29$  °C) ,

huzathatás:  $v_{lev} \cong 0,05$  m/s.

A diszkomforttényezők tekintetében [MSZ CR 1752:2000] szabvány szerint az adott esetben PPD<10 %, tehát megfelel, az A kategóriának.



**3.21. ábra:** A természetes szellőzéssel rendelkező iroda komfortfokozatának megállapítása mérési adatok alapján nyári állapotra



Az általános hőkomfortra vonatkozó PMV-érték, illetve kategória megállapításához az I. csoportra, nyári állapotra vonatkozó (3.21. ábra) komforttartomány diagramon a  $t_{ks}$  és  $t_{lev}$  értékeknek megfelelő P pont a B kategória területére esik. Ez az abszolút nedvességtartalom értékét tekintve ( $p_{vg}=12,6$  Hgmm) mindhárom kategóriának megfelel. Az A kategóriára ugyanis  $8,7 \text{ Hgmm} < p_{vg} < 12,4 \text{ Hgmm}$  értékek vonatkoznak, és a B és C kategória  $p_{vg}$  tartományai ennél szélesebbek. A B kategóriát alkotó négy négyszöget tekintve viszont a pont a  $v_{max}$ -nak és a  $p_{max}$ -nak megfelelő négyszög területen van, amely esetben a sebesség  $v=0,22$  m/s, amely nem egyezik a mért  $v=0,05$  m/s értékkel.

Ahhoz, hogy bármelyik kategóriának megfeleljen a mérési pont, alacsonyabb léghőmérsékletet, vagy magasabb falhőmérsékleteket kell biztosítani. Ez abból a szempontból érdekes, hogy az adott paraméterek alapján a levegőhőmérséklet csökkentése révén is eljuthatunk a nagyobb komfortfokozathoz. Az adott helyiségben A kategória biztosításához a  $t_{ks}=24$  °C értéket kell elérni.

### 3.8. Kiegészítő megjegyzések a komforttartományhoz

A megszerkesztett komforttartományhoz az alábbi kiegészítő, kritikai megjegyzések szükségesek:

1. A PMV-érték megállapításához a diagramokon a kategóriákon belül az egyes paraméterek esetén érvényes négyszög-területeket is ellenőrizni kell, vagyis a négy összetevőből meg kell állapítani azt, hogy melyikekre vonatkozó terület felel meg az adott  $v$  és  $p_{vg}$  értékeknek.
2. A tartományok helyzete a  $t_{lev}-t_{ks}$  síkon a gyakorlatban (radiátoros-, vagy lég-fűtésnél) kialakuló helyzetnek kevésbé felel meg, mivel a tartomány helyzete alapján az adott léghőmérséklethez többnyire a levegőhőmérsékletnél magasabb  $t_{ks}$  érték kell hogy tartozzon, amely a téli állapotban csak többnyire (a radiátorfelületnél) nagyobb méretű felületi fűtéssel (fal-fűtéssel) biztosítható.
3. A diagram nem tudja követni a bioritmusnak megfelelő bőrhőmérséklet változásokat, és egyéb dinamikus hatásokat, pl. a falhőmérsékletek időbeli változásait. A diagram tehát csak stacioner esetre alkalmazható. Tény viszont, hogy a jelenlegi szabályozás a dinamikus PMV-re még nem tartalmaz követelményértéket.
4. A PMV egyenletére épülő komforttartomány szerkesztése matematikailag korrekt, annak megítélésére, hogy a szerkesztett tartomány megfelel-e a gyakorlatnak, ellenőrző mérések szükségesek.

### 3.9. Az új komforttartomány szerkesztése alapján levonható következtetések (tézisek)

**T.1.** Megszerkesztettem a  $t_{lev}-t_{ks}$  síkon az A, B és C épületminőségi kategóriákra, a megengedett légsebesség intervallumokra érvényes komforttartományokat különböző tevékenységi szintekre, ruházati paraméterekre, téli és nyári esetre vonatkozóan. Az új komforttartomány szerkesztéséhez a PMV összefüggést, és a konvektív és összes száraz hőleadás arányának („m” tényező) rögzített értékeit használtam fel. A relatív nedvességtartalom változását a levegő parciális vízgőznyomásának ajánlott értékeivel vettem figyelembe.

Az eddig alkalmazott komforttartományok nem tartalmazzák az épületminőségi kategóriákat, valamint a légsebesség, az öltözet és a relatív nedvességtartalom változásának hatását a tartomány elhelyezkedésére

A komforttartomány elemzése alapján megállapítottam, hogy a komfort szempontjából kívánatosabb a helyiséghőmérsékletet kis mértékben ( $1\div 4$  °C) meghaladó sugárzási hőmérséklet biztosítása.

#### 4. A sugárzási hőmérsékletek és sugárzási hőmérsékletaszimmetria számítása

Az ember állandó sugárzásos hőcserében áll a környezetével. A sugárzásos hőáram iránya és összege a következő tényezőktől függ:

- A mindenkori tartózkodási hely a sugárzásos hőcserében résztvevő felületekhez viszonyítva,
- ezen felületek, és a test, illetve öltözetfelület közötti hőmérséklet különbsége,
- a sugárzásban résztvevő felületek optikai tulajdonságai (abszorpciós tényező, emissziós tényező). Az optikai anyagtulajdonságok hullámhossztól való függése elhanyagolható, mivel csak egy szűk sáv szélességről van szó. Eltekintve az esetleges beeső természetes fénytől, a helyiségekben belüli sugárzásos hőtranszport folyamatoknál majdnem kizárólag a hősugárzás játszik szerepet. Gyakran alkalmaznak egyszerűsítést, amely szerint alapvetően minden felületet feketeként kell kezelni, mivel a legtöbb alkalmazási esetben ez a kitétel csekély hibát okoz [DIN 1946/2 1994]. A gyakorlatban előforduló felületek emissziós tényezője ( $\varepsilon$ ) függ a beesési, illetve visszaverődési szögtől. Az emissziós tényező annál jobban változik, minél jobban eltér a beesés ill. visszaverődés iránya a felületi normálistól. Az irodalomban ezért az  $\varepsilon_n$ -re vonatkozóan olyan anyagfüggő adatokat találunk, amelyek a felületre merőlegesen érvényesek. Ha a megfelelő táblázatokban nincs közvetlenül megadva, akkor az előbbiből az  $\varepsilon$  közepes értékét a következőképpen becsülhetjük:

$$\text{elektromos vezetőre:} \quad \varepsilon = 0,33 \cdot \varepsilon_n \quad (4.1)$$

$$\text{elektromos szigetelőre:} \quad \varepsilon = 0,96 \cdot \varepsilon_n \quad (4.2)$$

##### 4.1. A sugárzási hőmérséklet, a közepes sugárzási hőmérséklet és a sugárzási hőmérsékletaszimmetria

A sugárzási hőmérséklet az általános értelmezés szerint a környező felületeknek az az egyöntetű hőmérséklete, amely mellett a pontban levő elemi testtel ugyanaz a sugárzási hőcsere jön létre, mint a pontban lévő elemi test és az eredetileg különböző hőmérsékletű felületek között, vagyis:

$$C \cdot A_p \cdot \sum \varphi_{P,A_i} \cdot \left[ \left( \frac{T_p}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{A_i}}{100} \right)^4 \right] = C \cdot A_p \cdot \left[ \left( \frac{T_p}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_s}{100} \right)^4 \right] \quad (4.3)$$

- ahol:
- C - a falfelületek sugárzási együtthatója  $C=f(\varepsilon)$
  - $A_p$  - az elemi pont felülete ( $m^2$ );
  - $\Phi_{P,A_i}$  - az i-edik falfelület besugárzási tényezője (részletesen a 2.2. pontban);
  - $T_{A_i}$  - az i-edik falfelület hőmérséklete (K);
  - $T_p$  - az elemi pont (gömb) eredeti hőmérséklete (K);
  - $T_s$  - sugárzási hőmérséklet (K).

Az egyszerűsítés és a rendezés után (mivel  $\sum \varphi_{P,A_i} = 1$ )

$$t_s = \sqrt[4]{\sum \varphi_{P,A_i} \cdot T_{A_i}^4} - 273 \quad (^\circ\text{C}). \quad (4.4)$$

Ez (a teljes térre vonatkozó) sugárzási hőmérséklet az eredő, vagy operatív hőmérséklet számításához felhasználható, de a sugárzási hőmérsékletaszimmetria számításához az összefüggésben módosítások szükségesek. A besugárzási tényező egyenletében a két féltérre való összegzést, integrálást a teljes tér ( $2 \cdot \pi$ ) helyett a két féltérre ( $\pi$ ) vonatkozóan végezzük el.

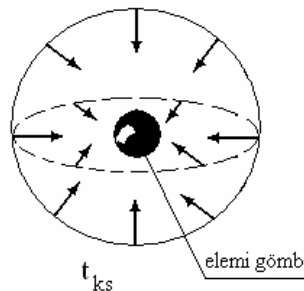
A sugárzási hőmérsékletaszimmetria számításához szükséges sugárzási hőmérséklet (4.4) egyenletében a besugárzási tényezők számítása az elemi test (vizsgálótest) alakjától is függ, amely lehet elemi gömb, vagy elemi felület.

- Az elemi gömb vizsgálótest esetén a közepes sugárzási hőmérséklet a (4.4) egyenlet szerint számolható a teljes térre (4.1. ábra). A 2.4. ábra szerinti besugárzási tényező a (2.10) egyenlet alapján számolható. Ha a teljes tér helyett két féltér sugárzási hőmérsékletét számoljuk ki az integrálási határok megváltoztatásával, azok átlaga azonos a teljes térre számolt közepes sugárzási hőmérséklettel (4.5 egyenlet).

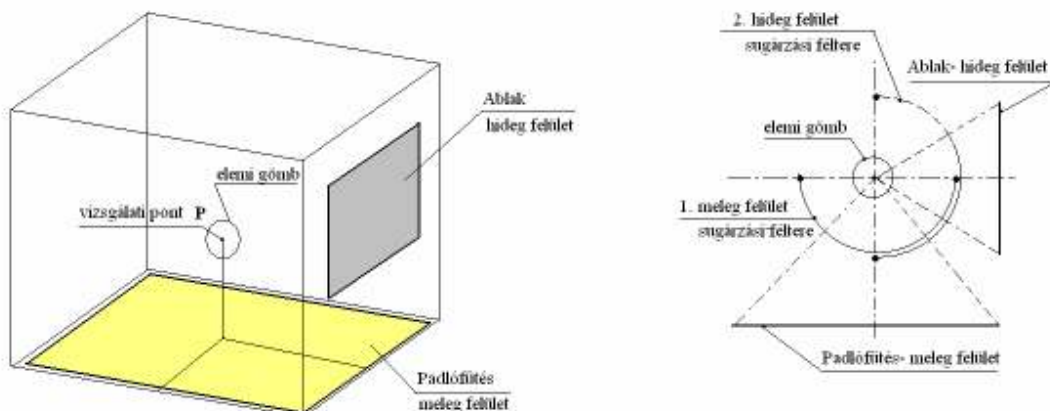
$$t_{ks} = \frac{t_{sug,1} + t_{sug,2}}{2} \quad (^\circ\text{C}) \quad (4.5)$$

- Az elemi felület vizsgálótest esetén az aszimmetria számításához a (2.8) egyenlet szerinti besugárzási tényező alkalmazható, amely egyenletben a  $\cos\beta_2$  mellett a felületelem normálisa és a felületelem és a vizsgált felület középpontját összekötő egyenes által bezárt szög, a  $\beta_1$  kosinusa is szerepel (2. fejezet 2.2. ábra). Ezáltal a két féltér sugárzási hőmérsékletének -  $t_{sug,1}$  és  $t_{sug,2}$  a (4.5) egyenlet szerinti - átlaga csak közelítő érték.

A gyakorlatban a helyiségekben többnyire két termikusan aktív (hideg és meleg) felület fordul elő, amelyek egymáshoz viszonyított elhelyezkedésétől függő két féltérnek van közös része (4.2. ábra).



4.1. ábra: A közepes sugárzási hőmérséklet értelmezése az elemi gömb vizsgálótest esetén



4.2. ábra: A termikusan aktív felületek és a sugárzási féltek elhelyezkedése helyiségben az elemi gömb vizsgálótest esetén

A közös térrészekben lévő helyiségfelületek a sugárzási hőmérséklet számításánál mindkét féltérben szerepelnek. Ez a sugárzási hőmérsékletaszimmetria értékére, pontosságára hatással van. Az egy síkban lévő hideg és meleg felületek esetén az aszimmetria valóságnak megfelelő értéke ezért nem mutatható ki (részletesen a 4.4.3. pontban).

- A felületelem két oldalára számolt sugárzási hőmérsékletek tekinthetők vektoroknak is [McIntyre 1974]. A sugárzási hőmérsékletaszimmetria a felületelem két oldalán, azok normálisa irányában fellépő sugárzási hőmérsékletnek, a sugárzási hőmérsékletvektorok vektorösszeadás szabályai szerint számolt különbsége (4.3. ábra).

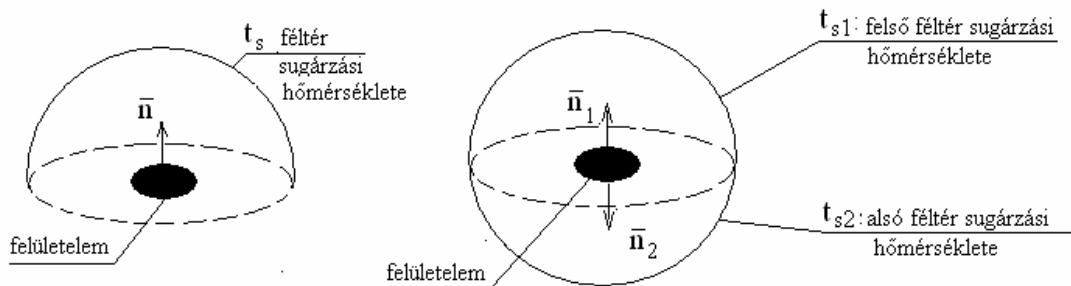
$$\Delta \bar{t}_a = \bar{t}_{sug,1} - \bar{t}_{sug,2} \quad (^\circ\text{C}) \quad (4.6)$$

A vizsgálótest alakjának meghatározó szerepe van a sugárzási aszimmetria és a közepes sugárzási hőmérséklet értéke szempontjából. Ha az emberi testet a helyiség hőtechnikai modelljében elemi sík felületekkel (kör, vagy négyszög, illetve az elemi kocka lapjaival) helyettesítjük, akkor az egyenletekben megjelenik  $\cos\beta_1$ , és ez a termikusan aktív (hideg/meleg) felületek besugárzási tényezőjének csökkenését eredményezi. Az elemi gömb esetén a felületek besugárzási tényezője teljes egészében a felület által jellemzett térszöveget jelenti a vizsgálati ponthoz viszonyított helyzete függvényében.

A kérdés, hogy az emberi test modelljének megválasztása szempontjából mikor jutunk a pontosabb megoldáshoz, arra vezethető vissza, hogy milyen felülettel jellemezhető helyesen az emberi test. A közepes sugárzási hőmérséklet számítása szempontjából az elemi gömb megfelelőnek tűnik, hiszen nincs prioritása a helyiség kitüntetett irányainak. A sugárzási hőmérsékletaszimmetria számításánál viszont a félterek nem egymást – teljes térre – kiegészítő félterek. A termikusan aktív felületek elhelyezkedésétől függően egymás féltérét, és bizonyos esetekben a másik termikusan aktív felületet is metszhetik. A 4.2. ábra szerinti esetben vannak olyan felületek a helyiségben, amelyek a sugárzási hőmérsékletek számításánál kimaradnak, és olyan felületek is, amelyek mindkét féltérben jelen vannak.

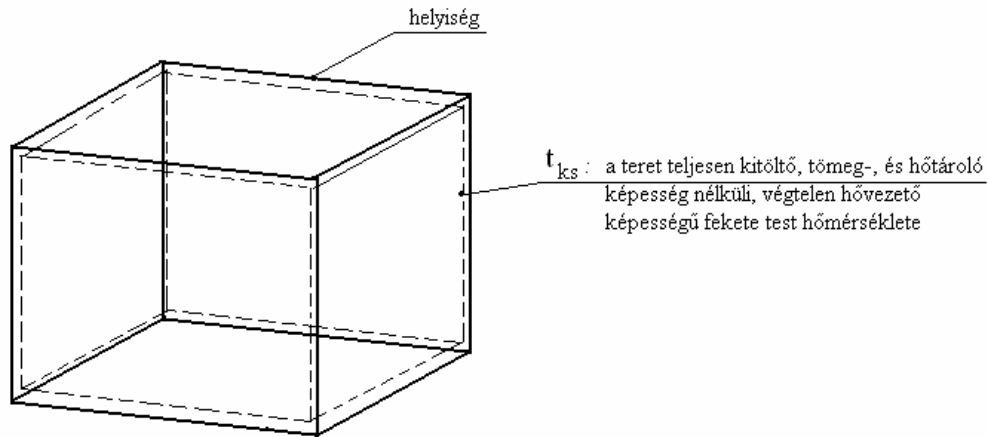
A számítási módszer az egyszerűsítések miatt a helyiségen belül csak két termikusan aktív (hideg/meleg) felületet képes kezelni, a többi felület hőmérséklete számtani középértékként, besugárzási tényezői pedig - a féltér besugárzási tényezőire vonatkozó  $\Sigma\phi_i=1$  összefüggésből – a  $\phi_{\Sigma A_i} = 1 - \phi_{aktív\ felület}$  különbség révén van figyelembe véve ( $\Sigma A_i$ - a helyiség aktív felületen kívüli határoló felületei).

Ezáltal az elemi gömb vizsgálóelem a gyakorlatban a sugárzási aszimmetria számértékének csak közelítő meghatározására alkalmas (4.2. ábra).



4.3. ábra: A közepes sugárzási hőmérséklet különböző értelmezése az elemi felület vizsgálótest esetén

- A közepes sugárzási hőmérséklet értelmezésénél az irodalomban olyan helyiségmodellt is találunk [Feist 1994], amely a helyiségen belüli sugárzási hőcserét nem közvetlenül az egyes felületek között tételezi fel, hanem közbelső abszorpció révén egy, a helyiség határoló felületei és a teret teljesen kitöltő - hőtároló képesség nélküli  $\lambda = \infty$  végtelen hővezetési tényezővel rendelkezőnek feltételezett - abszolút fekete test között (4.4. ábra). A fekete test abszorpciós ill. emissziós tényezője  $\alpha_2 = \varepsilon_2 = 1$ , és mivel a teret teljesen kitölti,  $A_1 = A_2$ , és  $\varphi_{1,2} = 1$ . Ez a modell a helyiségen belüli sugárzási hőmérsékletek változását, azok helyfüggését követni nem tudja, a helyiségre egy átlagértéket számol.



4.4. ábra: A közepes sugárzási hőmérséklet értelmezése [Feist 1994]

A közepes sugárzási hőmérséklet legegyszerűbb alakja (azaz a közepes felületi hőmérséklet, amelyet a 2.27 egyenletben is alkalmaznak):

$$t_{ks} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (^\circ\text{C}) \quad (4.7)$$

- A nemzetközi irodalomban gyakran a (4.4) egyenletnél egyszerűbb egyenletet találunk a sugárzási hőmérséklet számítása vonatkozásában.

Gyakran alkalmazzák sugárzási hőmérséklet számítására a (4.8) egyenlet szerinti összefüggést, amelyet közepes sugárzási hőmérsékletnek, gyakran integrált környezeti hőmérsékletnek is neveznek:

$$T_{sug} = \sum \varphi_i \cdot \varepsilon_i \cdot T_i \quad (\text{K}), \quad (4.8)$$

amely másképpen:

$$t_{sug} = \sum \varphi_i \cdot \varepsilon_i \cdot t_i \quad (^\circ\text{C}) \quad (4.9)$$

ahol :  $\varepsilon_i$  - az i-edik felület emissziós tényezője.

A sugárzási hőmérséklet két összefüggése (4.4), (4.9) között nem csak a hatványokban van eltérés, hanem az emissziós tényező vonatkozásában is a (4.9) egyenletben.

#### 4. 2. A sugárzási hőmérséklet hatványfüggvényének linearizálása

A sugárzási hőmérséklet számítására vonatkozó (4.4) és (4.9) egyenletek végeredményeiben való eltérést csak konkrét esetben lehet vizsgálni. Vizsgáljuk meg azt, hogy mekkora hibát eredményez a sugárzásos hőcsere számításában, ha a Stefan-Boltzmann törvényből származó sugárzásos hőcsere meghatározására vonatkozó  $T^4$ -es összefüggés helyett  $T$ -vel számolunk, vagyis az összefüggést „linearizáljuk”.

Induljunk ki az 1 és 2 jelű, a helyiséget határoló felületek közti hosszúhullámú energiasugárzás révén létrejövő energiacsere következő egyenletéből:

$$\dot{Q}_{1,2} = C_1 \cdot C_2 \cdot A_1 \cdot \varphi_{1,2} \cdot \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \sigma_o \cdot A_1 \cdot \varphi_{1,2} \cdot (T_1^4 - T_2^4) \quad (4.10)$$

ahol:

- $\varphi_{1,2}$  – a két felület közti besugárzási tényező;
- $C_1$  és  $C_2$  – sugárzási együtthatók;
- $\varepsilon_1$  és  $\varepsilon_2$  – a felületek feketeségi foka;
- $C_o=5,67= \sigma_o/10^{-8}$  – a fekete test sugárzási együtthatója;
- $\sigma_o$  – a Stefan-Boltzmann állandó.

A  $T^4$ -es tagokat tartalmazó tényező a következő alakra hozható:

$$T_1^4 - T_2^4 = (T_1^2 + T_2^2) \cdot (T_1 + T_2) \cdot (T_1 - T_2) \quad (4.11)$$

Ezt a (4.10) egyenletbe behelyettesítve, és a

$$C_i = C_o \cdot \varepsilon_i = \frac{\sigma_o}{10^{-8}} \varepsilon_i \quad (4.12)$$

egyenlet beírásával a következő egyenletet kapjuk:

$$\dot{Q}_{1,2} = \sigma_o \cdot (T_1^2 + T_2^2) \cdot (T_1 + T_2) \cdot A_1 \cdot \varphi_{1,2} \cdot \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot (T_1 - T_2) = B \cdot A_1 \cdot \varphi_{1,2} \cdot \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot (T_1 - T_2) \quad (4.13)$$

A linearizálás az összefüggésben azt jelenti, hogy a  $B$  helyett a  $C_o=5,67$  állandót alkalmazzuk az egyenletben, vagyis a lineáris hőmérsékletkülönbség alkalmazásával elkövetett hiba értéke megegyezik a  $B$  és  $C_o$  értékének eltéréssel.

Mivel egy adott esetben (a besugárzási tényező) a falfelületek nagysága, egymáshoz viszonyított helyzete dönti el, hogy a sugárzásos hőcsere értékének számításánál a linearizálás mekkora eltérést eredményez, jelenleg csak azt tudjuk vizsgálni, hogy a

$$B = \sigma_o \cdot (T_1^2 + T_2^2) \cdot (T_1 + T_2) \quad (4.14)$$

tényező helyett a  $C_o=5,67$  értékével való helyettesítés mekkora eltérést okoz.

Alapul véve azokat a hőmérsékleteket, amelyek a helyiségek szokásos felületi hőmérsékletei mellett uralkodnak, (kb. 22-23 °C helyiség-hőmérséklet esetén), akkor a  $B$  tényező számára számításba jöhető hőmérséklettartomány körülbelül 10 és 24 °C közé esik. A hőmérsékletek különbsége 14 °C. A termikusan aktivált határoló felületekkel rendelkező helyiségek szélsőséges (leghidegebb/legmelegebb) hőmérsékletű felületeinek hőmérséklet-különbsége is hasonló értékűnek vehető.

**4.1. táblázat :  $B = \sigma_o \cdot (T_1^2 + T_2^2) \cdot (T_1 + T_2)$  összefüggés értékei a hőmérsékletek függvényében**

t <sub>1</sub> °C	t <sub>2</sub> °C														
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
10	5,149	5,172	5,199	5,227	5,255	5,282	5,31	5,339	5,367	5,395	5,424	5,452	5,481	5,51	5,539
11	5,176	5,199	5,227	5,254	5,282	5,310	5,338	5,366	5,395	5,423	5,452	5,48	5,509	5,538	5,566
12	5,203	5,227	5,254	5,282	5,309	5,338	5,366	5,394	5,423	5,451	5,480	5,508	5,537	5,566	5,595
13	5,231	5,254	5,282	5,309	5,338	5,366	5,394	5,422	5,451	5,479	5,508	5,537	5,566	5,595	5,624
14	5,259	5,282	5,309	5,337	5,366	5,394	5,422	5,450	5,479	5,508	5,536	5,565	5,594	5,623	5,653
15	5,259	5,282	5,309	5,337	5,366	5,394	5,422	5,540	5,490	5,508	5,536	5,565	5,594	5,623	5,653
16	5,315	5,338	5,366	5,393	5,422	5,45	5,479	5,507	5,536	5,565	5,593	5,622	5,651	5,680	5,709
17	5,343	5,366	5,394	5,422	5,405	5,479	5,507	5,536	5,564	5,593	5,622	5,651	5,680	5,710	5,739
18	5,371	5,395	5,423	5,45	5,479	5,507	5,538	5,564	5,593	5,622	5,651	5,68	5,710	5,739	5,768
19	5,399	5,423	5,451	5,479	5,508	5,536	5,565	5,593	5,622	5,651	5,680	5,709	5,739	5,768	5,798
20	5,428	5,452	5,479	5,507	5,536	5,565	5,594	5,622	5,651	5,680	5,709	5,739	5,768	5,798	5,827
21	5,457	5,480	5,508	5,536	5,565	5,594	5,623	5,651	5,680	5,709	5,739	5,768	5,797	5,827	5,857
22	5,485	5,509	5,537	5,565	5,594	5,623	5,652	5,681	5,710	5,739	5,768	5,797	5,827	5,857	5,886
23	5,514	5,538	5,566	5,595	5,623	5,652	5,681	5,710	5,739	5,768	5,798	5,827	5,857	5,886	5,916
24	5,543	5,567	5,595	5,624	5,652	5,682	5,710	5,739	5,769	5,798	5,827	5,857	5,886	5,916	5,946

A maximális eltérés 9,6 %, illetve ha az a leggyakoribb szűkebb tartományra vonatkoztatjuk, a sugárzásos hőcsere számításánál, akkor 4% körül van.

**4.2. sz. táblázat: a K korrekciós tényező értékei a felületi hőmérsékletek függvényében**

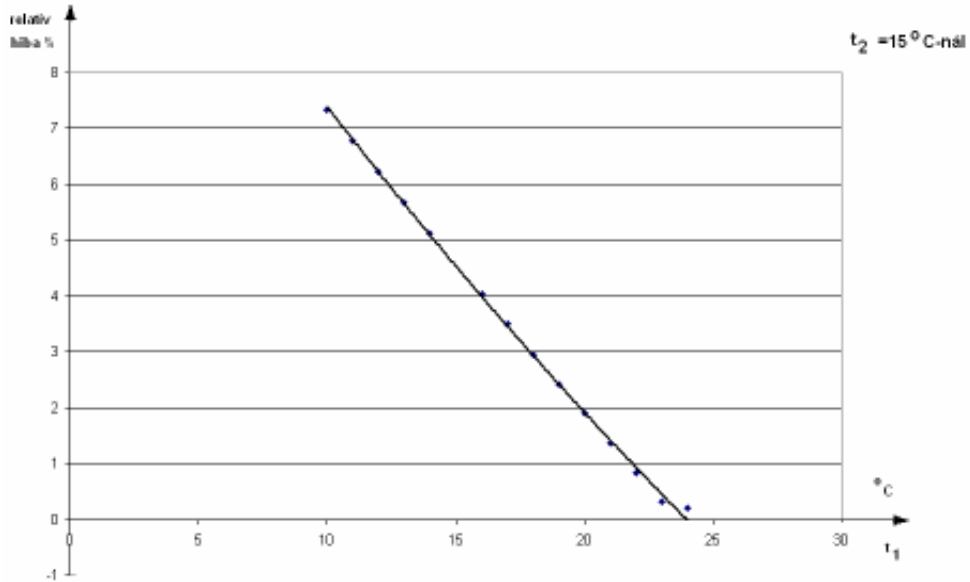
t <sub>1</sub> °C	t <sub>2</sub> (°C)														
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
10	0,908	0,912	0,916	0,921	0,926	0,931	0,941	0,941	0,946	0,951	0,956	0,961	0,966	0,971	0,976
11	0,912	0,916	0,921	0,926	0,931	0,936	0,466	0,946	0,951	0,956	0,961	0,966	0,971	0,976	0,976
12	0,917	0,921	0,926	0,931	0,936	0,941	0,946	0,951	0,956	0,961	0,966	0,971	0,976	0,981	0,986
13	0,922	0,926	0,931	0,936	0,941	0,946	0,951	0,956	0,961	0,966	0,971	0,976	0,981	0,986	0,991
14	0,927	0,931	0,936	0,941	0,946	0,951	0,956	0,961	0,966	0,971	0,976	0,981	0,986	0,991	0,996
15	0,923	0,931	0,936	0,941	0,946	0,951	0,956	0,961	0,966	0,971	0,976	0,981	0,986	0,991	0,996
16	0,937	0,941	0,946	0,951	0,956	0,961	0,966	0,971	0,976	0,981	0,986	0,991	0,996	1,001	1,007
17	0,942	0,946	0,951	0,956	0,961	0,966	0,971	0,976	0,981	0,986	0,991	0,996	1,001	1,007	1,012
18	0,947	0,951	0,956	0,961	0,966	0,971	0,976	0,981	0,986	0,991	0,996	1,001	1,006	1,012	1,017
19	0,952	0,956	0,961	0,966	0,971	0,976	0,981	0,986	0,991	0,996	1,001	1,006	1,012	1,017	1,022
20	0,957	0,961	0,966	0,971	0,976	0,981	0,986	0,991	0,996	1,001	1,006	1,012	1,017	1,022	1,027
21	0,962	0,966	0,971	0,976	0,981	0,986	0,991	0,996	1,001	1,006	1,012	1,017	1,022	1,027	1,032
22	0,967	0,971	0,976	0,981	0,986	0,991	0,996	1,001	1,006	1,012	1,017	1,022	1,027	1,032	1,038
23	0,972	0,976	0,981	0,986	0,991	0,996	1,001	1,007	1,012	1,017	1,022	1,027	1,032	1,038	1,043
24	0,977	0,981	0,986	0,991	0,996	1,002	1,007	1,012	1,017	1,022	1,027	1,032	1,038	1,043	1,048

Az átlagos eltérés: 1,94 %.

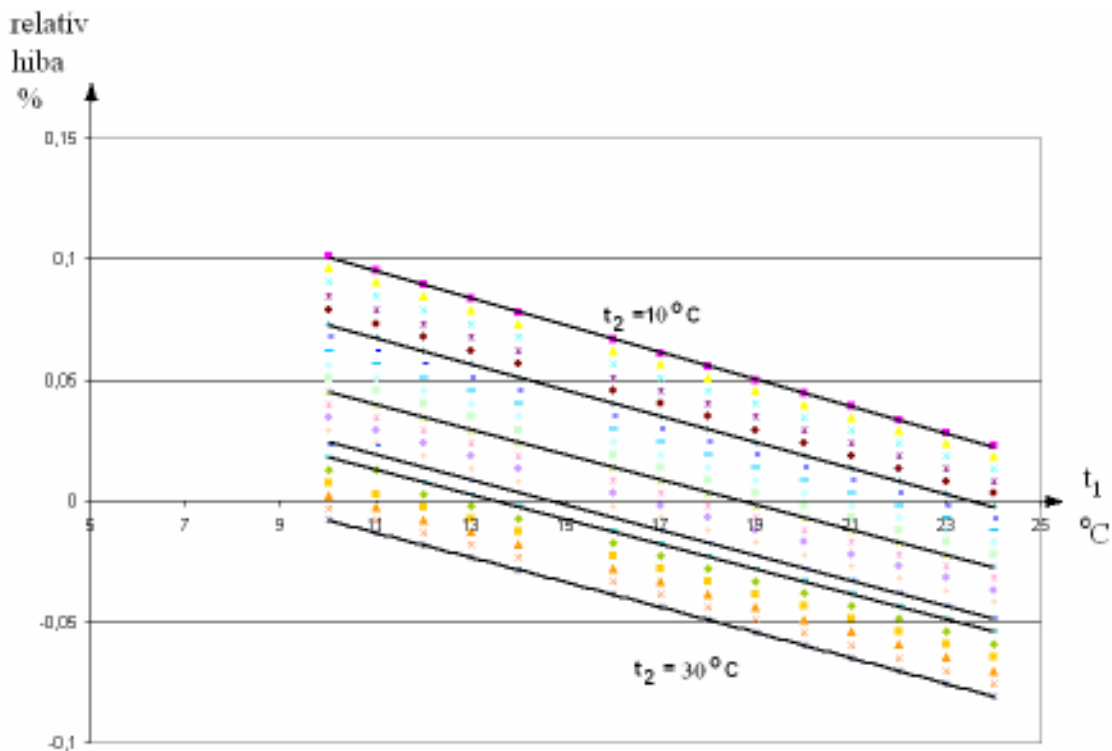


A B értékei a  $t_1=10 \div 24$  °C; a  $t_2=10 \div 24$  °C hőmérséklettartományra vonatkozóan a 4.1. táblázatban rögzítettek. A 4.2. táblázat a  $K=B/C_0$  számítási eredményeit tartalmazza, amelyből az eltérés százalékos értékei is megállapíthatók.

A hiba %-os értékeit a felületi hőmérsékletek függvényében a 4.6./a. és 4.6./b. ábrák mutatják.



4.6./a. ábra: A B és  $C_0$  eltérése miatti hiba a  $t_1$  hőmérséklet változásának függvényében  $t_2=15$  °C esetén



4.6./b. ábra: A relatív hiba változása a  $t_2=10 \div 30$  °C esetén a  $t_1$  hőmérséklet függvényében

A helyiségen belüli hosszuhullámú sugárzásra vonatkozó sugárzási hőátadási tényezők hőmérsékletfüggését vizsgálva a (4.14) egyenletet figyelembe véve a sugárzásos hőátadási tényező:

$$\alpha_{1,2} = \frac{\dot{Q}_{1,2}}{A_1 \cdot (T_1 - T_2)} = \varepsilon_{1,2} \cdot \sigma_o \cdot (T_1^2 + T_2^2) \cdot (T_1 + T_2) = \varepsilon_{1,2} \cdot B \quad (4.15)$$

amely összefüggés helyett, az 4.1 és 4.2. táblázat eredményeinek figyelembevételével, alkalmazható a következő hőmérséklettől független egyenlet:

$$\alpha_{1,2} \cong \varepsilon_{1,2} \cdot C_o, \quad (4.16)$$

amely összefüggésben (a 4.1. táblázat eredményeit figyelembe véve) a hibák megengedhető nagyságúak.

### 4.3. A sugárzási aszimmetria lehetséges értelmezései, számításmódjai

A szakirodalomban a sugárzási aszimmetria számítására háromféle módszer lelhető fel, amelyeket a 4.4.3. pontban ismertetünk.

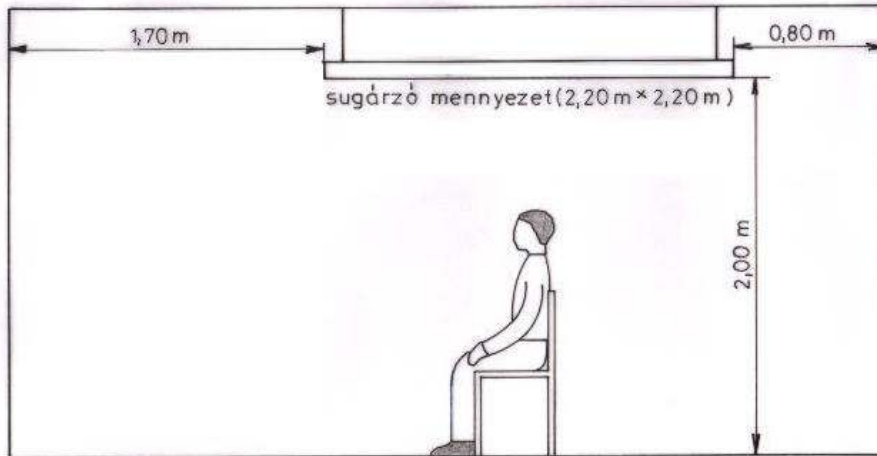
Ez a háromféle számítási módszer kiegészíthető a zárt térben tartózkodó, ülő vagy álló helyzetű ember testfelületére vonatkozó számítással, amelynek az alapját Fangernek a besugárzási tényezőkre kidolgozott, ismert 13 diagramja képezi. Ezek lehetővé teszik az ember súlypontja alatti és feletti, vagy az embertől jobbra és balra lévő félterekre vonatkozó számítást (lásd 2.2.4. pont) [Fanger 1970], [Bánhidi, Kajtár 2000], [Bánhidi 1976], [Bánhidi 1994].

#### 4.3.1. Az összehasonlító számítások alapjai

A sugárzási hőmérsékletaszimmetria előző pontban ismertetett négyféle számításmódjával kapott eredmények összevetésére Fanger, Bánhidi, Olesen és Langkilde által elvégzett és jól dokumentált kutatást, illetve vizsgálati elrendezést vettük alapul [Fanger, Bánhidi 1980].

A kutatás során 2,2 m x 2,2 m méretű sugárzó mennyezet alá ültetett normál öltözetű (0,6 clo) személyeken (16 fő) végeztek hőérzeti vizsgálatokat. A vizsgálólaboratórium alaprajzi mérete 4,7 m x 6,0 m, belmagassága 2,4 m, a sugárzó mennyezett felfüggesztési magassága pedig 2,0 m volt. A vizsgálati elrendezés vázlatát az 4.7. ábra mutatja [Bánhidi 1994]. Az egyik vizsgálatsorozatnál a fűtőpanel hőmérsékletét 34,0 °C-ra állították be. Ebben az esetben a padló és a födém hőmérséklete 24,0 °C, a falak hőmérséklete pedig 24,2 °C volt. Számításainkhoz ezeket az értékeket vettük alapul.

Az ismert geometriai viszonyok alapján a négyféle számítási módszerre vonatkozóan meghatároztuk az egyes felületek és az alapul vett felületelem, pont stb. közti besugárzási tényezőket. Az elemi kockára vonatkozó számításoknál a falsíkokkal párhuzamosan elhelyezett kockát vettünk fel, amelynek a felső, az alsó és a baloldali lapjaira számoltuk ki a besugárzási tényezőket. A felületelemre és a kocka lapjaira vonatkozó számításokat a Kollmar és Liese által közölt diagramok felhasználásával végeztük el, amelyre vonatkozóan egy példát a 4.8. ábrán mutatunk be.



4.7. ábra: A vizsgálati elrendezés vázlatja

A pontra vonatkozó számítások elvégzésére az alábbi egyszerű összefüggést használtuk fel [Garbai, Bánhidi 2001], [Glück 1981]:

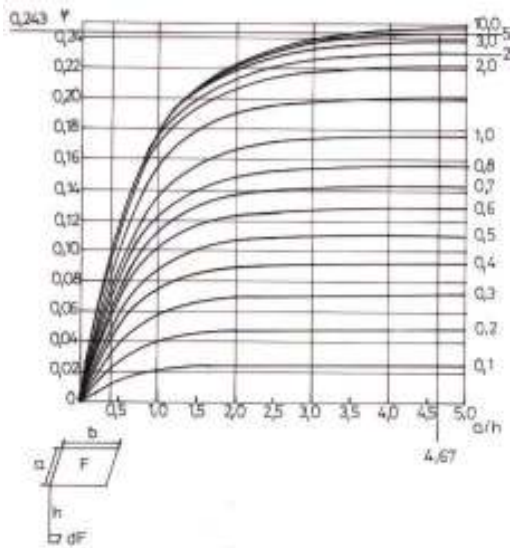
$$\varphi_k = \frac{1}{8} - \frac{1}{4\pi} \arctg \left[ \frac{h\sqrt{a^2 + b^2 + h^2}}{a \cdot b} \right] \quad (4.17)$$

ahol:

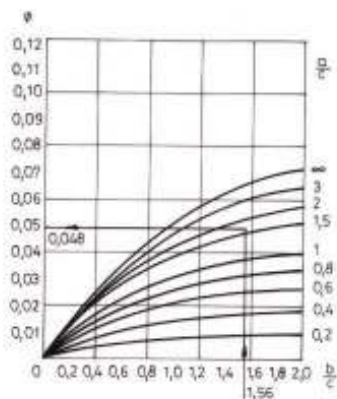
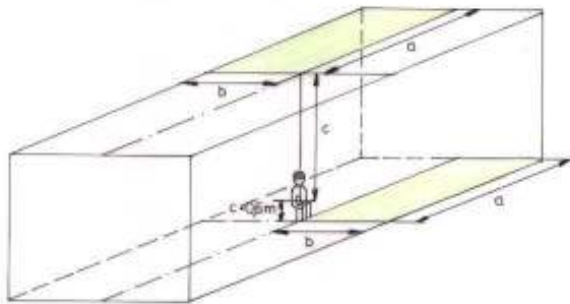
- a és b - a figyelembe vett felület hossz- és keresztirányú mérete,
- h - a pont távolsága ettől a felülettől.

A besugárzási tényezők teljes emberi felületre vonatkozó meghatározása pedig a korábban hivatkozott Fanger-féle diagramok alapján történt (lásd 2.2.4. pont, 2.14. ábra, és függelék F.2.1. ábra, valamint a 4.9. ábra).

A besugárzási tényezők számított eredményeit a 4.3. táblázatban foglaltuk össze. A felületelem, illetve a kocka felső lapja és a fűtőpanel közti besugárzási tényező számértékében mutatkozó jelentős különbség jól tükrözi azt aényt, hogy a kocka elhelyezési magassága lényegesen nagyobb a felületeleménél. A kocka alsó lapjára vonatkozó számításokat csupán az összehasonlítás kedvéért végeztük el. Ennek ugyanis az emberi test esetében nincs jelentősége, ugyanis a nyak, illetve a törzs a fej alsó részét leárnyékolja.



4.8. ábra: A besugárzási tényező meghatározása a padló és a vele párhuzamos sík felületelem között [Kollmar, Liese 1957]



4.9. ábra: A besugárzási tényező meghatározása az ülő ember, és a testsíkja előtti padló, vagy a testsíkja mögötti mennyezetre vonatkozóan [Fanger 1970]

**4.3. táblázat:** A besugárzási tényezők összefoglalása

	Besugárzási tényezők					
	$\varphi$					
	felület- elemre	pontra	emberre	az elemi kocka		
felső lapjára				alsó lapjára	baloldali lapjára	
fűtőpanel	0,450	0,125	0,130	0,753	-	0,200
födém	0,260	0,110	0,135	0,113	-	0,363
padló	0,962	0,396	0,257	-	0,824	
falak, felső rész	0,290	0,265	0,341	0,134	-	0,437
falak, alsó rész	0,038	0,104	0,133	-	0,176	

A besugárzási tényezők összege minden esetben 1, csak a felületelem esetén 2, amely a vizsgálótest alakja, illetve a (2.7) egyenlet alkalmazása miatt adódik. A felületelem síkjában nincs a felületelemmel hőcserében lévő felület, így a féltérre írható fel a (2.7) egyenlet.

A besugárzási tényezők alapján és a felületi hőmérsékletek ismeretében a továbbiakban az ismertetett módszerek szerint kiszámoltuk a sugárzási hőmérsékletaszimmetria értékeit, amelyeket a 4.4. táblázatban tüntettünk fel. A táblázat utolsó oszlopában feltüntettük az alapul vett vizsgálati helyzetre vonatkozóan hivatkozott kutatás során meghatározott PPD-értéket is.

Az alkalmazott vizsgálótest szerint a táblázat fejrészében szereplő sugárzási hőmérsékletek indexei a különböző számítási módszer eredményeit jelölik.

A sugárzási hőmérsékletaszimmetria:

- $\Delta t_1$  - a felületelemre,
- $\Delta t_2$  - a pontra,
- $\Delta t_{3,f-a}$  - a kocka felső és alsó lapjára,
- $\Delta t_{3,f-b}$  - a kocka felső és baloldali lapjára,
- $\Delta t_4$  - az ülő helyzetben lévő teljes emberi testre vonatkozik.

**4.4. táblázat:** Az összehasonlító számítások eredményei

Hőmérsékletadatok			Sugárzási hőmérsékletaszimmetria					PPD <sub>mért</sub> (%)
$t_{\text{fűtőpanel}}$ (°C)	$t_{\text{padló}} = t_{\text{födém}}$ (°C)	$t_{\text{fal}}$ (°C)	$\Delta t_1$ (K)	$\Delta t_2$ (K)	$\Delta t_{3,f-a}$ (K)	$\Delta t_{3,f-b}$ (K)	$\Delta t_4$ (K)	
34,0	24,0	24,2	4,7	2,6	7,6	5,5	13,0	6,3

A táblázatban közölt számértékek alapján világosan kitűnik az a jelenség, hogy a pontra vonatkozó számítás a sugárzási hőmérsékletaszimmetriát alul, a teljes testfelületre vonatkozó számítás pedig túlértékeli a másik két számítási módszerhez képest.

A felületelemre és a kocka felső és baloldali lapjára vonatkozó számítások eredményei (4,7 K és 5,5 K) ugyan közel esnek egymáshoz, de nem szabad megfeledkeznünk arról a tényről, hogy a vízszintes helyzetű felületelem a reá merőleges felületek (falak) hatását a kis besugárzási tényezők miatt nem veszi kellő súllyal figyelembe.

#### **4.3.2. A vizsgálat eredménye**

A mennyezeti sugárzási hőmérsékletaszimmetria számszerűsítésére a Glück által kidolgozott, az elemi kockára alapozott módszer tűnik a legalkalmasabbnak, különösen akkor, ha figyelembe vesszük azt a tényt, hogy a jelentős hőmérsékletkülönbséggel rendelkező felületek a gyakorlatban egymásra legtöbbször merőlegesek. Ez a helyzet fordul elő, például falfűtés és hideg padlófelület esetén téli üzemállapotban, vagy pedig a napsugárzás hatására jelentősen felmelegedő üveghomlokzat és mennyezeti hűtés esetén nyári üzemállapotban.

#### **4.4. A sugárzási hőmérsékletaszimmetria számításának új módszere**

A helyi diszkomforttényezők közül a sugárzási aszimmetria helyfüggő értékeinek meghatározására számos eljárás alkalmazható. Konkrét számértékét azonban alapvetően befolyásolja az alkalmazott számítás módja, és a vizsgálóelem fajtája. Az elméleti számítások és az eredményei eltérőek lehetnek a besugárzási tényező meghatározásától függően. A szerkesztéses eljárást olyan vonatkozásban fejlesztettük tovább, hogy a felvett vizsgálósík mindenkor az adott elrendezésnek megfelelő, speciális helyzetű legyen. A szerkesztés gyors és pontos elvégzésére egy matematikai programcsomaghoz illeszkedő programot dolgoztunk ki, amely jól használható a sugárzási hőmérsékletaszimmetria értékének számítására és grafikus megjelenítésére.

##### **4.4.1. A besugárzási tényező számítása a szerkesztéses módszer felhasználásával**

Mivel az emberi test véges felületű és inkább ívelt, mintsem sík felületekből áll, ezért kiegészítő vizsgáló elemként a felületelem feletti R sugarú gömbbel történő szerkesztés helyénvalónak tűnik. A szabványban alkalmazott felületelem, mint vizsgálótest, és felület közti besugárzási tényező grafikus úton történő meghatározása megfelelő pontosságú [Meyer 1999]. A grafikus eljárást egy speciális esetben alkalmazzuk a sugárzási aszimmetria meghatározására, mégpedig a teret megosztó síknak egy olyan esetére, amelyben a két szélsőséges hőmérsékletű felület minden esetben külön féltérben helyezkedik el.

A cél egy olyan program készítése volt, amely egyszerűbb számítógépes feltételek mellett is megfelelő pontosságú eredményt szolgáltat.

Az alkalmazott Maple program alkalmas a szerkesztés lépéseinek a térben való grafikus megjelenítésére, és a végeredménynek, vagyis a sugárzási hőmérsékletaszimmetria helyfüggő értékeinek a vizsgált helyiségben, háromdimenziós térben való ábrázolására.

Az egyszerűbb, a fűtéstechnikában gyakrabban előforduló alapesetekre megírt programok segítségével szolgálnak a sugárzási hőmérsékletaszimmetria számítására.

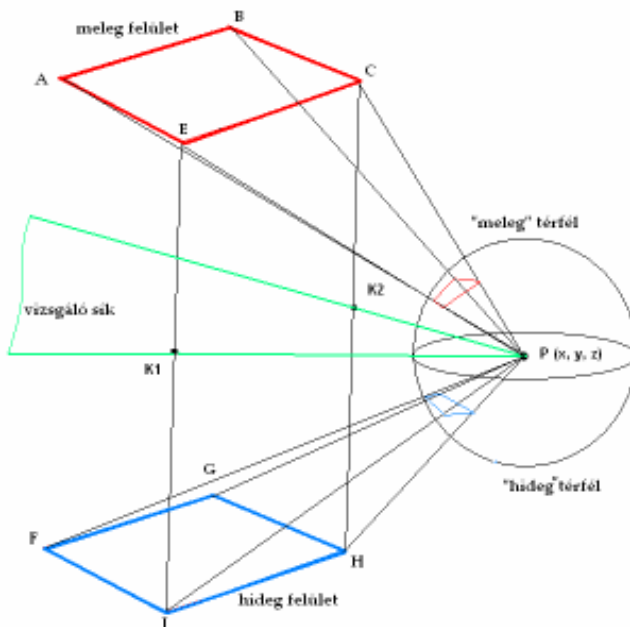
#### 4.4.2. A felületelem és a vizsgálósík helyzete

A szerkesztéses módszer az adott felület besugárzási tényezőjének meghatározására a felületelem fölött egy félgömböt alkalmaz. A félgömb alapkörét és a felületelemet tartalmazó sík a vizsgálósík, amelyet nem vízszintesen, vagy függőlegesen, hanem a helyiség határoló-felületeihez képest legtöbbször ferdén, úgy vesszük fel, hogy a „hideg” és a „meleg” felületeket (pl. ablak és radiátor, vagy hűtőmennyezet és meleg ablakfelület) ezzel a síkkal egymástól elválasszuk.

Ezzel az eljárással a teret minden esetben két olyan féltérre osztjuk, amelyek egyikében a hideg felület és a semleges felületek egy része, a másik féltérben pedig a meleg felület és a semleges felületek egy része található. A vizsgálósík, amely a félgömb alapkörét tartalmazza, a helyiségben lévő szélsőséges hőmérsékletű felületek között minden esetben, azoktól egyenlő távolságban helyezkedik el. A helyiséget két, „meleg” és „hideg” féltérre osztó síkot minden vizsgálati  $P(x, y, z)$  pontban, maga a  $P$  pont, és a  $K1, K2$  pontok határozzák meg (4.10. ábra). A  $K1$  és  $K2$  pont a két szélsőséges hőmérsékletű felület sarokpontjait összekötő egyenes szakaszok (általában 16 szakasz) közül a két legrövidebb szakaszfelezőin van.

A szerkesztéses eljárás matematikai lépéseit a vizsgálósík ily módon való felvételével kiegészítve biztosítva lehetünk arról, hogy a két féltérben csak a „meleg” illetve csak a „hideg” felületek vannak (4.10., és 4.11. ábra). A vizsgálósík felvételének ez a követelménye a sugárzási hőmérsékletaszimmetria számításának ismert módjainál nem állt fenn.

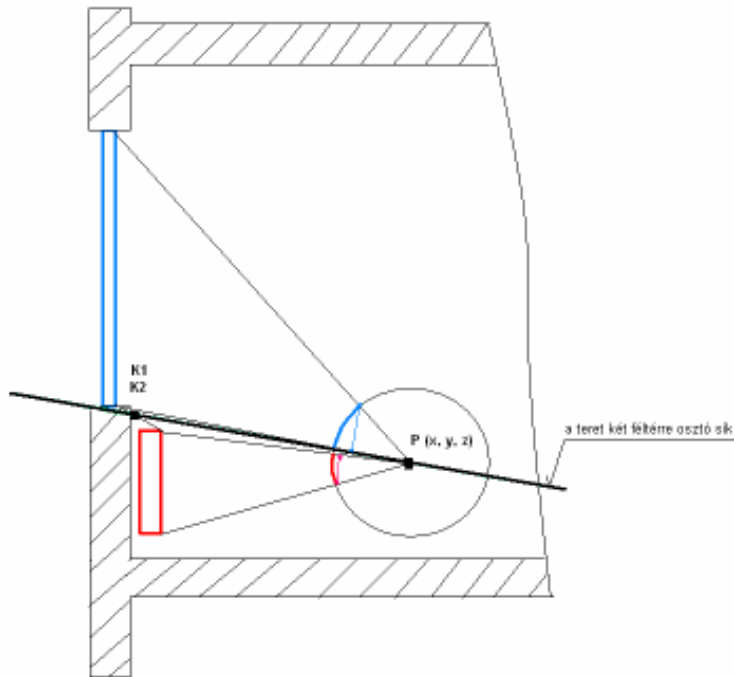
Amennyiben ez a követelmény nem teljesül, és a vizsgálósík metszi a „meleg” (vagy „hideg”) felületet, úgy mindkét féltér tartalmazna „hideg” (illetve „meleg”) felületet is. Ennek az a következménye, hogy a sugárzási hőmérsékletkülönbségének számításánál a mindkét féltérben jelen levő (pl. túlhőmérséklettel rendelkező) felületrészek a besugárzási tényezők nagyságaitól függően részben kiegyenlítik, „kioltják” egymást (4.12. ábra).



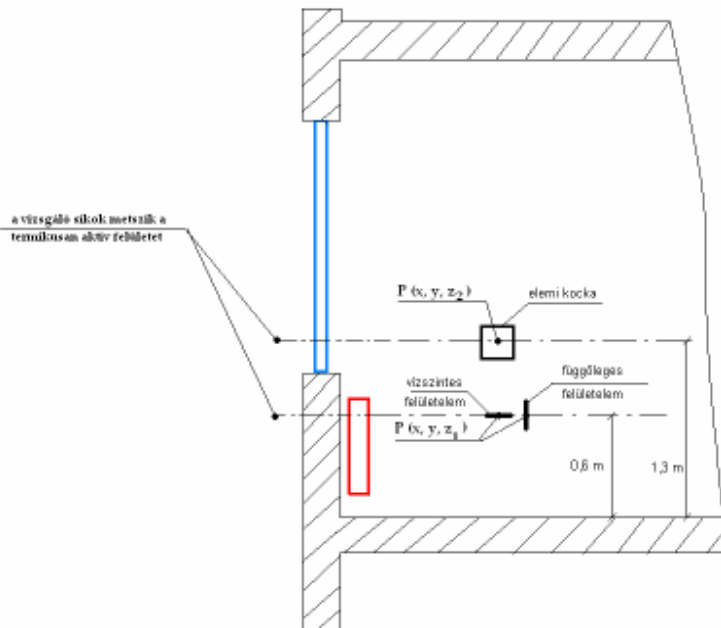
4.10. ábra: A teret két féltérre osztó sík felvétele

### 4.4.3. A sugárzási feltérek a sugárzási hőmérsékletaszimmetria meghatározásának különböző eseteinél

A sugárzási hőmérsékletaszimmetria értékének pontos meghatározásához a két feltérnek - amelyre a sugárzási hőmérsékleteket számoljuk – egymást ki kell egészítenie a teljes térre- és nem tartalmazhatnak mindkét, legalacsonyabb és legmagasabb hőmérsékletű felületrészt. Ezeknek a feltételeknek megfelel az ablak alatti radiátor esete (4.11. ábra).



4.11. ábra: A vizsgálósík felvétele ablak alatti radiátor esetén



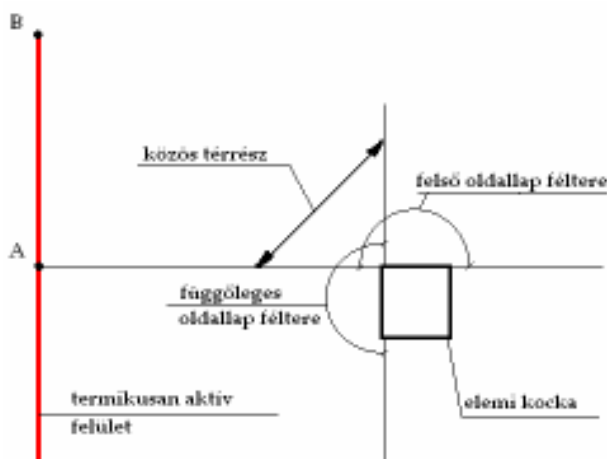
4.12. ábra: Sugárzási feltérek az elemi felületnél és az elemi kockánál



A sugárzási hőmérsékletaszimmetria számítására a vizsgáló test alakja szerint a nemzetközi gyakorlat három alapesetet alkalmazott:

- 1. Felületelem:** Az MSZ CR 1752:2000 szabványban a vizsgálóelem elemi felület, amelyre vonatkozóan vannak megadva a megengedett határértékek. A számítást a helyiség padlószintjétől 0,6 méter magasan - az ülő ember súlypontjában- lévő pontban, illetve pontokban szükséges elvégezni, a függőlegesen, illetve vízszintesen elhelyezett felületelem esetén. A sugárzási hőmérsékletaszimmetria a két helyzetben, a felső-alsó, illetve jobb és bal oldal sugárzási hőmérsékleteinek különbségeként számolt  $\Delta t_a$  közül a nagyobb érték.
- 2. Elemi kocka :** Glück hőtechnikai modelljében a vizsgáló test elemi kocka, amely 1,3 méter magasságban levő raszter rács-középpontjaiban, két alaphelyzetben helyezkedik el (2. fejezet 2.20. ábra). Először a kocka függőleges oldal-lapjai párhuzamosan helyezkednek el a helyiség (többnyire egymásra merőleges) falfelületeivel, majd e helyzettől függőleges tengelye körül  $45^\circ$ -kal elfordítva. A kocka az emberi fej és helyzetét szimbolizálja, és mivel az emberi fejnek alulról a padló síkja felől nincs hőleadó felülete, ezért a sugárzási hőmérséklet számítását csak 5 elemi oldallapra végezzük el. A két szélsőséges sugárzási hőmérséklet különbsége a mérvadó. Majd a számítást a kocka elforgatott helyzetére is elvégzzük. A két  $\Delta t_a$  érték közül a nagyobbik lesz a végeredmény. Ez alkalmas a szélsőséges felületi hőmérsékletű, egymásra merőleges felületek közötti sugárzási hőmérsékletaszimmetria pontosabb meghatározására, amely a valóságot jobban leképezi, hiszen a gyakorlatban a szélsőséges felületi hőmérsékletű falfelületek ritkán párhuzamosak.
- 3. Elemi gömb (pont):** A DIN 1946/2 a sugárzási hőmérsékletaszimmetria számításához vizsgáló testként elemi gömböt alkalmaz, a számításokat pedig zárt alakban megadott összefüggésekkel végzi. A termikusan aktív felülettel párhuzamosan az elemi gömb középpontján átmenő síkkal megosztott tér esetén számolja a féltérre vonatkozó sugárzási hőmérsékletet. Ha a két, leghidegebb és legmelegebb felület egymással nem párhuzamos, a két „hideg” és „meleg” féltér metszheti egymást. A 4.12. ábrán bemutatott esetben azonos féltérbe kerül az ablak és a radiátor felülete is.

Mindhárom esetben a vizsgálósík, amely a teret az adott vizsgálati pontban két féltérre osztja, többnyire metszi és megosztja a két féltér között a termikusan aktív felületet, illetve a szélsőséges hőmérsékletű felületek gyakran ugyanazon a féltérben helyezkednek el. Az elemi kocka esetén is fennáll ez a megállapítás két, egymásra merőleges oldallap esetén (4.13. ábra).

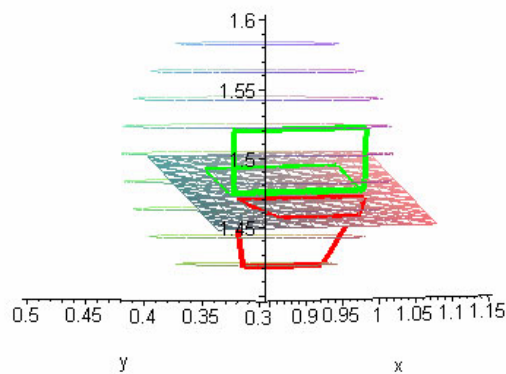


**4.13. ábra:** A sugárzási félterek helyzete az elemi kocka, mint vizsgálati test esetén.

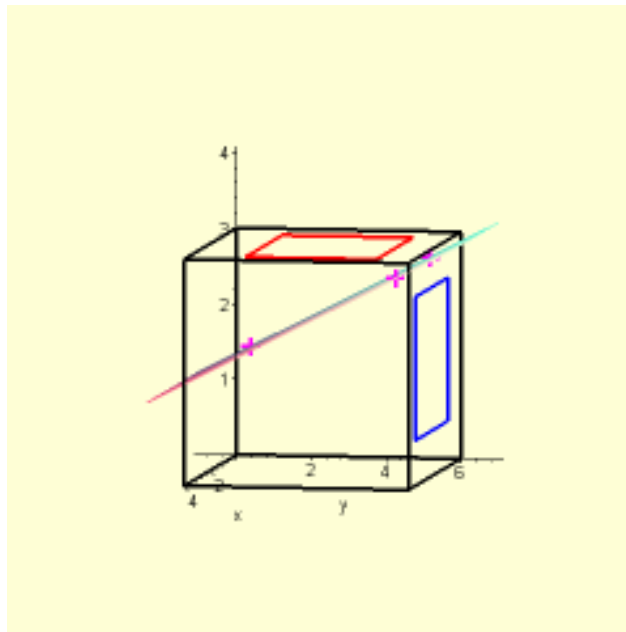
#### 4.4.4. A szerkesztéses módszer alkalmazása a Maple matematikai program segítségével

A matematikai számítógépes programoknak az utóbbi években való rohamos fejlődése miatt lehetőségünk van arra, hogy a régebben körülményesnek ítélt számításokat is könnyedén megoldjuk és szemléltessük. A Maple programcsomag ezeket a grafikus eljárásokat modellezi is, ezzel a számításokat könnyen követhetővé, ellenőrizhetővé teszi. (A 4.14. ábra mutatja a Maple program grafikus ábrázolásában az egységnyi sugarú segédgömböt, a vizsgálósíkot, és a termikusan aktív felületek vetületeit.)

A vizsgált, tetszőleges méretekkel rendelkező helyiséget a Maple programcsomaggal modelleztük, és a helyiséget a termikusan aktív felületeivel együtt grafikusan meg tudjuk jeleníteni (4.15. ábra).



**4.14. ábra:** Az egységnyi sugarú kiegészítő gömb, a vizsgálósík, és a termikusan aktív felületek vetületei a Maple program grafikus ábrázolásában



**4.15. ábra:** A helyiség a termikusan aktív felületekkel, és a vizsgálósíkkal a Maple program grafikájával megjelenítve

A helyiség kívánt magasságában tetszőleges számú és távolságú pontokban a szerkesztéses eljárással meghatároztuk a besugárzási tényezőket nem csak az aktív, hanem az összes határoló felületre vonatkozóan. Az ellipszis-ívek miatt szükséges korrekció helyett a (2.7) egyenletet alkalmaztuk.

A program animációs lehetőséget biztosít, így a sugárzási aszimmetria kiszámolt értékeit a helyiségben az adott (z) magasságban, a P(x, y, z) vizsgálati pontokban - vagyis egy rácsháló metszéspontjaiban- meg tudjuk jeleníteni.

A programnak a besugárzási tényező meghatározására irányuló – a 2. fejezet 2.8. ábrán látható-szerkesztéses eljárásának a lépései:

1. A P, K1 és K2 pontokat tartalmazó,  $\bar{n}$  normálvektorú sík egyenletének felírása.
2. A P középpontú, egység sugarú gömb egyenletének meghatározása.
3. Az AP, BP, CP, EP, FP, GP, HP, JP egyenesek egyenleteinek felírása ( a meleg felület sarokpontjai: A, B, C, E, a hideg felületé: F, G, H, J).
4. A gömb és az egyenesek metszéspontjai adják A', B', C', E', F', G', H', J' vetületi pontok koordinátáit.
5. Az  $\bar{n}$  normálvektorú, A', B', C', ill. E' pontokon átmenő egyenesek egyenleteinek felírása.
6. A sík és az egyenesek metszéspontjai adják az A'', B'', C'', E'', F'', G'', H'', J'' vetületi pontokat.
7. A vetületi pontok által bezárt négyszög területének, és mindkét, termikusan aktív felület besugárzási tényezőjének meghatározása.
8. A többi helyiséghatároló felület besugárzási tényezőjének meghatározása az 1.-7. pontokban leírtak szerint.

A vizsgálósík minden esetben metszi és megosztja a hideg és meleg térfél között az oldalfalakat, a mennyezetet, és a padlót. Ezért a programfuttatás három „ágon” történik, attól függően, hogy a vizsgálósík a mennyezetet és a padlót, a mennyezetet és a hátsó oldalfalat, vagy két párhuzamos oldalfalat oszt meg a két féltérre.

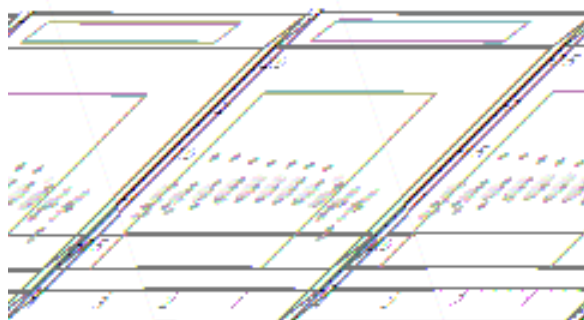
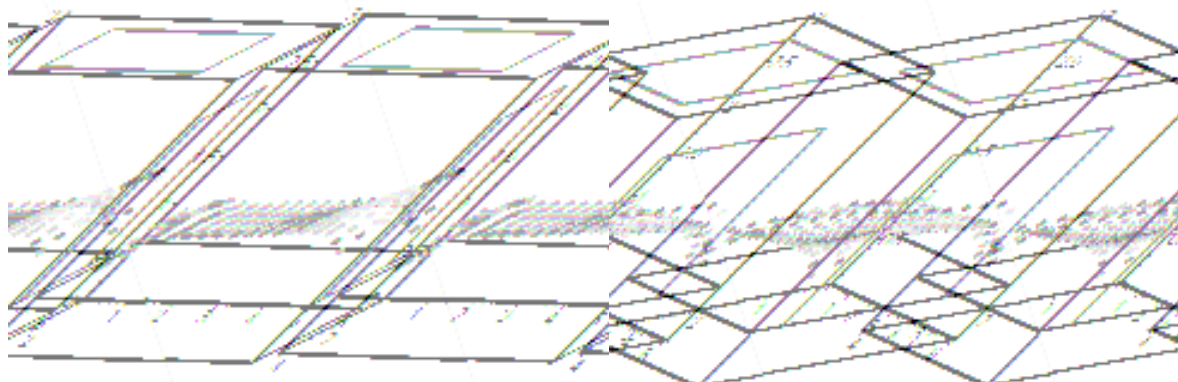
A program a besugárzási tényezők mindkét térfélre történő összegzése után azokat korrigálja a (2.7)-es egyenlet szerint. Végül kiszámolja a sugárzási hőmérsékletet és a sugárzási hőmérsékletaszimmetriát, és a térben ábrázolja azokat. Az ellipszisívek 2.10. ábra és a (2.19) egyenlet szerinti korrekcióját is elvégeztük egy esetben, de ez a sugárzási hőmérsékletaszimmetria számításának idejét jelentősen megnöveli, ugyanakkor az ellipsziskorrekcióval és anélküli esetben számolt végeredmények jelentős mértékben nem térnek el egymástól. Az összehasonlítást egy konkrét esetre a függelék F.4. pontja tartalmazza (F.4.3. ábra).

A gyakorlatban előforduló termikusan aktív felületek tipikus elhelyezkedése alapján három, Maple –nyelven íródott program készült el.

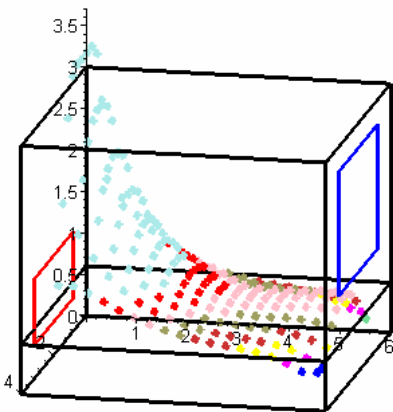
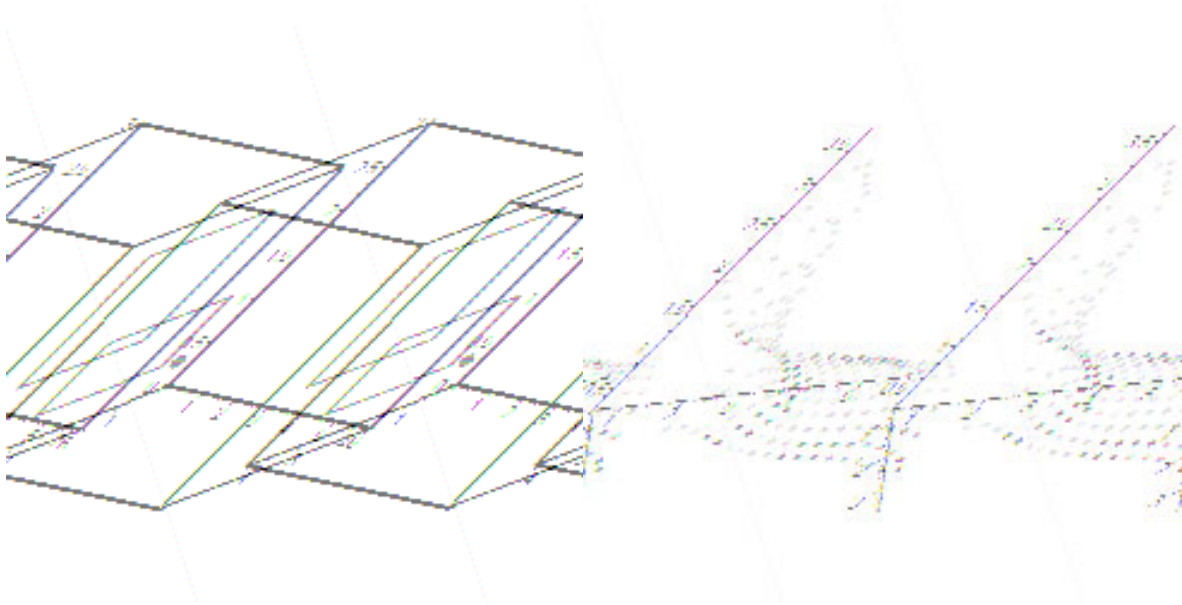
Az alapesetek, amelyekre tetszőleges méretű, nyolc sarokponttal rendelkező helyiségre vonatkozó, tetszőleges méretű két szélsőséges hőmérsékletű „hideg” és „meleg” felületekkel rendelkező helyiség esetén az aszimmetria értékeit a helyiség változó, (tetszés szerinti) magasságú síkjában szemléltetni tudjuk, a következők:

- **Az egymásra merőleges termikusan aktív felületek**, vagyis téli esetben meleg (fűtő) mennyezet és hideg ablak (4.16. ábra), vagy nyári esetben, a hideg (hűtő) mennyezet és meleg ablak.
- **Az egymással párhuzamos oldalfalakon** lévő termikusan aktív felületek, pl. téli esetben a hideg üvegfal, és vele szemben falfűtés (4.17. ábra).
- **Az egy síkban lévő termikusan aktív felületek** - ablak alatti radiátor esete (4.18. ábra).

Az elkészített Maple programok grafikus megjelenítése révén a helyiségben 30-50 cm-es osztástávolságú raszterhálóban mutatják a sugárzási hőmérsékletaszimmetria értékeit. A helyiség belső oldalfalainak hőmérséklete külön- külön megadható. A program grafikája tetszetős animációs lehetőséget biztosít a térben, a különböző helyzetekben a hőmérséklet-eloszlás megtekintésére, forgatására (4.14 - 4.18. ábra). A sugárzási hőmérsékletaszimmetria értékeit ábrázoló pontok csak léptékhelyesen vannak ábrázolva, a koordináta-rendszer a helyiség méreteit mutatja. Az azonos értéket elérő aszimmetriák azonos színnel vannak jelölve, így a programfuttatás végeredményeképpen kapott ábrákat a térben elforgatva világosan látszik a nem szimmetrikusan elhelyezkedő termikusan aktív felületek esetén az aszimmetria-mező azonos értékű pontjai.



**4.16. ábra:** A sugárzási hőmérséklet-aszimmetria ábrázolása a helyiségben 0,6 m magas síkban, egymásra merőleges termikusan aktív felületek esetén (fűtőmennyezet és hideg fal). A helyiség belső határoló felületeinek hőmérséklete egyenként megadható, ennél a modellnél azonos hőmérsékletűek.

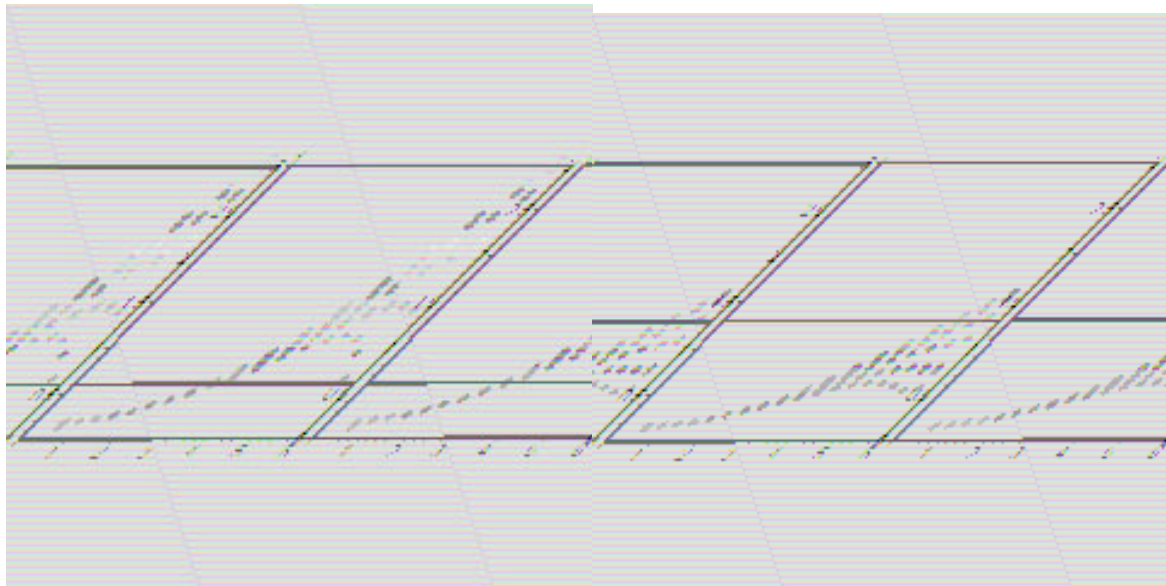


**4.17. ábra:** A sugárzási hőmérsékletaszimmetria – léptékhelyes – ábrázolása egymással párhuzamos termikusan aktív felületekkel rendelkező helyiségben  $h=0,6$  m magasságban ( $t_{\text{meleg}}=36$  °C,  $t_{\text{hideg}}=12$  °C, a mennyezet, padló és falak hőmérséklete 18 °C, a helyiség adatai: szélesség= 4 m, hosszúság= 6 m, magasság= 3 m).

Az aszimmetria számolt értékei a hely  $P(x,y,z)$  függvényében a Maple-program futtatásának eredményeiből:

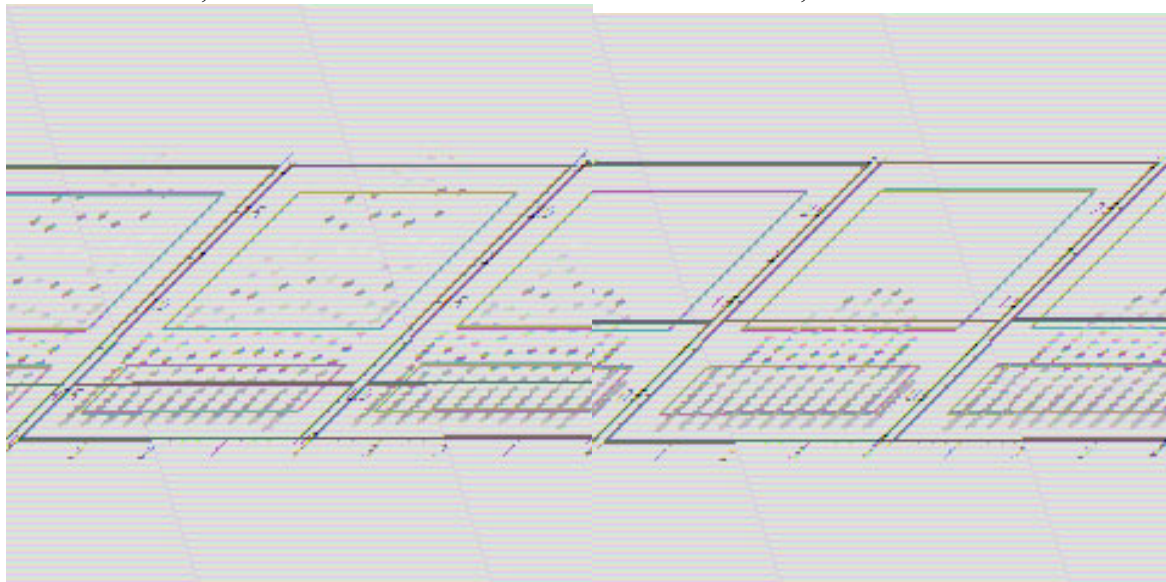
$dta[0.6, 0.6, 0.6, ] = 5.4345057$   
 $dta[1.2, 0.6, 0.6, ] = 10.4019668$   
 $dta[1.8, 0.6, 0.6, ] = 10.8604279$   
 $dta[2.4, 0.6, 0.6, ] = 10.8899376$   
 $dta[3.0, 0.6, 0.6, ] = 9.3421781$

$dta[0.9, 0.6, 0.6, ] = 8.5152414$   
 $dta[1.5, 0.6, 0.6, ] = 10.8764433$   
 $dta[2.1, 0.6, 0.6, ] = 10.8453446$   
 $dta[2.7, 0.6, 0.6, ] = 10.6691548$   
 $dta[3.3, 0.6, 0.6, ] = 6.4706462$



$h=0,6$  m

$h=1,3$  m



$h=0,6$  m

$h=1,3$  m

**4.18.ábra:** Az egyoldali sugárzási aszimmetria összehasonlítása a helyiségmodellben 0,6 m és 1,3 m magasan felvett vizsgálati síkban

**Adatok:** a helyiség méretei: 4,0 x 6,0 x 3,0 m; hőmérséklet: az ablak belső felületi hőmérséklete 12 °C; a radiátor felületi hőmérséklete 36 °C; a padló, mennyezet, és az oldalsó falak felületi hőmérséklete 18 °C.

Az ábrákon jól látható az aszimmetria értékeinek változása a 0,6, ill. 1,3 magasságban.

Ahhoz, hogy az új számítási módszert alkalmazni lehessen a megengedett aszimmetria meghatározására, szükséges a CR 1752 szabvány a sugárzási hőmérsékletaszimmetria megengedett értékeit tartalmazó (2.19.ábra) diagramját átdolgozni.



#### 4.5. A CR 1752 szerinti sugárzási aszimmetria megengedett határgörbéinek átszerkesztése az új számítási módszernek megfelelően

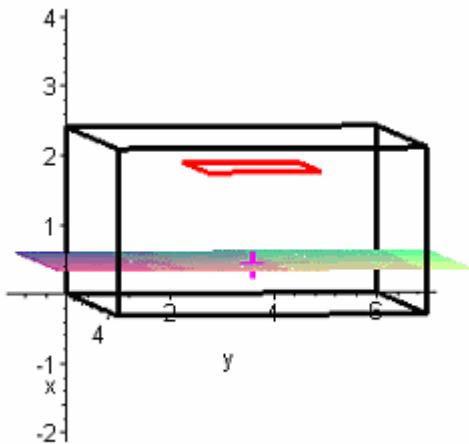
Az új számítási módszerrel kapott sugárzási hőmérsékletaszimmetria eredmények - a helyiséget két térfélre osztó vizsgálósík speciális felvétele, és a szerkesztéses eljárás alkalmazása révén - a eltérőek az eddigi gyakorlatban használt módszerek eredményeitől.

Az új számítási módszer gyakorlatban való alkalmazásához a meglévő, és a CR 1752: 2000 szabvány által (hideg, meleg fal és mennyezet esetére) közölt megengedett aszimmetria értékeket tartalmazó diagramot, az eredetileg elvégzett kísérletek adatainak feldolgozásával átszerkesztettem.

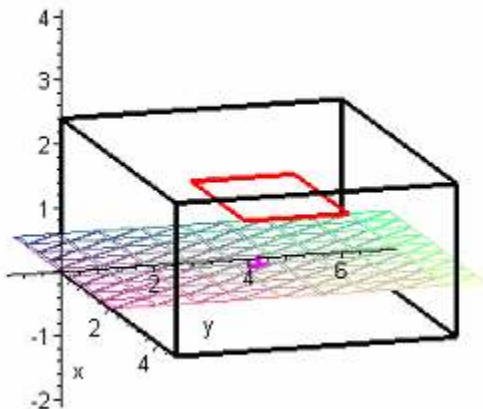
A négy alapesetre - a meleg mennyezet, hideg fal, hideg mennyezet, meleg fal - az irodalomban ismertett adatok alapján [Glück 1997] az új módszerrel (szerkesztéses eljárással) számított aszimmetria értékek a 4.5-4.8. táblázatban vannak összefoglalva az 1,6 m és 1,3 m magasságban felvett pontokra.

A táblázatok 2. és 3. oszlopa a fűtőpanel hőmérsékletét, illetve a környező falfelületek átlagos hőmérsékletét tartalmazza. A további oszlopokban alkalmazott indexek jelentése pedig a következő: fe = felületelem, k, a-f = kocka alsó és felső lapja; szerk.= szerkesztéses módszer.

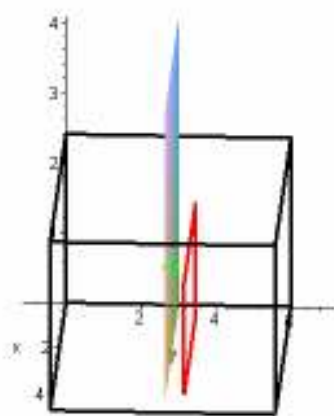
A vizsgált helyiségek modellje - a termikusan aktív felületekkel és az élőalanyok helyzetét jelölő vizsgálati pontot is tartalmazó vizsgálósíkkal - a Maple grafikáival a 4.19-4.21. ábrán láthatók.



**4.19. ábra:** A fűtőmennyezet megengedett hőmérsékletének megállapítása céljából végzett kísérleti elrendezés a vizsgálati síkkal, és a 0,6 m magasan levő vizsgálati ponttal, a Maple grafikai megjelenítésével



**4.20. ábra:** A hűtőmennyezet megengedett hőmérsékletének megállapítása céljából végzett kísérleti elrendezés a vizsgálati síkkal és a 0,6 m magasan levő vizsgálati ponttal, a Maple grafikai megjelenítésével



**4.21. ábra:** A fűtőfal és hűtőfal megengedett hőmérsékletének megállapítása céljából végzett kísérleti elrendezés a vizsgálati síkkal, és a 1,3 m magasan levő vizsgálati ponttal, a Maple grafikai megjelenítésével

**4.5. táblázat:** Fűtőmennyezet esetén az aszimmetria különböző módszerekkel számított értékei

	$t_M$	$t_{\text{levegő}} = t_{\text{padló}} = t_{\text{mennyezet}}$	$t_{\text{falak}}$	Magasság	$\Delta t_a$				PPD <sub>mért</sub>				
					/°C/								
					°C/	°C/	°C/	/m/	szerk.	felület- elem	elemi kocka		%
											felső-alsó lap*	Felső- és oldalsó lap	
Fej / egész test													
1.	34	24	24,2	0,6	<b>5,93</b>	4,5	-	-	0 / 6,3				
				1,3	<b>8,73</b>	-	7,6	5,5					
2.	43	23	23,4	0,6	<b>12,06</b>	9,2	-	-	12,5 / 25				
				1,3	<b>17,54</b>	-	15,4	11,0					
3.	52	22,3	22,9	0,6	<b>18,24</b>	14,1	-	-	25 / 43,8				
				1,3	<b>26,18</b>	-	23,1	16,3					
4.	63	21,4	22,2	0,6	<b>26,07</b>	20,4	-	-	56,3 / 75				
				1,3	<b>36,92</b>	-	32,7	22,7					
5.	69	20,6	21,5	0,6	<b>30,65</b>	23,6	-	-	62,5 / 68,8				
				1,3	<b>43,09</b>	-	38,2	26,4					

\* csak kiegészítésként szerepel a táblázatban, mivel az elemi kocka alsó oldallapját nem veszik figyelembe a sugárzási hőmérsékletaszimmetria számításánál

A helyiség mérete: 4,7 x 6 x 2,4 m      A kísérleti elrendezést a 2.23. és 4.19. ábra mutatja

A fűtőmennyezet kísérleténél mért adatoknál kiugróan magas a 4. mérésnél az egész testre vonatkozó PPD=75%-os értéke. Ez magasabb, mint az 5. mérésnél megállapított 68,8 %. A hűtőmennyezet eredményeinél viszont (4.6. táblázat utolsó oszlopa) csak az utolsó két mérésnél, a 3,9 °C, és a 0,8 °C hűtőfelület hőmérsékletnél mutatkozik a PPD=6,5 %-os elégedetlenségi arány, amely viszont mindkét esetben azonos. A határoló felületek hőmérséklete viszont 29 °C körüli mindkét esetben.



**4.6. táblázat:** Hűtőmennyezet esetén az aszimmetria különböző módszerekkel számított értékei

	$t_H$ /°C/	$t_{\text{levegő}}=$ $t_{\text{padló}}=$ $t_{\text{mennyezet}}$ /°C/	$t_{\text{falak}}$ /°C/	Magasság /m/	$\Delta t_a$ /°C/			PPD <sub>mért</sub> %
					szerk.	felület- elem	elemi kocka felső- és oldalsó lap	
				1,3	<b>7,13</b>	-	4,6	
2.	12,1	25,8	25,8	0,6	<b>8,12</b>	7,5	-	1
				1,3	<b>12,02</b>	-	7,8	
3.	7,9	27,2	27,2	0,6	<b>11,31</b>	10,5	-	1
				1,3	<b>16,87</b>	-	11,1	
4.	3,9	28,7	28,7	0,6	<b>14,35</b>	13,0	-	6,5
				1,3	<b>21,60</b>	-	14,4	
5.	0,8	29,7	29,7	0,6	<b>16,57</b>	15,0	-	6,5
				1,3	<b>25,09</b>	-	16,9	

A helyiség mérete : 4,7 x 6 x 2,4 m, a hűtőmennyezet u-alakját sík felülettel helyettesíttem, amely 1,8 m magas van.

A kísérleti elrendezést a 2.24. és 4.20. ábra mutatja

**4.7. táblázat:** Fűtőfal esetén az aszimmetria különböző módszerekkel számított értékei

	$t_H$ /°C/	$t_{\text{levegő}}=$ $t_{\text{falak}}=$ $t_{\text{padló}}=$ $t_{\text{mennyezet}}$ /°C/	Vizsgálati magasság /m/	$\Delta t_a$ /°C/			PPD <sub>mért</sub> %
				szerk.	felület- elem	elemi kocka	
			1,3	<b>8,63</b>	-	7,4	
2.	42,0	20,7	0,6	<b>19,91</b>	13,3	-	7
			1,3	<b>17,34</b>	-	14,9	
3.	51,6	19,3	0,6	<b>30,28</b>	20,7	-	12
			1,3	<b>26,54</b>	-	22,9	
4.	61,1	17,9	0,6	<b>40,61</b>	28,8	-	7
			1,3	<b>35,78</b>	-	31,0	
5.	70,1	16,7	0,6	<b>50,32</b>	35,1	-	12
			1,3	<b>44,55</b>	-	38,8	

A helyiség mérete : 4,7 x 6 x 2,4 m. A kísérleti elrendezést a 2.25. és 4.21. ábra mutatja.

**4.8. táblázat:** Hűtőfal esetén az aszimmetria különböző módszerekkel számított értékei

	$t_H$ /°C/	$t_{\text{levegő}}=$ $t_{\text{falak}}=$ $t_{\text{padló}}=$ $t_{\text{mennyezet}}$ /°C/	Vizsgálati magasság /m/	$\Delta t_{\text{aszimm}}$ /°C/			PPD <sub>mért</sub> %
				szerk.	felület- elem	elemi kocka	
1.	17,8	25,9	0,6	<b>7,49</b>	5,3	-	4
			1,3	<b>6,41</b>	-	5,4	
2.	13,3	27,1	0,6	<b>12,74</b>	8,6	-	1
			1,3	<b>10,85</b>	-	9,1	
3.	8,7	28,1	0,6	<b>17,87</b>	12,8	-	10
			1,3	<b>15,16</b>	-	12,7	
4.	4,1	29,0	0,6	<b>22,88</b>	16,6	-	30
			1,3	<b>19,32</b>	-	16,1	
5.	0,4	29,6	0,6	<b>26,77</b>	18,2	-	45
			1,3	<b>22,53</b>	-	18,7	

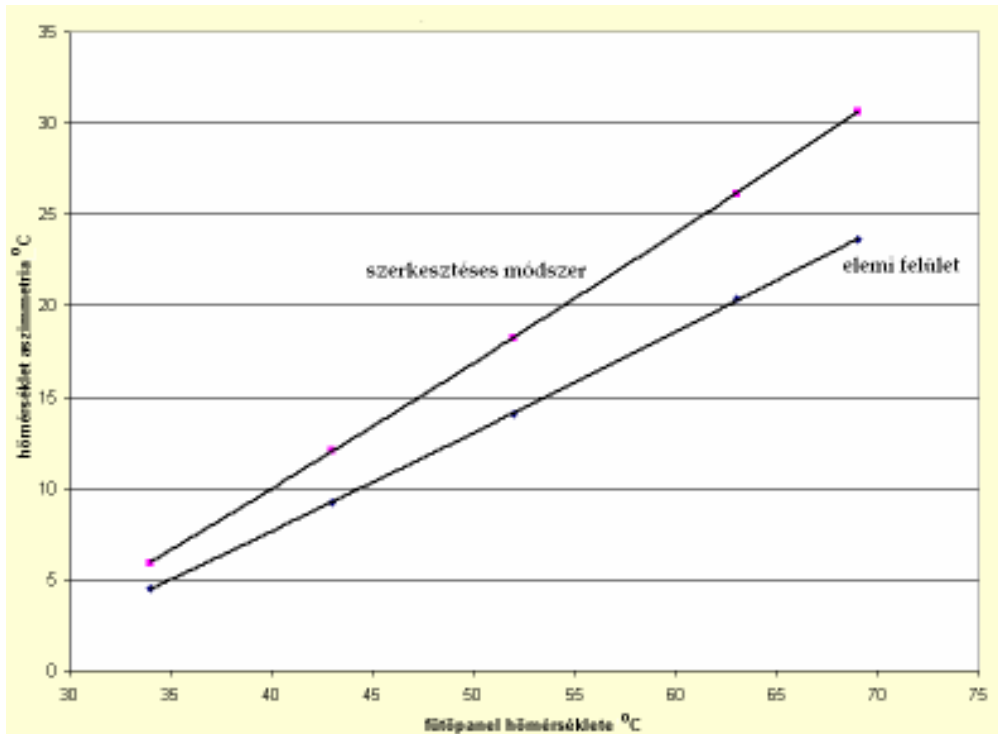
A helyiség mérete : 4,7 x 6 x 2,4 m. A kísérleti elrendezést a 2.25. és 4.21. ábra mutatja.

A helyiség egy termikusan aktív felülete esetén is eltérnek a sugárzási hőmérsékletaszimmetria új, szerkesztéses, és hagyományos módszerrel meghatározott értékei. Az eltérést a besugárzási tényezők számítási módjában való különbség okozza. A fűtőmennyezetre vonatkozó összehasonlítást mutatja a 4.22. ábra, felületelem vizsgálótest esetén. A 4.23. ábra az 1,3 m magasságban lévő elemi kocka, és felületelem vizsgálótestre vonatkozó sugárzási hőmérsékletaszimmetriákat ábrázolja ugyancsak fűtőmennyezetre.

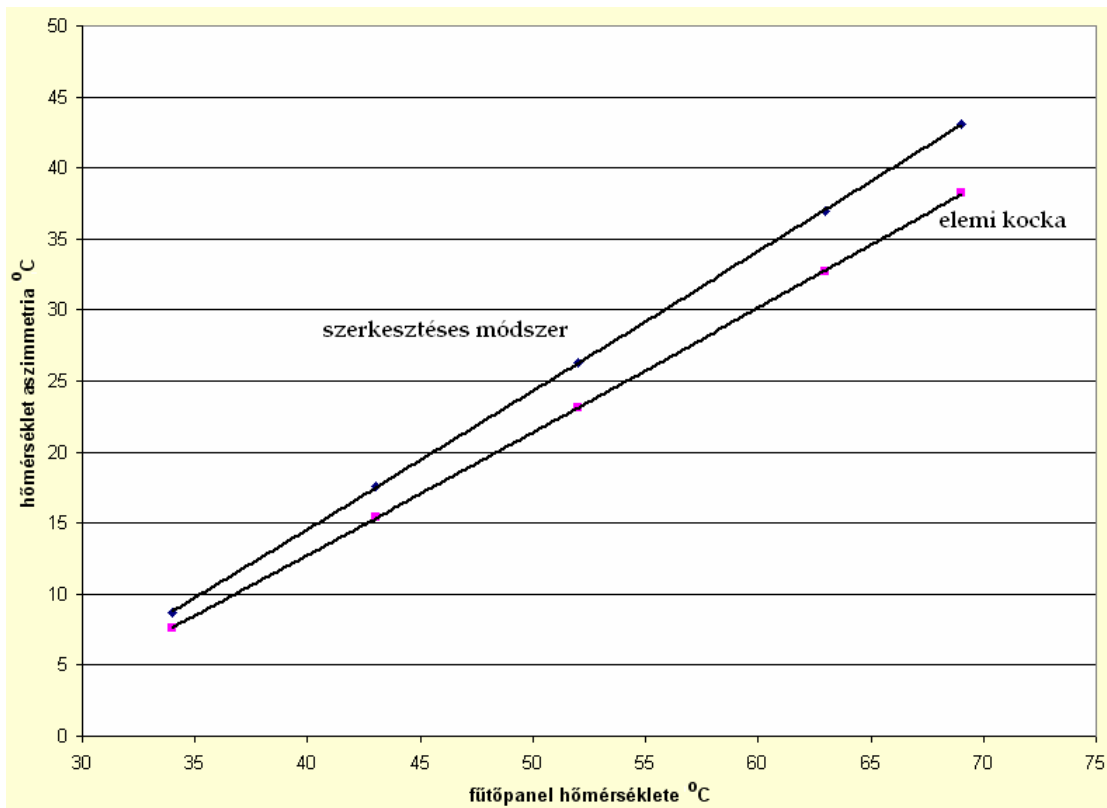
A táblázatokban szereplő mérési eredményeket (hasonlóan a 2.18. ábrához) diagramokban feldolgozva és összehasonlítva a CR 1752-ben rögzített megengedett aszimmetria értékeivel, megállapíthatók az eltérések.

Ezek az eltérések a kísérleteknél az élőalanyok különböző öltözetéből ( $I_{cl}$ ) és egyéb eltérések korrigálása révén adódtak. Különösen a hűtőmennyezet adatainak feldolgozásánál mutatkozott jelentősebb eltérés a táblázatokban szereplő mért adatok, és a CR 1752-ben közölt diagram görbéjének adatai között. Az eltérést szemlélteti a 4.24. ábra, amely alapján megállapított korrekciót alkalmaztam a hűtőmennyezetre vonatkozó, új megengedett határgörbe szerkesztésénél. (Az adott PPD értékeknél a két görbe közötti eltéréssel korrigáltam a szerkesztéses eljárással kapott határgörbét.)

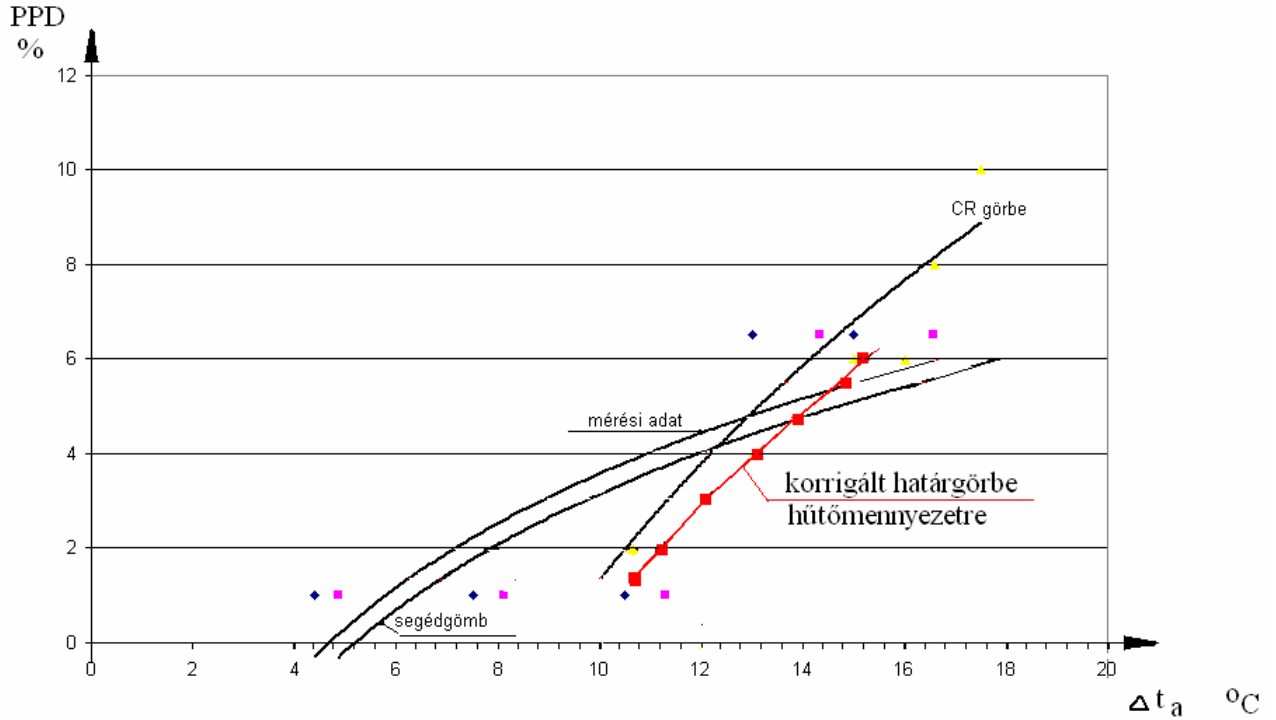
A korrekciónak megfelelő átszerkesztett, hűtőmennyezetre vonatkozó határgörbét is tartalmazza a 4.25. és 4.26. ábra.



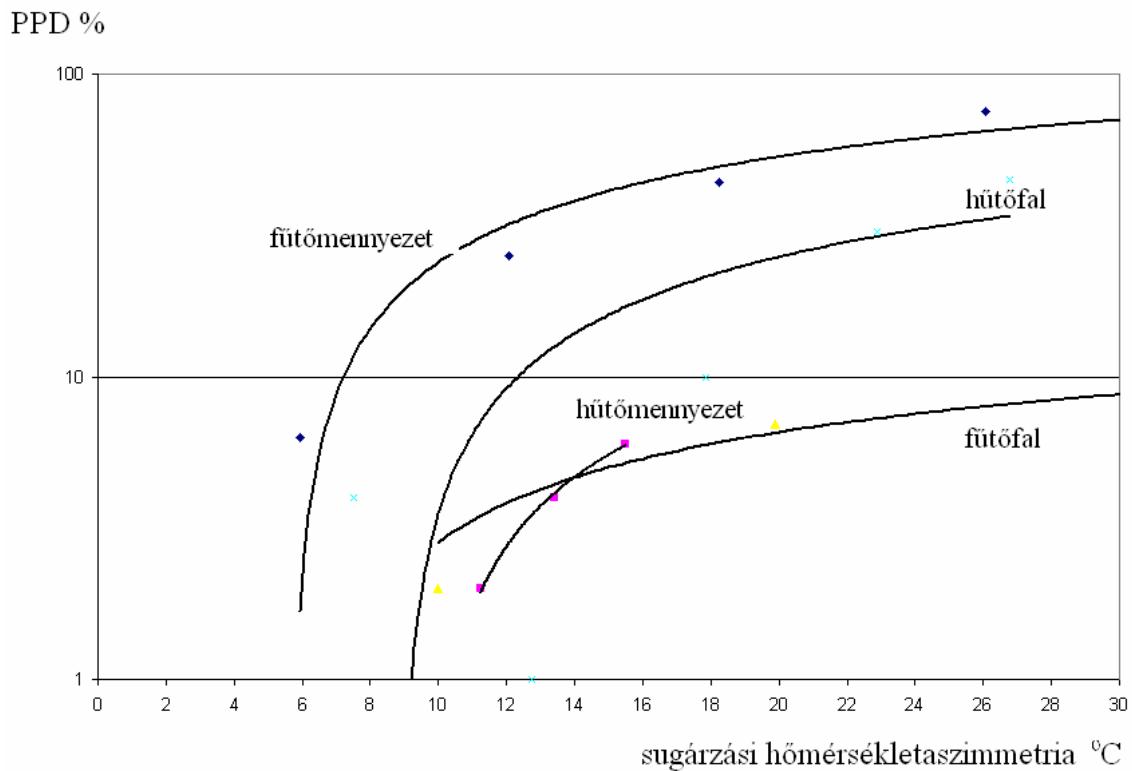
**4.22. ábra:** A sugárzási hőmérsékletaszimmetria  $h = 0,6$  m magasságban elhelyezett vizsgálatok és mennyezeti fűtőpanel esetén



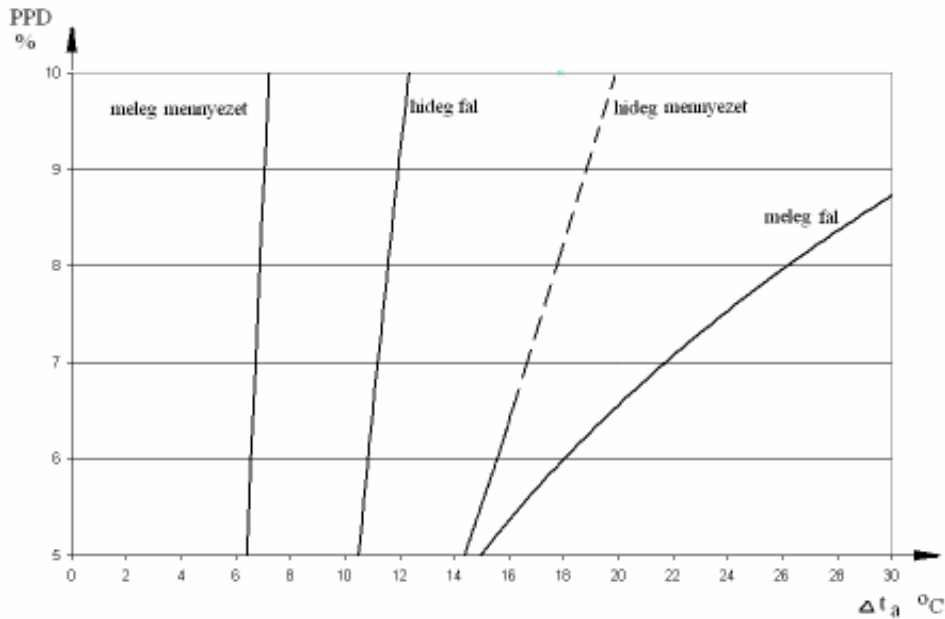
**4.23. ábra:** Sugárzási hőmérsékletaszimmetria  $h=1,3$  m magasságban elhelyezett vizsgálatok esetén



**4.24. ábra:** A hűtőmennyezet megengedett aszimmetria értékének megállapítására vonatkozó kísérlet eredményei: a CR 1752 szerint, a kísérlet mért adatai szerint, és a segédgömbbel történő szerkesztés megengedett görbéje



**4.25. ábra:** A sugárzási hőmérsékletaszimmetria megengedett értékei az új számítási módszerrel, a termikusan aktív felület elhelyezkedése függvényében



**4.26. ábra:** A sugárzási hőmérsékletaszimmetria megengedett értékei az új számítási módszer szerint a termikusan aktív felület fajtája függvényében (a hideg mennyezet szaggatott görbéje extrapolált)

A 4.25. és 2.19. ábrát összehasonlítva megállapítható, hogy a megengedett határgörbék lefutása a PPD=5 % és 10 %-os intervallumban többnyire azonos. A meleg mennyezetnél viszont nagyobb aszimmetria engedhető meg, mint a 2.19. ábra szerint, a meleg falra viszont kisebb a megengedett határérték. Az új aszimmetria-számítási módszer nagyobb aszimmetria értékeket eredményez, ezáltal a megengedett határértékeknek is nagyobbaknak kell lenni. Eltéréseket okoz még, hogy a mérési eredményeket különböző szempontok szerint korrigálták a 2.19. ábra megengedett határértékeinek megállapításánál, amelyeket egyrészt az operatív hőmérséklet 23-24 °C-ra való átszámítása, másrészt a ruházati paraméterek (pl. 0,5 clo) korrekciója szempontjából tartottak szükségesnek. Ezek a korrigálási módszerek (mivel az eljárások nem ismertek) figyelmen kívül maradtak, és csak a kísérlet eredményeinek a felhasználásával lettek az új görbék meghatározva (kivéve a hűtőmennyezetet). A hideg felületknél közel azonosak a PPD=5 %-nál a megengedett határértékek, a meleg fal esetén pedig kisebbek lettek (15 °C, a PPD=5 %-nál). A további korrekciót nem tartottam szükségesnek, mivel véleményem szerint az eredmények nem lesznek pontosabbak, biztosabban felhasználhatók. A gyakorlatban történő ellenőrzések szükségesek (hivatkozással a 2.6.1. pont kritikai megjegyzéseire és Wyon megállapításaira [Wyon 2003]).

#### 4.6. Az új módszer szerint átszerkesztett megengedett határgörbékre vonatkozó megállapítások

A sugárzási hőmérsékletaszimmetria megengedett értékeinek meghatározására szolgáló, az új módszer szerint megszerkesztett görbéknek egy logaritmusos ordinátával rendelkező közös diagramban való összefoglalását a 4.25. ábra, és az 5-10 % -os PPD értékkel rendelkező legérdekesebb komfortos tartományt kiemelve az 4.26. ábra mutatja, amelyek a következő különlegességeket mutatják:

- A görbék lefutása hasonló a szabványban közölt megengedett határgörbékhez.
- A 4.26. ábra diagramjai a fűtőfalat kivéve minden esetben nagyobb aszimmetriát enged meg, mint a hagyományos számítási módszer.
- A hideg mennyezet esetén a legnagyobb mért PPD-érték 6,5 %. A PPD = 6,5 %-on túl, az összehasonlíthatóság érdekében a görbét extrapoláltuk, amely az 4.26. ábrán szaggatottan jelölt görbeszakasz. A gyakorlati alkalmazásoknál ezek az aszimmetriaértékek nem fordulnak elő, hiszen a túl alacsony felületi hőmérsékletek a páralecsapódás elkerülése miatt nem engedhetők meg.
- Nem valószínű meleg fal esetén a  $\Delta t_a=30$  °C aszimmetria, hiszen ez nagyobb, mint 50 °C-os falhőmérsékletet jelentene.
- A meleg mennyezet és hideg fal határgörbéje nagyon meredek, nincs jelentős különbség a  $\Delta t_a$  értékeiben, az A és B, valamint a C épületminőségi kategóriánál (PPD 5 % és 10% ).

A PPD értékei arra engednek következtetni, hogy hőérzeti szempontból megfelelő a mennyezethűtés, ennek csak a páralecsapódás elkerülésére korlátozott hőmérséklet-különbség szab határt. A termikus betonfödémek alkalmazásának elterjedése betudható a kedvező hőérzetet biztosító kis aszimmetriát eredményező, nagyméretű, kis alulhűtéssel rendelkező felületek által kínált előnyöknek. Az A és B épületminőségi kategóriának megfelelő PPD=5 % és a C épületminőségi kategóriának megfelelő PPD=10 % értékekhez tartozó megengedett aszimmetria értékeket a 4.9. táblázat tartalmazza.

**4.9. táblázat:** A sugárzási hőmérsékletaszimmetria megengedett határértékei a különböző épületminőségi kategóriáknál az új szerkesztéses eljárás alapján alapuló módszer szerint

	$\Delta t_a$ °C	
	A és B PPD < 5 %	C PPD < 10 %
Meleg mennyezet	< <b>6,5</b>	< <b>7,0</b>
Hideg fal	< <b>10,5</b>	< <b>11,0</b>
Hideg mennyezet	< <b>14,5</b>	< <b>18*</b>
Meleg fal	< <b>15,0</b>	< <b>30</b>

\* - a gyakorlatban (a páralecsapódás elkerülése miatt) nem alkalmazható alacsony felületi hőmérsékleteket jelent

A sugárzási hőmérsékletaszimmetria értékének az új módszerrel történő meghatározása során levonható következtetések:

- a) A szerkesztéses eljárásra épülő módszer alkalmas a gyakorlatban egy helyiség kívánt számú pontjaiban a sugárzási hőmérsékletaszimmetria értékeinek meghatározására.
- b) A 4.22. és 4.23. ábra diagramjain jól látható, hogy a szerkesztéses módszerrel kapott  $\Delta t_a$ -értékek minden esetben néhány fokkal nagyobbak, mint az azonos magasságban elhelyezett felületelem illetve elemi kocka esetén. Fűtőpanel esetén a különbség annál nagyobb, minél nagyobb a fűtőpanel hőmérséklete.
- c) Az új módszer alkalmas a termikusan aktív felületek térben való szétválasztására az egy síkban lévő hideg és meleg felületek esetén is (4.11. és 4.18. ábra).

d) A számítások program segítségével elvégezhetők, és a végeredmény a grafikus megjelenítés révén könnyen értékelhető.

Az átszerkesztett határgörbék alkalmazásával a szerkesztéses módszerrel számolt, Maple-ban megírt program alkalmazható a tervezésnél a helyiségek egyik lokális diszkomfort-tényezőjének, a sugárzási hőmérsékletaszimmetriának a helyiségen belüli helyfüggő meghatározására.

#### 4.7. A sugárzási hőmérsékletaszimmetria számításának új módszerével elért eredmények

A sugárzási hőmérsékletaszimmetria számítására irányuló eljárások különbözőek, mind a vizsgálóelem, mint a besugárzási tényező számítási összefüggésének vonatkozásában. Az előírások szerinti vizsgálóelem az elemi felület, amelynek vízszintes vagy függőleges helyzetére számoljuk a sugárzási hőmérsékleteket. Ezért az aszimmetria számított értéke nem mindig a valóságnak megfelelő legnagyobb érték. Az esetén számítani tudjuk az egymásra merőleges oldallapok közötti sugárzási hőmérsékletaszimmetria értékét is, de ebben az esetben vannak olyan helyiségfelületek, amelyek a sugárzási hőmérsékletek számításában nem vesznek részt. Az elemi felület és az elemi kocka esetén kettőnél több sugárzási hőmérséklet kiszámítása szükséges, amely a számítások időigényét megnöveli. A harmadik vizsgálóelemként alkalmazott elemi gömb esetén a leghidegebb és legmelegebb felületeken túli helyiséghatároló felületek csak átlagértékekkel szerepelnek a gyakorlati számításokban. Mindezek miatt a sugárzási hőmérsékletaszimmetria meghatározására alkalmazott eddigi módszerek csak közelítő érvényűek.

A sugárzási hőmérsékletaszimmetria meghatározásának új módszerénél a vizsgálati pontban a két féltérrel elválasztó síkot úgy vesszük fel, hogy a termikusan aktív (leghidegebb és legmelegebb) felületek szétválasztva, azok minden esetben külön féltérben helyezkedjenek el. Ezt a követelményt úgy biztosítjuk, hogy a teret két féltérre osztó síkot három térbeli ponttal határozzuk meg, amelyek a két termikusan aktív felület sarokpontjait összekötő egyenesek közül a két legrövidebb szakasz felezőpontjai, a harmadik pont pedig a vizsgálati P pont. A vizsgálósíkban elhelyezkedő felületelemre szerkesztéses eljárást alkalmazunk a besugárzási tényező meghatározására, amely módszer két termikusan aktív (leghidegebb és legmelegebb) felület esetén pontosabb, nagyobb aszimmetria értéket szolgáltat. A számítás ideje lerövidül mivel nem szükséges a felületelem több helyzetére számolni a sugárzási hőmérsékleteket.

- A teret ily módon két féltérre osztó sík felvételével lehetőség nyílt az egy síkban elhelyezkedő hideg és meleg felületek esetén az „egyoldali sugárzási aszimmetria” számszerűsítésére, pl. ablak alatti radiátor esetén is. Az „egyoldali sugárzási aszimmetria” új definíció a helyiségek komfortjának meghatározásában, amelynek révén lehetőség nyílik a tartózkodási zóna külső faltól való távolságának kijelölésére.

- A sugárzási hőmérsékletaszimmetria megengedett határértékeit szolgáltató kísérletek eredményeit az új módszerrel feldolgozva, az eredményül kapott átszerkesztett határgörbék alkalmazhatók a tervezésnél.

- A sugárzási hőmérsékletek átlagaként kapott közepes sugárzási hőmérsékletet a komfort-diagramban felhasználva alkalmas módszert kapunk a helyiségek komfortkövetelményeinek meghatározására.

#### 4.8. Tézisek

**T.2.** A sugárzási hőmérsékletaszimmetria számítására irányuló eddigi eljárások csak közelítő érvényűek, a két félteret elválasztó sík kötött, függőleges vagy vízszintes helyzete miatt, illetve amiatt, hogy a gyakorlati számításokban a termikusan aktív felületeken kívüli helyiséghatároló felületek és hőmérsékleteik átlagértékekkel szerepelnek.

Kidolgoztam a sugárzási hőmérsékletaszimmetria meghatározására egy új, a valóságnak jobban megfelelő eredményt adó módszert, amelynél a vizsgálati pontban elhelyezkedő felületemnek a két félteret elválasztó síkja a termikusan aktív (leghidegebb és legmelegebb) felületeket minden esetben szétválasztja, és amely a besugárzási tényezőt szerkesztéses eljárással határozza meg.

**T.3.** Az aszimmetria számításának új módszere lehetővé teszi az egy síkban elhelyezkedő hideg és meleg felületek esetén az általam definiált „egyoldali sugárzási aszimmetria” számítását is, amely a helyiségek komfortjának egy további jellemző paramétere.



## 5. Az aszimmetria kutatás keretében elvégzett hőkomfortmérések

Az aszimmetrikus sugárzás figyelembevételére kidolgozott normaértékek nem elég pontosak. Ezek pontosítására a BMGE Épületgépészeti Tanszék hőérzeti laboratóriumában vizsgálatssorozatot végeztünk. A kutatás során kidolgozott új, komplex vizsgálati módszer hőtechnikai, fiziológiai és ergonómiai elemeket egyaránt tartalmaz.

A tervezéshez szükséges, szubjektív megítélésen alapuló hőérzeti paraméterek, a PMV-, és PPD értékek rögzítésén túlmenően a kutatás során vizsgáltuk a vérerek tágulatának, mint fiziológiai jellemzőnek a sugárzási aszimmetriával való összefüggését is.

Ehhez a vizsgálathoz fotopletizmográfot<sup>1</sup> alkalmaztunk, amely ennek az orvostudományban régóta használt készüléknek új területen való, újszerű alkalmazása a hőérzeti méretezést egy élettani mérőszámmal objektív alapokra helyezi.

A komfortmérések fő célja a pletizmográf hőérzeti értékeléseknél való alkalmazhatóságának kimutatása volt. A mérések az erre vonatkozó kutatás, a T/029854 témaszámú OTKA által támogatott program keretében 2003-ban végeztük el, amelyről részletes beszámoló, zárójelentés készült.

### 5.1. A mérések metodikája

Az aszimmetria hatásának vizsgálatához élőalanyos és műemberes méréseket végeztünk a hőérzeti laboratóriumban két mérési ütemben. Ezek során változtattuk a helyiség hőtechnikai paramétereit és a vizsgált személyek helyiségen belüli helyét, különböző ruházat felvétele mellett. A háromféle változó hatását rögzítettük a vizsgált személy illetve műember vonatkozásában, amely mérési eredményeket matematikai statisztikai módszerekkel dolgoztuk fel.

Az elvégzett feladatok a mérésekkel kapcsolatban:

- a mérésekhez szükséges új műszerek kidolgozása,
- az adatgyűjtési és feldolgozási módszer elkészítése,
- a mérési metodika kialakítása és kipróbálása,
- az összetartozó mérési paraméterek kiválasztása,
- komplex mérési metodika kipróbálása, ellenőrzése.

A fotopletizmográfos, újszerű élettani mérésekkel kapcsolatban:

- kidolgoztuk a mérési metodikát,
- meghatároztuk a metodika alkalmazásához szükséges határparamétereket,
- meghatároztuk a mérési eredmények értékelésének módszerét.

<sup>1</sup> A fotopletizmográf a vérnyomásmérésnél alkalmazott mérőeszköz. A perifériás erekben a pulzushullám a szív összehúzódásához, elernyedéséhez képest késleltetve jelenik meg. A késleltetés és az érzékelt hullám nagysága függ az érzékelés helyétől, a szívtől mért távolságától, az erek állapotától és a vérnyomástól is. A pulzus a vérnyomáshullám hatására az artériás vagy perifériás véredényrendszerben bekövetkező lokális térfogatváltozás által okozott érfal elmozdulás. Ezt az elmozdulást az idő függvényében pulzushullám formájában regisztrálhatjuk. Ahhoz, hogy ezt elektronikus mérőkörrel mérni tudjunk, át kell alakítani villamos jellé. Ezt a feladatot oldják meg a pulzusérzékelők, amelyek egyik fajtája a fotoelektromos átalakítók. Működési elve: ha hajszálerekkel teli szövetet átvilágítunk, akkor az áthaladó illetve visszavert fény intenzitása függ a hajszálerek vérrrel való telítettségétől, azaz, az átvilágított erek térfogatától. Az így kapott jelet fotopletizmográfos (PPG) jelnek hívjuk. A (PPG) jel egy adott helyen (csukló vagy ujjbegyen) történő mérésével megállapítható, mikor érkezik a pulzushullám erre a helyre.

Feltételezésünk szerint a (PPG) jel érzékeli a hideg hatására a vérerek összehúzódódását, illetve a meleg hatására a vérerek tágulatát is. A kísérleti személyt az aszimmetrikus sugárzás hatásának kitéve a jobb és bal felkarjára érzékelőt helyeztünk, és mértük a pulzushullámokat. A kapott eredmények, a pulzushullámok (csúcserkékeinek) összehasonlításából következtetni lehet a sugárzási aszimmetria hatására, illetve nagyságára. Ennek a feltételezésnek az igazolására végeztük el a fotopletizmográfos kísérleteket. Egy pulzushullám-összehasonlítást mutat az 5.2. ábra.

## 5.2. Az élőalanyos és műemberes mérések

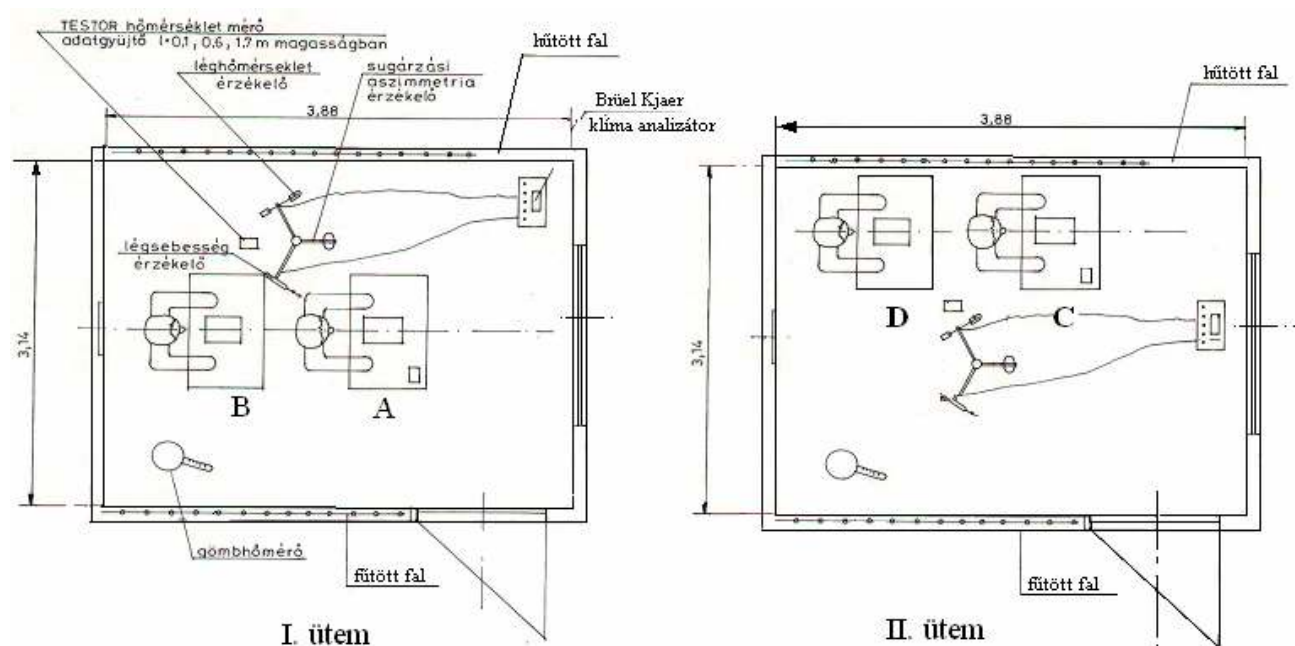
### 5.2.1. A hőérzeti laboratórium

A hőkomfortméréseket a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem I. Épületgépészeti Tanszékén kialakított laboratóriumban végeztük. A mérőszoba méretei: 3,88 x 3,14 x 2,6 méter, amely egy 5,85 x 6,6 méter alapterületű és 3,4 méter belmagasságú helyiségben lett kialakítva. A mérőszoba három oldalról kényelmesen körüljárható. Az eredetileg oktatási és főleg radiátorok vizsgálatának céljára létesített mérőszoba az elmúlt években jelentős átalakításokon ment keresztül, amely során a falak és a padló meleg illetve hideg vízzel, falhűtéssel, illetve falfűtéssel lettek ellátva. Így a mérőhelyiség egyes határoló szerkezetei igény szerint változóan hűthetőek, illetve fűthetőek. A hűtővíz legkisebb hőmérséklete 10 °C, a fűtővíz maximális hőmérséklete 90 °C. A falfűtéshez összesen 8 kW teljesítményű villamos fűtőegység van telepítve. A víz hőmérsékletek szabályozását DDC épületfelügyeleti rendszer segítségével végezzük. A természetes világítás biztosítására ablak lett a helyiségbe építve.

A mérőhelyiség alatti gépházban üzemel a központi légfűtő-hűtő egység, amely a szellőző levegő hőmérsékletét a tartózkodási zónában +16 °C, és +30 °C között tudja biztosítani. A mérőhelyiségbe a szellőző levegő bevezetése perforált álmennyezetten, elszívása a helyiség rövidebb oldalainak alján, a padlósíktól 300 mm-re szerelt légrácsokon keresztül történik.

A belső hőterhelés két fő kísérleti alany és a világítás hőleadását figyelembe véve maximum 1 kW, a fűtési hőigény pedig 2 kW. A szellőztető rendszer részben recirkuláltatott, a frisslevegő mennyiségét igény szerint a gépház szintjén lehet szabályozni. A frisslevegő mennyisége max. 120 m<sup>3</sup>/óra. A helyiségbe vezetett légmennyiség a helyiségben  $v = 0,003$  m/sec átlagsebességet eredményezett, a lokális, maximális légsebesség 0,2 m/sec alatt volt.

A hőérzeti laboratórium vázlatát az 5.1. ábra mutatja.



**5.1. ábra:** Az alanyok helyzete a hőérzeti laboratóriumban a két mérési ütemben. Az első ütemben a mérőalanyok a helyiség hossz tengelyében, a második ütemben a hideg fal melletti asztaloknál helyezkedtek el.

## 5.2.2. A mérések lefolytatása és változó paraméterei

Az élőalanyos, és a műemberes méréseknél ugyanazokat a paramétereket állítottuk be. A mérési ütemek és sorozatok összefoglaló táblázatát az 5.1. számú táblázat tartalmazza. A mérőalanyok száma az első mérési ütemben 12 fő, a másodikban 10 fő volt. A mérési körülmények részletes ismertetését a Függelék F.5. pontja tartalmazza

**5.1. táblázat:** A mérés körülményeinek változását összefoglaló táblázat

Mérési ütem	Méréssorozat száma (ülés)	Hely	Falhőmérsékletek különbsége $\Delta t_{fal}$ °C	Levegő hőmérséklete $t_{lev}$ °C	ruházat	Mérés jele
I.	1	<b>A</b>	8	20	Rövid ujjú	*111
	2	és	0	23	Rövid	*322
	3	<b>B</b>	8		ujjú ing	*122
	4		13		+mellény	*222
II.	5	<b>C</b>	8		h.ujjú ing	*123
	6	és	8		r.ujjú ing	*121
	7	<b>D</b>	0		h.ujjú ing	*323

\* - az 5.1. ábra szerinti mindkét vizsgálati helyre ( A és B, vagy C és D) vonatkozó adatot tartalmazó mérési eredmények

### A mérések lefolytatása

Az élőalanyos és műemberes méréseknél beállított paraméterváltozók:

- Az élőalanyok illetve a műember elhelyezkedése a hőérzeti laboratóriumon belül, amelyet „A”, „B”, „C” és „D”-vel jelöltünk. Az „A” és a „B” helyzetet a helyiség hossz tengelyében vettük fel, úgy, hogy a „B” helyzetben az élőalany és a műember a hátsó, semleges faltól mintegy 30 cm távolságban van. Az „A” helyzet pedig a helyiség középpontjában lett felvéve. A „C” és a „D” helyzetek a hűtött faltól oldalirányban kerültek felvételre, úgy hogy a „D” helyzetben levő élőalany illetve műember az előbbieknél megfelelően háttal ül a falnak, a „C” helyzetben levő élőalany illetve műember előtte foglal helyet. (Az első mérési ütemben a vizsgálatokat az „A” és „B” helyzetben, a második mérési ütemben pedig a „C” és a „D” helyzetben végeztük el.)
- Az egymással szemközi falak felületi hőmérsékletének különbsége, amelyet az első mérési sorozatnál 8, 13 és 0 °C-ra állítottunk be, a második méréssorozatnál 8 és 0 °C volt. A levegő hőmérsékletét az első méréssorozatnál 20 és 23 °C-ra állítottunk be oly módon, hogy a szemben lévő falfelületek hőmérsékletkülönbsége 8, illetve 13 °C legyen. A második mérési ütemben a léghőmérsékletet minden esetben 23 °C-ra állítottuk be.

A ruházat az első mérési ütemben, az első méréssorozatban (1.ülés) rövid ujjú ing, összes többi esetben rövid ujjú ing és mellény volt. A második mérési ütemben az öltözet rövid ujjú ing (6. ülés) és hosszú ujjú ing volt (5. és 7. ülés).

Az élőalanyos és a műemberes méréseknél eltérő változókat mértünk.

**Az élőalanyos méréseknél** 13 ponton mértük a bőrhőmérsékleteket, pletizmográfal mértük a bőrben lévő erek tágulatát. Az élőalanyokkal szubjektív hőmérséklet érzetet mérő tesztlapot töltettünk ki a mérés elején, mérés alatt és a mérés végén.

Az első méréssorozatban az aszimmetria koncentrációképessegre való hatásának vizsgálatához szövegjavítási feladatokat végeztettünk az alanyokkal.

A műemberes mérésnél mértük a műember egyes testrészeinek a hőleadását  $W/m^2$ -ben. A mérési adatok 1 perces időközökben lettek leolvasva és rögzítve, amelyeket számítógéppel dolgoztunk fel.

### 5.3. A vizsgálatok eredménye

Az élőalanyos mérésekből levonható megállapítások:

#### - A koncentrációképesseég vizsgálata

Az aszimmetrikus sugárzás hatása a koncentrációképessegre nem mutatható ki.

#### - Fiziológiai mérések

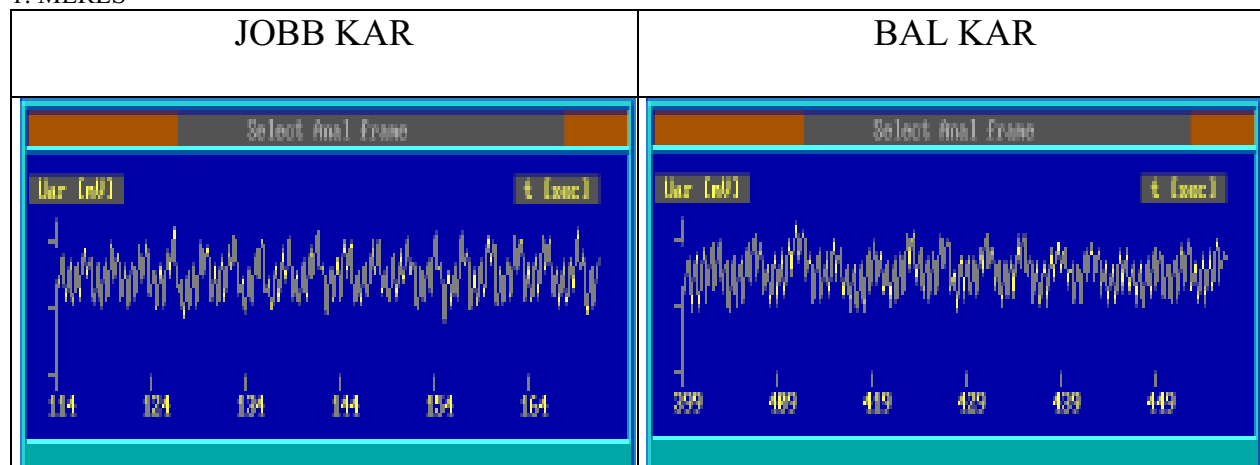
A lokális bőrhőmérsékletek és az aszimmetria értéke között szignifikáns kapcsolat van. A mérések során változó ruházati paraméterek miatt a páros testrészek bőrhőmérsékletei különbségére és a sugárzási aszimmetriára vonatkozó összefüggést nem találtunk. A vérerek tágulatának változása és az aszimmetrikus sugárzás között is kimutatható a kapcsolat. A pletizmográf mérési eredményeiből egy példát az 5.2. ábra szemléltet. Az ábra felső két képe a mérés elején, a jobb és bal felkaron mért pulzushullámokat mutatja, amelyek azonos csúcsokkal rendelkeznek. Az alsó két kép a mérés befejezésekor készült. Jól látható a bal felkar pulzushullámának a jobb felkar pulzushullámához viszonyított amplitúdó csökkenése, amely oka a hidegsugárzás hatására a bőrben lévő erek összehúzódása.

A korrelációs együtthatók szignifikancia vizsgálatának eredménye, hogy a bőrhőmérséklet különbségének változására legnagyobb hatással a felfelületek hőmérsékletkülönbségének van, azaz a sugárzási hőmérsékletaszimmetriának ( $\Delta t_a$ ), utána a ruházatnak.

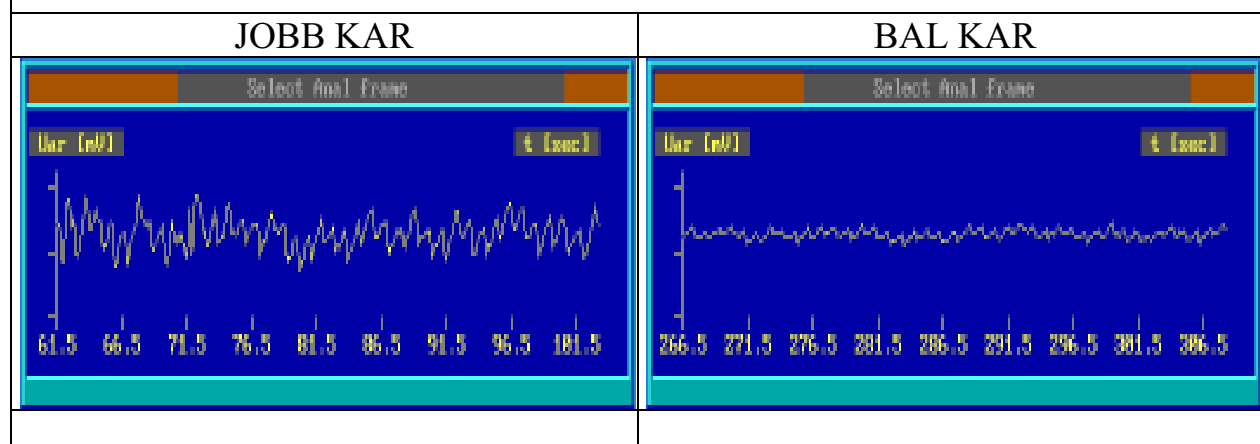
#### - Hőérzeti mérések

A hőérzeti kérdőívek feldolgozásának eredményét az 5.2., 5.3. és 5.4. táblázatok tartalmazzák. Az élőalanyok termikus környezetük megítélését, elégedettségét a különböző mérési esetekben a hőérzeti (PMV\*) értéket, és a válaszokból a tényleges PPD\*-t (a 0-tól eltérő válaszadók), az elégedetlenek arányát határoztuk meg. A mérés sorszáma az ülések elején (1), ülés közben (2), és az ülés végén (3). Ezeket összehasonlítottuk a helyiség paramétereivel a Fanger-féle komfortegyenletből (a közepes felületi hőmérséklettel) számolt PMV, és a hozzá tartozó PPD értékekkel (2.13. ábra).

## 1. MÉRÉS



## 3. MÉRÉS



**5.2. ábra:** Egy kísérleti alany pletizmogramjainak alakulása az aszimmetrikus radiáció hatására

Az ábrán látható, hogy az ülés 1. mérésénél (az ülés elején) a két kar pletizmogramja közel egyforma. Az ülés végére (3.mérés) a jobb és bal oldal között kifejezett különbség látható.

**5.2. táblázat:** A hőérzeti mérések eredményei az I. mérési ütemben

Mérés-sorozat (ülés)	$\Delta t_{fal}$ °C	$t_{lev}$ °C	Ruhá-zat $I_{cl}$ clo	Mérés sorszám	$t_{op}$ °C	Tesztlapok alapján		A helyiség hőtechnikai paramétereiből számolt	
						PMV* átlagos hőérzet	PPD* %	PMV	PPD %
1.	8	20	0,52	1	20,73	-0,5	58	<b>-1,24</b>	<b>38</b>
				2		-1,25	75		
				3		<b>-1,25</b>	<b>75</b>		
2.	0	23	0,64	1	22,71	0,42	50	<b>-0,62</b>	<b>13</b>
				2		-0,12	33		
				3		<b>-0,25</b>	<b>25</b>		
3.	8	23	0,64	1	22,56	0,25	41	<b>-0,74</b>	<b>18</b>
				2		-0,25	33		
				3		<b>-0,33</b>	<b>50</b>		
4.	13	23	0,64	1	23,52	0,33	41	<b>-0,6</b>	<b>12</b>
				2		-0,42	50		
				3		<b>-0,5</b>	<b>33</b>		

\* A helyiség hőtechnikai paramétereiből – a Fanger-féle PMV egyenletből- számolt és hozzá tartozó a PPD

**I. ütem:** a helyiség középnyalában levő mérőhelyek (2001).

**5.3. táblázat:** A hőérzeti mérések eredményei a II. mérési ütemnél

Mérés-sorozat (ülés)	$\Delta t_{fal}$ °C	$t_{lev}$ °C	Ruhá-zat $I_{cl}$ clo	Mérés sorszám	$t_{op}$ °C	Tesztlapok alapján		A helyiség hőtechnikai paramétereiből számolt	
						PMV* átlagos hőérzet	PPD* %	PMV	PPD %
5.	8	23	0,58	1	22,71	0	20	<b>-0,79</b>	<b>18</b>
				2		-0,6	50		
				3		<b>-0,8</b>	<b>60</b>		
6.	8	23	0,52	1	22,68	0	20	<b>-1,08</b>	<b>30</b>
				2		-0,7	60		
				3		<b>-1,0</b>	<b>80</b>		
7.	0	23	0,58	1	22,75	0,5	30	<b>-0,6</b>	<b>12</b>
				2		0,1	10		
				3		<b>0</b>	<b>20</b>		

- **II.ütem** : A hideg falhoz közel levő mérőhelyek (2002.)

Az 5.2. és 5.3 táblázatból látható, hogy a helyiség hőtechnikai paramétereinek alapján a Fanger-féle PMV egyenletből számolt PMV-érték, a hozzá tartozó PPD-k nem azonosak az élőalanyok válaszai alapján kapott értékekkel. Az aszimmetria hatásának tulajdonítható PPD és PMV változás értékei, az ülések alatti utolsó mérésre vonatkoztatva, az 5.4. táblázatban vannak összefoglalva.

#### 5.4. A vizsgálati eredmények kiértékelése

Az általános hőérzet értékelése, és az aszimmetria érzékelésének mértéke egymásra erős befolyással van, ezt az első sorozat (ülés) eredményei mutatják. A 20 °C-os levegőhőmérséklet ebben a (rövid ujjú) öltözetben korántsem biztosít komfortérzetet. Az élőalanyok hőérzeti értékelése -1,25, a semlegestől, 0-tól eltérő választ 75% adott. A helyiség hőtechnikai paramétereiből, a közepes felületi hőmérséklettel számolt  $PMV=-1,24$ , amelyhez  $PPD=38\%$  tartozik. Az aszimmetria hatásának tudható be a 37 %-os PPD növekedés, és az átlagos hőérzet 0,01 értékű csökkenése (5.4. táblázat).

A hideg fal miatt a hőérzeti érték csökkenése, és az elégedetlenek számának növekedése várható, így a mérésekből származó hőérzeti érték ( $PMV^*$ ), és az elégedetlenségi arány ( $PPD^*$ ) eltér a helyiségparaméterekkel számolt PMV és PPD értéktől. Ezért az 5.4. táblázatban rögzítettek a

$$\Delta PMV = PMV - PMV^*, \quad \Delta PPD = PPD^* - PPD \text{ értékei.}$$

Az aszimmetria nélküli mérési esetben ( $\Delta t_a=0$ ) a 2. ülés végén a  $\Delta PPD=12\%$ . ( $\Delta PPD$  : a tesztlapok értékelése alapján mérési eredményként kapott  $PPD^*=25\%$ , és a helyiség hőtechnikai paramétereiből számolt PMV-értékhez tartozó  $PPD=13\%$  értékeinek különbsége. Ez a  $\Delta PPD$  tulajdonítható az aszimmetrikus sugárzás hatásának.) A falak és a levegő hőmérséklete is 23 °C volt, ezáltal az operatív hőmérséklet is jelentősen megemelkedett, és nőtt az öltözetet jellemző paraméter, a mellény miatt,  $I_{cl}=0,52$  clo értékről  $I_{cl}=0,64$  clo értékre.

A hőérzeti átlag +1,0 értékkel nőtt, nagyobb értékkel, mint a helyiségparaméterekből számolt PMV-érték (0,62).

Ebben a (semleges) esetben a mérési alanyok nem az aszimmetriát értékelték válaszukkal, hanem a környezetnek, évszaknak nem megfelelő ruházatot. A megszokottól eltérő öltözet és az alanyok kis száma indokolja a 25 %-os elégedetlenségi arányt a 2. ülésnél.

Az 1. és 3. ülés eredményeit összehasonlítva az elégedetlenek számában 25 %-os különbség van, és közben a levegő hőmérsékletén kívül a ruházati paraméterek is változtak.

A 4. mérési sorozatnál, ahol a  $t_{op}=23,53$  °C mellett a PMV egyenletben a  $t_{ks}$  közepes sugárzási hőmérséklet nagyobb értéke miatt a  $PMV=-0,6$ , ez kissé nagyobb, mint a 2. ülésnél a  $PMV=-0,62$ . A válaszok alapján viszont az elégedetlenek aránya 33 %, a  $PPD=12\%$ -hez képest. Az aszimmetria miatt elégedetlenek aránya tehát 21 %.

Érdekes a 3. és 4. ülés eredményét összehasonlítani, amikor a fűtött fal miatt növekszik az aszimmetria értéke, a tesztlapok alapján a  $PPD^*$  értéke mégis csökken. A fűtött fal miatt a közepes sugárzási hőmérséklet is növekszik, amelynek következménye, hogy az operatív hőmérséklet is nő. A 4. ülésnél a  $PMV=-0,6$ , míg a 3. ülésnél  $-0,74$  volt. Ennek megfelelően az általános hőérzethez tartozó PPD érték a növekvő aszimmetria ellenére csökken ( $PPD=18$ -ról  $12\%$ -ra). Részletesen az 5.6. pontban foglalkozunk ezzel a kérdéssel.

A második ütemben a helyiség hűtött fala mellett a 8 °C-os falhőmérséklet-különbség esetén az elégedetlenek aránya 40 %-kal nőtt az aszimmetria következtében (5. és 7. ülés). A semleges esetben a PPD vártnál nagyobb értékét indokolhatja a fal közelsége, és a PPD szavazatok

létszámtól való függése. (1 fő szavazata → 10 %-os eltérés a PPD-ben). A hűtött fal melletti rövid ujjú (5. ülés) és hosszú ujjú ruházat (6. ülés) különbségét mutatja a PPD\*-k közti 20 %-os eltérés.

**5.4. táblázat:** Az élőalanyos mérések paramétereinek és eredményeinek összefoglaló táblázata

	Mérés-sorozat (ülés)	$\Delta t_{fal}$ °C	$t_{lev}$ °C	Ruházat $I_{cl}$ $clo$	$\Delta t_a$ °C	$t_{op}$ °C	Tesztlapok alapján		Az aszimmetria miatti változás	
							PMV* Hőérzeti válaszok	PPD* % Elégedetlenség	$\Delta PMV$ csökkenés	$\Delta PPD$ növekedés %
helyiség közepén	1.	8	23	0,52	3,9	20,73	-1,25	75	+0,01	37
	2.	0		0,64	-	22,71	-0,25	25	-0,37	12
	3.	8			3,9	22,56	-0,33	50	-0,41	32
	4.	13			6,5	23,52	-0,5	33	-0,1	21
hideg falnál	5.	8		0,58	6,6	22,71	-0,8	60	+0,01	42
	6.	8		0,52	6,6	22,68	-1,0	80	-0,08	50
	7.	0		0,58	-	22,75	0	20	-0,6	8

A táblázat eredményei is mutatják, hogy az aszimmetria önmagában az egész testre vonatkozó hőérzettől függetlenül nem értékelhető. A hűtött fal közvetlen közelében lezúduló természetes légáram hatását is tartalmazzák az 5. és 6. ülés PPD\*-értékei.

A mérésekből származó PMV\* (azaz a hőérzeti válaszok átlaga) és PPD\* értékei (a kellemes hőérzettől eltérő választ adók %-os aránya), tükrözik a nem komfortos körülményeket, az évszaknak nem megfelelő ruházatot.

**5.5. A sugárzási hőmérsékletaszimmetria új számítási módszerének alkalmazása a hőérzeti laborban elvégzett mérések eseteire**

Célszerű a sugárzási hőmérsékletaszimmetria számítására a 4. pontban ismertetett új módszert alkalmazni az élőalanyos mérési esetekre, azok falhőmérsékleteivel a Maple programot lefuttatni. A számításokat a léghőmérséklettől függetlenül összesen két falhőmérséklet-különbség ( $\Delta t_{fal}=8$  °C, és a  $\Delta t_{fal}=13$  °C) esetén kell elvégeznünk, a mivel a program nem tudja értékelni sem a ruházati paraméterek, sem a léghőmérséklet változásait.

A grafikus ábrázoláshoz az aszimmetria értékeket a helyiség 0,6 m magasságában 30x30 cm rácsközpontokban számoltuk ki, amely értékeket (ill. a nagy helyigény miatt azok egy részét) a 5.5. táblázat tartalmazza a P(x, y, z) koordináta függvényében. A helyiségmodellt az 5.3. ábra mutatja. Az aszimmetria-értékek térbeli eloszlását a 5.4. és 5.5. és 5.6. ábra mutatja különböző nézetekből.

A legnagyobb aszimmetria értéke mindkét esetben ugyanazon a ponton adódik.

$\Delta t_{fal}=8$  °C, -nál:  $dt_{a[1.5, 2.7, 0.6, ]=, 6.7693066$

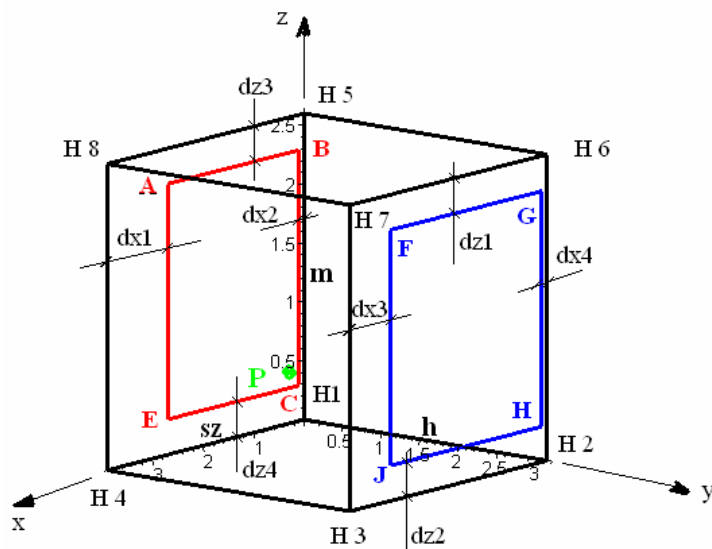
$\Delta t_{fal}=13$  °C- nál:  $dt_{a[1.5, 2.7, 0.6, ]=, 8.2151620$



A  $dta[1.5, 2.7, 0.6]$  jelenti a sugárzási hőmérsékletaszimmetriát a  $P[x=1.5, y=2.7, z=0.6]$  pontban.

Az aszimmetriák különbsége a két eset közötti  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os falhőmérséklet-különbségnél: 1,45 (=8,22-6,77). Ez azt jelenti, hogy a falhőmérsékletek különbsége  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal nőtt, az aszimmetria viszont csak  $1,45\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal.

Az eredményül kapott ábrák nagyon jól szemléltetik az aszimmetria hely függvényében történő változását.



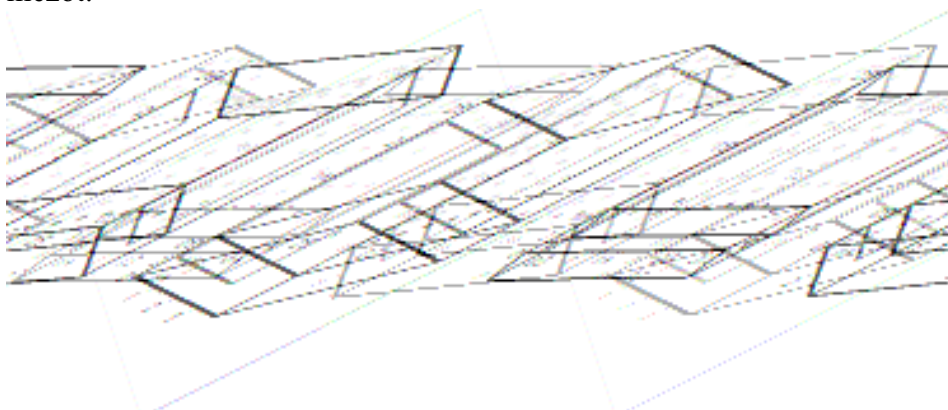
**5.3. ábra:** A hőérzeti labor modellje az aktív felületek pontjainak és egy P jelű vizsgálati pont bejelölésével

**5.5. táblázat:** A sugárzási hőmérsékletaszimmetria helyfüggő értékei, a hőérzeti laboratórium különböző falhőmérsékletei esetén (részlet a F.5.7. -ből)

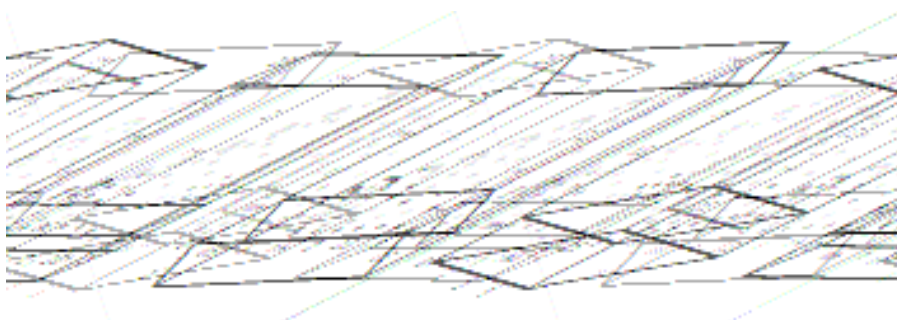
$\Delta t_{\text{fal}} = 8\text{ }^{\circ}\text{C},$	$\Delta t_{\text{fal}} = 13\text{ }^{\circ}\text{C},$
$dta[0.6, 0.6, 0.6, J] = 2.5835668$	$dta[0.6, 0.6, 0.6, J] = 6.5131026$
$dta[0.9, 0.6, 0.6, J] = 2.6715785$	$dta[0.9, 0.6, 0.6, J] = 6.7966878$
$dta[1.2, 0.6, 0.6, J] = 2.7613034$	$dta[1.2, 0.6, 0.6, J] = 6.9916861$
$dta[1.5, 0.6, 0.6, J] = 2.8108108$	$dta[1.5, 0.6, 0.6, J] = 7.0756524$
$dta[1.8, 0.6, 0.6, J] = 2.8000540$	$dta[1.8, 0.6, 0.6, J] = 7.0117624$
$dta[2.1, 0.6, 0.6, J] = 2.7227542$	$dta[2.1, 0.6, 0.6, J] = 6.7282728$
$dta[2.4, 0.6, 0.6, J] = 2.5847895$	$dta[2.4, 0.6, 0.6, J] = 6.1002490$
$dta[2.7, 0.6, 0.6, J] = 2.4035801$	$dta[2.7, 0.6, 0.6, J] = 5.0624142$
$dta[3.0, 0.6, 0.6, J] = 2.2076068$	$dta[3.0, 0.6, 0.6, J] = 3.9358866$
$dta[3.3, 0.6, 0.6, J] = 2.0396061$	$dta[3.3, 0.6, 0.6, J] = 3.1232403$
. . . . stb.	. . . . stb.

$dta[0.6, 0.6, 0.6, J] \rightarrow \Delta t_a(x, y, z)$

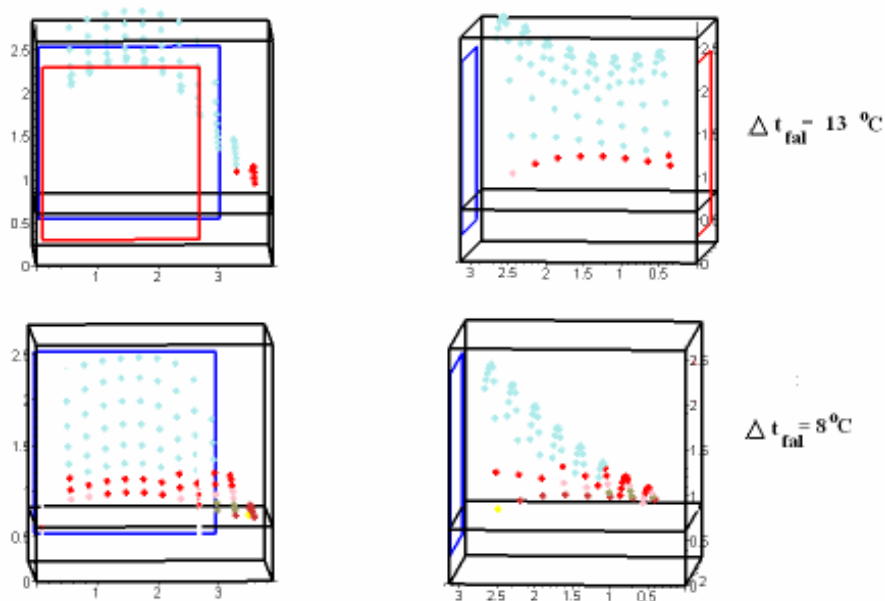
Az 5.4.-5.6. ábrákon a helyiségmodell látható a hideg és meleg felületekkel, és hatásuk, a sugárzási hőmérsékletaszimmetria, amelyet a helyiségben a 0,6 m magasságban felvett és jelölt vizsgálati síkjában ábrázoltunk. Az aszimmetria számítási eredményeit a Maple-program grafikája segítségével jeleníti meg, a három-három egymáshoz képest elforgatott helyiség-modellben, mutatva a térbeli elforgatás (3D) előnyei. Az ábra segítségével könnyen megállapítható a laboratóriumban kialakuló legnagyobb aszimmetriák, és helyük, a csak hűtött fal ( $\Delta t_{\text{fal}} = 8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ), illetve hűtött és fűtött fal ( $\Delta t_{\text{fal}} = 13 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) egyidejű jelenléte esetén. Az 5.4. ábrán jól látható, hogy az aszimmetria a hideg fal, és a meleg fal mellett is jelentős értékű. Az 5.5. ábrán szemléltetett esethez viszonyítva, a helyiség középvonalaiban nagyobb aszimmetria-értékek alakulnak ki. Az 5.6. ábra mutatja azonos nézetekből a két aszimmetria-mezőt.



**5.4. ábra:** Az aszimmetria-értékek térbeli eloszlását mutató nézetek a  $\Delta t_{\text{fal}} = 13 \text{ }^{\circ}\text{C}$  esetén



**5.5. ábra:** Az aszimmetria-értékek térbeli eloszlását mutató nézetek a  $\Delta t_{\text{fal}} = 8 \text{ }^{\circ}\text{C}$  esetén



**5.6. ábra:** Az aszimmetria-értékek térbeli eloszlásának összehasonlítása a  $\Delta t_{\text{fal}} = 13 \text{ }^{\circ}\text{C}$  és  $\Delta t_{\text{fal}} = 8 \text{ }^{\circ}\text{C}$  esetén

## 5.6. A hideg-, és meleg-aszimmetria szerinti értékelés

Az aszimmetria helyiségen belüli eloszlásának, értékeinek ismerete mellett mégsem egyszerű az értékelés, hiszen az 2.19. ábra görbéi szerint másképp értékeljük a meleg oldalfal esetén az aszimmetriát, mint hideg fal esetén. Meleg (fűtő-) falnál nagyobb aszimmetria értékeket engedhetünk meg, mint hideg fal esetén, ugyanakkora PPD mellett. Azokban az esetekben, amikor a helyiségen belül két termikusan aktív (hideg és meleg) felület van kérdéses, hogy mikor értékelhetünk meleg-aszimmetria, vagy hideg-aszimmetria szerint.

Feltételezésem szerint az aszimmetria és az operatív hőmérséklet viszonya fogja eldönteni, hogy az értékelést meleg falként, vagy hideg falként kell elvégezni. A helyiség operatív hőmérséklete és a közepes sugárzási hőmérséklet közti összefüggés:

$$t_{op} \cong \frac{t_{ks} + t_{lev}}{2} \quad (5.1)$$

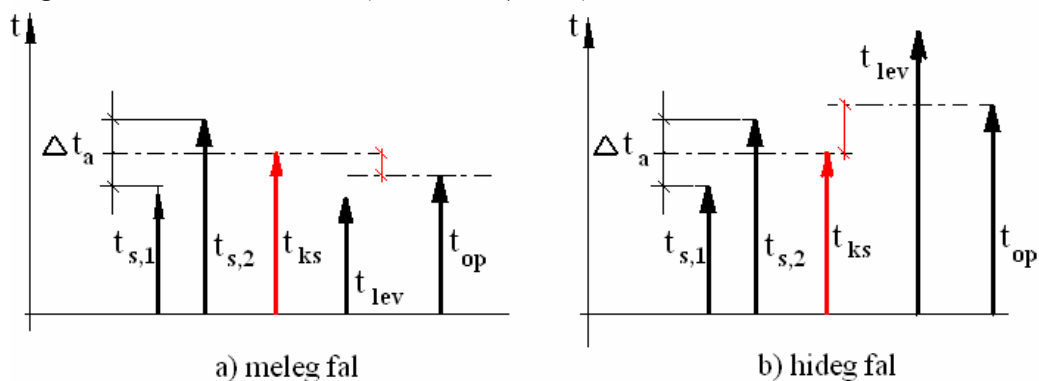
A hőmérsékletaszimmetria pedig:

$$\Delta t_a = |t_{sug,2} - t_{sug,1}| \quad (5.2)$$

Egyszerűsítő feltétel, ha a két (a felületelemre számolt) sugárzási hőmérséklet  $t_{sug,1}$  és  $t_{sug,2}$  átlagaként értelmezzük az egész térre jellemző sugárzási hőmérsékletet.<sup>2)</sup>

$$t_{ks} \cong \frac{t_{sug,1} + t_{sug,2}}{2} \quad (5.3)$$

Feltevésém szerint meleg felület okozta aszimmetriaként értékelhetünk, ha az operatív hőmérséklet ( $t_{op}$ ) közelebb van a hideg térfél sugárzási hőmérsékletéhez (5.7. ábra: a) esete). Hideg felületként végezzük a minősítést, ha az operatív hőmérséklet közelebb van a meleg térfél sugárzási hőmérsékletéhez (5.7. ábra b) esete).



## 5.7. ábra: A helyiség hőmérsékletviszonyainak szemléltetése

Ennek alapján az értékelést meleg felület által okozott aszimmetriaként végezzük, ha:

$$|t_{op} - t_{sug,hideg}| < |t_{op} - t_{sug,meleg}|. \quad (5.4)$$

<sup>2)</sup> Az adott pontban az egész térre vonatkozó sugárzási hőmérséklet számításánál a vizsgálóelem elemi gömb. Ez a besugárzási tényező számításában jelent különbséget, mivel a felületelemnél a felületelem normálisa és -a felületelem valamint vizsgált felület középpontját összekötő- egyenes által bezárt szög, a  $\beta_1$  cosinusa is szerepel (a (2.8) és (2.12) egyenletek alapján).

Az értékelést hideg felület által okozott aszimmetriaként végezzük, ha:

$$\left| t_{op} - t_{sug,hi\ deg} \right| > \left| t_{op} - t_{sug,meleg} \right|. \quad (5.5)$$

Egyszerűbb értékelést tesz lehetővé az operatív hőmérséklet és a közepes sugárzási hőmérséklet összehasonlítása, amely szerint:

$t_{ks} > t_{op}$  esetén meleg-aszimmetria,

$t_{ks} < t_{op}$  esetén, pedig hideg-aszimmetria szerint kell az értékelést végeznünk.

Az aszimmetria új módszer szerint számított értékei az élőalanyok ülőhelyein (az F.5.6. táblázat alapján):

$$\Delta t_{fal} = 8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{fal} = 13 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ esetén:}$$

A helyen:

$$dta[, 2.1, 1.5, 0.6, J=, 4.0225558$$

$$dta[, 2.1, 1.5, 0.6, J=, 6.4997376$$

B helyen:

$$dta[, 0.9, 1.5, 0.6, J=, 3.8345728$$

$$dta[, 0.9, 1.5, 0.6, J=, 6.4306985$$

C \*helyen:

$$dta[, 2.1, 2.7, 0.6, J=, 6.7724829$$

D\* helyen:

$$dta[, 0.6, 2.7, 0.6, J=, 6.3285143$$

\* A  $\Delta t_{fal} = 13 \text{ } ^\circ\text{C}$  esetén nem végeztünk méréseket a C és D helyen.

Az aszimmetriák átlagos értéke:

$\Delta t_{fal} = 8 \text{ } ^\circ\text{C}$  esetén a helyiség középvezetében:  $3,9 \text{ } ^\circ\text{C}$ , a hideg fal mellett:  $6,6 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

$\Delta t_{fal} = 13 \text{ } ^\circ\text{C}$  esetén\* a helyiség középvezetében:  $6,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Mindkét esetben az aszimmetriát a hideg fal szerint minősítjük, amelyre a megengedett aszimmetria az A és B épületminőségi kategóriára  $\Delta t_a = 10,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ . A számított aszimmetria értékek nem haladják meg egyik esetben sem a  $PPD = 5\%$  -ra megállapított megengedett határértékeket (4.9. táblázat). Az 5.2. és 5.3. táblázatok az élőalanyok hőkomfortra vonatkozó válaszait is tartalmazzák, amely szerint a mérésekből származó  $PPD^*$  értékek a megengedett  $PPD = 5\%$ , illetve  $10\%$ -os értéket minden esetben jóval meghaladják.

A tesztlapok alapján a mérésekből és az új számítási módszer mérési körülményekre való alkalmazásából levonható fontosabb következtetések:

1. A sugárzási hőmérsékletaszimmetria kedvezőtlen hatását az alanyok kevésbé észlelik, ha az általános (egész testre vonatkozó) hőkomfort követelményei nincsenek biztosítva. Az aszimmetria hatását vizsgálni csak az általános hőkomfort „érzése” mellett lehet, vagyis abban az esetben, amikor az egész testre vonatkozó PMV érték semleges „0”, vagy legalább a kategóriának megfelelő határok között van.
2. Az aszimmetria értékeléséhez az operatív hőmérséklet ismerete szükséges.
3. A helyiségen belül minden pontban változnak (a hideg és meleg térfélre) a sugárzási hőmérsékletek, a közepes sugárzási hőmérséklet, és az operatív hőmérséklet.
4. A sugárzási hőmérsékletek hatással vannak az általános hőérzetre is a közepes sugárzási hőmérséklet révén, valamint hatással vannak a többi diszkomforttényezőre.

5. Az élőalanyok válaszaiból megállapított PPD\*-k jóval meghaladják (a függelék F.5.5. diagramján bejelölt) kategória határokat amely alapján levonható következtetés, hogy az adott helyiségre a komfort biztosításához nem engedhető meg a  $\Delta t_{fal} = 8 \text{ }^\circ\text{C}$ . Ez a falhőmérséklet-különbség a hűtött faltól való távolságtól, vagyis az alanyok helyzetétől függően  $\Delta t_a = 3,9 \text{ }^\circ\text{C}$ , illetve  $6,6 \text{ }^\circ\text{C}$  aszimmetriát okoz. Ezeket az értékek összehasonlítva a megengedett határértékekkel, jelen esetre megállapítható, hogy a határérték tervezésnél való figyelembevétele nem volna megfelelő, ennél jóval szigorúbb határértékek szükségesek az aszimmetriára vonatkozó  $\text{PPD} < 5 \%$ , illetve  $\text{PPD} < 10 \%$  követelmény biztosításához.

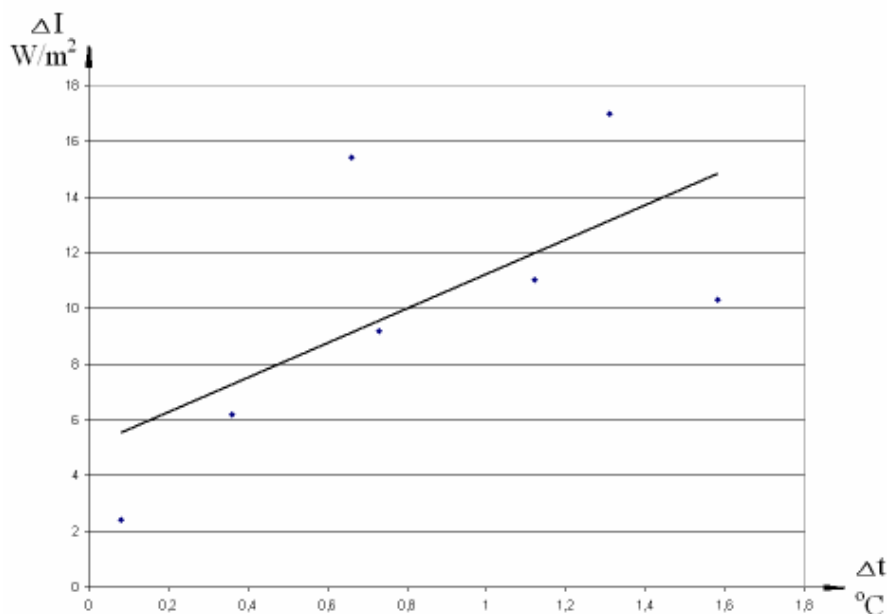
### 5.7. Az élőalanyos és műemberes mérések eredményeinek összehasonlítása

A Függelék F.5.7. táblázatában összefoglalt eredményeket diagramban feldolgozva mutatjuk be az aszimmetria hatására az élőalanyos mérések bőrhőmérsékletei és a műember testrészeinek hőleadása közötti összehasonlítást. Az élőalanyok páros (felkar, alkar és kéz) testrészein mért bőrhőmérsékletek különbsége, a műember páros testrészein a hőleadások különbségét, azok összefüggését mutatja az 5.8., 5.9. és 5.10. ábra.

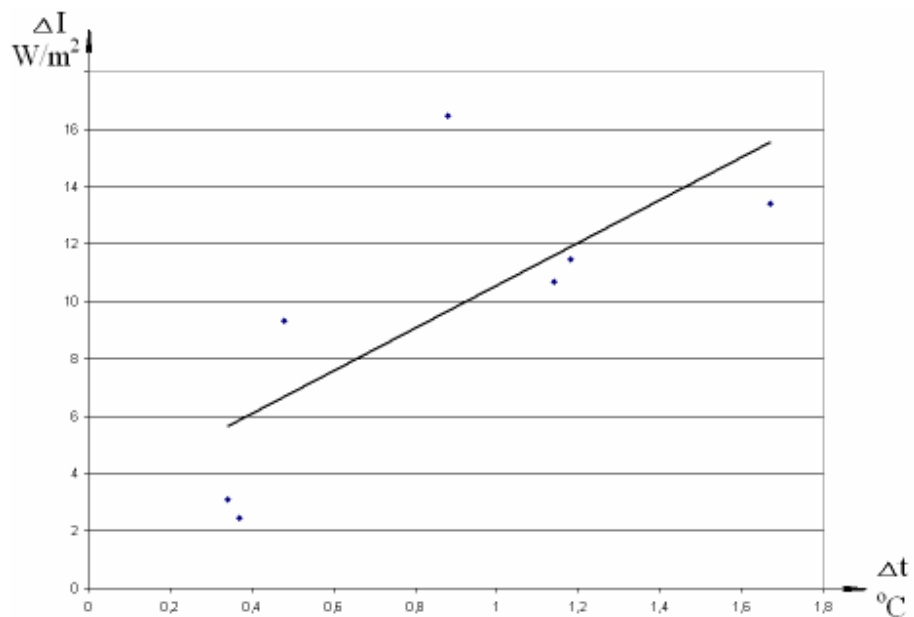
Az 5.11. és 5.12. ábra a bőrhőmérsékletek különbségét, a műember  $\Delta I$  hőleadás-intenzitás különbség és az 5.4 táblázatban feltüntetett  $\Delta \text{PPD} \cong \text{PPD}_a$  az aszimmetria hatása miatti PPD-változás közti kapcsolatot mutatja.

Az ábrákról kitűnik a  $\Delta t$  és  $\Delta I$  értékek közti kapcsolat, amelyet azonban megzavar az a tény, hogy a mérés körülményei (ruházat, léghőmérséklet, besugárzási tényező - a helyváltoztatás révén) nem azonosak, nem állandóak a mérések során.

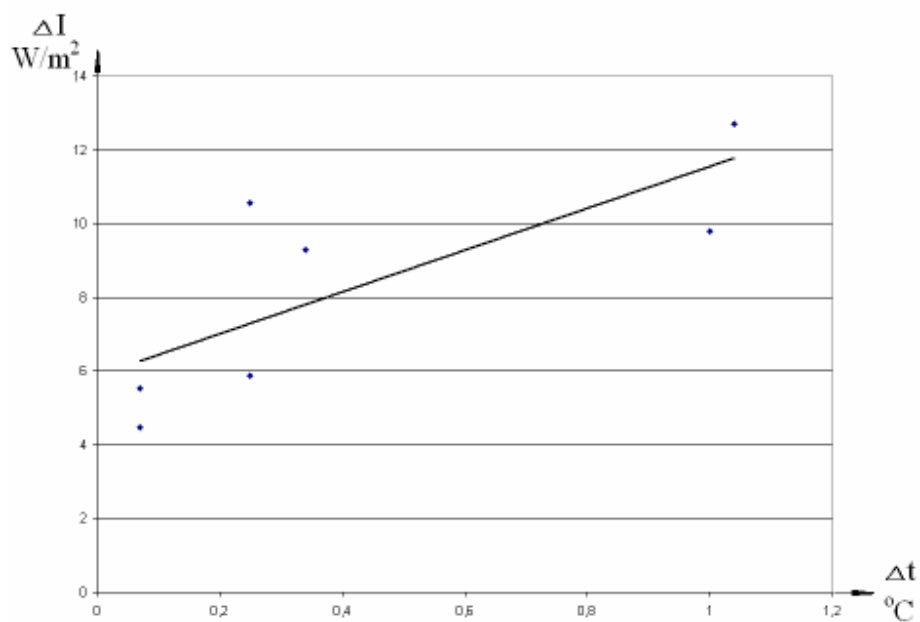
Az 5.11. ábra alapján megállapítható, hogy a felkar bőrhőmérséklet-különbsége nem befolyásolja olyan mértékben a  $\text{PPD}_a$ -t, mint az alkar, vagy kézfej esetén a bőrhőmérséklet-különbség.



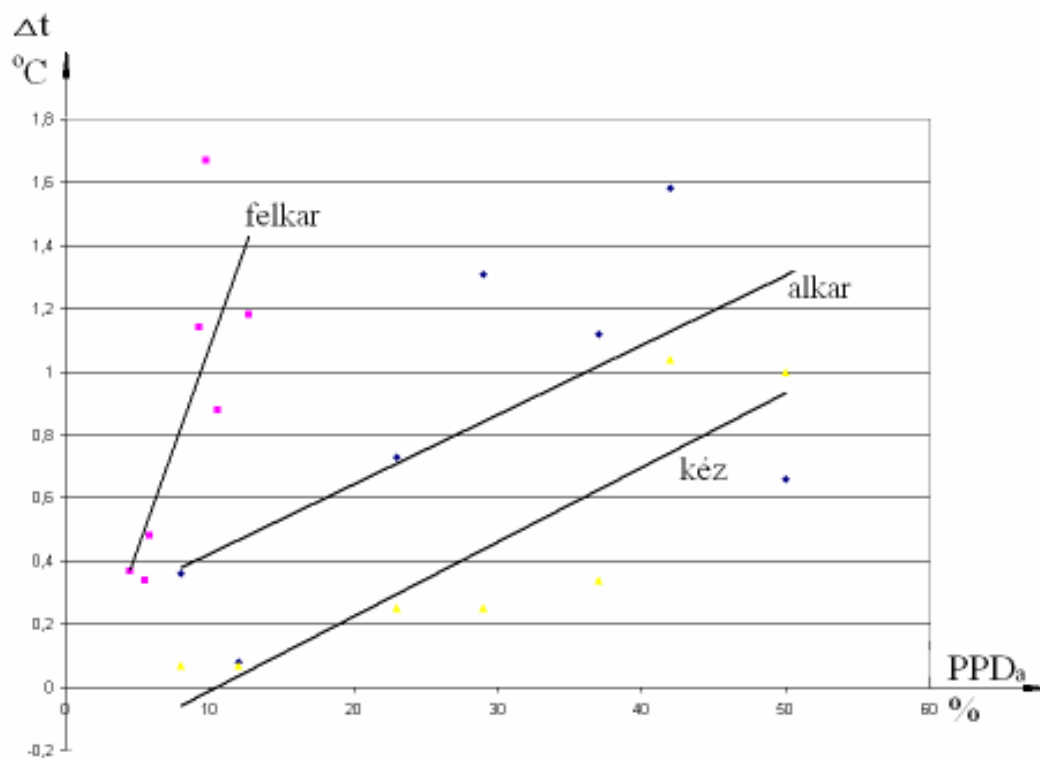
**5.8. ábra:** Az élőalanyok felkaron mért bőrhőmérséklet-különbsége ( $\Delta t$ ) és a műember hőleadásának különbsége ( $\Delta I$ ) a felkarra vonatkozóan



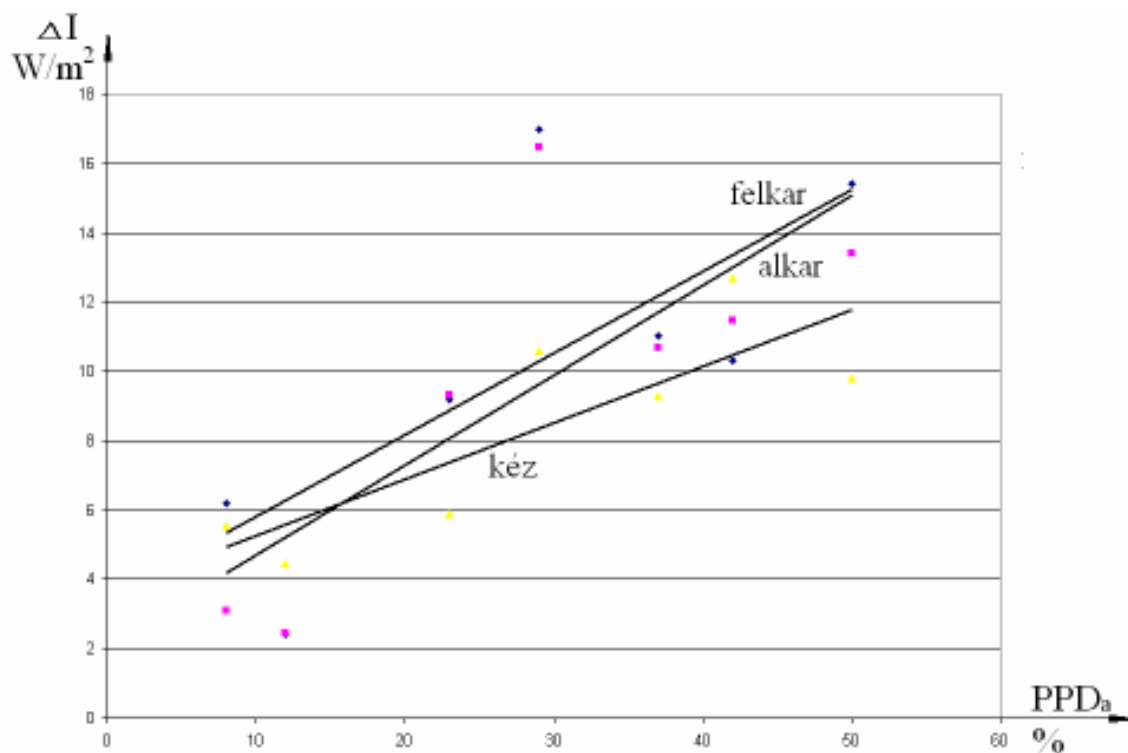
**5.9. ábra:** Az élőalanyok alkaron mért bőrhőmérséklet-különbsége ( $\Delta t$ ) és a műember hőleadásának különbsége ( $\Delta I$ ) az alkarra vonatkozóan



**5.10. ábra:** Az élőalanyok kézfejen mért bőrhőmérséklet-különbsége ( $\Delta t$ ) és a műember hőleadásának különbsége ( $\Delta I$ ) a kézre vonatkozóan



**5.11. ábra:** Az élőalanyok páros testrészein mért bőrhőmérséklet-különbség ( $\Delta t$ ) és a méréssel meghatározott, az aszimmetrikus sugárzás miatti  $PPD^*$ -k kapcsolata



**5.12. ábra:** A műember hőleadásának különbsége ( $\Delta I$ ) a páros részekre vonatkozóan, és a méréssel meghatározott, az aszimmetrikus sugárzás miatti  $PPD^*$ -k kapcsolata

## 5.8. Az élőalanyos és műemberes mérések eredményeiből levonható következtetések

Az aszimmetria hatásának élőalanyok által történő értékelése függ az általános hőérzetet jellemző PMV-értéktől, azaz az alanyok ruházatától, tevékenységétől és az általános hőkönyezeti paramétereiktől. Az általános hőérzetet jellemző PMV, és a hozzá tartozó PPD, valamint a diszkomforttényezők által meghatározott PPD-k egymással szoros kapcsolatban vannak. Az általános hőérzet és a sugárzási hőmérsékletaszimmetria egymással szoros kapcsolatban van, a nagyobb hideg-aszimmetria kedvezőtlen irányba változtatja az általános PMV értéket, az általános hidegérzet viszont elnyomja az aszimmetria érzékelését.

- A sugárzási hőmérsékletaszimmetria mérésekből származó eredménye csak abban az esetben értékelhető a zavaró hatások nélkül, ha a helyiség adott pontján az általános hőkomfort feltételei teljesülnek, és ezáltal az általános PPD a minimum értékét veszi fel. Zavaró hatás az évszaknak nem megfelelő öltözet, és az évszakkal nem egyező (pl. nyáron a téli eset) mérési szituáció.

- A falak hőmérsékletétől függő közepes sugárzási hőmérséklet a PMV-vel együtt helyfüggő. Az energiatakarékosság figyelembevétele okán fűtéstervezésnél az épületminőségi kategóriának megfelelő PMV-tartomány  $PMV < 0$  értékeinek elérését tűzzük ki célul. Így hideg fal közelében nagyobb az aszimmetria értéke, mint a helyiség középpontjában, a közepes sugárzási hőmérséklet pedig kisebb. A kisebb közepes sugárzási hőmérséklethez csökkenő PMV és növekvő PPD tartozik (állandó levegőhőmérsékletet feltételezve).

Meleg fal mellett a közepes sugárzási hőmérséklet, és a PMV nagyobb értéket vesz fel, amelyhez kisebb PPD-tartozik, ezért az aszimmetriából származó PPD nagyobb lehet. Ez az oka, hogy fűtési esetben kedvezőbben értékeljük a meleg-aszimmetriát, mint a hideg-aszimmetriát. Az élőalanyok szubjektív véleménye alapján a nagyobb aszimmetria is okozhat kisebb PPD-t, ha az aszimmetria növekedését a hűtött fal mellett egy (vele szemben lévő) fűtött fal megjelenése okozza, amely miatt egyrészt a közepes sugárzási hőmérséklet nő, ezért az általános hőérzet PPD értéke kisebb lesz, másrészt nem kizárt, hogy az adott pontban a meleg-aszimmetria szerint kell értékelni.

- A fotopletizmográf alkalmas mérőeszköz a sugárzási hőmérsékletaszimmetria mérésére és értékelésére.



## 5.9. Tézisek

**T.4.** Az élőalanyos mérések során megállapítottam, hogy az egyidejűleg jelen lévő hideg és meleg felület esetén az értékelés kritérium-feltételét, vagyis azt, hogy a hideg vagy a melegaszimmetria szerint értékelünk, az operatív hőmérséklet és a közepes sugárzási hőmérséklet egymáshoz viszonyított értéke dönti el. Ha a helyiség adott pontjában a közepes sugárzási hőmérséklet nagyobb, mint az operatív hőmérséklet ( $t_{ks} > t_{op}$ ) a melegaszimmetria, ha a közepes sugárzási hőmérséklet kisebb, mint az operatív hőmérséklet ( $t_{ks} < t_{op}$ ), akkor a hidegaszimmetria szerint kell az értékelést végezni. Erre vonatkozóan az eddigi módszerek nem adtak útmutatást .

**T.5.** A közepes sugárzási hőmérséklet és a PMV helyfüggő. A fűtéstervezésnél - az energiatakarékosság figyelembevételére okán  $PMV < 0$  értékek elérését tűzzük ki célul. Az élőalanyos mérések során megállapítottam, hogy a hideg fal közelében kisebb közepes sugárzási hőmérséklet alakul ki, amelyhez csökkenő PMV és növekvő általános PPD tartozik (állandó levegőhőmérsékletet feltételezve). Meleg fal mellett a PMV nagyobb, a  $PMV=0$ -hoz közelebbi értéket vesz fel, amelyhez kisebb általános PPD tartozik, ezért ugyanolyan komfortérzethez, elégedetlenségi rátához az aszimmetriából származó  $PPD_a$  nagyobb lehet.

## 6. Összefoglalás, tézisek

### 6.1. Összefoglalás, tudományos eredmények

A kutatás a sugárzási aszimmetria értelmezésében, számításában és a PMV-PPD összefüggéssel való kapcsolatában új tudományos eredményeket hozott létre. Az első élőalanyos mérések eredményei arra mutattak rá, hogy a sugárzási hőmérsékletaszimmetria és az általános hőérzet szorosan összefügg, ezért a kettő közti kapcsolatot is vizsgáltam.

I. Az általános hőérzet megítélésére szolgáló komfortos tartományok és a PMV értékek közötti kapcsolatot az új komforttartomány megszerkesztésével meghatároztam. Az új komforttartomány a szabványban rögzített PMV követelmények alapján a különböző épületminőségi kategóriákra vonatkozó tartományokat ábrázolja. A számításokat és ábrázolásokat az erre a célra írt program segítségével végeztem el, amellyel a szabványban ugyancsak rögzített operatív hőmérséklet-tartományokat is vizsgáltam, és összehasonlítottam a PMV –tartományokkal.

Az eredmény:

1. A vizsgált I. csoport B épületminőségi kategória esetére felrajzolt  $PMV=+0,5$  és  $PMV=-0,5$  közötti tartomány és az ugyanerre a kategóriára megadott  $t_{op}=20\text{ °C}$  és  $t_{op}=24\text{ °C}$  közötti tartomány a  $t_{lev}-t_{ks}$  síkon nem azonos területet fed le, a két feltétel a helyiséglevegő paramétereire és a közepes sugárzási hőmérsékletre nem azonos. A megállapítás érvényes a többi kategóriára és csoportra (részletesen az F.3.2. pontban).
2. A tartományok oldalsó lezárása nem oldható meg a PMV és  $t_{op}$  tartományok, megadásával. A komforttartomány oldalsó lezárására azzal a hipotézissel jutottam, hogy a száraz hőleadáson belüli konvektív és sugárzásos hőleadás aránya jelentősen befolyásolja a komfortérzetet. A komfortérzés az irodalomban található adatok alapján akkor alakul ki, ha a konvekciós hőleadás aránya a teljes száraz hőleadáshoz viszonyítva 40 % körül van. Feltételezésem szerint a légsebesség növelésével a 60 % konvektív hőleadás arányt is komfortosnak vesszük. Bevezetve az

$$m = \frac{Q_{konv}}{Q_{konv} + Q_{sug}}$$

paramétert, a komfortos tartományok határait az  $m=0,4$  és  $m=0,6$  görbék jelölik ki, amelyek megfelelnek a B és C kategória szélső helyzeteinek. Az A kategóriára a szigorúbb  $m=0,45$  és  $m=0,55$  értéket vettem fel.

3. Az operatív hőmérsékletek és a PMV –görbék paramétervonalai a  $T^4$ -es összefüggés ellenére kis  $\Delta t_{lev}$  hőmérséklet intervallumban egyenesnek vehetők.
4. A Fanger- féle komfortdiagramokkal (2.15. ábra) való összehasonlításhoz  $PMV=0$ ,  $I=1.0$  clo esetére különböző légsebességekkel lefuttattam a Maple-ban megírt programot (3.4. ábra). Az alapvető különbség a két diagram között, hogy a Fanger-féle komfortdiagramok a mindenkori levegőhőmérsékletek és rögzített  $\varphi=50\%$  relatív nedvességtartalom esetére vonatkoznak, a változó léghőmérsékletre pedig változó  $p_{vg}$  érték tartozik. A Maple program az abszolút nedvességtartalom állandó értékével, és  $p_{vg}=\text{állandó}$  értékkel dolgozik, amely különbség következtében eltérés mutatkozik a diagramokon.

A Fanger-féle komfortdiagrammal való összevetésből megállapítható, hogy:

- a. a Maple-program eredményeként kapott  $PMV=0$  vonalak a Fanger-féle komfortdiagramokkal jó egyezést mutatnak.
  - b. a Fanger-féle görbék a  $PMV=0$  értékre szélesebb hőmérséklet-intervallumban szolgáltatnak eredményt, amelyek - a gyakorlati tapasztalatokkal összevetve - a komfortérzésnek nem felelnek meg (pl.  $t_{lev}= 30\text{ °C}$ ;  $t_{ks}= 12\text{ °C}$ ), ezáltal a komfortkövetelmények teljesítése szempontjából ezek a diagramok kevésbé használhatók.
  - c. a tevékenységi szint és a relatív nedvességtartalom növekedésével a kellemes hőérzetnek megfelelő összetartozó  $t_{lev}$  és  $t_{ks}$  értékek eltolódnak a csökkenő léghőmérséklet és közepes sugárzási hőmérséklet irányába.
  - d. a saját számítások során a  $PMV=0$  görbéknek szakadásuk van bizonyos léghőmérsékleteknél a program futtatása során kapott komplex eredmények miatt.
5. A  $PMV$ -tartományok egyéb paramétereiktől való függése vonatkozásában megállapítható, hogy a felrajzolt tartományok helyzetére a parciális vízgőznyomás és a légsebesség van a legjelentősebb hatással (3.6./a., és 3.6./b. ábra)
  6. A komforttartományok három fő csoportját a légsebesség és operatív hőmérséklet értékei és tartományai alapján a 3.17. ábra (részletesen a Függelék F.3.4. pontja) mutatja.
  7. A komforttartományok vizsgálata során az alábbiak állapíthatók meg:
    - a) A csoportok közötti alapvető különbség az aktivitási szint, amely növekedésével a tartományok az origó felé tolódnak el.
    - b) A kategóriáknak megfelelő tartományok a levegő sebességének növekedésével növekvő  $t_{lev}$  irányában mozdulnak el.
    - c) A relatív légnedvesség, vagyis a vízgőz parciális nyomásának növekedésével a tartományok az origó irányában csúsznak el, vagyis kisebb léghőmérséklettel ( $t_{lev}$ ) és kisebb közepes sugárzási hőmérséklettel ( $t_{ks}$ ) érhető el ugyanaz a komfortérzet.
    - d) A nyári esetre megszerkesztett tartományok hőmérséklethatárai megfelelőnek mutatkoznak a gyakorlati tapasztalatokhoz képest, annak ellenére, hogy a Fanger-től származó  $PMV$ -egyenlet megalkotása idején az épületgépészet főleg a fűtés területére korlátozódott, a hűtésnek kisebb szerepe volt.
    - e) A téli esetre kidolgozott tartományok - figyelembe véve a parciális vízgőznyomásnak a hétköznapi tapasztalatainknál nagyobb értékeit is - alacsony levegő és közepes sugárzási hőmérséklet értékpárokat tartalmaznak (3.14. ábra), a  $PMV=-0,7$  és  $PMV=-0,5$  paramétervonalak helyzete miatt. A  $PMV$ -egyenletek matematikailag helyes feldolgozása ellenére bizonytalan, hogy a gyakorlatban az alacsony hőmérsékleti értékpárok az elvárt komfortérzetet biztosítják-e.
    - f) A  $t_{ks}= t_{lev}$  egyenes a berajzolásával egyértelművé válik (3.19. ábra és a F.3.17. ábra), hogy a komforttartomány a magasabb falhőmérsékletek irányába tolódik el, vagyis a komfort szempontjából kívánatosabb a helyiséghőmérsékletet kis mértékben meghaladó közepes sugárzási hőmérséklet biztosítása.

II. A sugárzási hőmérsékletek számítására elvégeztem a nemzetközi gyakorlatban legjobban elterjedt összefüggések összehasonlító vizsgálatát. A szakirodalomban a sugárzási aszimmetria számítására a vizsgálóelem szerint a következő módszerek lelhetőek fel: az elemi gömb, elemi felület és elemi kocka. A háromféle számítási módszer kiegészíthető a zárt térben tartózkodó, ülő vagy álló helyzetű ember teljes testfelületére vonatkozó számítással, amelynek az alapját Fangernek a besugárzási tényezőkre kidolgozott diagramjai képezik, amelyek lehetővé teszik az ember súlypontja alatti és feletti, vagy az embertől jobbra és balra lévő félterekre vonatkozó számítást.

A sugárzási hőmérsékletaszimmetria négyféle számításmódjával kapott eredmények összevetésére Fanger, Bánhidi, Olesen és Langkilde által elvégzett és jól dokumentált kutatást, illetve vizsgálati elrendezést vettem alapul.

A mennyezeti sugárzási hőmérsékletaszimmetria számszerűsítésére a Glück által kidolgozott, az elemi kockára alapozott módszer tűnik a legalkalmasabbnak, különösen akkor, ha figyelembe vesszük azt a tényt, hogy a jelentős hőmérsékletkülönbséggel rendelkező felületek a gyakorlatban egymásra legtöbbször merőlegesek. Ez a helyzet fordul elő, például falfűtés és hideg padlófelület esetén téli üzemállapotban, vagy pedig a napsugárzás hatására jelentősen felmelegedő üveghomlokzat és mennyezeti hűtés esetén nyári üzemállapotban.

III. A sugárzási hőmérsékletaszimmetria számítására új, az ismert számítási eljárásokhoz viszonyítva az aszimmetria hatását jobban kimutató módszert dolgoztam ki.

A számítási módszer új,

- mivel a sugárzási hőmérsékletaszimmetriához szükséges besugárzási tényezőt a számításokból ismert, vagyis általánosan alkalmazott összefüggésektől eltérő matematikai módszerrel határozhatjuk meg, és
- a két félteret elválasztó síkot (amelyre a sugárzási hőmérsékleteket számoljuk, és amelyek az ismert számításoknál csak függőleges és vízszintes helyzetűek lehetnek) eltérő módon vesszük fel.

A sugárzási hőmérsékletaszimmetria számításának szerkesztéses eljárással való meghatározása- a Maple matematikai programcsomaggal készített alaprogramok segítségével – alkalmas a helyiségekben kialakuló aszimmetria grafikus megjelenítésére.

A megírt programok alkalmazhatók tervezésnél. A tetszőleges méretű, téglatest alakú helyiségben a szélsőséges hőmérsékletű felületek elhelyezkedése függvényében három alapesetet tud feldolgozni, amelyeknél az aszimmetria értékeket tetszőleges magasságban felvett háló rácsközéppontjaiban ábrázolja.

Az új számítási módszerrel lehetőség van a helyiségek külső falától való tartózkodási zóna határának meghatározására, amikor a szélsőséges hőmérsékletű felületek egy síkban helyezkednek el (ablak alatti radiátor), és amely esetet definiálhatjuk „egyoldali sugárzási aszimmetria” -ként.

IV. A helyiséget két térfélre osztó vizsgálósík speciális felvétele révén a sugárzási hőmérsékletaszimmetria értékei eltérőek a tervezési gyakorlatban használt módszerek esetén kapott eredményektől. Ezért az új számítási módszer gyakorlatban való alkalmazhatósága miatt a meglévő, és a CR 1752: 2000 szabvány által (hideg, meleg fal és mennyezet esetére) közölt megengedett aszimmetria értékeket tartalmazó diagramot, az eredetileg elvégzett kísérletek adatainak feldolgozásával és a megfelelő korrekcióval átszerkesztettem. (4.25. és 4.26. ábra)

V. A sugárzási hőmérsékletaszimmetria új számítási módszerével számolt sugárzási hőmérsékletek átlaga a közepes sugárzási hőmérséklet helyfüggő értékét adja. Ez a közepes sugárzási hőmérséklet a levegő helyi paramétereinek (légsebesség, léghőmérséklet, parciális vízgőznyomás) ismeretében alkalmazható a komforttartomány segítségével az épületminőségi kategória (helyfüggő) meghatározására.

VI. A kutatás keretében végzett élőalanyos méréseknél bizonyosságot nyert az új mérőeszköz, a fotopletizmográf sugárzási hőmérsékletaszimmetria mérésére való – alkalmassága (5.2. ábra). Az aszimmetria hatásának számszerűsítésére, az elvégzett kísérletek száma nem volt elegendő.

Az élőalanyos mérések bebizonyították, hogy a sugárzási hőmérsékletaszimmetria hatása a koncentrációkészségre nem mutatható ki.

Az élőalanyos mérések PPD- eredményeiből levonható következtetések:

1. A hideg-, és meleg aszimmetria megkülönböztetését egyidejűleg jelen lévő hideg- és meleg felület esetén az operatív hőmérséklet és a közepes sugárzási hőmérséklet egymáshoz viszonyított értéke dönti el.
2. Az optimális hőkomfort a  $PMV=0$  értéke esetén teljesül, amely függ a közepes sugárzási hőmérséklettől, ezáltal a sugárzási hőmérsékletaszimmetriától is. Az aszimmetria érzékelésének mértéke is függ a  $PMV$ -től, ezért hatásának kimutatására kísérleteket az csak az általános hőkomfortra érvényes  $PPD_{min}$ , vagyis a  $PMV=0$  értékének biztosítása mellett érdemes végezni. Ellenkező esetben a kölcsönös hatás miatt nem mutatható ki megfelelően az aszimmetrikus sugárzás hatása.
3. A hőérzeti laboratóriumban elvégzett kísérletek (hidegaszimmetria) eredményei alapján az aszimmetria megengedett értéke (hűtőfalra) az új számítási módszer szerint  $\Delta t_a=3,9$  °C alatt van. Ez a sugárzási hőmérsékletaszimmetria a  $\Delta t_{fal} = 8$  °C esetén adódott.

VII. Az élőalanyos mérésekkel azonos körülmények között lévő műemberrel is végeztem méréseket, de az élőalanyos méréseknél mért  $PMV$ , és a műember testrészeinek hőleadása közötti korrelációs kapcsolat nem mutatható ki megfelelő bizonyossággal, a két mérésorozat eltérő körülményei (ruházat, levegőhőmérséklet) miatt.

## 6.2. Tézisek

**T.1.** Megszerkesztettem a  $t_{lev}-t_{ks}$  síkon az A, B és C épületminőségi kategóriákra, a megengedett légsebesség intervallumokra érvényes komforttartományokat különböző tevékenységi szintekre, ruházati paraméterekre, téli és nyári esetre vonatkozóan. Az új komforttartomány szerkesztéséhez a PMV összefüggést, és a konvektív és összes száraz hőleadás arányának („m” tényező) rögzített értékeit használtam fel. A relatív nedvességtartalom változását a levegő parciális vízgőznyomásának ajánlott értékeivel vettem figyelembe.

Az eddig alkalmazott komforttartományok nem tartalmazzák az épületminőségi kategóriákat, valamint a légsebesség, az öltözet és a relatív nedvességtartalom változásának hatását a tartomány elhelyezkedésére

A komforttartomány elemzése alapján megállapítottam, hogy a komfort szempontjából kívánatosabb a helyiséghőmérsékletet kis mértékben ( $1\div 4$  °C) meghaladó sugárzási hőmérséklet biztosítása.

**T.2.** A sugárzási hőmérsékletaszimmetria számítására irányuló eddigi eljárások csak közelítő érvényűek, a két félteret elválasztó sík kötött, függőleges vagy vízszintes helyzete miatt, illetve amiatt, hogy a gyakorlati számításokban a termikusan aktív felületeken kívüli helyiséghatároló felületek és hőmérsékleteik átlagértékekkel szerepelnek. Kidolgoztam a sugárzási hőmérsékletaszimmetria meghatározására egy új, a valóságnak jobban megfelelő eredményt adó módszert, amelynél a vizsgálati pontban elhelyezkedő felületelemnek a két félteret elválasztó síkja a termikusan aktív (leghidegebb és legmelegebb) felületeket minden esetben szétválasztja, és amely a besugárzási tényezőt szerkesztéses eljárással határozza meg.

**T.3.** Az aszimmetria számításának új módszere lehetővé teszi az egy síkban elhelyezkedő hideg és meleg felületek esetén az általam definiált „egyoldali sugárzási aszimmetria” pontosabb számítását is, amely a helyiségek komfortjának egy további jellemző paramétere.

**T.4.** Az élőalanyos mérések során megállapítottam, hogy az egyidejűleg jelen lévő hideg és meleg felület esetén az értékelés kritérium-feltételét, vagyis azt, hogy a hideg vagy a melegaszimmetria szerint értékelünk, az operatív hőmérséklet és a közepes sugárzási hőmérséklet egymáshoz viszonyított helyzete dönti el. Ha a helyiség adott pontjában a közepes sugárzási hőmérséklet nagyobb, mint az operatív hőmérséklet ( $t_{ks} > t_{op}$ ) a melegaszimmetria, ha a közepes sugárzási hőmérséklet kisebb, mint az operatív hőmérséklet ( $t_{ks} < t_{op}$ ), akkor a hidegaszimmetria szerint kell az értékelést végezni. Erre vonatkozóan az eddigi módszerek nem adtak útmutatást.

**T.5.** A közepes sugárzási hőmérséklet és a PMV helyfüggő. A fűtéstervezésnél - az energiatakarékosság figyelembevételére okán PMV < 0 értékek elérését tűzzük ki célul. Az élőalanyos mérések során megállapítottam, hogy a hideg fal közelében kisebb közepes sugárzási hőmérséklet alakul ki, amelyhez csökkenő PMV és növekvő általános PPD tartozik (állandó levegőhőmérsékletet feltételezve). Meleg fal mellett a PMV nagyobb, a PMV=0-hoz közelebbi értéket vesz fel, amelyhez kisebb általános PPD tartozik, ezért ugyanolyan komfortérzethez, elégedetlenségi rátához az aszimmetriából származó PPD<sub>a</sub> nagyobb lehet.

### 6.3. PhD Theses

**T.1.** I have drawn up the comfort ranges valid for building quality categories *A*, *B* and *C* on the  $t_{lev}$ -  $t_{ks}$  plane and valid for the permissible air velocity intervals for different activity levels, clothing parameters, for winter and summer periods. When drawing up these novel comfort ranges I have utilised the PMV relation and the fixed values of the convective and the total dry heat rejection ratio (“m” factor). Variation of relative humidity is taken into account with the recommended values of the partial vapour tension of the air.

Comfort ranges applied before do not contain the building quality categories and the impact of the variation of air velocity, clothing and relative humidity onto the location of the ranges. Based on an analysis of the comfort ranges I have found, that related to the comfort it is more desirable to ensure a radiation temperature slightly above ( $1 \div 4^\circ\text{C}$ ) the room temperature.

**T.2.** Former calculation procedures of the radiation temperature asymmetry are only of approximate validity because of the fixed, i.e. vertical or horizontal position of the plane separating the two hemispaces and because of the fact, that in practical calculations the room terminating surfaces beyond those being thermally active and their temperatures are taken into account with their average values.

I have developed a novel method for the determination of radiated temperature asymmetry giving a result more closer to the reality, where the plane dividing the two hemispaces of the surface element at the test point separates the thermally active (coldest and warmest) surfaces in all cases and determines the irradiation factor through drawing.

**T.3.** This novel method of asymmetry calculation enables a more accurate calculation of the “one side radiation asymmetry” parameter defined by me and being a further characteristic parameter of the comfort of rooms in case of cold and warm surfaces being within the same plane.

**T.4.** Based on tests performed with living experimentees I have determined, that in case of cold and warm surfaces being simultaneously present the criterion condition of the evaluation, i.e. if it is evaluated according to cold and warm asymmetry, is determined by the relative value of the operative temperature and the medium radiation temperature. If in a given location of the room the medium radiation temperature is higher than the operative temperature ( $t_{ks} > t_{op}$ ), then the evaluation is to be carried out according to the warm asymmetry and if the medium radiation temperature is lower than the operative temperature ( $t_{ks} < t_{op}$ ), then according to the cold asymmetry. Former methods give no instructions related to this question.

**T.5.** Medium radiated temperature and PMV are location dependent. When taking into consideration energy saving during the design of heating equipment  $\text{PMV} < 0$  is set as a target. Based on tests performed with living experimentees I have determined, that a lower medium radiation temperature builds up near to the colder wall resulting a decreasing PMV and an increasing general PPD (supposing constant air temperature). Near to warm walls PMV has a higher value closer to  $\text{PMV} = 0$  resulting a lower general PPD, thus  $\text{PPD}_a$  resulting from the asymmetry can be higher for the same comfort sensation and satisfaction rate.

#### 6.4. További kutatási feladatok

Az elvégzett kutatási munka során a következő további kutatási feladatok elvégzésének igénye merült fel:

- A hűtőmennyezet megengedett sugárzási hőmérsékletét megállapító kísérlet az alkalmazott alacsony felületi hőmérsékletek és PPD-érték, valamint a kevés mérési szituáció miatt újabb élőalanyos vizsgálatot igényel.
- A komforttartomány oldalsó lezárására meghatározott konvektív és sugárzásos hőleadás arányát célszerű pontosabban meghatározni. A jelenleg rendelkezésre álló adatok kísérletileg lettek meghatározva, amelyek pontosítása szükséges a közepes sugárzási hőmérséklet és levegőhőmérséklet tartományok kiszélesítéséhez.
- Az épületek üzemeltetése során a fűtési és hűtési célú energia-megtakarítás igénye miatt szükséges meghatározni a helyiségekre az épületminőségi kategóriákra érvényes elégedettségi szintek, azaz a PPD=állandó követelményt leíró matematikai egyenleteket, stacioner esetre. A helyiségek építészeti kialakítása és a kialakítástól függő diszkomforttényezők kapcsolata külön vizsgálatot igényel.
- Instacioner esetre a külső légállapot függvényében szükséges meghatározni a belső felületi hőmérsékleteket, és azok változását, hogy (az új módszerrel) a sugárzási hőmérsékletaszimmetria időbeni változására vonatkozóan határértékeket tudjunk meghatározni.



## 6.5. Az értekezés magyar nyelvű összefoglalója

A megengedhető sugárzási hőmérsékletaszimmetria meghatározására irányuló élőalanyos kutatások eredményei rámutattak arra, hogy a sugárzási hőmérsékletaszimmetria és az általános hőérzet egymással szorosan összefügg. Ezért a kutatás során megszerkesztettem az általános hőérzet megítélésére szolgáló komforttartományokat, mégpedig valamennyi szokásos komfortparaméter figyelembe vételével. A komforttartományok a közepes sugárzási hőmérséklet ( $t_{ks}$ ) és a léghőmérséklet ( $t_l$ ) síkján jelölik ki a téli és a nyári esetre az MSZ CR 1752 szabványban meghatározott A, B és C hőkönyezeti kategóriára vonatkozóan a rögzített PMV-értékeknek megfelelő területeket. A különböző komforttartományokban alkalmazott változó paraméterek a tevékenységi szint, az öltözet, a légsebesség és a relatív légnedvesség. A komforttartomány megszerkesztése a Fanger-féle komfortegyenletről levezetett PMV-egyenlet felhasználásával, valamint a sugárzások és konvektív hőleadás arányának rögzítésével történt.

Elvégeztem a sugárzási hőmérsékletaszimmetria számítására vonatkozó, a nemzetközi gyakorlatban legjobban elterjedt módszerek összehasonlító vizsgálatát. Ezek a módszerek a vizsgálóelem helyzetében és geometriai formájában különböznek egymástól, és a sugárzási hőmérsékletaszimmetriára vonatkozóan egymástól jelentősen eltérő eredményeket szolgáltatnak. Ezek a módszerek legtöbb esetben az aszimmetria hatását alulértékelik.

A sugárzási hőmérsékletaszimmetria számítására új módszert dolgoztam ki, amely az ismert számítási eljárásokhoz viszonyítva az aszimmetria hatását jobban kimutatja. Ez az új módszer a szerkesztéses eljárás felhasználásával az adott felület besugárzási tényezőjének meghatározására a felületelem fölött egy félgömböt alkalmaz. A félgömb alapkörét és a felületelemet tartalmazó sík, a vizsgálósík, amelyet az ismert módszerektől eltérően nem vízszintesen, vagy függőlegesen, hanem a helyiség határoló felületeihez képest legtöbbször ferdén, úgy vesszük fel, hogy a „hideg” és „meleg” felületeket (pl. ablak alatti radiátor, vagy hűtőmennyezet és meleg ablakfelület) ezzel a síkkal egymástól elválasszuk. Ezzel az eljárással a teret minden esetben két olyan féltérre osztjuk, amelyek egyikében a hideg, a másik féltérben pedig a meleg felület található.

A kutatás keretében elvégzett élőalanyos méréseknél bizonyosságot nyert az új mérőeszköznek, a fotopletizmográfának a sugárzási hőmérsékletaszimmetria mérésére való alkalmassága. Az élőalanyos mérések során a sugárzási hőmérsékletaszimmetriának az ember koncentrációképességére gyakorolt hatása nem volt kimutatható.

Az élőalanyos mérések eredményeiből levonható egyik következtetés, hogy a hideg-, és meleg aszimmetria megkülönböztetését egyidejűleg jelen lévő hideg- és meleg felület esetén az operatív hőmérséklet és a közepes sugárzási hőmérséklet egymáshoz viszonyított helyzete dönti el.

Az élőalanyos mérésekkel azonos körülmények között lévő műemberrel is végeztem méréseket, de az élőalanyos méréseknél mért PMV, és a műember testrészeinek hőleadása közötti korrelációs kapcsolat nem mutatható ki megfelelő bizonyossággal.

## 6.6. Summary of the dissertation in English

Results of recent researches aimed at the determination of the permissible radiation asymmetry conducted with living experimentees have pointed out that radiation asymmetry and general temperature sensation are in close connection with each other. Therefore during my research I have drawn up comfort ranges serving the evaluation of general temperature sensation taking into consideration every comfort parameter in general use. Areas corresponding to the PMV values given by the standard MSZ CR 1752 for heat environment categories A, B and C are marked by the comfort ranges on the plane of medium radiation temperature ( $t_{ks}$ ) and of the air temperature ( $t_i$ ) for winter and summer periods. Varying parameters applied in the different comfort ranges are activity level, clothing, air velocity and relative humidity. Drawing up the comfort range has been performed applying the PMV equation derived from Fanger's comfort equation and by fixing the ratio of radiated and convective heat rejection.

I have performed the comparative investigation of the methods most widely applied in the international practice for the calculation of radiation asymmetry. These methods differ from each other related to the location and geometrical form of the test element and give significantly different results related to the radiation asymmetry. In most cases these methods underestimate the impact of the asymmetry.

I have developed a new method for the calculation of the radiation asymmetry, which method demonstrates the impact of asymmetry on a more adequate way than the known calculation methods. This new method applies a hemisphere above the surface element for the determination of the irradiation factor of the given surface with the help of the drawing procedure. The base circle of the hemisphere and the plane containing the surface element, namely the test plane, are not applied horizontally or vertically like in case of the known methods, but in most cases tilted related to the boundary planes of the room so, that "cold" and "warm" surfaces (e.g. radiator under the window or cooling ceiling and warm window surface) are separated by this plane. In case of this method the space is always divided into two hemi-spaces, the one of which contains the cold and the other the warm surface.

During the measurements with living experimentees performed within the frame of the research the ability of the new measuring device, the photoplethysmograph for measuring radiation asymmetry has been proven. Impact of the radiation asymmetry onto the concentrating ability of humans could not be pointed out during the measurements with living experimentees.

As a conclusion of the results of the measurements with living experimentees it can be stated, that in case of simultaneous presence of cold and warm surfaces distinguishing cold and warm asymmetry is decided by the relative position of the operative temperature and the medium radiation temperature.

I have performed measurements with artificial humans under the same circumstances as with living experimentees as well, however a correlation between the PVM measured with living experimentees and the heat rejection of the body parts of the artificial humans can not be demonstrated with adequate certainty.

**IRODALOMJEGYZÉK**

- [Bjarne, Olesen 2002] Bjarne W., Olesen: Sind „kalte” Fensterflächen heute überhaupt ein Problem für die Behaglichkeit? Velta kongress, 2002, pp. 81-82.
- [Arbeitskreis 2004] Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser – Phase III, Protokollband Nr. 25, Temperaturdifferenz in der Wohnung, Herausgeber: Dr. W. Feist; Passivhaus Institut, Darmstadt, 2004
- [ASHRAE 2000] ASHRAE Fundamental: Thermal Comfort Hand Book: Chapter 8. 2000
- [ASHRAE 1994] ASHRAE STANDARD 55-1994: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy
- [Baehr 2003] Baehr K.S.: Wärme- und Stoffübertragung, Springer, 2003
- [Bánhidi 1976] Bánhidi L.: Zárt terek hőérzeti méretezése, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1976
- [Bánhidi 1982] Bánhidi L.: Épületek belső mikroklímájának méretezése a hőérzetileg elfogadható határértékek elve alapján, Doktori értekezés, Budapest, 1982
- [Bánhidi 1994] Bánhidi L.: Ember, épület, energia, Akadémiai Könyvkiadó, Budapest, 1994
- [Bánhidi 1990] Bánhidi L.: Komfortelméleti laborvizsgálatok új módszertani alapjai, 736. témaszámú OTKA- kutatás zárójelentés, Budapest, 1990
- [Bánhidi, Bakó-Bíró 2000] Bánhidi L., Bakó-Bíró Zs.: Design and Calculation Possibilities for the Heat Exchange Conditions of the Human Body, Periodica Polytechnica, 2000, 44. No.2., pp. 185-193.
- [Bánhidi, Kajtár 2000] Bánhidi L., Kajtár L.: Komfortelmélet, Műegyetemi Könyvkiadó, Budapest, 2000
- [Barna, Garbai 2002] Barna L., Garbai L., Vígh G.: Egyedi gázkazánnal fűtött tér instacioner viszonyainak vizsgálata, Magyar Épületgépészet, LI. évf., 2002/11. szám, 4-8. old.
- [Barótfi 1994] Barótfi I.: Energiafelhasználási kézikönyv, Környezet-technika Kiadó Kft., Budapest, 1994
- [Budiakova 2001] Budiakova M.: Removal Local Thermal Discomfort at Various Kinds of Heating, Clima 2000, Napoli, 2001

- [Buss 2002] Buss H.: Das Tabellenhandbuch zum Wärme-, und Feuchteschutz, Weka, 2002
- [Csoknyai 2005] Csoknyai I.: Épületen belüli áramlás vizsgálata fokozott hőszigetelésű épületeknél, Magyar Épületgépészet, LIV. évfolyam, 2005/6. szám, 5-9. old.
- [Csoknyai T., Bánhidi 2000] Csoknyai T., Bánhidi L., Zöld A., Herczeg L., Hrustinszky T., Kalmár F.: Impact of Indoor Temperature Fluctuation on Thermal Comfort Ceiling, Healthy Buildings, 2000/2., pp. 557-563.
- [Csoknyai, Bánhidi 2000] Csoknyai T., Bánhidi L., Zöld A., Kalmár F., Herczeg L., Hrustinszky T.: A dinamikus hőmérsékletváltozás szubjektív hatásai, Magyar Épületgépészet, XLIX. évf., 2000/3. szám, 5-12. old.
- [Csoknyai, Csoknyai 2000] Csoknyai T., Csoknyai I.: Épületek utólagos hőszigetelésének fűtéstechikai következményei, Magyar Épületgépészet, XLIX. évfolyam, 2000/8. szám, 37-40. old.
- [Csoknyai, Kontra 2001] Csoknyai I., Kontra J. és mások.: Épületgépészet a gyakorlatban kézikönyv, Fűtéstechika fejezet, Verlag Dashöfer Szakkiadó Kft., Budapest, 2001
- [De Carli 2001] De Carli M.: Field Measurements of Thermal Comfort Conditions in Buildings with Radiant Surface Cooling Systems, Clima 2000, Napoli, 2001
- [DIN 1946/2 1994] DIN 1946/2, Raumluftechnik, Gesundheitstechnische Anforderungen, 1994
- [Eickenhorst, Joos 1999] Eickenhorst H., Joos L.: Energieeinsparung in Gebäuden, Vulkan Verlag, 1999
- [prEN 15251:2005] ENTWURF prEN 15251:2005 Bewertungskriterien für den Innenraum einschließlich Temperatur, Raumlufqualität, Licht in Lärm
- [Fanger 1970a] Fanger, P.O., Angelius, O., Kjerulf-Jensen, P.: Radiation Data for the Human Body, ASHRAE Trans. 76(2), pp. 338-373., 1970
- [Fanger 1970b] Fanger P. O.: Thermal Comfort, Copenhagen, Danish Technical Press, 1970
- [Fanger, Bánhidi, 1980] Fanger P.O., Bánhidi L., Olesen B. W., Langkilde G.: Comfort Limits for Heated Ceilings, ASHRAE Trans., 86 1980, (2), pp. 141-156.

- [Fanger, Ipsen 1985] Fanger P.O., Ipsen B.M, Langkilde G., Olesen, B.W., Christensen, N.K., Tanabe S.: Comfort Limits for Asymmetric Thermal Radiation, Energy and Buildings 8, 1985, pp. 225-236.
- [Feist 1994] Feist W.: Thermische Gebäudesimulation, Verlag C. F. Müller, Heidelberg, 1994
- [Fischer, Gritzki 1997] Fischer V., Gritzki R., Richter W., Rösler M.: Simulation komplexer thermischer Vorgänge, HLH 1997, Bd. 48, Nr. 7., pp. 28-37.
- [Frank 1975] Frank W.: Raumklima und thermische Behaglichkeit, Berichte aus der Bauforschung, Ernst and Sohn, Heft 104, Berlin, 1975
- [Garbai 2003] Garbai L: Gázok és gőzök áramlásának vizsgálata az épületgépészeti tervezés számára I. Izotermikus áramlás, Magyar Épületgépészet, LII. évf. 2003/12. szám, 15-19. old.
- [Garbai, Bánhidi 2001] Garbai L., Bánhidi L.: Hőátvitel az épületgépészeti és ipari berendezésekben, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2001
- [Gebhardt, Müller 1996] Gebhardt H., Müller B. H.: Neue Erkenntnisse zur Bewertung von Strahlungsheizungen, Gaswärme International, 1996, 45 Heft, pp. 7-8.
- [Glück 1981] Glück B.: Strahlungsheizung – Theorie und Praxis, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, 1981
- [Glück 1991a] Glück B.: Bewertungsmaßstab zur optimalen Anordnung von Heiz- und Kühlflächen im Raum, Gesundheits-Ingenieur, 1991, Heft 5, pp.165-168.
- Glück 1991b] Glück B.: Heizen und Kühlen über Wand-, und Deckenflächen, HLH 1991, Bd. 42. Heft 9., pp. 502-508.
- [Glück 1994a] Glück B.: Grenzen der Deckenheizung – Optimale Heizflächengestaltung, HLH Bd. 45., Heft 6., pp. 293-298., 1994
- [Glück 1994b] Glück B.: Sind Kühldecke als Heizdecken einsetzbar? HLH 1994, Bd. 45., pp. 64-67.
- [Glück, 1997] Glück B.: Wärmetechnische Raummodell, C.F. Müller Verlag, Heidelberg, 1997
- [Glück 2000] Glück B.: Wärmephysiologische Bewertung von Kühlsystemen zur Raumklimatisierung, Teil 2, HLH 2000, Bd. 51., Nr.11., pp. 38-49.

- [Glück 2001] Glück B.: Möglichkeiten des Energieeinsatzes mit niedrigem Exergiepotential zum Heizen und Kühlen von Räumen, Gesundheitsingenieur, 2001, Heft 1, pp. 23-31.
- [Glück 2002] Glück B.: Kombination verschiedener Aktivflächensysteme im Raum, HLH, 2002, Bd. 53. Heft 4, pp. 38-45.
- [Glück 2005] Glück B.: Dynamisches Raummodell zur wärmetechnischen und wärmephysiologischen Bewertung, [www.room-umweltstiftung.de](http://www.room-umweltstiftung.de) 2005
- [Glück 2006] Glück B.: Ein Vorschlag zur verbesserten Darstellung und Messung der operativen Raumtemperatur, Gesundheitsingenieur, 2006, Heft 2, pp. 76-82.
- [Halász, Kalmár 2004] Halász Györgyné, Kalmár Ferenc: Központi fűtési rendszerek beszabályozása és a fűtési energiafelhasználás, Magyar Épületgépészet, 2004/LIII. évfolyam, 4-7. old.
- [Jäger 2006] Axel-Volkmar Jäger: Optimale Raumtemperaturen liegen zwischen 20°C, und 26 °C, In: 10 goldene Regeln für gute Lüftung, Klima und Behaglichkeit, von Manfred Stahl, CCI-Promotor Verlag, Karlsruhe, 2006
- [Kalogioru 2005] Kalogioru S.: Thermal and Optical Analysis of Glazing Systems Manufactured in Cyprus, Clima 2005, Lausanne, 2005
- [Klincsik, Maróti 1995] Klincsik M., Maróti Gy.: MAPLE 8 tételben, a matematikai problémamegoldás művészetéről, Novadat, Győr, 1995
- [Kollmar, Liese 1957] Kollmar A., Liese, W.: Strahlungsheizung 4. Aufl. München, Oldenburg, 1957
- [Kontra 1987] Kontra J.: Kishőmérsékletű fűtési rendszerek szabályozása, Hő- és energiaracionalizálási konferencia, Wroclávi Műszaki Egyetem, 1987
- [Kontra 2001] Kontra Jenő: Chauffage a basse temperature, Conferencia Instalatiile Pentru Constructii si Confortul Ambiental, Temesvár, Románia, 2001
- [Környei 1999] Környei Tamás: Hőátvitel, Műegyetem Könyvkiadó, Budapest, 1999
- [Macskásy 1957] Macskásy Á.: Über einige Fragen der in der Außenwand untergebrachten Panelheizung, Budapest, Periodica Polytechnica, 1957, Vol.1. No 1., pp. 64-81.

- [Macskásy 1973] Macskásy Á.: Sugárzó fűtés, BME Továbbképző Intézete előadássorozatából, Budapest, 1973
- [Macskásy 1978] Macskásy Á.: Központi fűtés II., Tankönyvkiadó, Budapest, 1978
- [Macskásy, Bánhidi 1985] Macskásy Á., Bánhidi L.: Sugárzó fűtések, Akadémiai Könyvkiadó, 1985
- [McIntyre 1974] McIntyre D. A.: The Thermal Radiation Field, Building Science, 1974, 9., pp. 247-262.
- [Merz 2002] Merz M. R: Objektorientierte Modellierung thermischen Gebäudeverhaltens, Dissertation, Kaiserslautern, 2002
- [Meyer 2001] Meyer S.: Wirkung eines hybriden Doppelfassadensystems auf die Energiebilanz und das Raumklima der dahinterliegenden Räume, Dissertation, Cottbus, 2001
- [Meyer 1999] Meyer C.: Optimierung der Anordnung von Heizflächen und Lüftungselementen, Kassel, Fraunhofer IRB Verlag, 1999
- [MSZ CR 1752:2000] MSZ CR 1752:2000: Ventilation for Buildings – Design Criteria for the Indoor Environment
- [MSZ EN ISO 7730:2006] 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 (2006. május 1.)
- [Nilsson, Holmér 2000] Nilsson H., Holmér I., Bohm M, Norén O.: Definition and Theoretical Back Round of the Equivalent Temperature, CABLI Seminar, National Institute for Working Life (Sweden), 2000, pp. 31-40.
- [Nowak 2005] Nowak W.: Untersuchungen an einem Modellraum zur thermischen Behaglichkeit, 9. International Passivhaustagung, 2005, Lurwigshafen, pp. 263-269.
- [Olesen, Fanger 1973] Olesen S., Fanger P.O., Jensen P.B., Nielsen O. J.: Comfort Limits for Man exposed to Asymmetric Thermal Radiation, Szimpózium: Thermal Comfort and Moderate Heat Stress, Buildings Research Station, London, 1972. szeptember, HMSO, pp. 133-148.
- [Recknagel, Sprenger 1995] Recknagel, Sprenger, Schramek: Taschenbuch für die Heizung + Klimatechnik R. Oldenbourg Verlag, München, 1995

- [Richter 2003] Richter W.: Handbuch der Thermischen Behaglichkeit – Heizperiode-, Dortmund / Berlin /Dresden, 2003
- [Rohregger, Lipp 2004] Rohregger G., Lipp B.: Behaglichkeit Nachhaltigkeit, Untersuchungen zur Behaglichkeit und Erholungswert von Passivhäusern, 8. International Passivhaustagung, 2004, Krems, pp. 239-240.
- [Runa 2004] Runa Tabea Hellwig: Natürlich behaglich, Natürliche Lüftung und Behaglichkeit – Gegensätze?, Gesundheits-Ingenieur, 2004 Heft 5., pp. 237-244.
- [Usemann 1993] Klaus W. Usemann: Entwicklung von Heizungs- und Lüftungstechnik zur Wissenschaft, Oldenbourg Verlag München Wien, 1993
- [Vajda 1996] Vajda J.: Der Einfluß von Gitterbändern auf das Strömungsverhalten des isotherm warmen und frieren Zuluftstrahles und dessen wärmephysiologische Wirkung, Dissertation, TU Dresden, 1996
- [VDI 1995] VDI-Wärmeatlas auf CD-ROM, Version 1.0, 7. Auflage, VDI Verlag, 1995
- [VDI- Richtlinien 2002] VDI-Richtlinien: VDI 6030: Auslegung von freien Raumheizflächen, Grundlagen und Auslegung von Raumheizkörpern, 2002
- [Wagner 1987] Wagner W.: Wärmeübertragung, 2. Auflage, Vogel Buchverlag, Würzburg, 1988
- [Wyon 2003] Wyon D.: A minta nagyságának kérdése a belső környezeti hatásokkal foglalkozó kutatásokban, Magyar Épületgépészet, 2003/LII. Évfolyam, 12. szám, 9-10. old.
- [Zöld 1999] Zöld A.: Energiatudatos építészet, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1999
- [Zöld 2000] Zöld A.: Épületgépészet 2000, Alapismeretek I., Épületgépészet Kiadó Kft., Budapest, 2000



**Publikációs lista**

A témával kapcsolatos publikációk:

1. V. Frohner Ilona, Dr. Láng Eszter, Dr. Bánhidi László: New Methodology to Measure the Impacts of Asymmetric Radiation on Thermal Comfort „Instalatii Pentru Constructii si Confortul Ambiental” nemzetközi konferencia, Temesvár, 2001. április 26-27., pp. 40-45.
2. V. Frohner Ilona, Dr. Láng Eszter, Dr. Bánhidi László: Az aszimmetrikus sugárzás hatásának új vizsgálati módszere, 14. Fűtés - és Légtechnikai Konferencia, Budapest, 2001. november 9. /CD/
3. V. Frohner Ilona: A sugárzó hűtés és hőérzeti kérdései, Mandulavirágzás Tudományos Napok, Pécs, 2002. március 4-8., 118. old.
4. V. Frohner Ilona: Energiamegtakarítás, hőkomfort és sugárzási aszimmetria a passzívházak esetében, ENERGOREP 2002., XII. Energetikai és Karbantartási Konferencia, Siófok, 2002. november 12-14., 136-140. old.
5. V. Frohner Ilona: Helyi diszkomforttényezők a passzívházak esetében, különös tekintettel a sugárzási aszimmetriára, Magyar Épületgépészet LIII. évfolyam, 2004/1. szám, 7-10. oldal.
6. V. Frohner Ilona: Hűtés termikusan aktivált betonfödémmel, és ennek hatása a sugárzási hőmérsékletaszimmetriára, XI. Hűtés és Klimatizálás Konferencia és Szakkiállítás, Siófok 2004. február 24-25., 8-12. old.
7. V. Frohner Ilona, Dr. Bánhidi László: A sugárzási aszimmetria számításának időszerű kérdései, 16. Fűtés - és Légtechnikai Konferencia, Budapest, 2004. március 4-5. /CD/
8. V. Frohner Ilona, Dr. Láng Eszter, Dr. Vajda József, Dr. Bánhidi László: Current Questions of Determining the radiation Asymmetry, „Instalatii Pentru Constructii si Confortul Ambiental” nemzetközi konferencia, Temesvár, 2004. április 22-23., pp.30-39.
9. V. Frohner Ilona, Dr. Láng Eszter, Dr. Bánhidi László: Surface Temperatures and Thermal Comfort, INDOOR CLIMATE of BUILDINGS 2004., Szlovákia, Strbské Pleso, 2004. november 21-23., pp. 65-70.
10. Frohner Ilona, Dr. Bánhidi László: Unilateral Asymmetrical Radiation, Klimatizacija, Gejanje, Hladenje: Tehnologija za Opostanak 35. Kongres, Beograd, 2004., pp. 156-161.
11. Frohner Ilona, Dr. Hámori, Dr. Bánhidi László: Lassen sich die Diskomfortzonen bei den Passivhäusern Ildikó zurückgewinnen? 9. Internationale Passivhaustagung, Ludwigshafen, Németország, 2005. április 29-30., pp. 637-638.
12. Frohner Ilona, Dr. Bánhidi László: Calculating Radiation Temperature Asymmetry by Graphically Determining the Shape Factor, Periodica Polytechnica, 2006/1. sz., pp. 95-114.

**13.** V. Frohner Ilona, Dr. Klincsik Mihály, Dr. Bánhidi László: A hőmérsékleti komforttartomány, mint a léghőmérséklet és a közepes sugárzási hőmérséklet függvénye, 17. Fűtés - és Légtechnikai Konferencia, Budapest, 2005. május 26. / CD/

**14.** Frohner Ilona, Dr. Vajda József: Ein Beitrag zur Bestimmung der inneren und äußeren Wärmeübergangskoeffizienten von Außenwänden, Gesundheitsingenieur, 2006./1., pp. 1-5.

**15.** Frohner Ilona, Dr. Hámori Ildikó, Dr. Bánhidi László: Determination of Radiation Asymmetry using Maple Mathematical Software, Clima 2005. Lausanne, Svájc, 2005. október 9-12. /CD/

**16.** V. Frohner Ilona, Dr. Bánhidi László: A helyiségen belüli sugárzási hőmérsékletaszimmetria ábrázolása egy új számítási módszerrel I. rész, Magyar Épületgépészet, LIV. évfolyam 2005./12. szám, 3-8. old.

**17.** V. Frohner Ilona, Dr. Bánhidi László: A helyiségen belüli sugárzási hőmérsékletaszimmetria ábrázolása egy új számítási módszerrel II. rész, Magyar Épületgépészet, LV. évfolyam 2006./1. szám, pp. 4-9.

**18.** V. Frohner Ilona, Dr. Bánhidi László: Comfort Range as a Mean of Dimensioning for Heat Sensing, 17<sup>TH</sup> Air-Conditioning and ventilation Conference 2006, Prága, 2006. május 17-19., /CD/

**19.** Frohner Ilona: Weitere Herabsetzung des Restwärmebedarfes in Passivhäusern unter gleichzeitiger Erhöhung des Komfortniveaus – ist es möglich?, 10. Internationale Passivhaustagung, Hannover, 2006. május 19-20., pp. 667-668.

A témával nem szorosan kapcsolatos publikációk:

**1.** Vajda József, V. Frohner Ilona: AIROSET-L-rendszer: a paneles lakóépületek energia megtakarításának egyik módja, Gépgyártás XLI. évfolyam 2001/4. szám, 25-28. old., Országos Karbantartási és Minőségbiztosítási Konferencia 2001. Pécs, 2001. április 25-27. /CD/

**2.** V. Frohner Ilona: Biogáz-termelés és felhasználás a mezőgazdaságban, Magyar Épületgépészet L. évfolyam, 2001/4. szám, 26-28. oldal.

**3.** V. Frohner Ilona, Vajda József: Az ellenőrzött lakásszellőzés, Energetikai és Karbantartási Konferencia, Siófok, 2001. november 13-15., 95-98. old.

**4.** Vajda József, V. Frohner Ilona: Helyiségűtési eljárások és egy újszerű abszorpciós hűtőgép, Igphx Hűtő- és Klimatechnikai szaklap VIII. évfolyam 2002. május, 30-31. old.

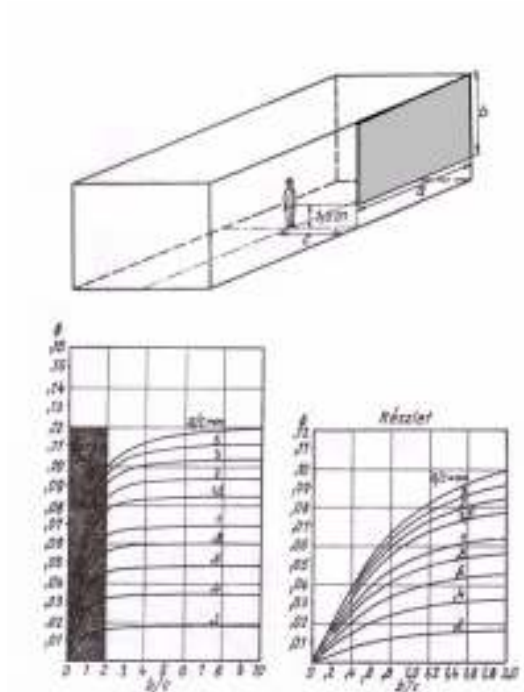
**5.** Frohner Ilona, Vajda József: Passivhäuser in südeuropäischen Ländern, 7. Internationale Passivhaustagung, Hamburg, 2003. február 21-22., pp. 689-692.

**6.** V. Frohner Ilona, Dr. Vajda József: A passzívházak teljes energiaellátása geotermikus alapokon, Mandulavirágzás Tudományos Napok, Pécs, 2003. március 3-7., 39-41. old.

7. V. Frohner Ilona: Az ipari épületek gyakori problémája: a penészesedés, Országos Karbantartási és Munkabiztonsági Konferencia, Pécs, 2003. május 14-16. /CD/
8. Vajda József, Frohner Ilona: Erfahrungen bei der Planung unseres ersten Passivhauses, 8. Europäische Passivhaustagung und Messe 2004. Ausztria, Krems, 2004. 04. 06-17., pp. 591-596.
9. Vajda József, Frohner Ilona: Optimierung des Gesamtenergiebedarfes der Luftförderungen bei Passivhäusern, 9. Internationale Passivhaustagung, Ludwigshafen, Németország, 2005. április 29-30., 683-684. old.
10. V. Frohner Ilona, Dr. Vajda József: A padlóba betárolt hőenergia számítása az erre a célra kifejlesztett Kraft-szám segítségével, 17. Fűtés - és Légtechnikai Konferencia, Budapest, 2005. május 26. / CD/
11. Vajda József, Frohner Ilona: Beschreibung der Speicherfähigkeit der Fußböden durch die dazu entwickelte Kraft- Zahl, HLH 2005. szeptember, pp. 75-78.
12. V. Frohner Ilona: Az épületfelújításoknál elérhető energia-megtakarítások számítása az ENERGIEBERATER 5. 08 szoftver segítségével, Országos Karbantartási és Munkabiztonsági Konferencia, Pécs, 2005. május 18-19. /CD/

## FÜGGELÉK

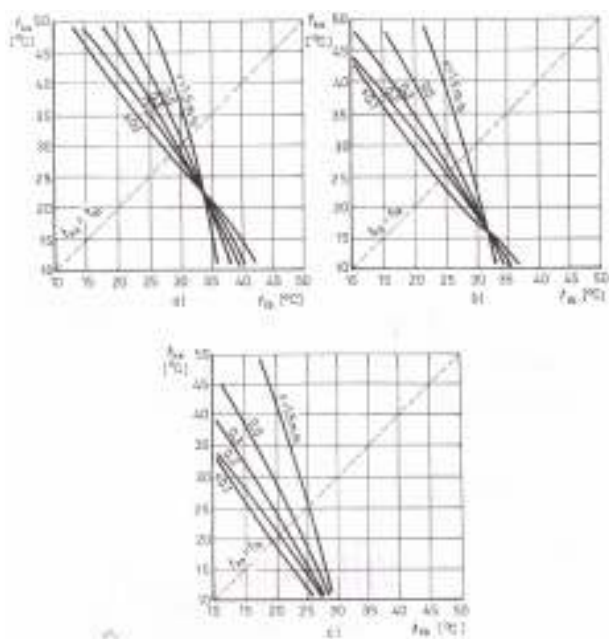
### F.2.1. A besugárzási tényező meghatározására szolgáló méretezési diagramok [Fanger 1970b]



**F.2.1.ábra:** A besugárzási tényező meghatározására szolgáló diagram az álló ember, és az ember súlypontja felett, vele szemben, vagy háta mögött lévő függőleges sík között

### F.2.2. A Fanger-féle komfortdiagramok [Fanger 1970b]

$I_{cl}=0$  clo



**F.2.2. ábra:**

Fanger komfortdiagramja meztelen emberrel,  $PMV=0$ ,  $\phi=50\%$ ,  $I_{cl}=0$  clo esetén

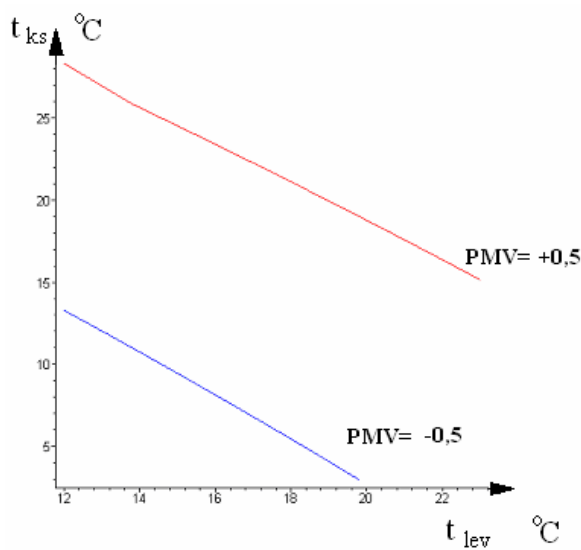
a) nyugalmi állapotra  
 $M/F_{Du}=58$   $W/m^2$ ,

b) közepes aktivitásra  
 $M/F_{Du}=116$   $W/m^2$ ,

c) nagy aktivitásra  
 $M/F_{Du}=174$   $W/m^2$ .





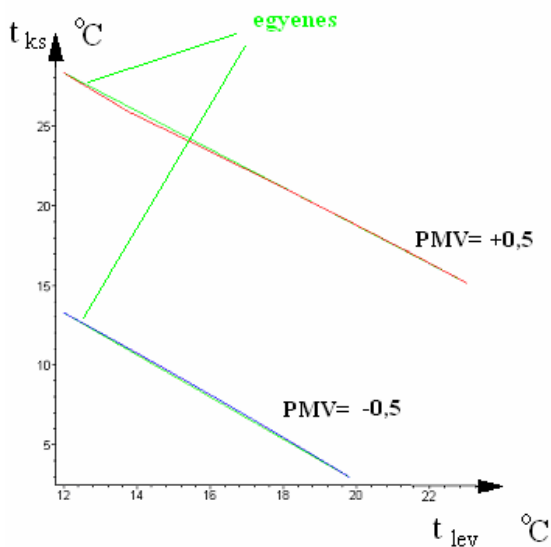


**F.3.1. ábra:** A  $PMV = \pm 0,5$  paramétervonal ábrázolása a  $t_{lev}$ - $t_{ks}$  síkon

### F.3.1.1. A $PMV = \text{állandó}$ és a $t_{op} = \text{állandó}$ vonalak vizsgálata

A két végpontot összekötő egyenesekkel a  $PMV$  állandó görbéket összehasonlítva megállapítható, hogy a  $PMV$  görbék nem térnek el jelentősen az egyenestől.

```
> egyenes5:=plot([[12, 28.31489649685555588],[23.0,
15.13809573289201271]],color=green);
> egyenesm5:=plot([[12, 13.28629903416006958],[19.8,
2.97517549049455363]],color=green);
> plots[display]([rajz5, egyenes5, rajzm5, egyenesm5]);
```

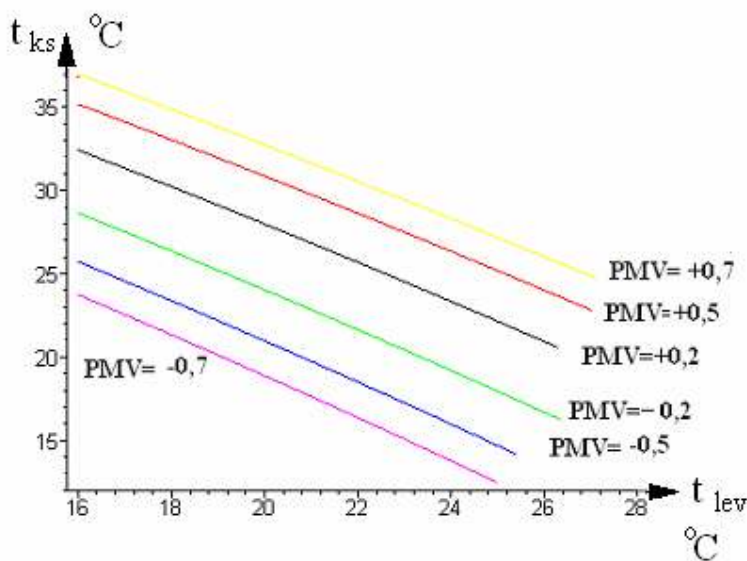


**F.3.2. ábra:** A  $PMV = \pm 0,5$  paramétervonal összehasonlítása az egyenessel a  $t_{lev}$ - $t_{ks}$  síkon

**Következtetések:**

1. A PMV=állandó paramétervonalak a  $T^{1/4}$ -es összefüggés ellenére egyenesnek vehetők.
2. Az iterációs eljárás kiinduló értékei fontosak, mivel egy bizonyos levegő hőmérsékletnél az eredmények komplex számba mennek át.

Az eljárást a PMV=±0,2 és ±0,7 esetére is megismételve az eredmény a F.3.3. ábrán látható.



**F.3.3. ábra:** A PMV= ± 0,2 ; ± 0,5; ± 0,7 paramétervonalak a  $t_{lev}$ - $t_{ks}$  síkon

A Maple program következő, második részében ugyannerre az épületminőségi kategóriára (PMV= ± 0,5) az operatív hőmérséklettartományokat számoltuk és rajzoltuk fel.

A  $T_o$  operatív hőmérséklet képlete:

$$T_o := \frac{hr \cdot tmrt + hc \cdot ta}{hr + hc}$$

Ebben a képletben a sugárzásos hőátadási tényező (hr) számítása:

$$hr := \frac{5.67 \left( \left( \frac{tcl}{100} + \frac{273}{100} \right)^4 - \left( \frac{tmrt}{100} + \frac{273}{100} \right)^4 \right)}{\left( \frac{1}{e1} + \frac{1.8 \left( \frac{1}{e2} - 1 \right)}{A} \right) (tcl - tmrt)}$$

amely egyenletben levő konstansok : az ember testfelülete  $1,8 \text{ m}^2$ , amely adott értéként szerepel az egyenletben, a helyiséget határoló, az emberi testtel sugárzásos hőcserében lévő falfelület jelölése:  $e1$  , amely  $45,6 \text{ m}^2$  értékűnek vettük fel.

$$adatok := e1 = 0.98, e2 = 0.92, A = 45.6$$



$T_o = 24$  °C érték mellett behelyettesítjük az adatokat, a

$hc = \max\left(2.05 (tcl - ta)^{\left(\frac{1}{4}\right)}, 10.4 v^{\left(\frac{1}{2}\right)}\right)$  értéket, majd a  $PMV=0.5$ ,  $pa=7.5$ ,  $Mpadu=58$ ,  $v=0.15$ ,  $eta=0$ ,  $fcl=1.15$ ,  $Icl=1$  kontansokat

$$\begin{aligned}
 \text{egyenlet1} := 24 = & \left( \frac{5.5379711268729901705 \left( \left( \frac{tcl}{100} + \frac{273}{100} \right)^4 - \left( \frac{tmrt}{100} + \frac{273}{100} \right)^4 \right) tmrt}{tcl - tmrt} \right. \\
 & \left. + \max(2.05 (tcl - ta)^{(1/4)}, 2.3255106965997812843) ta \right) / \left( \frac{5.5379711268729901705 \left( \left( \frac{tcl}{100} + \frac{273}{100} \right)^4 - \left( \frac{tmrt}{100} + \frac{273}{100} \right)^4 \right)}{tcl - tmrt} \right. \\
 & \left. + \max(2.05 (tcl - ta)^{(1/4)}, 2.3255106965997812843) \right)
 \end{aligned}$$

A  $ta=16..28$  °C között  $0.2$  °C -os lépésekkel a  $PMV=0.5$ -höz kiszámítjuk  $tcl$  értékeket az iterációkból, a kapott értéket behelyettesítjük az egyenletbe és az egyenletet megoldjuk  $tmrt$ -re.

```

pontok:=NULL:
ta:=16:novekmeny:=0.2:
while ta<22.6 do
  simplify(subs([szamitas(ta,0.5)[1]],egyenlet1));
  y:=fsolve(%,tmrt);
  pontok:=pontok,[ta,y]:
  ta:=ta+novekmeny:
od:

```

A kapott pontokat felrajzoltatjuk  $ta$ ,  $tmrt$  koordinátarendszerben, és összetesszük az előzőleg kapott  $PMV=+0.5$  és  $PMV=-0.5$  paramétervonalakkal:

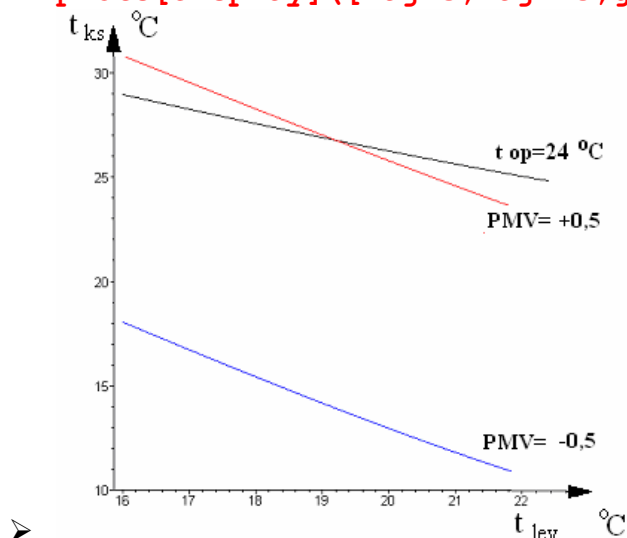
```

pontok;
gorbe5:=plot([pontok],color=black):

```

[ 16, 28.974542254734056938 ], [ 16.2, 28.831807738445883658 ],  
 [ 16.4, 28.689678175083998762 ], [ 16.6, 28.548168297375275052 ],  
 [ 16.8, 28.407298408662388091 ], [ 17.0, 28.267084282720415225 ],  
 [ 17.2, 28.127544162083800727 ], [ 17.4, 27.988697005191340891 ],  
 [ 17.6, 27.850564076256077390 ], [ 17.8, 27.713162605032522221 ],  
 [ 18.0, 27.576515754750557941 ], [ 18.2, 27.440645834197672305 ],  
 [ 18.4, 27.305574570355812769 ], [ 18.6, 27.171329688890745940 ],  
 [ 18.8, 27.037934818925397541 ], [ 19.0, 26.905416647600153161 ],  
 [ 19.2, 26.773804535372353450 ], [ 19.4, 26.643124855900834646 ],  
 [ 19.6, 26.513410225027762069 ], [ 19.8, 26.384692027709032308 ],  
 [ 20.0, 26.257007342094028237 ], [ 20.2, 26.130391881583040665 ],  
 [ 20.4, 26.004880564799211862 ], [ 20.6, 25.880518116043521021 ],  
 [ 20.8, 25.757346271196244147 ], [ 21.0, 25.635412693066546224 ],  
 [ 21.2, 25.514762767884997785 ], [ 21.4, 25.395452662992402398 ],  
 [ 21.6, 25.277537878070606426 ], [ 21.8, 25.161080185421864741 ],  
 [ 22.0, 25.046143202114806802 ], [ 22.2, 24.932798883813251933 ],  
 [ 22.4, 24.821124383375543283 ]

➤ `plots[display]([rajz5,rajzm5,gorbe5]);`



**F.3.4. ábra:** A  $PMV = \pm 0,5$  paramétervonalak és a  $t_{op}=24^{\circ}\text{C}$  összehasonlítása a  $t_{lev}-t_{ks}$  síkon

Az operatív hőmérséklet minimális megengedett értékére, azaz  $T_o=20^{\circ}\text{C}$ -ra,  $PMV = -0.5$  mellett kapunk egy másik egyenletet, amelyet az előbbihez hasonlóan felrajzolunk.

```
ta:='ta':subs({adatok,valasztas},To):
egyenlet2:=20=subs({PMV=-0.5, pa=9.5,Mpadu=69.6,v=0.05, eta=0,
fcl=1.15, Icl=1},%);
```

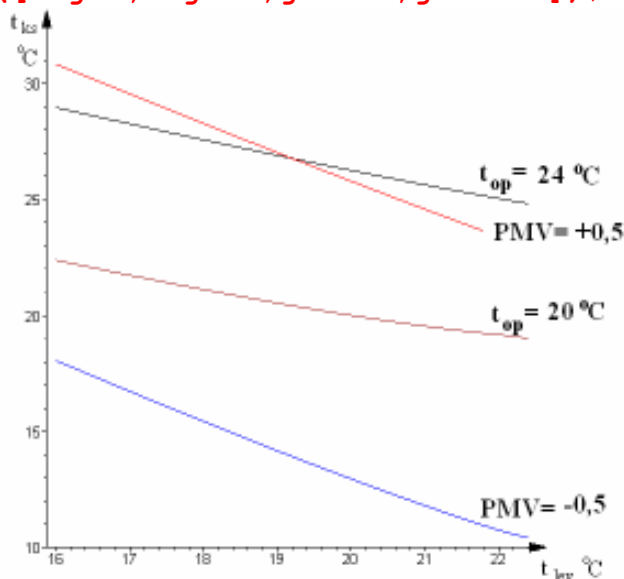
$$\begin{aligned}
 \text{egyenlet2} := 20 = & \left( \frac{5.5379711268729901705 \left( \left( \frac{tcl}{100} + \frac{273}{100} \right)^4 - \left( \frac{tmrt}{100} + \frac{273}{100} \right)^4 \right) tmrt}{tcl - tmrt} \right. \\
 & \left. + \max(2.05 (tcl - ta)^{(1/4)}, 2.3255106965997812843) ta \right) / \left( \frac{5.5379711268729901705 \left( \left( \frac{tcl}{100} + \frac{273}{100} \right)^4 - \left( \frac{tmrt}{100} + \frac{273}{100} \right)^4 \right)}{tcl - tmrt} \right. \\
 & \left. + \max(2.05 (tcl - ta)^{(1/4)}, 2.3255106965997812843) \right)
 \end{aligned}$$

A  $t_a=16$  °C és  $22,4$  °C között  $0.2$  °C-os lépésközzel "tcl" értékeket számítjuk iterációval, behelyettesítjük az egyenlet2 -be, majd "tmrt" re megoldjuk. A kapott [ta,tmrt] pontokat összegyűjtjük és felrajzoljuk.

```

pontok:=NULL:
ta:=16:novekmeny:=0.2:
while ta<22.6 do
  simplify(subs([szamitas(ta,-0.5)[1]],egyenlet2));
  y:=fsolve(%,tmrt);
  pontok:=pontok,[ta,y]:
  ta:=ta+novekmeny:
od:
gorbem5:=plot([pontok],color=brown):
> plots[display]([rajz5,rajzm5,gorbe5,gorbem5]);

```

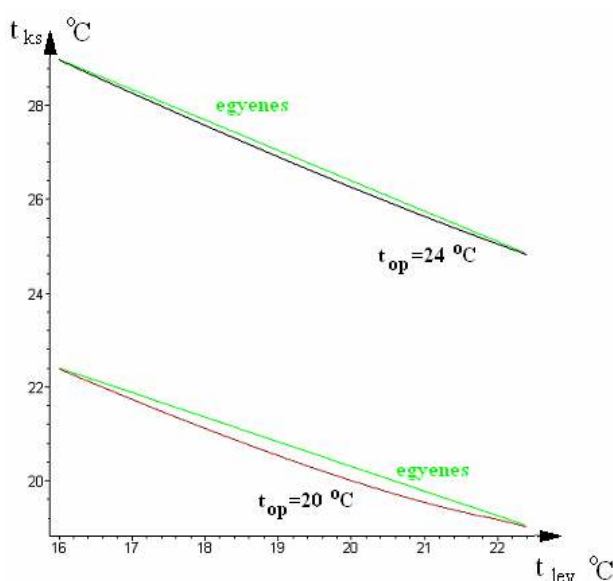


**F.3.5. ábra:** A  $PMV = \pm 0,5$  tartomány és a  $t_{op}=20 \div 24$ °C tartomány összehasonlítása a  $t_{lev}-t_{ks}$  síkon

### A $t_{op}$ =állandó görbék vizsgálata

Az operatív hőmérséklet görbéinek vizsgálatára felrajzoltuk a két  $t_{op}$  görbe két végpontját összekötő egyeneseket (F.3.6. ábra). Konklúzió: a teljes felrajzolt  $t_{lev}$  tartományban eltér a görbe az egyenestől, de kisebb hőmérséklettartományban a görbe egyenessel helyettesíthető, annak ellenére, hogy a  $t_{op}$  összefüggésében  $T^4$  értékek szerepelnek. A felrajzolás Maple lépései:

```
> egyenes5:=plot([[16.00, 28.99],[22.37, 24.86]],color=green):
> egyenesm5:=plot([[16.01, 22.40],[22.38, 19.05]],color=green):
> plots[display]([gorbe5, egyenes5, gorbem5, egyenesm5]);
```



**F.3.6. ábra:** A  $t_{op}=20$  °C-os és  $t_{op}=24$  °C-os görbék összehasonlítása az egyenessel a  $t_{lev}$ - $t_{ks}$  síkon

#### Következtetések :

1. Az I. csoport B épületminőségi kategória esetére felrajzolt  $PMV=+0,5$  és  $PMV=-0,5$  közötti tartomány és ugyanerre a kategóriára megadott  $t_{op}=20$  °C és  $t_{op}=24$  °C közötti tartomány nem azonos területet fed le, a két feltétel a helyiséglevegő paramétereire és a közepes sugárzási hőmérsékletre nem azonos.
2. A tartományok oldalsó lezárása nincs megoldva a  $PMV$  és  $t_{op}$  tartományok megadásával.
3. Az operatív hőmérsékletek paramétervonalára a  $T^4$ -es összefüggés ellenére kis  $\Delta t_{lev}$  hőmérséklet intervallumban egyenesnek vehető.

#### A program harmadik része: a komforttartomány oldalsó lezárása

A komforttartomány másik két oldalának a lezárását az  $m$  paraméter bevezetésével - a konvektív és a száraz hőleadás arányának megkötésével – végezzük. Az „A” kategóriánál:  $m=0,45$  és  $m=0,55$ , a „B” és a „C” kategória esetében az  $m$  arány szélső értékeit  $0,6$  és  $0,4$  értékűnek vettük fel.



```
od:
pmv07 := [pmv07] :
```

Az arányok számítása PMV=0.7 értékhez

```
> aranyok07 := NULL:
for k from 1 to nops (pmv07) do
aranyok07 := aranyok07, subs ([ta=pmv07[k,1], tcl=pmv07[k,2], tmrt=pmv07[k,3]], hanyad)
od:
aranyok07;
2.1394649307527926432, 2.0705128491111879694, 2.0033937475886322149,
1.9380412576181105502, 1.8743923452419464335, 1.8123871126243007030,
1.7519678608920902900, 1.6930819340545076375, 1.6356770519611480284,
1.5797041469658755375, 1.5251164918509582544, 1.4718707303229175939,
1.4199220423051903508, 1.3692312349545894766, 1.3197597631912676628,
1.2714708709479223560, 1.2243281949411934916, 1.1783010881061131038,
1.1333561720350244232, 1.0894645749744869119, 1.0465939112917041588,
1.0047183623721069681, 0.96381005368183035554, 0.92384729749629132001,
0.88480553353058184324, 0.84665726253351912014, 0.80938060891547944142,
0.77296915809067465940, 0.73739030607532540897, 0.70262355463697842533,
0.66865782952347658292, 0.63547678722588354567, 0.60306126632843881177,
0.57139840776724639109, 0.54047466809558658757, 0.51027748983722913445,
0.48079531616919944492, 0.45201759214770520835, 0.42393481668927984191,
0.39653867757921803033, 0.36982022244848425529, 0.34377717180917892885,
0.31840292607819919752, 0.29369431923653556813, 0.26964981518597620311
```

Keressük az m=0,6 értéket:

```
> keres := 0.6;
ind := 1;
while aranyok07[ind] > keres do
ind := ind + 1
od:
`hányadik` = ind;
aranyok07[ind-1], aranyok07[ind];
```

*keres := 0.6*

*hányadik = 34*

*0.60306126632843881177, 0.57139840776724639109*

➤ *pmv07[ind-1], pmv07[ind];*

➤

*[22.4, 27.941421439246969328, 25.40254500985196277 ],*

*[22.6, 27.937914111942082208, 25.17360745082377295 ]*

```

➤ pmv07[ind-1]+(pmv07[ind]-pmv07[ind-1])*(keres-
  aranyok07[ind-1])/(aranyok07[ind]-aranyok07[ind-1]);
➤
p07_06:=[%[1],%[3]];

[22.419336638999429145, 27.941082339637232113, 25.380410595190269734 ]
p07_06 := [22.419336638999429145, 25.380410595190269734 ]

```

Keressük az m=0.4 értéket:

```

> keres:=0.4;
ind:=1;
while aranyok07[ind]>keres do
  ind:=ind+1
od:
`hányadik`=ind;
aranyok07[ind-1], aranyok07[ind];
      keres := 0.4
      hányadik = 40
      0.42393481668927984191, 0.39653867757921803033
> pmv07[ind-1], pmv07[ind];
      [23.6, 27.920374321071269602, 24.05405683636927121 ],
      [23.8, 27.916865650420052642, 23.83577011899194195 ]
> pmv07[ind-1]+(pmv07[ind]-pmv07[ind-1])*(keres-aranyok07[ind-
  1])/(aranyok07[ind]-aranyok07[ind-1]);
p07_04:=[%[1],%[3]];
      [23.774731312270854065, 27.917308947935202744, 23.863349213476082283 ]
      p07_04 := [23.774731312270854065, 23.863349213476082283 ]

```

Kiszámoljuk a [ta, tcl, tmrt] összetartozó értékeket a PMV= -0.7 értékre:

```

> pmv_07:=NULL:taf:=13:novekmeny:=0.2:
while taf<22.2 do
  pmv_07:=pmv_07,[taf,rhs(szamitas(taf,-
  0.7)[1]),rhs(szamitas(taf,-0.7)[2])]:
  taf:=taf+novekmeny:
od:
pmv_07:=[pmv_07]:

```

Az arányok számítása PMV= -0.7 értékhez:

```

> aranyok_07:=NULL:
for k from 1 to nops(pmv_07) do
aranyok_07:=aranyok_07,subs([ta=pmv_07[k,1],tcl=pmv_07[k,2],tm
rt=pmv_07[k,3]],hányad)
od:

```

**aranyok\_07;**

```
0.70406881565567425333, 0.68339074089060936674, 0.66300067796392746609,
  0.64289511032283878165, 0.62307181430813498799, 0.60352506917136768486,
  0.58425306276604421012, 0.56525279861456860332, 0.54652141100253684642,
  0.52805506566572817751, 0.50985352361723066563, 0.49191304052245439727,
  0.47423128766984202434, 0.45680713302056698554, 0.43963621908405389530,
  0.42271792168970059620, 0.40604944198772764987, 0.38963154039747631478,
  0.37346256406834244785, 0.35753863329671941540, 0.34185940394864975972,
  0.32642672210655021106, 0.31123724034238306742, 0.29629069007984475053,
  0.28158772426160072938, 0.26712670014264616089, 0.25290997690533325209,
  0.23893719222221689962, 0.22520920115239364224, 0.21172720986812675730,
  0.19849281562384741036, 0.18550805463838245023, 0.17277545988337056114,
  0.16029813141339114137, 0.14807982277279777212, 0.13612504829586307757,
  0.12443921797938559912, 0.11302880937428580522, 0.10190237916767253759,
  0.091067575910066167176, 0.080536649334808880885,
  0.070323385247838102195, 0.060874280270453324158,
  0.053067743833587398925, 0.045294547433589373228,
  0.037554477943386983846
```

Keressük az  $m=0.6$  értéket:

```
> keres:=0.6;
```

```
ind:=1:
```

```
while aranyok_07[ind]>keres do
```

```
  ind:=ind+1
```

```
od:
```

```
  `hányadik`=ind;
```

```
  aranyok_07[ind-1], aranyok_07[ind];
```

```
      keres := 0.6
```

```
      hányadik = 7
```

```
0.60352506917136768486, 0.58425306276604421012
```

```
> pmv_07[ind-1], pmv_07[ind];
```

```
[14.0, 23.140204170328032749, 18.10503463156323341 ],
```

```
[14.2, 23.136694905623658952, 17.82637610725530936 ]
```

```
> pmv_07[ind-1]+(pmv_07[ind]-pmv_07[ind-1])*(keres-
  aranyok_07[ind-1])/(aranyok_07[ind]-aranyok_07[ind-1]);
```

```
p_07_06:=[%[1], %[3]];
```

```
[14.036582274800344201, 23.139562285899219995, 18.054064818004779051 ]
```

```
p_07_06 := [14.036582274800344201, 18.054064818004779051 ]
```

Keressük az  $m=0.4$  értéket:

```
> keres:=0.4;
```

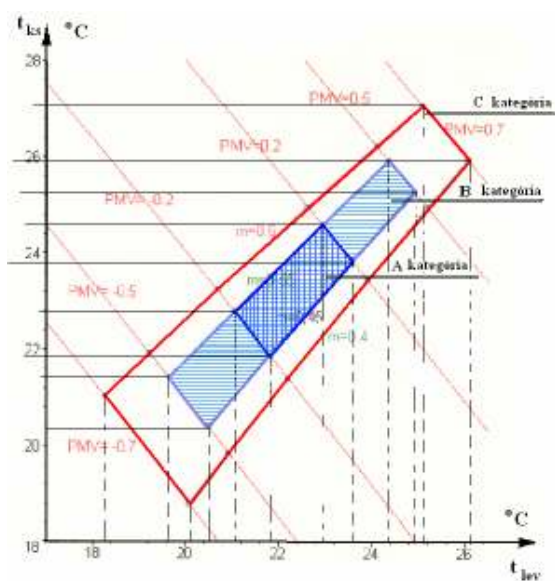
```
ind:=1:
```

```
while aranyok_07[ind]>keres do
```

```
  ind:=ind+1
```







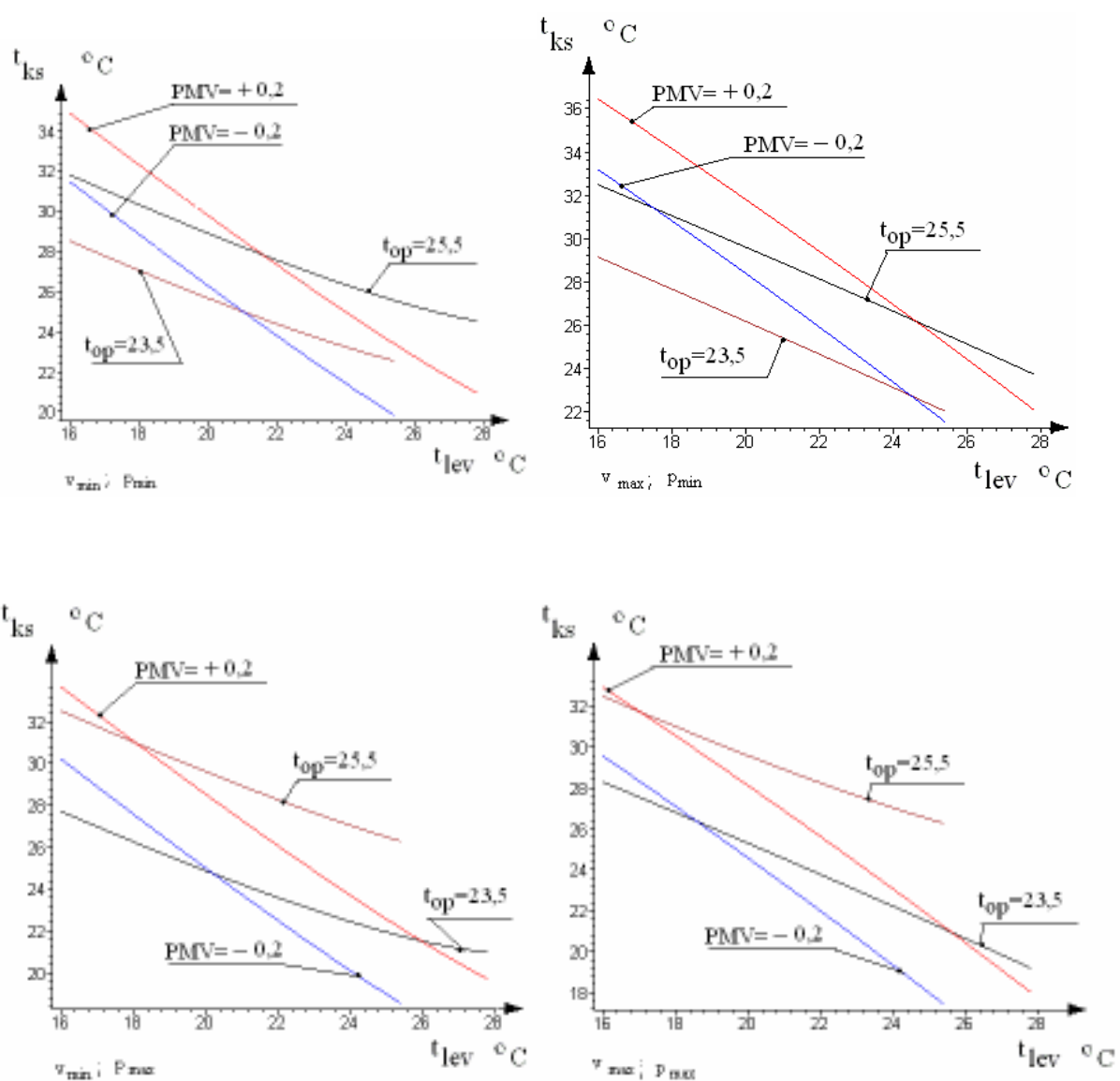
**F.3.8. ábra:** Az A, B és C épületminőségi kategória téli esetre,  $\rho=7.5 \text{ Hgmm}$ ,  $v=0,1 \text{ m/s}$ , és  $1 \text{ met}$ , azaz  $M/A_{\text{Du}}=58 \text{ W/m}^2$  esetén

### F. 3. 2. Az operatív hőmérséklet-, és PMV- tartományok összehasonlítása

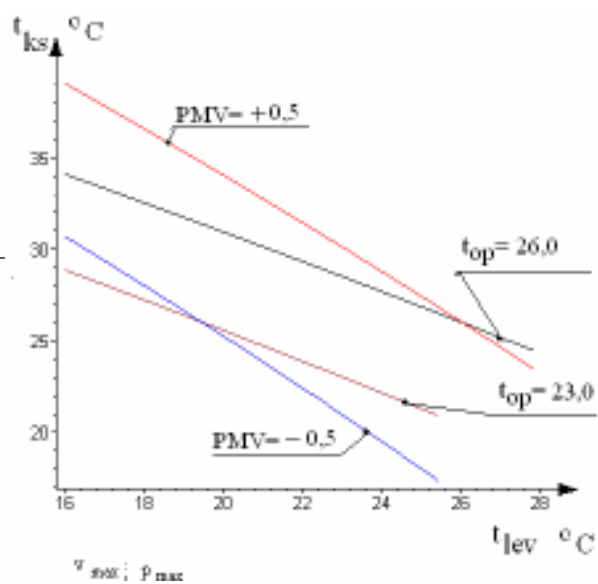
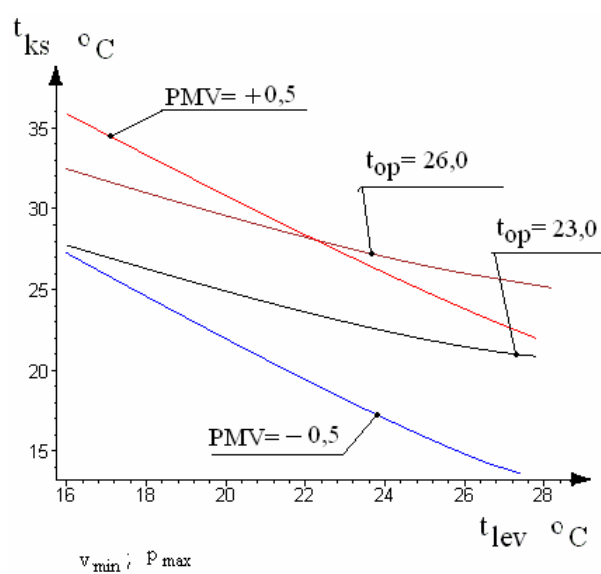
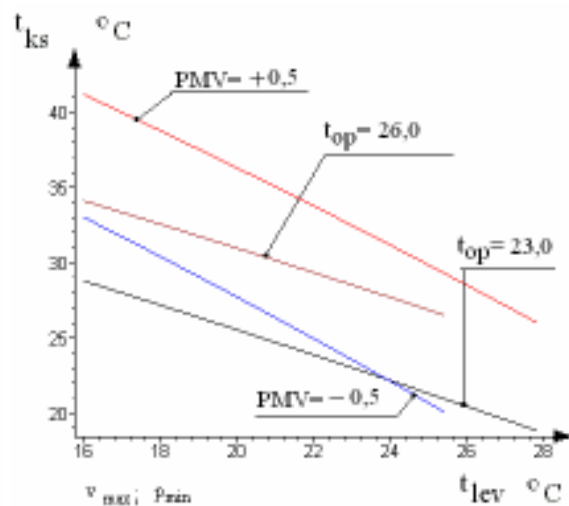
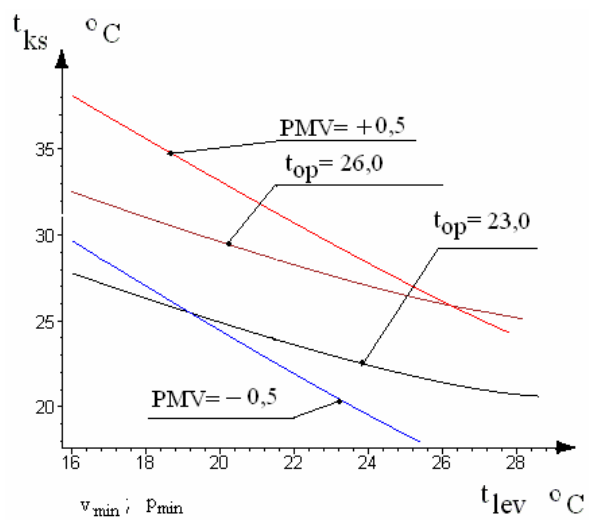
#### I. csoport

#### NYÁR

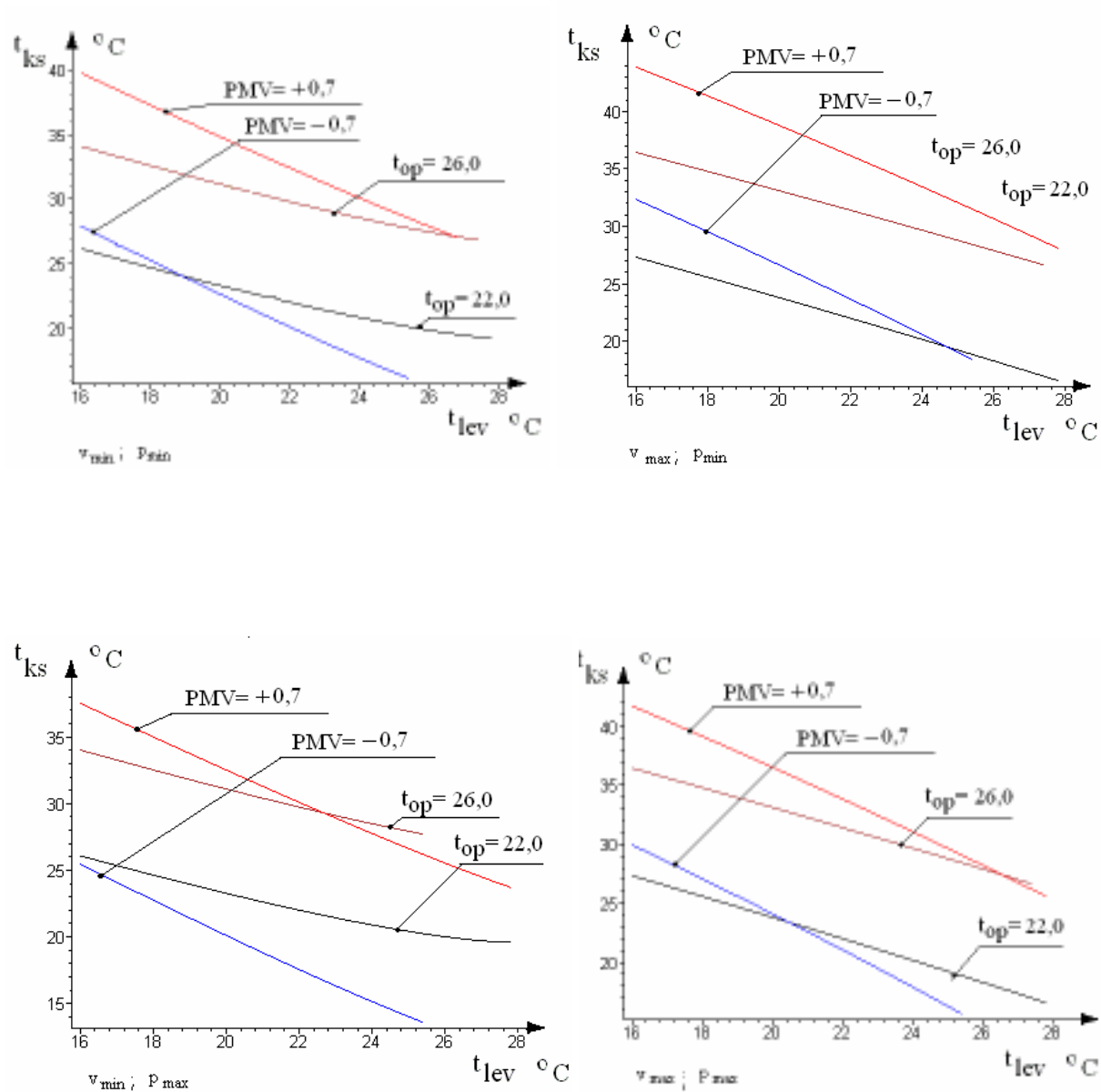
#### „A” kategória



„B” kategória

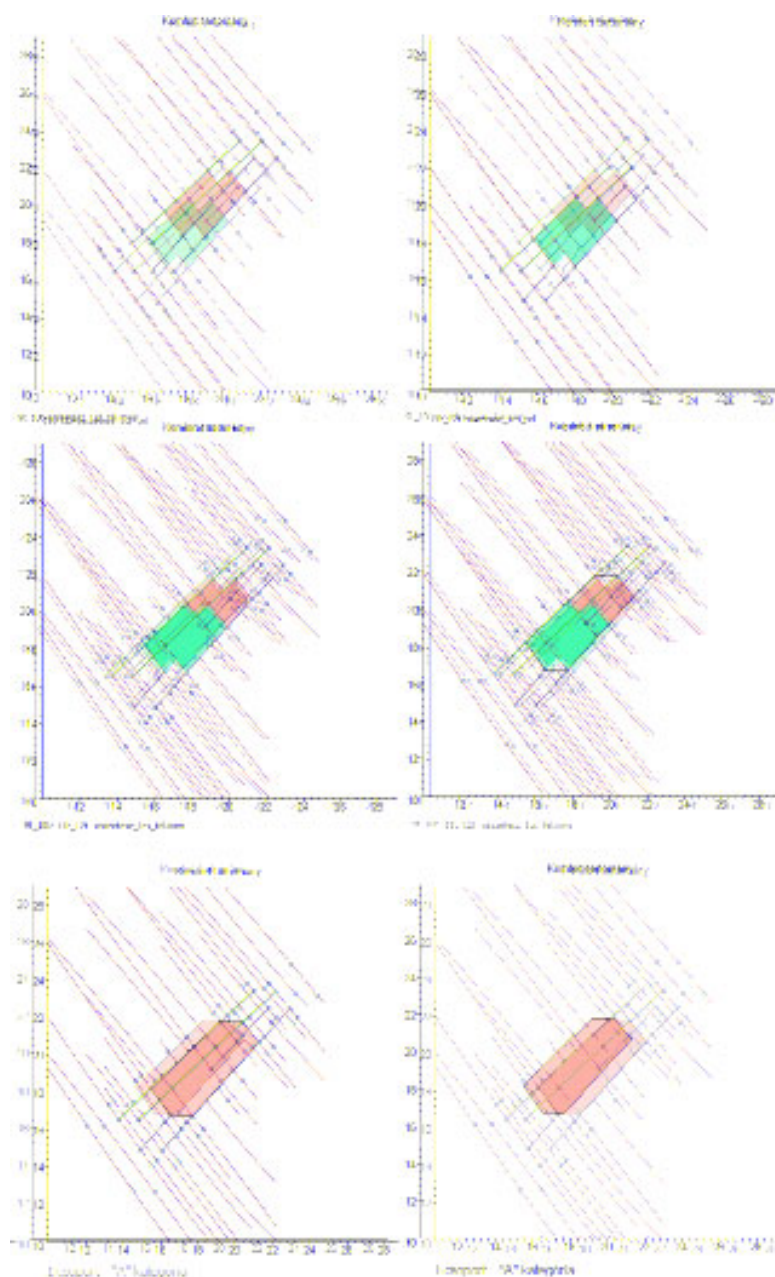


## „C” kategória



**F.3.9. ábra :** A  $PMV = \pm 0,2$ ,  $PMV = \pm 0,5$ ,  $PMV = \pm 0,7$  paramétervonalak, és a  $t_{op, min} - t_{op, max}$  görbék által határolt tartományok

### F. 3.3. A komforttartomány szerkesztése az A kategóriára a sebesség és parciális vízgőznyomás hatásának figyelembevételével



**F.3.10. ábra:** A változó paraméterek hatását figyelembevevő komforttartomány szerkesztése az I. csoport A épületminőségi kategóriára fűtés esetén

A bal felső ábra a  $p_{v,g,\min} = 13,2$  Hgmm,  $v=0,05$  m/s, és a  $v=0,15$  m/s, a jobb felső ábra a  $p_{v,g,\max} = 22,6$  Hgmm,  $v=0,05$  m/s, és a  $v=0,15$  m/s, értékekhez tartozó tartományokat ábrázolja, a közepén lévő két ábra a lehetséges helyzeteket egymásra szerkesztve, és a tartomány sebességváltozásának vonalát kiegészítő tartomány-határoló vonalak berajzolását szemléltetik. A kiegészítő határoló vonal vízszintes, mert a légsebesség növelésével a tartomány mindkét  $p_{v,g}$  esetén vízszintes irányban tolódik el.

Az alsó ábrák a teljes tartományt ábrázolják, amely az „A” kategória, 1. csoport téli esetre vonatkozó tartományát jelentik, a lehetséges változó paraméterek figyelembevételével, és a szerkesztéshez felhasznált tartományok határoló vonalainak kitörlésével.

### F. 3.4. Eredmények

#### I. csoport: Lakások<sup>3</sup>, irodák, előadó-, és konferenciatermek, éttermek, kávézók, iskolák<sup>4</sup>

##### Nyári eset

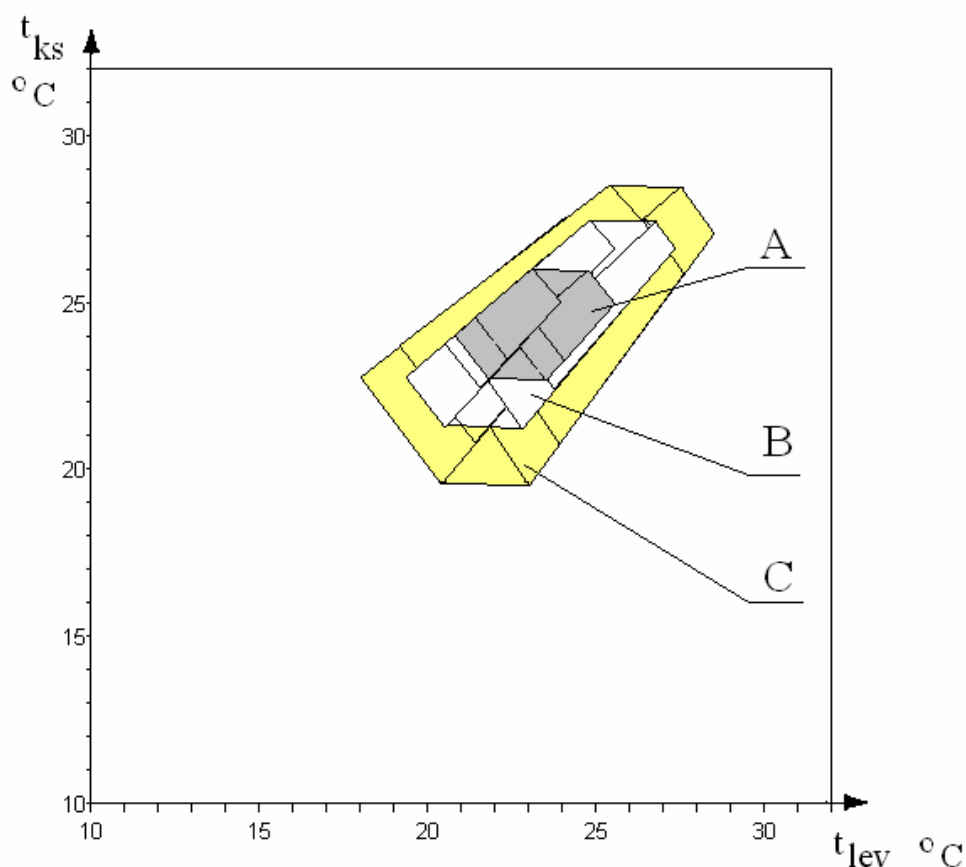
A komfortérzetet befolyásoló környezeti paraméterek értékei:

légsebesség.:                   A kategória :  $v=0.05 \div 0.18$  m/s  
   B kategória :  $v=0.05 \div 0.22$  m/s  
   C kategória :  $v=0.05 \div 0.25$  m/s

relatív nedvességtartalom : A kategória :  $\varphi = 40 \div 60$  % ,  
   B és C kategória:  $\varphi_{\min} < 30$  % és  $\varphi_{\max} > 70$  %

Személytől függő változók:

$I_{cl}=0.5$  clo,  $f_{cl}=1.1$  ,  
 aktivitási szint: 1.2 met ( $69.6$  W/m<sup>2</sup>)



**F.3.11. ábra :** Az I. csoport épületminőségi kategóriái nyári esetre a  $t_{lev}$ -  $t_{ks}$  síkon

<sup>3</sup> Az MSZ CR 1752:2000 szabvány követelményeinek kiterjesztése lakóépületekre.

<sup>4</sup> Nyári esetben, az A kategóriára a  $t_{op}$  tartomány:  $25,5 \pm 0,5$  °C.

### Téli eset

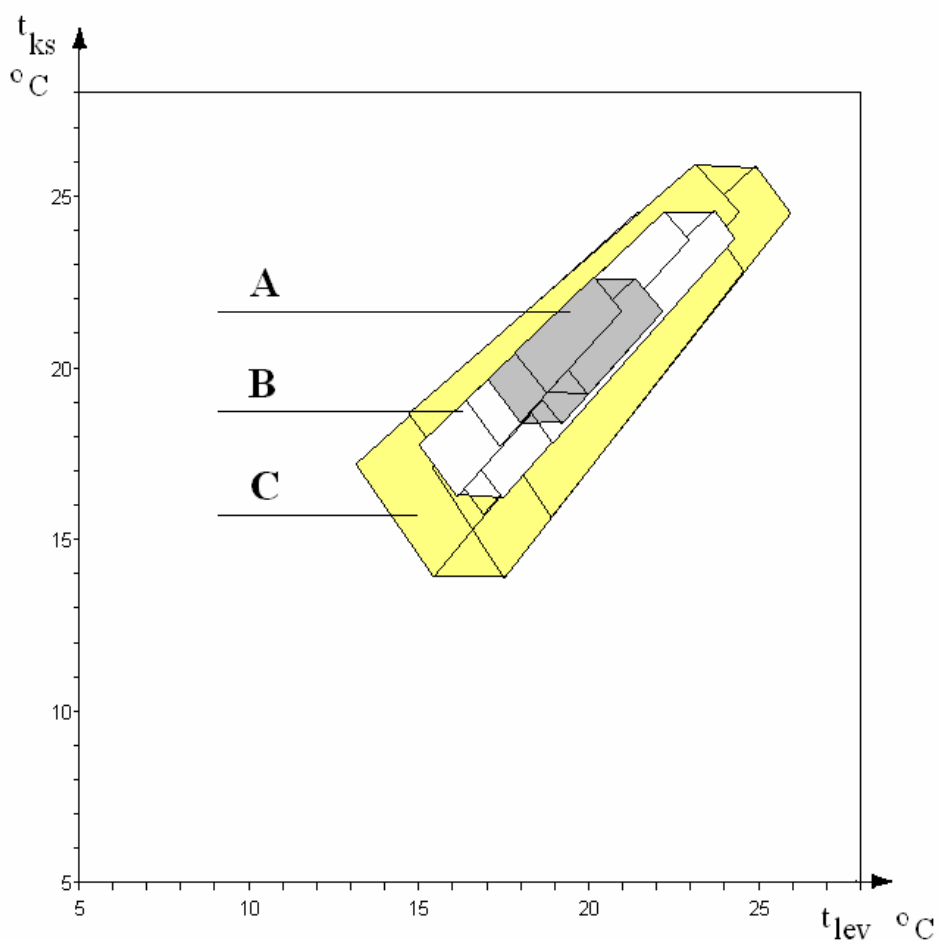
A komfortérzetet befolyásoló környezeti paraméterek értékei:

légssebesség.:                   A kategória :  $v=0.05 \div 0.15$  m/s  
   B kategória :  $v=0.05 \div 0.28$  m/s  
   C kategória :  $v=0.05 \div 0.21$  m/s

relatív nedvességtartalom :   A kategória :  $\varphi = 40 \div 60$  % ,  
   B és C kategória:  $\varphi_{\min} < 30$  % és  $\varphi_{\max} > 70$  %

Személytől függő változók:

$I_{cl}=1.0$  clo,  $f_{cl}=1.15$  ,  
 aktivitási szint : 1.2 met ( $69.6$  W/m<sup>2</sup>)



**F.3.12. ábra** : Az I. csoport épületminőségi kategóriái téli esetre a  $t_{lev}$ -  $t_{ks}$  síkon



## II. csoport: Óvodák

### Nyári eset

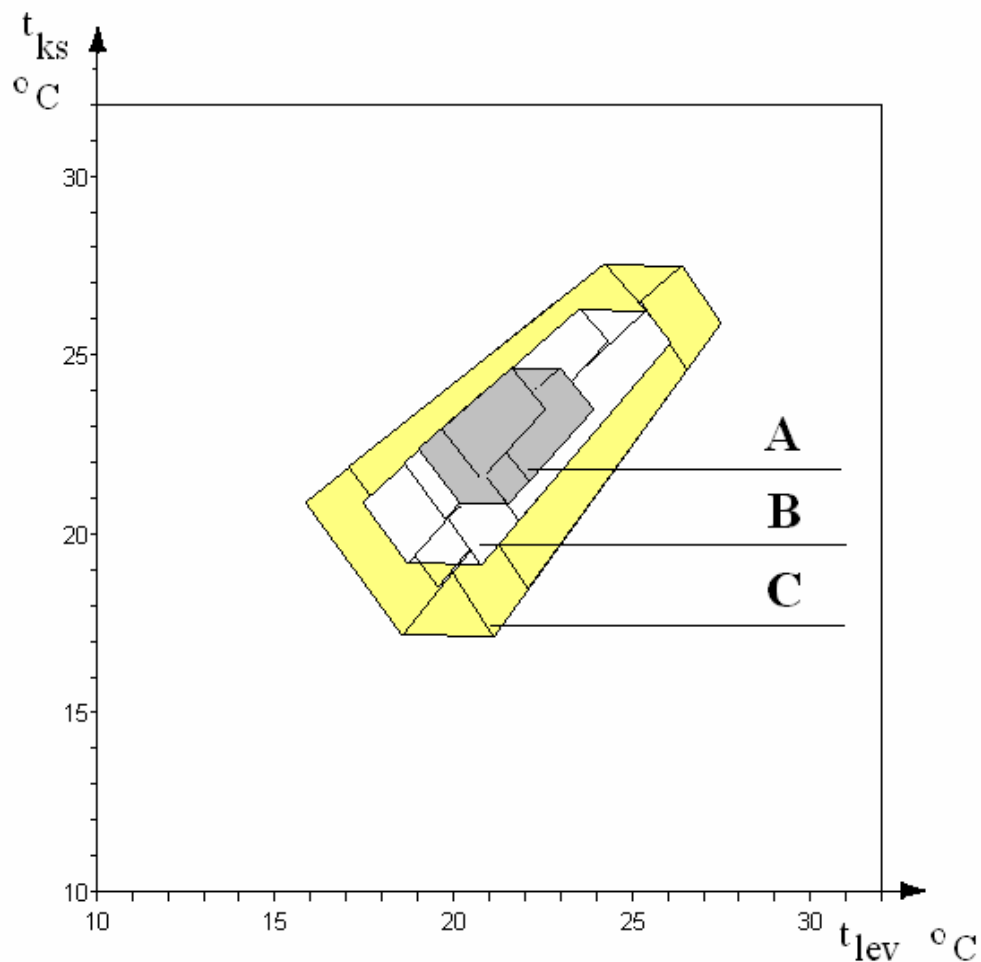
A komfortérzetet befolyásoló környezeti paraméterek értékei:

légssebesség.:                   A kategória :  $v=0.05\div 0.16$  m/s  
   B kategória :  $v=0.05\div 0.20$  m/s  
   C kategória :  $v=0.05\div 0.24$  m/s

relatív nedvességtartalom : A kategória :  $\varphi = 40\div 60$  % ,  
   B és C kategória:  $\varphi_{\min} < 30$  % és  $\varphi_{\max} > 70$  %

Személytől függő változók:

$I_{ci}=0.5$  clo,  $f_{ci}=1.1$  ,  
 aktivitási szint : 1.4 met ( $81.2$  W/m<sup>2</sup>)



**F.3.13. ábra:** A II. csoport épületminőségi kategóriái nyári esetre

**Téli eset**

A komfortérzetet befolyásoló környezeti paraméterek értékei:

légsebesség.: A kategória :  $v=0.05 \div 0.13$  m/s

B kategória :  $v=0.05 \div 0.16$  m/s

C kategória :  $v=0.05 \div 0.19$  m/s

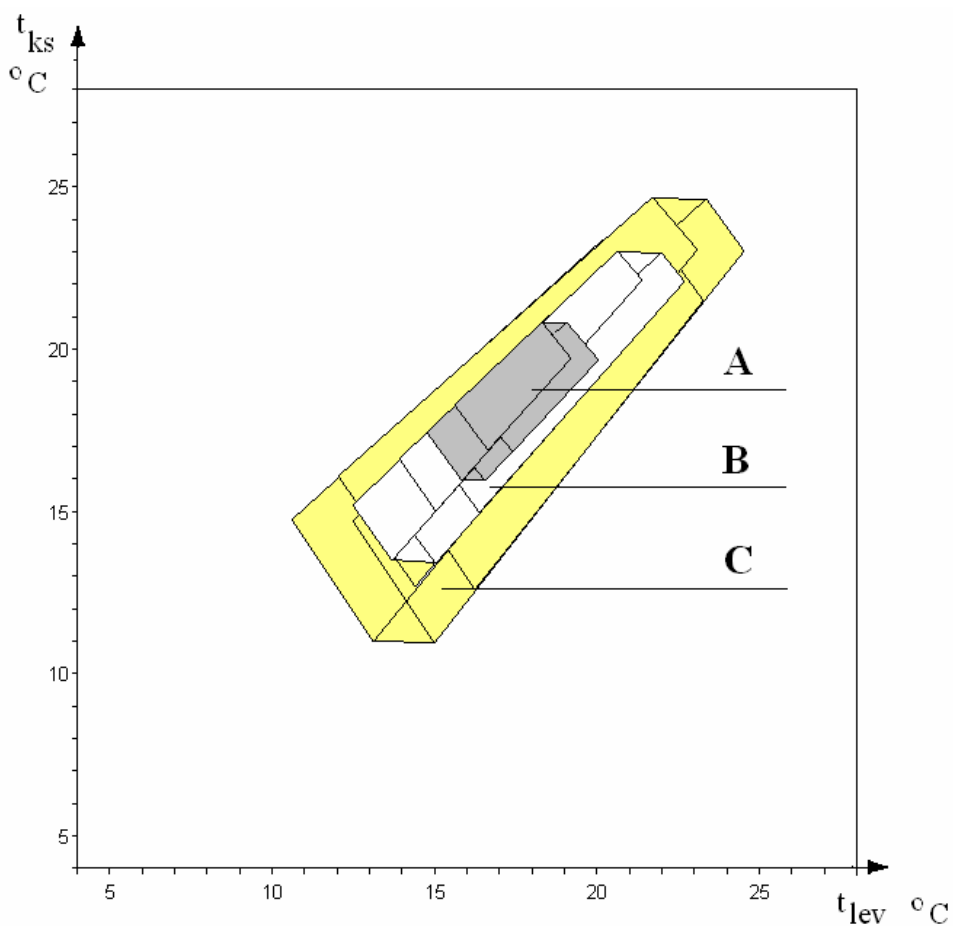
relatív nedvességtartalom : A kategória :  $\varphi = 40 \div 60$  % ,

B és C kategória:  $\varphi_{\min} < 30$  % és  $\varphi_{\max} > 70$  %

Személytől függő változók:

$I_{cl}=1.0$  clo,  $f_{cl}=1.15$  ,

aktivitási szint : 1.4 met (81.2 W/m<sup>2</sup>)



**F.3.14. ábra:** A II. csoport épületminőségi kategóriái téli esetre a  $t_{lev}$ -  $t_{ks}$  síkon

### III. csoport: Raktárak

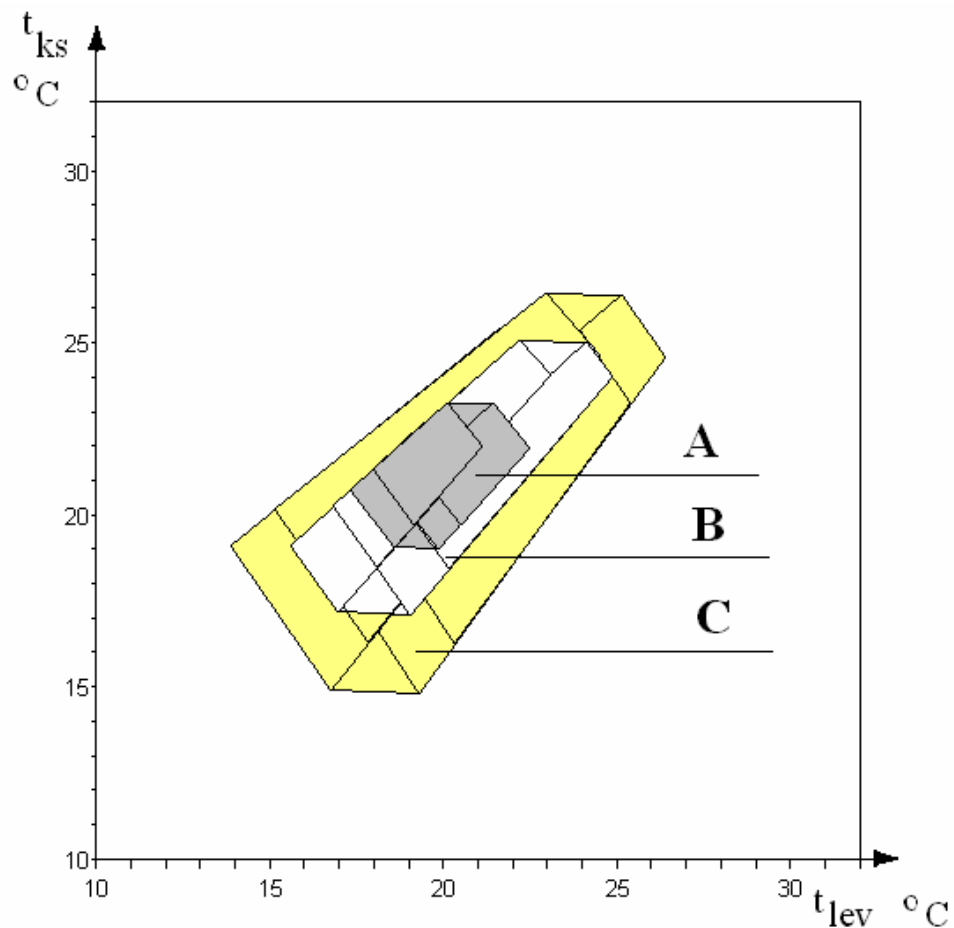
#### Nyári eset

A komfortérzetet befolyásoló környezeti paraméterek értékei:

légsebesség:	A kategória : $v=0.05 \div 0.16$ m/s
	B kategória : $v=0.05 \div 0.20$ m/s
	C kategória : $v=0,05 \div 0.23$ m/s
relatív nedvességtartalom :	A kategória : $\varphi = 40 \div 60$ % ,
	B és C kategória: $\varphi_{\min} < 30$ % és $\varphi_{\max} > 70$ %

Személytől függő változók:

$I_{cl}=0.5$  clo,  $f_{cl}=1.1$  ,  
 aktivitási szint: 1.6 met ( 92.8 W/m<sup>2</sup>)



**F.3.15. ábra:** A III. csoport épületminőségi kategóriái nyári esetre a  $t_{lev}$ -  $t_{ks}$  síkon

**Téli eset**

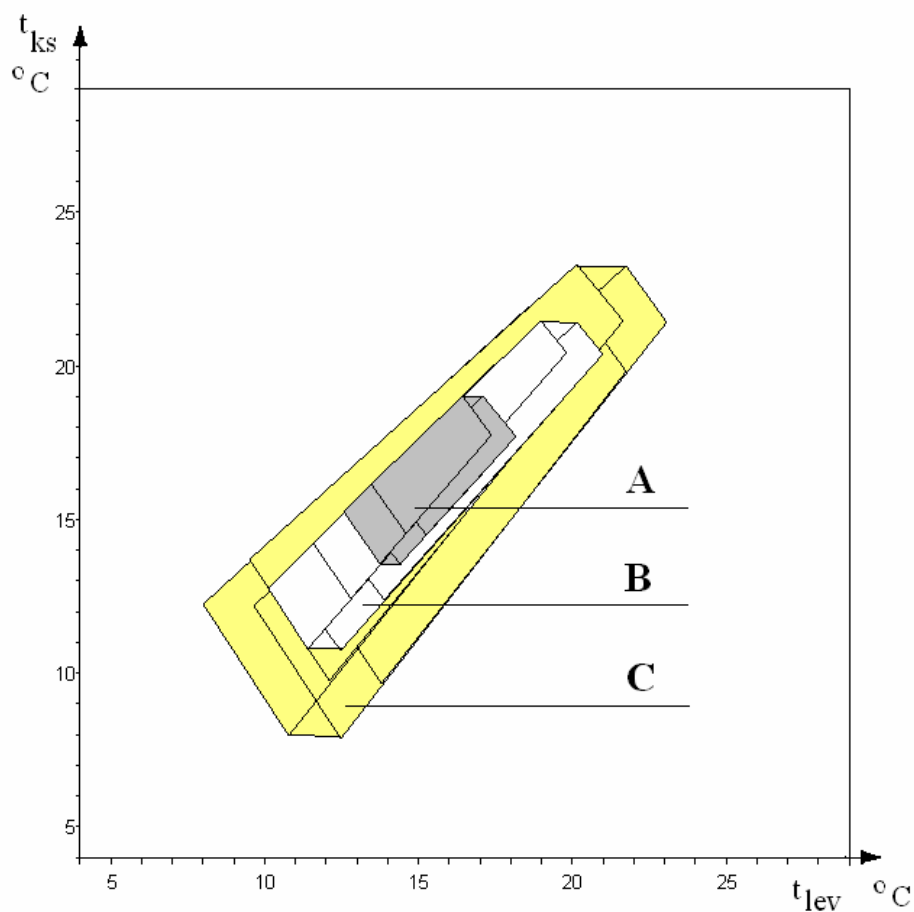
A komfortérzetet befolyásoló környezeti paraméterek értékei:

légsebesség.:                    A kategória :  $v=0.05\div 0.13$  m/s  
     B kategória :  $v=0.05\div 0.15$  m/s  
     C kategória :  $v=0.05\div 0.18$  m/s

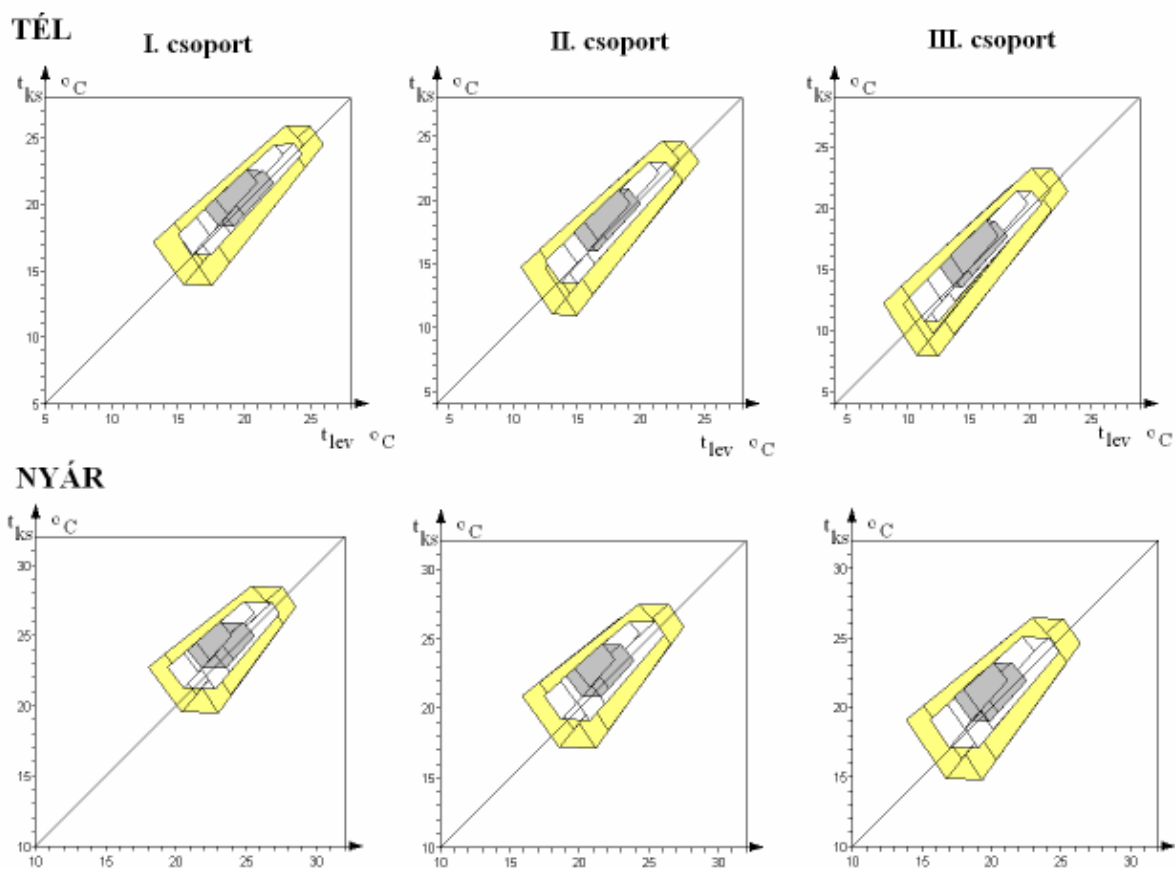
relatív nedvességtartalom : A kategória :  $\varphi = 40\div 60$  % ,  
     B és C kategória:  $\varphi_{\min} < 30$  % és  $\varphi_{\max} > 70$  %

Személytől függő változók:

$I_{cl}=1.0$  clo,  $f_{cl}=1.15$  ,  
 aktivitási szint: 1.6 met ( 92.8 W/m<sup>2</sup>)



**F.3.16. ábra:** A III. csoport épületminőségi kategóriái téli esetre a  $t_{lev}$ -  $t_{ks}$  síkon

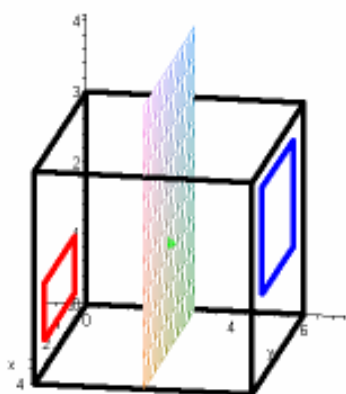


**F.3.17. ábra:** A  $t_{ks} = t_{lev}$  egyenes berajzolása a téli és nyári komforttartományok diagramjába

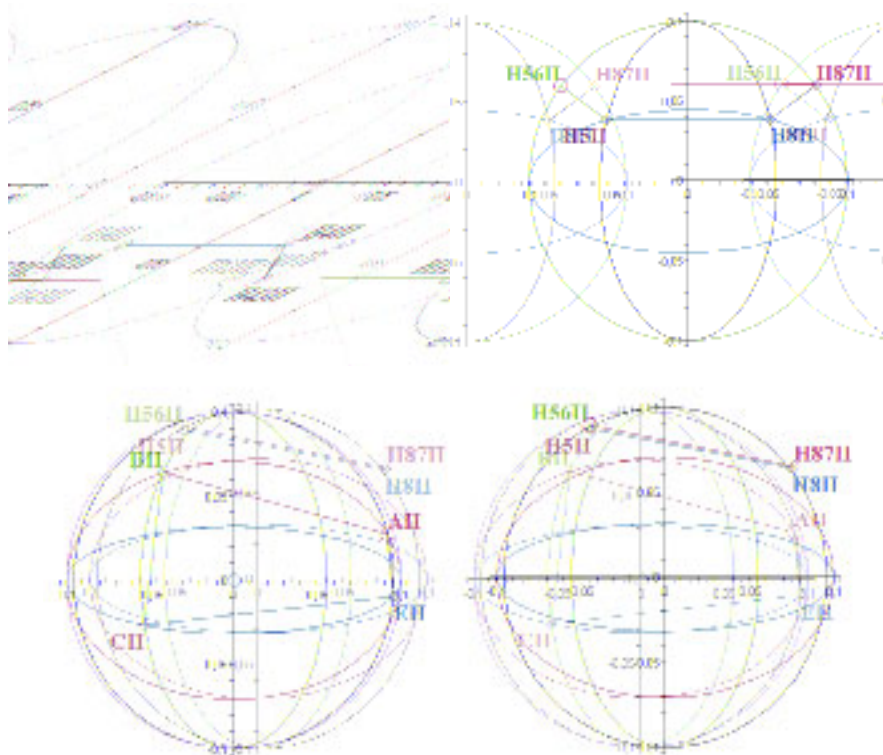
#### F. 4. A szerkesztéses eljárás ellipszis ívei szerinti korrekció

A szerkesztéses eljárás 2.2.2. fejezetben leírt és a 2.10. ábrán szemléltetett ellipszis ívek miatti korrekciót, a Maple programmal elvégezve az adott esetre, megállapítható, hogy a korrekció a számítások pontosságát nagy mértékben nem növeli. Mivel minden ívre, a 2.19, 2.20 és 2.21 egyenletek figyelembevételével jelentősen növeli a program futásidejét, és az eredmény pontossága szempontjából figyelmen kívül hagyható, jelen esetben nem tartjuk szükségesnek az ellipszis korrekciót. Az F.4.1. ábra mutatja a vizsgált esetre vonatkozó helyiségmodellt, a vizsgálati ponttal, és a vizsgálósíkkal.

Az F.4.2. ábra az ellipszisívek szerkesztésének egyes részleteit mutatják, abban az esetben, ha a P pont a helyiség középvezetékén van. Az F.4.3. ábra a különbséget szemlélteti a korrekció nélküli, és az ellipszisívek korrekciójával számolt sugárzási aszimmetria eloszlása között.



F.4.1. ábra: A helyiség középvezetékén felvett vizsgálati P pont

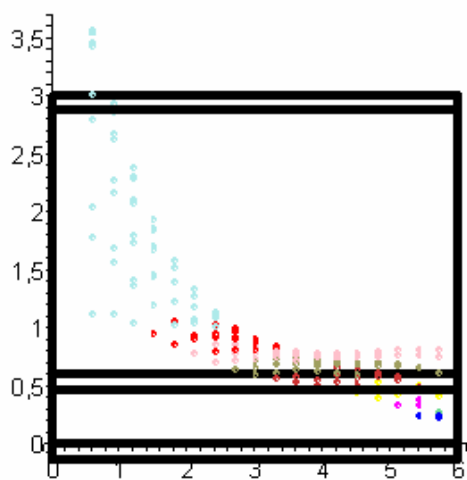
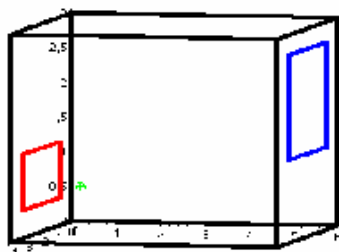


F.4.2. ábra: Az ellipszisívek miatti korrekció szerkesztésének részletei a Maple grafikájában

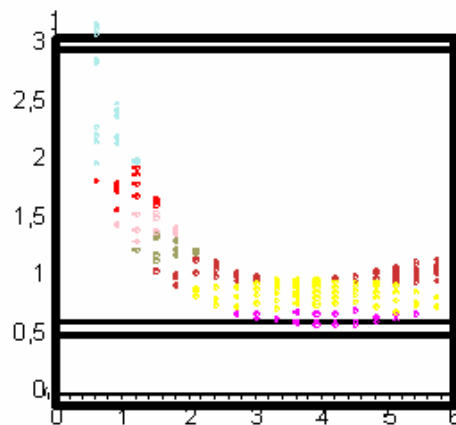
```

sz:=4 ;h:=6;m:=3;dx1:=0.8 ;dx2:=.8 ;dx3:=.8 ;dx4:=.8 ;dz1:=0.3 ;dz2:=
=1.2 ;dz3:=1.8 ;dz4:=0.4 ;p3:=0.6 ;
>
tM:=36;tH:=12;thatul:=18 ;telul:=18;tjobb:=18;tbal:=18;tF:=18;t
A:=18 ;

```



ellipszis korrekció nélkül



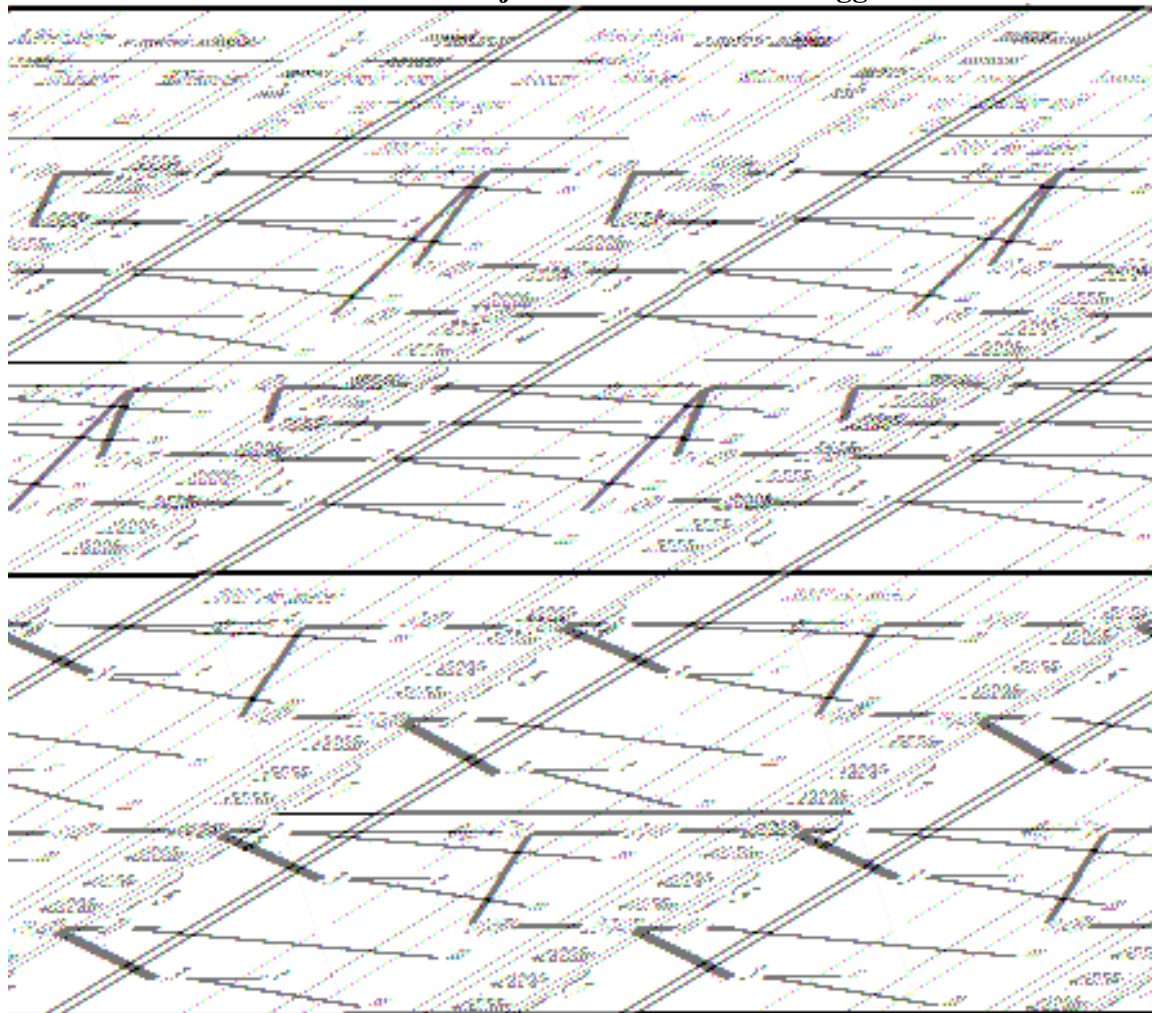
ellipszis korrekcióval

**F.4.3. ábra:** A korrekció nélküli, és az ellipszisívek korrekciójával számolt sugárzási aszimmetria adott helyiségben

## F. 5. Az élőalanyos és műemberes mérések mérési körülményei

### F.5.1. A mérési körülmények ismertetése

#### F.5.1. táblázat: A mérési adatok jele és a változók összefüggése a méréssorozatoknál



#### A mérési adatok négyjegyű számot kaptak, az alábbiak szerint:

Az első számjegy a helyzetre utal (elrendezés az 5.1. ábrán):

- 1 : 1. helyzet, az alanyok mögötti semleges falnál, a terem hossz tengelyében, B hely;
- 2: 2. helyzet, a terem hossz tengelyében, középben : A hely;
- 3: 3. helyzet, az alanyok mögötti semleges falnál, a hideg faltól 30 cm távolságban D, és
- 4: 4. helyzet, a hideg faltól 30 cm távolságban, középben, C hely.

A második számjegy a termikusan aktív falak felületeinek hőmérsékletkülönbségét jelzi:

- 1: 8 °C,
- 2: 13 °C,
- 3: 0 °C .

A harmadik számjegy a léghőmérsékletet jelenti:

- 1: 20 °C,
- 2: 23 °C.



A negyedik számjegy a ruházatot jelzi:

- 1: rövid ujjú trikó
- 2: rövid ujjú trikó és mellény
- 3: hosszú ujjú ing.

Az ötödik jel „e” vagy „m”, amely az élőalanyra, vagy a műemberre utal.

### F.5.2. Az élőalanyos mérések

A kutatás során a téli üzemállapotot szimulálva eltérő felületi hőmérsékletű falfelületeket állítottunk be, amelyek közül az egyik alacsonyabb hőmérsékletű volt, mint a helyiség-hőmérséklet. A kutatás célja arra vonatkozó következtetések levonása, hogy a különböző aszimmetrikus sugárzási hatásokra a vizsgálati alanyok hogyan reagálnak. A vizsgálati alanyok reakcióinak megítélésére egyrészt kérdőíves felméréseket végeztünk, amelyekkel a vizsgálati alanyoktól a következőkre kértünk választ:

- a hőérzet általános szubjektív megítélése
- az egyes testrészek hőérzetének szubjektív megítélése
- az általános testi szellemi állapot megítélése a vizsgálat ideje alatt.

A szubjektív kérdőíves felmérésekhez kapcsolódóan fiziológiai méréseket is végeztünk, amely a következő paraméterek mérésére terjedt ki:

- vérnyomás,
- pulzusszám,
- bőrhőmérsékletek a különböző testrészekben.

A vizsgálatok első fázisában a méréseket 12 élőalanyal végeztük el, amelyek valamennyien magyar származású egyetemista hallgatók voltak, nemek szerinti megoszlásuk 11 férfi és egy nő. A vizsgálati alanyok jól tápláltak, egészségesek, és valamennyien 21-23 év közötti életkorúak voltak.

**Az első élőalanyos mérési ütem** 2001. február 5-től, 2001. március 20-ig tartott. A mérési napokon a hőérzeti laboratóriumban egyszerre két mérőalanyal végeztük a vizsgálatokat, négy sorozatban, különböző termikus feltételek mellett.

Az első méréssorozatnál 20 °C-os levegőhőmérséklet mellett 15/23 °C-os falhőmérsékleteket állítottunk be. A további három mérésnél a helyiség-hőmérséklet egyaránt 23 °C volt, amelyhez a következő falhőmérsékleteket rendeltük: 23/23 °C, 15/23 °C, és 15/28 °C.

A mérőalanyok a mérés alatt a laboratórium középvonalában a különböző felületi hőmérsékletű falfelületektől egyenlő távolságban helyezkedtek el. Öltözetük hosszú nadrág, rövid ujjú ing, a második mérési sorozattól kezdve ezek mellett egy vékony mellény. Az öltözet clo értékei  $\Sigma I_{clo} = 0,52$  clo, és  $\Sigma I_{clo} = 0,64$  clo. A mérőalanyok szövegjavítási feladatot végeztek, amely tevékenységi szintje 1,2 met.

A mérések időtartama 4,5 óra volt, amely időből az előmérések és az adaptáció 40 percet vettek igénybe. Ezután 80 perces szövegjavítási munka, majd különböző fiziológiai mérések, hőérzeti tesztlapok kitöltése, majd rövid szünet után ismét 80 perces szövegjavítási munka következett.

A mérés ismételt fiziológiai és ergonómiai mérésekkel, és rövid pihenővel fejeződik be. A mérések minden nap azonos időben kezdődtek és fejeződtek be.

A mérések alatti szövegjavítással az volt a célunk, hogy feltárjuk az aszimmetrikus hőszugárzás koncentráloképességre gyakorolt hatását. Emellett az első mérési ütemben szívperiódus- varianciaanalízist is végeztünk.

A mérések során az élőalanyokkal ülésenként háromszor töltöttünk ki a hőérzetükre vonatkozó kérdőíveket.

**A második élőalanyos mérési ütemre** 2002. február 4 és március 6 között került sor. Ez alkalommal a vizsgálatokat 10 egyetemista – 5 férfi és 5 nő bevonásával három mérési sorozatban végeztük.

A mérések alatt 23 °C levegőhőmérsékleten először 15 és 23 °C-os falhőmérsékletek mellett hosszú ujjú, majd a következő méréssorozatban rövid ujjú felsőrészben ültek a hallgatók, a hideg faltól 0,3 m-re. Öltözetük az első és harmadik esetben 0,58 clo, a második méréssorozatban 0,52 clo. A harmadik méréssorozatban a levegőhőmérséklet, és a falak hőmérséklete is 23 °C-ra lett beállítva. A tesztek, kérdőívek mellett pletizmográfos mérést végeztünk, a stresszométer, és ISAX alkalmazását, valamint a feladatjavítást kihagytuk a mérésből.

A mérőalanyok a tényleges mérésidő alatt szövegolvasást végeztek, amelynek időtartama 2x 70 perc volt.

#### - A mérési módszer

##### - Hőtechnikai mérések

A kutatás során a hőérzeti laboratóriumban kialakuló hőtechnikai paramétereket az alábbiak szerint mértük:

- A helyiséglevegő hőmérsékletének meghatározása a mennyezetre függesztett és a helyiség középpontjában elhelyezett higanyos hőmérővel történt.
- A négy határoló fal felületi hőmérsékleteinek mérése a felületekre rajzolt 50 x 50 cm osztású rácsháló csomópontjaiban TESTO 824/2 típusú felületi hőmérsékletmérővel történt.
- A mennyezet és a padló felületeinek hőmérsékletét 6-6 pontban a TESTO 824/2 típusú felületi hőmérsékletmérővel mértük.
- A légsebesség mérése a Brüel & Kjaer 1213 típusú mikroklíma analízátorral történt.
- Az egyes falfelületek sugárzás intenzitásának és a két szemben lévő falfelület sugárzásintenzitás-különbségének mérése Brüel&Kjaer 1213 típusú mikroklíma analízátorral történt.
- A közepes sugárzási hőmérséklet mérése Missenard-féle gömbhőmérővel történt.
- A levegőhőmérsékletet a laboratórium DDC típusú szabályozó rendszerének beépített helyiség-hőmérséklet-érzékelőjével mértük.

- Fiziológiai mérések

Az élőalanyos fiziológiai vizsgálatok során mértük a kísérleti személyek bőrhőmérsékletét, és ezen kívül kitöltöttünk velük szubjektív hőérzetet mérő tesztlapokat is.

A bőrhőmérséklet mérésekre ülésenként háromszor került sor. Először a kísérleti személyek bejövetele után, másodsor a teljesítmény-teszt első részének elvégzése, vagyis 80 perc, harmadszor a teljesítményteszt második részének elvégzése, további 80 perc eltelte után. Minden alkalommal 13 ponton mértük a bőrhőmérsékletet: jobb és bal oldalt a fül, arc, felkar alkar, kézfej bőrhőmérsékletét, valamint középen a homlok, orr és mellkas bőrhőmérsékletét.

A vizsgálati személyek a szubjektív hőérzetet mérő tesztlapokat is ülésenként három alkalommal töltötték ki a, közvetlenül a bőrhőmérséklet méréseket megelőzően. A tesztlapokon testük 21 pontjával kapcsolatos hőérzetüket jelölték, pontosabban azt, hogy a jelölt testrészrel kapcsolatos hőérzet mennyivel és milyen irányba tér el a kellemes komfortérzettől. Ezen kívül analóg vizuális skálán jelölték szubjektív általános hőérzetüket.

- Élettani mérések

Az élőalanyok élettani funkcióinak vizsgálatára, mérésére és rögzítésére a mérések ideje alatt az alábbi készülékeket alkalmaztuk:

- ISAX –rendszer (Integrated System for Ambulatory Cardio-respiratory data acquisition and Spectral analysis) a folyamatos biológiai jelekrögzítésre és jelfeldolgozásra szolgál. Ez egy számítógéppel segített komplex mérő és adatfeldolgozó rendszer, amely lehetővé teszi a stresszhelyzetben fontos szerepet játszó vegetatív idegrendszeri aktivitás, és egyensúly természetes körülmények között történő hosszútávú monitorozását. (A rendszert Dr. Láng Eszter orvosi-fiziológus és Horváth György valamint Dr. Slezsák István villamosmérnökök fejlesztették ki.) Az ISAX- rendszer két részből áll, egy többcsatornás miniaturizált, ambuláns mérő és jelfeldolgozó műszerből, amelyből a szívritmus a légzés és más biológiai jelek hitelesen mérhetők és tárolhatók, és egy programcsomagból áll, amellyel a rögzített biológiai jelek spektrális analízissel vizsgálhatók.
- A fotopletizmográf (PPG) egy felületi módszer a bőr véreireiben való véráramlás mérésére. A rendszer két pletizmográfval való adatgyűjtéssel és egy programcsomaggal van kialakítva, amely a tárolt értékek spektrális analízisére szolgál.

### F.5.3. A műemberes mérések

Az első mérési ütemet követően a négy különböző, az élőalanyos mérésekkel megegyező termikus szituációban a műemberes méréseket is elvégeztük. A termikus műemberre végzett mérésre először 2001. július 17 és 22-e között került sor. A műembert a laboratóriumban minden nap reggel 8-tól 17 óráig vizsgáltuk. A műember öltözete az élőalanyok öltözetéhez hasonló volt, azaz  $I_{cl} = 0,52$  clo illetve  $I_{cl} = 0,64$  clo volt. A műembert a helyiség középvezetékében helyeztük el, a bal és jobb oldali faltól egyenlő távolságban. A műember

termikus egyensúlyi állapotának elérése után számítógépes adatgyűjtéssel rögzítettük az egyes testrészek hőleadását  $W/m^2$ -ben és az egyes testrészek hőmérsékletét  $^{\circ}C$ -ban.



**F.5.1. ábra** A termikus műember a vizsgálatnál alkalmazott öltözetben

Az élőalanyos méréssel azonos hőtechnikai paraméterekkel a műemberes mérések 2002. december 6-án kezdődtek (II. ütem), és a közben felmerült műszaki meghibásodás kiküszöbölése után 2003. április 19-én fejeződtek be. A mérések helyét a laborban a hideg faltól 30 cm-re vettük fel, falhőmérsékletek az első és a második ütemben  $15-23^{\circ}C$  voltak, a harmadikban semleges, vagyis  $23^{\circ}C$  volt. A levegő hőmérséklete mindhárom esetben  $23^{\circ}C$ -ra lett beállítva.

A termikus műember testfelülete az alábbi testrészekre van osztva:

arc, mellkas, hát, bal felkar, jobb felkar, bal alkar, jobb alkar, balkéz, jobbkez, balcomb, jobbcomb, bal lábszár, jobb lábszár, bal lábfej, jobb lábfej, bal altest, jobb altest, fejtető és tarkó.

A műemberrel végzett mérések száma jelentős, mert az „A” és „B” asztalnál, az A, B, C és D helyen is végeztünk méréseket.

A korábban az Építéstudományi Intézetben alkalmazott termikus műember (F.5.1. ábra) egy nagy bonyolultságú mérőrendszer, amely egy termikus mérőtestből, kétprocesszoros vezérlési és mérési adatgyűjtőből, valamint az adatfeldolgozást és kiértékelést végző számítógépből épül fel. A mérőtestet egy átlagos felnőtt ember testméreteivel rendelkező műanyag bábúból alakították ki. A bábú dán gyártmányú, üvegszál erősítésű poliészter héjszerkezetű. A mechanikai tartást adó elemek a test üregeibe vannak beszerelve, és ott vannak elhelyezve az egyes testrészekhez futó szalagkábelek rejtett vezetéséhez szükséges csövek is. Hőtechnikai és mechanikai megfontolásból az összes testüreg poliuretán habbal van feltöltve. Ülő helyzetben a termikus műember testfelszíne 18 részre van felosztva. Minden egyes testrész felületébe fűtőhuzal-hálózat van süllyesztve külön elektromos csatlakozási lehetőséggel. Az elektromos szigetelést adó rétegre fémszórásos technológiával került felhordásra egy átlagosan 0,4 mm vastagságú alumínium réteg, amely az egyes testrészeken az egyenletes hőmérséklet-eloszlást biztosítja. A mérést végző ellenálláshőmérő szálak egy újabb műanyag rétegre vannak felragasztva. Ezek az egyes felületrészek független hőmérséklet-

szabályozásához szükségesek. Végül az egész testet egy műanyag réteg borítja. A fűtőáramot minden önállóan szabályozott testrészhez a szabályozó egységtől egy szalagkábel vezet. A mérőjelek továbbítására ugyanezek a kábelek szolgálnak.

A szabályozóegység két darab Tour Anderson gyártmányú mikroprocesszoros folyamatirányítóból, és a hozzájuk szükséges kiegészítő panelokból áll. A szabályozók IPCL programnyelven programozhatók. A programozás számítógép segítségével történhet, amelyhez csatlakoztatott nyomtató a pillanatnyi mért értékeket kinyomtatja.

A mérés alapelve az, hogy nagy pontossággal mérjük az előírt felületi hőmérsékletre fűtött testrészeknek az adott hőmérsékletének tartásához szükséges elektromos energiát, illetve hőmennyiséget.

#### F.5.4. A mérési eredmények

A mérési eredményeket rögzítő adatlapok és a feldolgozás során kapott részeredmények nagy terjedelmük miatt nem kerültek a függelékbe, az összefoglaló táblázatokat feldolgozott mérési eredményekről készült 5.2., 5.3. és 5.4. táblázatokat a disszertáció fő részében közlöm.

##### 5.4.1. A mért adatok mennyisége

###### -Élőalanyos mérés:

Bőrhőmérséklet: 1 nap, 2 fő 3-szori mérés 18 helyen  
 I. ütem : 6x 4 nap, összesen 24 nap,  
 II. ütem: 5 x 3 nap, összesen 15 nap,  
 39x 2x3x18 mérés = 4212 adat

Tesztlapokra adott válaszok :

Hőérzeti mérőlap: 1 alkalommal 1 fő 3 kérdőív x 22 adat

Frissességi kérdőív 1 alkalommal 1 fő 2 kérdőív x 4 adat

35 mérési nap 2 fő/ nap esetén 5180 adat ( és az általános előfelmérési lap adatai, vérnyomásmérés adatai)

A koncentrációkézség változásának vizsgálatára vonatkozó hibajavítás adatai (csak az I. mérési sorozatban)

###### -Műemberes mérés:

A 16 esetben átlagosan 1 órai időtartamban percenként leolvasott 19 db mérési adat, összesen: 18 240 adat ( a helyiség hőtechnikai paramétereinek rögzítését nem tekintve)

#### F.5.4.2. A mérési eredmények feldolgozási módszere

##### - Hőtechnikai mérések:

A helyiség hőtechnikai paramétereinek feldolgozása

A mérések alatti hőmérsékletingadozás intervallumának meghatározása a mérés értékelése alatt jelentős szerepet kapott. A helyiség levegőhőmérsékletének szabályozása kétállású szabályozóval történt, így a hőmérsékletingadozás 1,5 °C-on belüli. Hasonló szabályozás miatt a falak felületének hőmérséklet-változása 1 °C-on belüli ingadozást okoz, amely az egymást követő falhőmérséklet-térkép eredményeinek átlagolásával számolható. A hőtechnikai laboratórium oldalfalainak temperálására a falban elhelyezett fűtő-, illetve

hűtőcsövekben áramló víz előremenő hőmérsékletével oldható meg. A kívánt hőmérsékletek beállításához előzetesen próbaméréseket végeztünk.

A mérés alatti hőmérsékletingadozásokat a Brüel Kjaer klímaanalizátorral rögzítettük. Ezen kívül a Testo adatrögzítő, hőmérséklet és relatív nedvességtartalom meghatározására szolgáló eszközt a helyiségben úgy helyeztük el, hogy a mérés ideje alatt a vertikális hőmérséklet-eloszlásról is megfelelő képet kapjunk.

A higanyos hőmérő és a gömbhőmérő leolvasott adatai csak ellenőrzésre szolgálnak.

#### - A laborhelyiség mérés alatti termikus jellemzőinek meghatározása

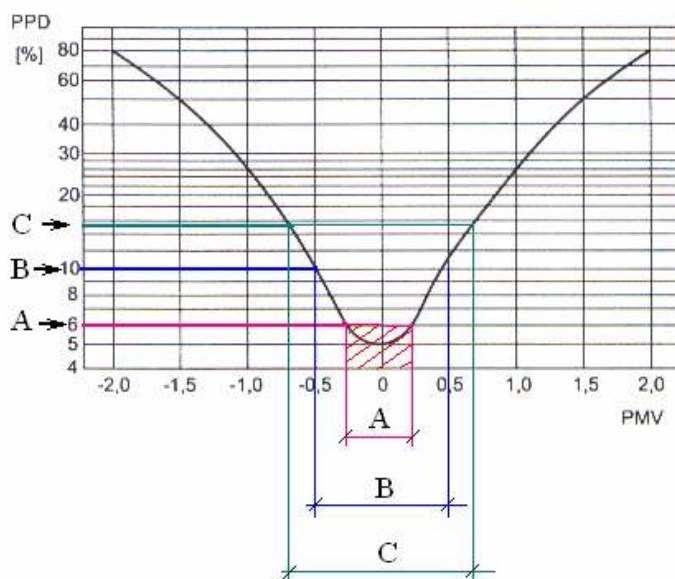
- Az adott mérési állapot alatt mért megengedett határok között változó levegőhőmérséklet adatokból kiszámoltuk a levegőhőmérséklet átlagértékét.
- Az egy adott (hideg, meleg, semleges) fal hőmérsékletadataiból meghatároztuk a mérési idő alatti átlagos falhőmérsékletet.
- Végül minden alkalommal elvégeztük az adatrögzítővel rendelkező mérőeszközök mérési eredményeinek összehasonlítását.

#### - A műember hőtechnikai paramétereinek feldolgozása

A műember egyes testrészei hőleadásának percnkénti leolvasásával képet kaptunk a helyiség hőmérsékleti paramétereinek ingadozására adott hőleadás-változásra. Az adatok gyűjtése kinyomtatott adatlapokon történt, amelyeket számítógépre történő bevitele után az EXCEL- és az SPSS statisztikai programcsomag segítségével dolgoztunk fel.

### F.5.5. A PMV-PPD kapcsolata

az épületminőségi kategóriák összetartozó értékpárainak, tartományainak feltüntetésével



### F.5.6. A sugárzási hőmérsékletaszimmetria értékei a hőérzeti laboratórium

$\Delta t_{\text{fal}} = 8 \text{ }^\circ\text{C}$  és  $\Delta t_{\text{fal}} = 13 \text{ }^\circ\text{C}$  falhőmérsékletei esetén

az új számítási módszerrel meghatározva

$\Delta t_{\text{fal}} = 8 \text{ }^\circ\text{C},$	$\Delta t_{\text{fal}} = 13 \text{ }^\circ\text{C},$
<i>dta</i> [, 0.6, 0.6, 0.6, <i>J</i> ]=, 2.5835668	<i>dta</i> [, 0.6, 0.6, 0.6, <i>J</i> ]=, 6.5131026
<i>dta</i> [, 0.9, 0.6, 0.6, <i>J</i> ]=, 2.6715785	<i>dta</i> [, 0.9, 0.6, 0.6, <i>J</i> ]=, 6.7966878
<i>dta</i> [, 1.2, 0.6, 0.6, <i>J</i> ]=, 2.7613034	<i>dta</i> [, 1.2, 0.6, 0.6, <i>J</i> ]=, 6.9916861
<i>dta</i> [, 1.5, 0.6, 0.6, <i>J</i> ]=, 2.8108108	<i>dta</i> [, 1.5, 0.6, 0.6, <i>J</i> ]=, 7.0756524
<i>dta</i> [, 1.8, 0.6, 0.6, <i>J</i> ]=, 2.8000540	<i>dta</i> [, 1.8, 0.6, 0.6, <i>J</i> ]=, 7.0117624
<i>dta</i> [, 2.1, 0.6, 0.6, <i>J</i> ]=, 2.7227542	<i>dta</i> [, 2.1, 0.6, 0.6, <i>J</i> ]=, 6.7282728
<i>dta</i> [, 2.4, 0.6, 0.6, <i>J</i> ]=, 2.5847895	<i>dta</i> [, 2.4, 0.6, 0.6, <i>J</i> ]=, 6.1002490
<i>dta</i> [, 2.7, 0.6, 0.6, <i>J</i> ]=, 2.4035801	<i>dta</i> [, 2.7, 0.6, 0.6, <i>J</i> ]=, 5.0624142
<i>dta</i> [, 3.0, 0.6, 0.6, <i>J</i> ]=, 2.2076068	<i>dta</i> [, 3.0, 0.6, 0.6, <i>J</i> ]=, 3.9358866
<i>dta</i> [, 3.3, 0.6, 0.6, <i>J</i> ]=, 2.0396061	<i>dta</i> [, 3.3, 0.6, 0.6, <i>J</i> ]=, 3.1232403
<i>dta</i> [, 3.6, 0.6, 0.6, <i>J</i> ]=, 1.9783147	<i>dta</i> [, 3.6, 0.6, 0.6, <i>J</i> ]=, 2.7160800
<i>dta</i> [, 0.6, 0.9, 0.6, <i>J</i> ]=, 2.8351271	<i>dta</i> [, 0.6, 0.9, 0.6, <i>J</i> ]=, 6.1747254
<i>dta</i> [, 0.9, 0.9, 0.6, <i>J</i> ]=, 2.9816991	<i>dta</i> [, 0.9, 0.9, 0.6, <i>J</i> ]=, 6.5577778
<i>dta</i> [, 1.2, 0.9, 0.6, <i>J</i> ]=, 3.1138952	<i>dta</i> [, 1.2, 0.9, 0.6, <i>J</i> ]=, 6.8302700
<i>dta</i> [, 1.5, 0.9, 0.6, <i>J</i> ]=, 3.1858899	<i>dta</i> [, 1.5, 0.9, 0.6, <i>J</i> ]=, 6.9384433
<i>dta</i> [, 1.8, 0.9, 0.6, <i>J</i> ]=, 3.1764648	<i>dta</i> [, 1.8, 0.9, 0.6, <i>J</i> ]=, 6.8438193
<i>dta</i> [, 2.1, 0.9, 0.6, <i>J</i> ]=, 3.0789435	<i>dta</i> [, 2.1, 0.9, 0.6, <i>J</i> ]=, 6.4994145
<i>dta</i> [, 2.4, 0.9, 0.6, <i>J</i> ]=, 2.8997067	<i>dta</i> [, 2.4, 0.9, 0.6, <i>J</i> ]=, 5.8678439
<i>dta</i> [, 2.7, 0.9, 0.6, <i>J</i> ]=, 2.6584944	<i>dta</i> [, 2.7, 0.9, 0.6, <i>J</i> ]=, 4.9948260
<i>dta</i> [, 3.0, 0.9, 0.6, <i>J</i> ]=, 2.3885261	<i>dta</i> [, 3.0, 0.9, 0.6, <i>J</i> ]=, 4.0676857
<i>dta</i> [, 3.3, 0.9, 0.6, <i>J</i> ]=, 2.1396023	<i>dta</i> [, 3.3, 0.9, 0.6, <i>J</i> ]=, 3.3028096
<i>dta</i> [, 3.6, 0.9, 0.6, <i>J</i> ]=, 1.9997182	<i>dta</i> [, 3.6, 0.9, 0.6, <i>J</i> ]=, 2.8468634
<i>dta</i> [, 0.6, 1.2, 0.6, <i>J</i> ]=, 3.1566910	<i>dta</i> [, 0.6, 1.2, 0.6, <i>J</i> ]=, 5.9974762
<i>dta</i> [, 0.9, 1.2, 0.6, <i>J</i> ]=, 3.3642176	<i>dta</i> [, 0.9, 1.2, 0.6, <i>J</i> ]=, 6.4188633
<i>dta</i> [, 1.2, 1.2, 0.6, <i>J</i> ]=, 3.5411710	<i>dta</i> [, 1.2, 1.2, 0.6, <i>J</i> ]=, 6.7340374
<i>dta</i> [, 1.5, 1.2, 0.6, <i>J</i> ]=, 3.6368124	<i>dta</i> [, 1.5, 1.2, 0.6, <i>J</i> ]=, 6.8633088
<i>dta</i> [, 1.8, 1.2, 0.6, <i>J</i> ]=, 3.6282358	<i>dta</i> [, 1.8, 1.2, 0.6, <i>J</i> ]=, 6.7661473

<i>dtaf</i> , 2.1, 1.2, 0.6, <i>J</i> =, 3.5072561	<i>dtaf</i> , 2.1, 1.2, 0.6, <i>J</i> =, 6.4169635
<i>dtaf</i> , 2.4, 1.2, 0.6, <i>J</i> =, 3.2790840	<i>dtaf</i> , 2.4, 1.2, 0.6, <i>J</i> =, 5.8184550
<i>dtaf</i> , 2.7, 1.2, 0.6, <i>J</i> =, 2.9651408	<i>dtaf</i> , 2.7, 1.2, 0.6, <i>J</i> =, 5.0327307
<i>dtaf</i> , 3.0, 1.2, 0.6, <i>J</i> =, 2.6058423	<i>dtaf</i> , 3.0, 1.2, 0.6, <i>J</i> =, 4.1891590
<i>dtaf</i> , 3.3, 1.2, 0.6, <i>J</i> =, 2.2636127	<i>dtaf</i> , 3.3, 1.2, 0.6, <i>J</i> =, 3.4430110
<i>dtaf</i> , 3.6, 1.2, 0.6, <i>J</i> =, 2.0393364	<i>dtaf</i> , 3.6, 1.2, 0.6, <i>J</i> =, 2.9541376
<i>dtaf</i> , 0.6, 1.5, 0.6, <i>J</i> =, 3.5610454	<i>dtaf</i> , 0.6, 1.5, 0.6, <i>J</i> =, 5.9841183
<i>dtaf</i> , 0.9, 1.5, 0.6, <i>J</i> =, 3.8345728	<i>dtaf</i> , 0.9, 1.5, 0.6, <i>J</i> =, 6.4306985
<i>dtaf</i> , 1.2, 1.5, 0.6, <i>J</i> =, 4.0567045	<i>dtaf</i> , 1.2, 1.5, 0.6, <i>J</i> =, 6.7717941
<i>dtaf</i> , 1.5, 1.5, 0.6, <i>J</i> =, 4.1752605	<i>dtaf</i> , 1.5, 1.5, 0.6, <i>J</i> =, 6.9193998
<i>dtaf</i> , 1.8, 1.5, 0.6, <i>J</i> =, 4.1675599	<i>dtaf</i> , 1.8, 1.5, 0.6, <i>J</i> =, 6.8343145
<i>dtaf</i> , 2.1, 1.5, 0.6, <i>J</i> =, 4.0225558	<i>dtaf</i> , 2.1, 1.5, 0.6, <i>J</i> =, 6.4997376
<i>dtaf</i> , 2.4, 1.5, 0.6, <i>J</i> =, 3.7400588	<i>dtaf</i> , 2.4, 1.5, 0.6, <i>J</i> =, 5.9263261
<i>dtaf</i> , 2.7, 1.5, 0.6, <i>J</i> =, 3.3390523	<i>dtaf</i> , 2.7, 1.5, 0.6, <i>J</i> =, 5.1687875
<i>dtaf</i> , 3.0, 1.5, 0.6, <i>J</i> =, 2.8677432	<i>dtaf</i> , 3.0, 1.5, 0.6, <i>J</i> =, 4.3320931
<i>dtaf</i> , 3.3, 1.5, 0.6, <i>J</i> =, 2.4078308	<i>dtaf</i> , 3.3, 1.5, 0.6, <i>J</i> =, 3.5576809
<i>dtaf</i> , 3.6, 1.5, 0.6, <i>J</i> =, 2.0795724	<i>dtaf</i> , 3.6, 1.5, 0.6, <i>J</i> =, 3.0187950
<i>dtaf</i> , 0.6, 1.8, 0.6, <i>J</i> =, 4.0606461	<i>dtaf</i> , 0.6, 1.8, 0.6, <i>J</i> =, 6.1340370
<i>dtaf</i> , 0.9, 1.8, 0.6, <i>J</i> =, 4.4029905	<i>dtaf</i> , 0.9, 1.8, 0.6, <i>J</i> =, 6.6094656
<i>dtaf</i> , 1.2, 1.8, 0.6, <i>J</i> =, 4.6643511	<i>dtaf</i> , 1.2, 1.8, 0.6, <i>J</i> =, 6.9668828
<i>dtaf</i> , 1.5, 1.8, 0.6, <i>J</i> =, 4.8011139	<i>dtaf</i> , 1.5, 1.8, 0.6, <i>J</i> =, 7.1278370
<i>dtaf</i> , 1.8, 1.8, 0.6, <i>J</i> =, 4.7960202	<i>dtaf</i> , 1.8, 1.8, 0.6, <i>J</i> =, 7.0604671
<i>dtaf</i> , 2.1, 1.8, 0.6, <i>J</i> =, 4.6334544	<i>dtaf</i> , 2.1, 1.8, 0.6, <i>J</i> =, 6.7478085
<i>dtaf</i> , 2.4, 1.8, 0.6, <i>J</i> =, 4.2991862	<i>dtaf</i> , 2.4, 1.8, 0.6, <i>J</i> =, 6.1885143
<i>dtaf</i> , 2.7, 1.8, 0.6, <i>J</i> =, 3.7978501	<i>dtaf</i> , 2.7, 1.8, 0.6, <i>J</i> =, 5.4153295
<i>dtaf</i> , 3.0, 1.8, 0.6, <i>J</i> =, 3.1809462	<i>dtaf</i> , 3.0, 1.8, 0.6, <i>J</i> =, 4.5188095
<i>dtaf</i> , 3.3, 1.8, 0.6, <i>J</i> =, 2.5610271	<i>dtaf</i> , 3.3, 1.8, 0.6, <i>J</i> =, 3.6540619
<i>dtaf</i> , 3.6, 1.8, 0.6, <i>J</i> =, 2.0941949	<i>dtaf</i> , 3.6, 1.8, 0.6, <i>J</i> =, 3.0246463
<i>dtaf</i> , 0.6, 2.1, 0.6, <i>J</i> =, 4.6737359	<i>dtaf</i> , 0.6, 2.1, 0.6, <i>J</i> =, 6.4547728
<i>dtaf</i> , 0.9, 2.1, 0.6, <i>J</i> =, 5.0716546	<i>dtaf</i> , 0.9, 2.1, 0.6, <i>J</i> =, 6.9524826
<i>dtaf</i> , 1.2, 2.1, 0.6, <i>J</i> =, 5.3493993	<i>dtaf</i> , 1.2, 2.1, 0.6, <i>J</i> =, 7.3055480
<i>dtaf</i> , 1.5, 2.1, 0.6, <i>J</i> =, 5.4913856	<i>dtaf</i> , 1.5, 2.1, 0.6, <i>J</i> =, 7.4673896



<i>dtaf</i> , 1.8, 2.1, 0.6, <i>J</i> =, 5.4933812	<i>dtaf</i> , 1.8, 2.1, 0.6, <i>J</i> =, 7.4212291
<i>dtaf</i> , 2.1, 2.1, 0.6, <i>J</i> =, 5.3336352	<i>dtaf</i> , 2.1, 2.1, 0.6, <i>J</i> =, 7.1451370
<i>dtaf</i> , 2.4, 2.1, 0.6, <i>J</i> =, 4.9709771	<i>dtaf</i> , 2.4, 2.1, 0.6, <i>J</i> =, 6.6091718
<i>dtaf</i> , 2.7, 2.1, 0.6, <i>J</i> =, 4.3685986	<i>dtaf</i> , 2.7, 2.1, 0.6, <i>J</i> =, 5.7979395
<i>dtaf</i> , 3.0, 2.1, 0.6, <i>J</i> =, 3.5590046	<i>dtaf</i> , 3.0, 2.1, 0.6, <i>J</i> =, 4.7722358
<i>dtaf</i> , 3.3, 2.1, 0.6, <i>J</i> =, 2.7065532	<i>dtaf</i> , 3.3, 2.1, 0.6, <i>J</i> =, 3.7288812
<i>dtaf</i> , 3.6, 2.1, 0.6, <i>J</i> =, 2.0472743	<i>dtaf</i> , 3.6, 2.1, 0.6, <i>J</i> =, 2.9468494
<i>dtaf</i> , 0.6, 2.4, 0.6, <i>J</i> =, 5.4277526	<i>dtaf</i> , 0.6, 2.4, 0.6, <i>J</i> =, 6.9646358
<i>dtaf</i> , 0.9, 2.4, 0.6, <i>J</i> =, 5.8202964	<i>dtaf</i> , 0.9, 2.4, 0.6, <i>J</i> =, 7.4310479
<i>dtaf</i> , 1.2, 2.4, 0.6, <i>J</i> =, 6.0613807	<i>dtaf</i> , 1.2, 2.4, 0.6, <i>J</i> =, 7.7305305
<i>dtaf</i> , 1.5, 2.4, 0.6, <i>J</i> =, 6.1845610	<i>dtaf</i> , 1.5, 2.4, 0.6, <i>J</i> =, 7.8699715
<i>dtaf</i> , 1.8, 2.4, 0.6, <i>J</i> =, 6.2006889	<i>dtaf</i> , 1.8, 2.4, 0.6, <i>J</i> =, 7.8495484
<i>dtaf</i> , 2.1, 2.4, 0.6, <i>J</i> =, 6.0829052	<i>dtaf</i> , 2.1, 2.4, 0.6, <i>J</i> =, 7.6422418
<i>dtaf</i> , 2.4, 2.4, 0.6, <i>J</i> =, 5.7570681	<i>dtaf</i> , 2.4, 2.4, 0.6, <i>J</i> =, 7.1827296
<i>dtaf</i> , 2.7, 2.4, 0.6, <i>J</i> =, 5.1009215	<i>dtaf</i> , 2.7, 2.4, 0.6, <i>J</i> =, 6.3649320
<i>dtaf</i> , 3.0, 2.4, 0.6, <i>J</i> =, 4.0431793	<i>dtaf</i> , 3.0, 2.4, 0.6, <i>J</i> =, 5.1387993
<i>dtaf</i> , 3.3, 2.4, 0.6, <i>J</i> =, 2.8241012	<i>dtaf</i> , 3.3, 2.4, 0.6, <i>J</i> =, 3.7705004
<i>dtaf</i> , 3.6, 2.4, 0.6, <i>J</i> =, 1.8927555	<i>dtaf</i> , 3.6, 2.4, 0.6, <i>J</i> =, 2.7482666
<i>dtaf</i> , 0.6, 2.7, 0.6, <i>J</i> =, 6.3285143	<i>dtaf</i> , 0.6, 2.7, 0.6, <i>J</i> =, 7.6614621
<i>dtaf</i> , 0.9, 2.7, 0.6, <i>J</i> =, 6.5614289	<i>dtaf</i> , 0.9, 2.7, 0.6, <i>J</i> =, 7.9486968
<i>dtaf</i> , 1.2, 2.7, 0.6, <i>J</i> =, 6.6904737	<i>dtaf</i> , 1.2, 2.7, 0.6, <i>J</i> =, 8.1229535
<i>dtaf</i> , 1.5, 2.7, 0.6, <i>J</i> =, 6.7693066	<i>dtaf</i> , 1.5, 2.7, 0.6, <i>J</i> =, 8.2151620
<i>dtaf</i> , 1.8, 2.7, 0.6, <i>J</i> =, 6.8051138	<i>dtaf</i> , 1.8, 2.7, 0.6, <i>J</i> =, 8.2234275
<i>dtaf</i> , 2.1, 2.7, 0.6, <i>J</i> =, 6.7724829	<i>dtaf</i> , 2.1, 2.7, 0.6, <i>J</i> =, 8.1219016
<i>dtaf</i> , 2.4, 2.7, 0.6, <i>J</i> =, 6.5940795	<i>dtaf</i> , 2.4, 2.7, 0.6, <i>J</i> =, 7.8398821
<i>dtaf</i> , 2.7, 2.7, 0.6, <i>J</i> =, 6.0620793	<i>dtaf</i> , 2.7, 2.7, 0.6, <i>J</i> =, 7.1817918
<i>dtaf</i> , 3.0, 2.7, 0.6, <i>J</i> =, 4.7613373	<i>dtaf</i> , 3.0, 2.7, 0.6, <i>J</i> =, 5.7488544
<i>dtaf</i> , 3.3, 2.7, 0.6, <i>J</i> =, 2.8987699	<i>dtaf</i> , 3.3, 2.7, 0.6, <i>J</i> =, 3.7693055
<i>dtaf</i> , 3.6, 2.7, 0.6, <i>J</i> =, 1.6004310	<i>dtaf</i> , 3.6, 2.7, 0.6, <i>J</i> =, 2.4050679

### F.5.7. Az élőalanyos és műemberes mérések eredményeinek összehasonlítása

Az 5.7. pont diagramjait megalapozó eredmények összefoglalása

Mérés sorszám	Mérés helye	élőalany bőrhőmérséklet különbségek						műember hőleadása különbségek						Paramétereváltozók				
		felkar		alkar		kézfej		felkar		alkar		kézfej		Levegő hőmérséklet °C	falhőmérsékletek		$\Delta t_a$ °C	öltözlet $I_{cl}$
		°C	°C	°C	°C	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	hűdeg	meleg		°C	°C		
1		-1,12	-1,14	-0,34	-0,34	11,02	10,68	9,28	9,28	20	15	23	23	3,9	0,52			
2	A helyiség közép-vonalában	-0,08	-0,37	-0,07	-0,07	2,42	2,46	4,47	4,47	23	23	23	23	0	0,64			
3		-0,73	-0,48	-0,25	-0,25	9,20	9,32	5,87	5,87	23	15	23	23	6,5	0,64			
4		-1,31	-0,88	-0,25	-0,25	16,99	16,48	10,57	10,57	23	15	28	23	3,9	0,64			
5		-1,58	-1,18	-1,04	-1,04	10,31	11,47	12,7	12,7	23	15	23	23	6,6	0,56			
6	A hűtött hideg fal mellett	-0,66	-1,67	-1,0	-1,0	15,43	13,41	9,79	9,79	23	15	23	23	6,6	0,54			
7		-0,36	-0,34	-0,07	-0,07	6,19	3,10	5,53	5,53	23	23	23	23	0	0,56			