



# **A komfortérzet javításának eszköze épített környezetben**

PhD értekezés

2022

Készítette: Cakó Balázs  
okl. létesítménymérnök  
épületgépész mérnök

Témavezető: Eördöghné Dr. Miklós Mária  
okl. épületgépész mérnök

## Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani mindazoknak, akik segítettek a disszertáció és a benne bemutatott kutatások sikeres megvalósítását. Többek között Loch Gábornak, Ózdi Andrásnak, Lovig Dalmának, Budulski Lászlónak, Lenkovics Lászlónak, akik temérdek időt áldoztak a mérések zökkenőmentes lebonyolítására. Továbbá szeretném megköszönni témavezetőmnek Eördöghné Dr. Miklós Máriának kiemelkedő, áldozatos munkáját, Dr. Fülöp Lászlónak, Dr. Magyar Zoltánnak, Baumann Mihálynak, Dr. Borsos Ágnesnek, Dr. Katona Tamásnak az elengedhetetlen szakmai irányítást, továbbá Dr. Girán Jánosnak és Kisander Zsoltnak a kutatásban történő közreműködést.

Pécs, 2022.03.10

-----  
Cakó Balázs

# Tartalomjegyzék

<b>1</b>	<b>BEVEZETÉS</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS</b> .....	<b>6</b>
2.1	AZ EMBERI TEST ÉS A KÖRNYEZET KÖZTI HŐCSERE.....	6
2.2	A HŐCSERÉT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK.....	11
2.2.1	<i>Ambiens hőmérséklet:</i> .....	11
2.2.2	<i>Közepes sugárzási hőmérséklet</i> .....	12
2.2.3	<i>Operatív hőmérséklet</i> .....	16
2.2.4	<i>Eredő hőmérséklet:</i> .....	18
2.2.5	<i>A ruházat közepes hőmérséklete</i> .....	19
2.2.6	<i>A test (<math>t_E</math>) és bőr (<math>t_b</math>) hőmérséklete</i> .....	19
<b>3</b>	<b>A HŐKOMFORT TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ SZABVÁNYOK</b> .....	<b>21</b>
3.1	A HŐMÉRSÉKLETI KÖRNYEZET ERGONÓMIÁJÁHOZ KAPCSOLÓDÓ SZABVÁNYOK ÖSSZEFOGLALÓJA.....	21
3.2	BELSŐ TEREK MÉRETEZÉSI ADATAIT TÁRGYALÓ SZABVÁNYOK.....	23
3.3	RUHÁZAT HŐSZIGETELŐ KÉPESSÉGÉNEK MEGHATÁROZÁSA.....	26
3.3.1	<i>A ruházat hőszigetelő képességének analitikus meghatározása</i> .....	27
3.3.2	<i>A ruházat hőszigetelő képességének meghatározása termikus mérőbábuval</i> .....	34
3.4	HŐÉRZETI BESOROLÁS ANALITIKUS MEGHATÁROZÁSA.....	41
3.5	A TERMIKUS KÖRNYEZET SZUBJEKTÍV ÉRTÉKELÉSE KÉRDŐÍVEK SEGÍTSÉGÉVEL.....	47
3.5.1	<i>Az élőalanyos kutatásokhoz kapcsolódó módszertani megfontolások</i> .....	47
3.5.2	<i>Szubjektív értékelési skálák</i> .....	49
3.5.3	<i>Ismételt felmérés menete</i> .....	51
3.5.4	<i>Az alkalmazott skálák megjelenése</i> .....	51
3.5.5	<i>Az alkalmazott skálák kiértékelése</i> .....	51
<b>4</b>	<b>HŐÉRZETI KUTATÁSOK SORÁN ALKALMAZOTT MÉRŐESZKÖZÖK</b> .....	<b>52</b>
4.1	GÖMBHŐMÉRSÉKLET.....	52
4.2	LÉGSEBESSÉGMÉRÉS.....	54
4.3	KOMBINÁLT MÉRŐESZKÖZÖK, HŐKOMFORT MÉRŐ ÁLLOMÁS.....	55
4.4	TERMIKUS MÉRŐBÁBU ALKALMAZÁSA A HŐÉRZETI KUTATÁSOKBAN.....	57
4.5	TERMIKUS MÉRŐBÁBUK TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉSE.....	58
4.5.1	<i>Korai termikus mérőbábuk</i> .....	59
4.5.2	<i>A modern termikus mérőbábuk</i> .....	60
4.5.3	<i>Izzadó termikus mérőbábuk</i> .....	61
4.5.4	<i>Lélegző termikus mérőbábuk</i> .....	62
4.5.5	<i>Női termikus mérőbábuk</i> .....	63
4.5.6	<i>Gyermek méretű és specifikus mérőeszközök</i> .....	63
4.5.7	<i>Merülő mérőbábu</i> .....	64
4.5.8	<i>Nagy szegmentáltságú autóipari mérőbábu</i> .....	65
4.6	A MAGYARORSZÁGON HASZNÁLT TERMIKUS MÉRŐBÁBUK.....	67
4.6.1	<i>Az első magyar termikus mérőbábu</i> .....	67
4.6.2	<i>Második magyar vonatkozású termikus mérőbábu</i> .....	69
<b>5</b>	<b>KOMFORTTÉRKÉP</b> .....	<b>74</b>
5.1	A KOMFORTTÉRKÉP KIDOLGOZÁSÁNAK ELŐZMÉNYEI.....	75
5.2	KOMFORTTÉRKÉP LÉTREHOZÁSA.....	78
5.2.1	<i>Nagyszámú méréssel történő komforttérkép alkotás</i> .....	78
5.2.2	<i>Kisszámú méréssel validált szimulációval történő komforttérkép alkotás</i> .....	79
5.2.3	<i>Szimulációval történő komforttérkép alkotás</i> .....	80
5.2.4	<i>Komforttérkép alkotás a mérési pontok interpolációval történő kiterjesztésével</i> .....	81
5.2.5	<i>Mérési pontok kiterjesztése mesterséges intelligencia eszközökkel</i> .....	84
5.2.6	<i>Minimális mérési szám meghatározása</i> .....	89

5.2.7	<i>Komforttényezők közös, laikusok számára reprezentatív skálára hozása</i> .....	92
5.2.8	<i>Mért és számított eredmények ábrázolása, komforttérkép vizualizálása</i> .....	92
5.3	<b>KOMFORTTÉRKÉP APPLIKÁCIÓ BEMUTATÁSA</b> .....	97
5.4	<b>A KOMFORTTÉRKÉP VERTIKÁLIS, HÁROMDIMENZIÓS KITERJESZTÉSÉNEK KONCEPCIÓJA</b> .....	98
5.5	<b>A DINAMIKUS KOMFORTTÉRKÉP KONCEPCIÓJA</b> .....	99
5.6	<b>A KOMFORTTÉRKÉP ALKALMAZÁSÁNAK EGÉSZSÉGVÉDELMI SZEMPONTJAI</b> .....	99
5.7	<b>ÉLŐALANYOS MÉRÉSEK</b> .....	100
5.7.1	<i>Laboratórium bemutatása</i> .....	101
5.7.2	<i>A mérőkamrában kialakuló fizikai paraméterek mérése</i> .....	103
5.7.3	<i>A mérőbábus méréshez kapcsolódó mérési módszer ismertetése</i> .....	105
5.7.4	<i>Mérés eredményei</i> .....	108
<b>6</b>	<b>ÖSSZEFOGLALÁS</b> .....	<b>112</b>
<b>7</b>	<b>A TÉZISEK ISMERTETÉSE</b> .....	<b>113</b>
<b>8</b>	<b>TOVÁBBI KUTATÁSI LEHETŐSÉGEK</b> .....	<b>117</b>

# 1 Bevezetés

Napjainkban a komfortelmélet témaköre jelentős figyelmet kap. Az épületszerkezetek és az épületgépészeti rendszerek rohamos fejlődése újabb kihívásokat indukál a megfelelő komfortérzet megteremtése szempontjából. Az EU irányelvei az energiafelhasználás és károsanyag emisszió csökkentését célozzák, melyek kihatnak a belső terek komfortparamétereire is. A tématerület fejlődése során kulcsfontosságú, hogy megtaláljuk az energiafelhasználás és a komfortparaméterek megfelelő értéken tartásának a közös optimumát. Ez nagy kihívást jelent, hiszen elterjedtek a decentralizált fűtési és hűtési rendszerek, megváltoztak a ruházkodási szokások, teret nyertek az intelligens, vezérelt rendszerek. Fontos tehát, hogy

- az energiafelhasználás csökkentése ne járjon érezhető komfort csökkenéssel,
- az épület, valamint az épületgépészeti rendszerek tervezése során tisztában legyünk a komfortparaméterek alakulásával,
- olyan rendszert tervezhessünk, mely a nagyfokú energiahatékonyság mellett optimális komfortot biztosít az adott teret használók számára.

Az aktuális kutatások szerint a belső teret használók szubjektív közérzete és teljesítőképessége a következő paraméterektől függ: akusztikai tényezők, szaglás és légzés, tapintás és érintés, látás és színhatás, hőmérséklet, nedvesség és légáramlás, az épület rezgése, mozgása, napsütés, ionizáció, biztonsági tényezők, csoportviselkedés, napi életmenettel kapcsolatos tényezők, előre nem várt veszélyek hatása és gazdasági tényezők. Látható, hogy az emberi szervezet alkalmazkodása a környezethez igen komplex folyamat, az egyes tényezők kölcsönhatásban vannak, ezen tényezők együttese csak nehezen vizsgálható. A komfortelmélettel foglalkozó kutatások során bevezették a komfortérzet fogalmát, mely olyan hatások együttese, melyek közvetlenül hatnak a szubjektív közérzetre, mint a hőmérséklet, nedvesség, légmozgás, zaj, megvilágítás, ionizáció, aktivitási szint és a ruházat hőszigetelő képessége.

Az ideális munkahelyi feltételek megteremtése növeli a munkavállalók teljesítőképességét, termelékenységét és javítja a munkához való hozzáállásukat is [1]. Az irodai munkát végző munkavállalók, idejük 90%-át zárt térben töltik. Ugyan a munkában töltött idő a teljes évre vetítve hozzávetőleg 5,4%, de a munkahelyi teljesítőképesség, az adott munkaadóval szembeni elégedettség és lojalitás nagymértékben függ a foglalkoztatottság helyszínéül szolgáló tér komfortparamétereitől.



1. ábra Egy átlagos ember beltérben töltött idejének százalékos megoszlása egy teljes év vonatkozásában [2].

Roelofsens kutatásai során a komfortparaméterek és az irodai munkavállalók teljesítőképességének összefüggéseit vizsgálta. Munkája során megállapította, hogy a beltéri komfortparaméterek javítása akár

15%-os teljesítménynövekedést eredményezhet [2]. A bemutatott kutatásban azt vizsgáltuk, hogy amennyiben a komforttereket használók tudatában vannak a térrel kapcsolatos komfort paramétereknek, és a kezükben van a döntés joga, hogy kiválaszthatják a számukra megfelelő munkaállomást, az miként befolyásolja a térrel kapcsolatos elégedettséget. Ilyen komfortparaméter a hőmérséklet, természetes megvilágítás, zaj, levegőminőség.

Kutatási munkám előzménye, hogy az irodai környezet komfortérzetre gyakorolt hatásainak és egészségkockázatokkal kapcsolatos vélemények megismerése érdekében a *Parametrizált komfort A fizikai terekben* kutatócsoport (későbbiekben: Kutatócsoport) kutatási programot szervezett. Az adatfelvétel helyszínéül egy olyan irodater került kiválasztásra, amely egyterű irodaként, egyedi helyfoglalási rendszert (shared desk) alkalmazva biztosítja az ott dolgozók számára a munkakörnyezetet.

A kutatás céljaként a dolgozók komfortérzetének javítását szolgáló változtatások azonosítása, valamint a loungek (pihenők) újraértelmezése és a használatuk fokozása került meghatározásra. Az adatgyűjtés során a téma sajátosságai miatt elsősorban kvantitatív megközelítést alkalmaztunk, amely két részből állt: egyrészt kérdőíves adatgyűjtés történt a dolgozók komfortérzetének, komfortelvárásainak valamint a munkavégzés közbeni szokásaiknak a feltárására. Másrészt műszeres mérések történtek, amellyekkel a vizsgált irodahelyiség objektív komfortparamétereit határoztuk meg. A szubjektív komfortérzettel kapcsolatban anonim, önkéntes alapon kitölthető kérdőíves felmérést végeztünk.

A kutatómunka során a Kutatócsoport kidolgozta a **komforttérkép** koncepcióját, mely munkában én a hőkomforttal kapcsolatos kutatást vezettem. A hőkomfort területén kidolgozott eljárások és megállapítások a nevemhez fűződnek, melyeket a disszertációban bemutatok.

A kutatás során alkalmazott komforttérkép koncepció abban az esetben valósítható meg, ha a teret használók nem rendelkeznek fix munkaállomással, a munkaállomás a tevékenység jellegének megfelelően szabadon megválasztható. Ilyen például a multinacionális, sok alkalmazottat foglalkoztató cégeknél elterjedt shared desk és hot desk rendszerű menedzsment. A komforttérkép alkalmazása esetén az alkalmazottak egy applikáció segítségével megismerhetik a komfortparamétereket, és személyes prioritásaik alapján választhatják meg a napi munkavégzéshez a helyüket az irodaterben.

A disszertáció felépítése:

- Az első fejezetben bemutatom a kutatás során kidolgozott **komforttérkép** koncepcióhoz szorosan kapcsolódó szakirodalmi háttérrel, elsősorban a hőkomfort területére fókuszálva.
- Bemutatásra kerülnek a témához kapcsolódó szabványok és a hőérzet kérdőívekkel történő meghatározásának menete, módszertani megfontolásai.
- Ismertetem a hőérzet analitikus meghatározásához szükséges mérőeszközöket, kiemelt figyelmet fordítva a Magyarországon egyedülálló, komplex és sokparaméteres vizsgálatokra lehetőséget nyújtó mérőrendszerre, a **termikus mérőbábura**.
- Bemutatom a komforttérkép koncepcióját, a kutatásom előzményeit, valamint a hőérzeti komforttérkép létrehozásának érdekében kifejlesztett új eljárásokat, valamint az ezekhez kapcsolódó téziseket.

## 2 Szakirodalmi áttekintés

Az emberi szervezet hőháztartása számtalan külső és belső tényezőtől függ. Az egyik legfontosabb külső tényező az embert körülvevő környezet. A termikus komfort az emberi egészség és életminőség egyik legfontosabb tényezője. Az egészséges emberi szervezet, állandó 36-37°C átlagos maghőmérsékletet tart. A környezeti feltételek változása, fizikai aktivitás esetén ez kismértékben ingadozik, annak érdekében, hogy a szervezet hőtermelése és hőleadása egyensúlyban maradjon. A test maghőmérsékletének állandósága biztosítja szervezet normál működését, a hatékony anyagcserét. Az emberi testben égési folyamat megy végbe. Az égéshez az emberi testnek oxigént kell felvennie, mely felvétel mértéke egyben meghatározza a végzett munka intenzitását.

Nyugalmi állapotban lévő felnőtt ember oxigénfogyasztása 0,25 l/min ( $4,2 \cdot 10^{-6}$  m<sup>3</sup>/s). Ennek elégekor felszabaduló hő 88 W. A hasznos munka energiaszükségletét az oxigénfogyasztásból határozzák meg. Elterjedt a munkák intenzitás szerinti osztályozása, és ezek szerint három kategóriát különböztetünk meg:

- **Könnyű** munkának nevezik azokat a tevékenységeket, amelyek során a teljes oxigénfogyasztás a nyugalmi állapot fogyasztásának kétszeresét nem haladja meg, tehát a 0,5 l/min ( $0,85 \cdot 10^{-6}$  m<sup>3</sup>/s) 175 W értéknél kisebb, ide sorolhatók az ülőfoglalkozások.
- **Közepes** nehézségű munka esetén az oxigénfogyasztás a nyugalmi érték 2-4-szerese, tehát 0,5-1,0 l/min ( $8,5-17 \cdot 10^{-6}$  m<sup>3</sup>/s), illetve az időegységre jutó teljes energiafogyasztás 175-350 W, amelyből az izommunka teljesítményszükséglete 88 W. Ide sorolhatók a nem gépesített házimunkák, kézműipari tevékenységek stb.
- **Nehéz** munka esetén a teljes oxigénfogyasztás a nyugalmi érték 4-8-szorosa, tehát 1-2 l/min ( $17-34 \cdot 10^{-6}$  m<sup>3</sup>/s). Az időegységre jutó teljes energiafogyasztás 350-700 W, melyből levonva az alapanyagcsere-értéket, 264-615 W értéket kapunk. Ide sorolható a nehézipari és mezőgazdasági munkák legnagyobb része [3].

Az ember hőleadása függ az emberi testfelület nagyságától. Az emberi test ún. Du Bois felülete ( $F_{Du}$ ), amely figyelembe veszi a legfontosabb egyéni méreteket, adottságokat. A Du Bois felület az alábbi összefüggésből határozható meg:

$$F_{Du} = 0,203 \cdot G^{0,425} \cdot L^{0,725} [\text{m}^2],$$

ahol:

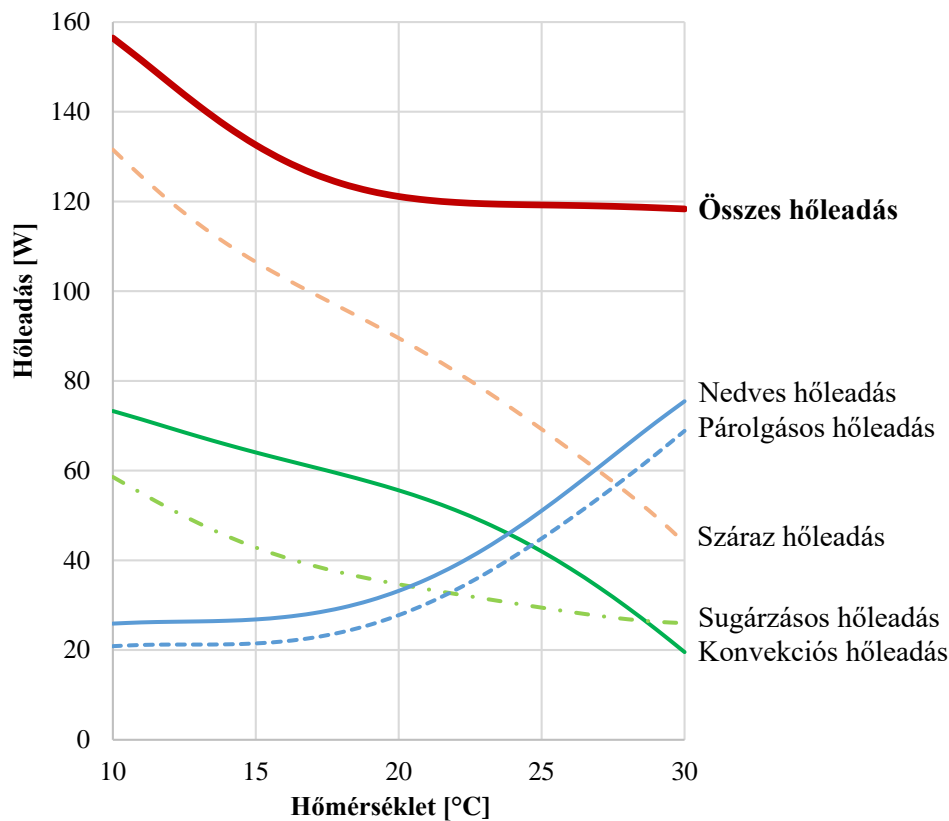
$G$  – az egyén tömege [kg],

$L$  – az egyén magassága [m].

A különböző munkavégzés számszerű hőegyenértékének meghatározására a nemzetközi gyakorlatban a „met” egységet használják, ahol 1 met = 58 W/m<sup>2</sup>. Tájékoztató értékeket a 3.4 fejezetben található 9. táblázat tartalmaz.

### 2.1 Az emberi test és a környezet közti hőcsere

Az emberi test a benne fejlődő hőt négy módon adja le: konvekcióval, sugárzással, párolgással és vezetéssel. Ezek mértéke alapvetően az emberi test hőmérsékletétől és a környező levegő és felületek hőmérsékletkülönbségétől függ, melyet az 2. ábra szemléltet.



2. ábra A hőmérséklet és a hőleadás összefüggése

A **konvekcióval** történő hőleadás a testfelület és a környezeti levegő hőcseréjéből adódik. A testfelület közelében lévő levegő egy része felmelegszik a távolabbi levegő molekulákhoz képest. A felmelegedéstől a térfogata megnő, a sűrűsége lecsökken, áramlás indul meg. Nagymértékben befolyásolja a test körüli légmozgás a hőleadás mértékét. Értéke az összes hőleadás hozzávetőleg 32-35%-a.

A **sugárzással** történő hőleadás a testfelület és a környezeti felületek közötti sugárzásos hőcseréből adódik. Értéke hozzávetőleg az összes hőleadás 42-44%-a.

A **párolgásos** hőleadás az ember esetében kétféle módon történhet. A bőrön keresztül izzadással (6-9%), valamint a légzőrendszeren keresztül (15-18%). Az emberi test által elpárologtatott minden 1 g víz elpárologtatása bőrünkön keresztül körülbelül 2 kJ energiát von el. A párolgásos hőleadás értéke az összes hőleadás 21-26%-a.

A **vezetéssel** történő hőleadás a másik három hőleadási módhoz képest kicsi. Az emberi test felülettel történő érintkezésétől függ, pl. talpfelület talajjal érintkezése, ülés, fekvés). Értéke az összes hőleadás 2-4%-a.

A **konvekcióval**, a sugárzással és vezetéssel történő hőleadást száraz, a párolgással történő hőleadást nedves hőleadásnak is nevezzük.



Állandó hőmérsékletű környezetben, hosszabb idejű hatás esetén a test maghőmérséklete a hőtermelés és a hőleadás közötti egyensúly a következőképpen alakul (Fanger-féle komfortegyenlet):

$$H - E_d - E_{sw} - E_{re} - L = K = S + C,$$

ahol:

$H$  – az emberi test hőtermelése [W],

$E_d$  – a bőrön keresztül végbemenő páradiffúzió miatti hőveszteség [W],

$E_{sw}$  – párolgás miatti hőveszteség [W],

$E_{re}$  – légzés miatti hőveszteség (nedves hőleadás) [W],

$L$  – légzés miatti hőveszteség (száraz hőleadás) [W],

$K$  – ruhán keresztül történő hővezetés [W],

$S$  – ruházat külső felületéről érkező sugárzás [W],

$C$  – ruházat külső felületéről végbemenő hőáramlás [W].

Az emberi test hőtermelésének a számítása:

$$H = \frac{M}{F_{Du}} \cdot (1 - \eta) [W],$$

ahol:

$M$  – metabolikus hő [met],

$\eta$  – a mechanikai munka hatásfoka [-] ( $\eta = \frac{M}{W}$ ),

$W$  – külső mechanikai munka [W],

$F_{Du}$  – az emberi test felülete (Du Bois felület) [m<sup>2</sup>].

A bőrön keresztül végbemenő páradiffúzió miatti hőveszteség számítása:

$$E_d = 0,41 \cdot F_{Du} \cdot (1,92 \cdot t_{sk} - 25,3 - p_a) [W],$$

ahol

$t_{sk}$  – a bőr hőmérséklete [°C],

$p_a$  – a levegőben lévő vízgőz parciális nyomása [Hgmm],

$F_{Du}$  – az emberi test felülete (Du Bois felület) [m<sup>2</sup>].

A párolgás miatti hőveszteség számítása:

$$E_{sw} = 0,49 \cdot F_{Du} \cdot \left[ \frac{H}{F_{Du}} - 50 \right] [W],$$

$H$  – az emberi test hőtermelése [W],

$E_d$  – a bőrön keresztül végbemenő páradiffúzió miatti hőveszteség [W],

$F_{Du}$  – az emberi test felülete (Du Bois felület) [m<sup>2</sup>].

A légzés miatti hővesztés (nedves hőleadás) számítása:

$$E_{re} = 0,027 \cdot M \cdot (44 - p_a) [W],$$

ahol:

$M$  – metabolikus hő [W/m<sup>2</sup>],

$p_a$  – a levegőben lévő vízgőz parciális nyomása [Hgmm].

A légzés miatti hővesztés (száraz hőleadás) számítása:

$$L = 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) [W],$$

ahol:

$t_a$  – a levegő hőmérséklete [°C].

A ruhán keresztül történő hővezetés számítása:

$$K = 0,163 \cdot F_{Du} \cdot \frac{t_{sk} - t_{cl}}{0,18 \cdot I_{cl}} [W],$$

Ahol:

$F_{Du}$  – az emberi test felülete (Du Bois felület) [m<sup>2</sup>],

$t_{sk}$  – a bőr hőmérséklete [°C],

$t_{cl}$  – a ruházat közepes felületi hőmérséklete [°C],

$I_{cl}$  – a ruházat termikus ellenállása [clo].

A ruházat külső felületéről érkező sugárzás számítása:

$$S = 3,94 \cdot 10^{-8} \cdot F_{Du} \cdot f_{cl} \cdot (t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4 [W],$$

ahol:

$F_{Du}$  – az emberi test felülete (Du Bois felület) [m<sup>2</sup>],

$f_{cl}$  – a mezítelen és ruházattal borított testfelület aránya [-],

$t_{cl}$  – a ruházat közepes felületi hőmérséklete [°C],

$t_r$  – a közepes sugárzási hőmérséklet [°C].

A ruházat külső felületéről végbemenő hőáramlás (konvektív hőcsere) számítása:

$$C = F_{Du} \cdot f_{cl} \cdot \alpha_c \cdot (t_{cl} - t_a) [W],$$

ahol:

$F_{Du}$  – az emberi test felülete (Du Bois felület) [m<sup>2</sup>],

$f_{cl}$  – a mezítelen és ruházattal borított testfelület aránya [-],

$\alpha_c$  – konvekciós hőátadási tényező [W/m<sup>2</sup>K],

$t_{cl}$  – a ruházat közepes felületi hőmérséklete [°C],

$t_a$  – léghőmérséklete [°C].

A hőháztartás függ:

- a testfelületre vonatkoztatott hőtermeléstől, jele:  $\frac{H}{F_{Du}} \left[ \frac{W}{m^2} \right]$ ,
- a ruházat termikus ellenállásától,  $I_{cl}$  [clo],
- a beltéri levegő hőmérsékletétől,  $t_a$  [°C],
- sugárzási középhőmérséklettől,  $t_r$  [°C],
- a vízgőz parciális nyomásától a levegőben,  $p_a$  [Pa],
- a relatív légsebességtől,  $v$  [m/s],
- a közepes bőrhőmérséklettől,  $t_{sk}$  [°C],
- a test hőveszteségétől, párolgással és izzadással  $\frac{E_{sw}}{F_{Du}} \left[ \frac{W}{m^2} \right]$ ,
- az emberi munka intenzitásától,  $\eta$ , [%].

A méretezések során az ember hőegyensúlyából kell kiindulni. A metabolikus hő ( $M$ ), amely a testben zajló biológiai oxidáció során felszabaduló energia, Povl Ole Fanger elmélete szerint [4] a külső mechanikai munkából ( $W$ ) és a belső hőszükségletből ( $H$ ) tevődik össze, azaz

$$M = H + W [W].$$

A mechanikai munka hatásfoka a külső mechanikai munka és a metabolikus hő hányadosával fejezhető ki.

$$\eta = \frac{W}{M} [\%].$$

Egyensúlyi állapotban, a termelt és a leadott hő megegyezik. Ezt fejezhetjük ki az alábbi egyenlettel:

$$Q_w = M - W - E \pm S \pm C [W],$$

ahol:

$Q_w$  – az emberi test hőtárolása [W],

$M$  – a metabolikus hő [W],

$W$  – a mechanikai munka [W],

$E$  – a teljes párolgásos hőleadás [W],

$S$  – a sugárzásos hőleadás [W],

$C$  – a konvekciós hőleadás [W].

Akkor van az emberi szervezet hőegyensúlyban, ha nincs az emberi testnek hőtárolása ( $Q_w = 0$ ). Kellemes hőérzet akkor tapasztalható, ha az ember a termelt többlet hőt kellemes bőrfelületi hőmérséklet mellett tudja leadni [4].

## 2.2 A hőcserét befolyásoló tényezők

A termikus környezet függ a levegő hőmérsékletétől, a felületek sugárzási középhőmérsékletétől, a relatív páratartalomtól, a légsebességtől, valamint az épületet használók tevékenységétől és ruházatától. Az emberi test hőcseréjének számításakor alkalmazott legfontosabb hőmérsékletértékek:

- az ambiens hőmérséklet
- a közepes sugárzási hőmérséklet
- az operatív hőmérséklet
- az eredő hőmérséklet
- a ruházat közepes hőmérséklete
- a test és bőr hőmérséklete

### 2.2.1 Ambiens hőmérséklet:

Az ambiens hőmérséklet a környezet azon hőmérséklete, amikor a levegő és határoló felületek hőmérséklete azonos. Mérésére árnyékolt léghőmérőt alkalmaznak [3].

## 2.2.2 Közepes sugárzási hőmérséklet

A közepes sugárzási hőmérséklet elterjedt jelölése  $t_r$ , mely a „Mean radiant temperature”, magyarul a közepes sugárzási hőmérséklet ( $t_{ks}$ ). A számítására a szakirodalomban két összefüggést találunk. Legegyszerűbb számítási módja és alakja a környező felületek számtani közepének az átlaga [5].

$$t_r = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n A_i} [^{\circ}C],$$

ahol:

$A_i$  – a határoló felület [ $m^2$ ],

$t_i$  – a határoló felület hőmérséklete [ $^{\circ}C$ ].

A közepes sugárzási hőmérséklet számtani középátlag számítása esetén függ a vizsgált tér fizikai paraméterétől, valamint a belső határoló felületek hőmérsékletétől, de nem veszi figyelembe az ember térben való elhelyezkedését.

A közepes sugárzási hőmérséklet pontosabb és általánosan ismert meghatározási módja, amely már figyelembe veszi a sugárzásos hőcserében részt vevő testek közötti besugárzási tényezőt is.

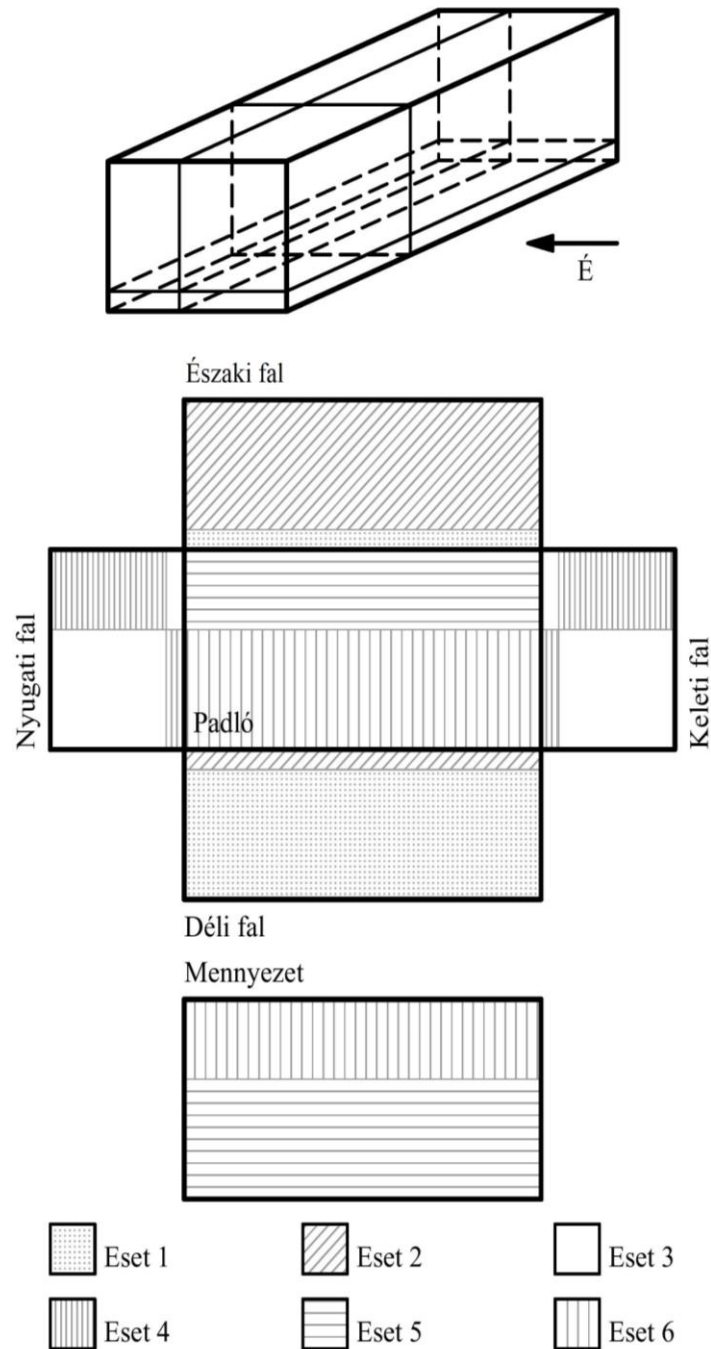
$$t_r = \sqrt[4]{\sum_{i=1}^n \varphi_{EFi} T^4} - 273 [^{\circ}C],$$

ahol:

$\varphi_{EFi}$  – a test súlypontjába helyezett függőleges felületelem és az egyes határoló felületek közötti besugárzási tényező [-],

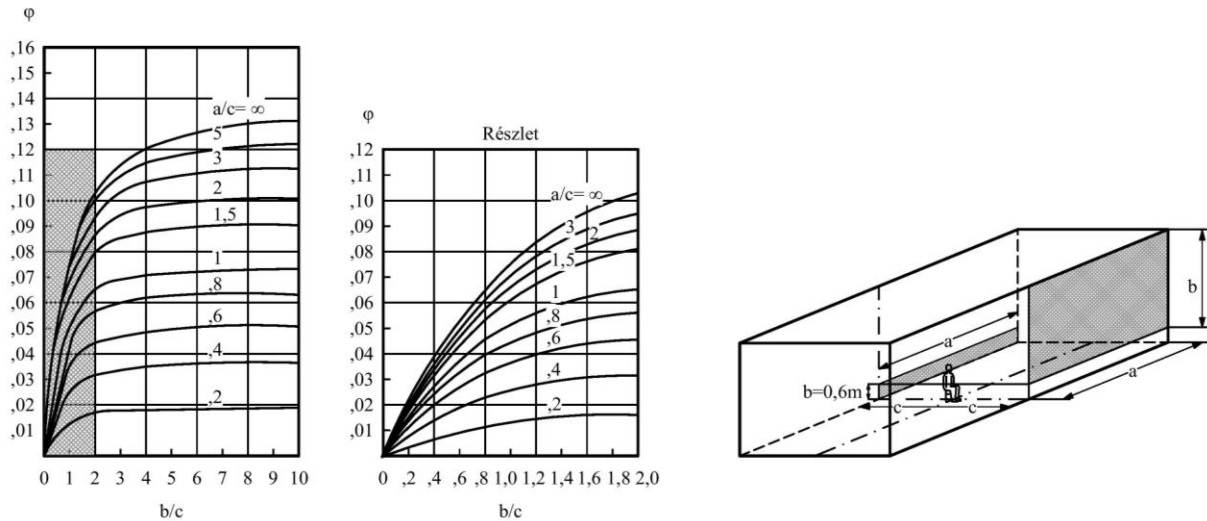
$T_{Fi}$  – a környező határoló felületek hőmérséklete [K].

A besugárzási tényező meghatározása Fanger besugárzási tényezőkre kidolgozott diagramokkal történik, amely figyelembe veszi az ember súlypontja alatti és feletti, valamint az embertől jobbra és ballra lévő felületekhez tartozó besugárzási tényezőket [3] [4].



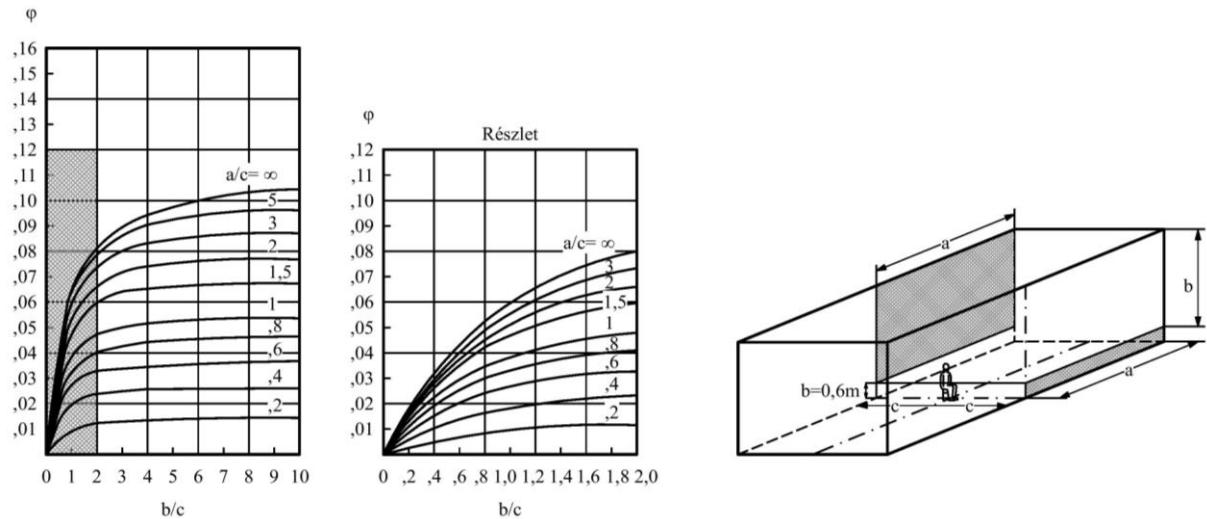
3. ábra 6 különböző eset a besugárzási tényező meghatározásához [4]

A besugárzási tényező meghatározásánál meg kell mérni a vizsgált személy súlypontjának a távolságát a vizsgált felülettől (c), a vizsgált felület (a) és (b) méreteit. A diagramban a (b/c) és a (b/a) arányok alapján lehet leolvasni a besugárzási tényező értékeit. Minden felületre elvégezzük a besugárzási tényező meghatározását, és ezután a közepes sugárzási hőmérséklet számolható. A számítások során meghatározott besugárzási tényezők összegének értéke mindig  $\sum \varphi_{EFi}=1$  kell legyen!



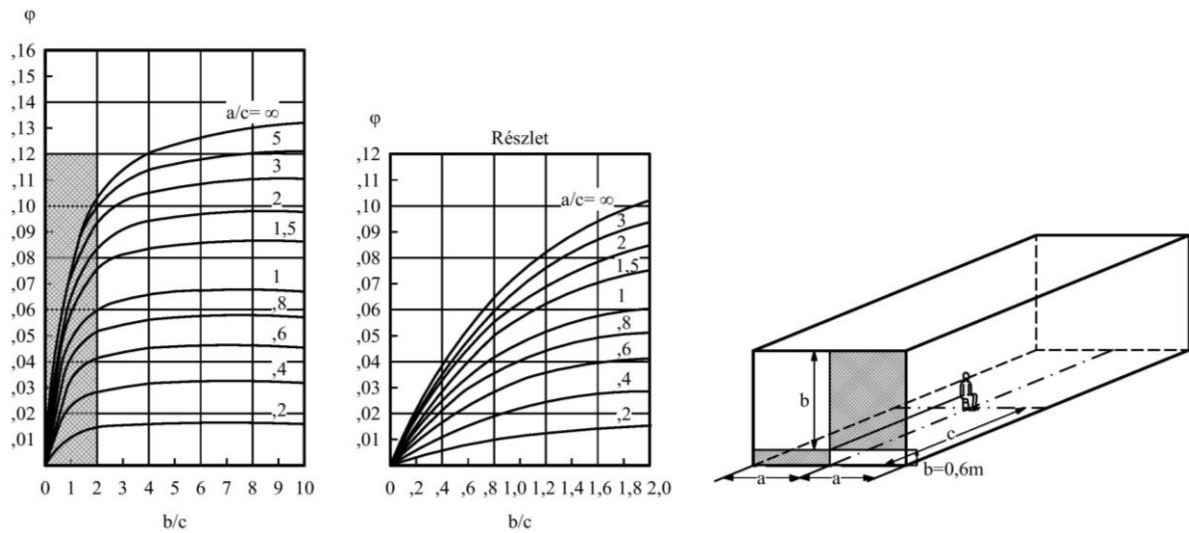
4. ábra Besugárzási tényező ülő ember és vertikális síkok között (1 eset) [4]

A 4. ábra felhasználásával meghatározható az egyénnel szemben a középpontja felett, vagy a háta mögött a középpontja alatt levő függőleges felületelem besugárzási tényezője, a térben elfoglalt helyzete és a tér méreteinek függvényében.



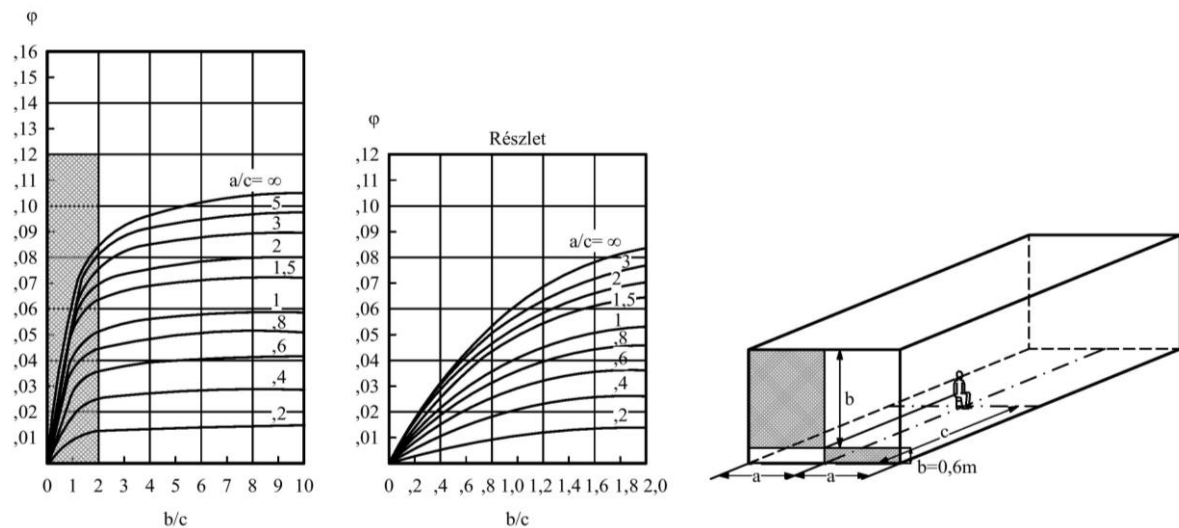
5. ábra Besugárzási tényező ülő ember és vertikális síkok között (2 eset) [4]

A 5. ábra felhasználásával meghatározható az egyénnel szemben a középpontja alatt, vagy a háta mögött a középpontja felett levő függőleges felületelem besugárzási tényezője, a térben elfoglalt helyzete és a tér méreteinek függvényében.



6. ábra Besugárzási tényező ülő ember és vertikális síkok között (3 eset) [4]

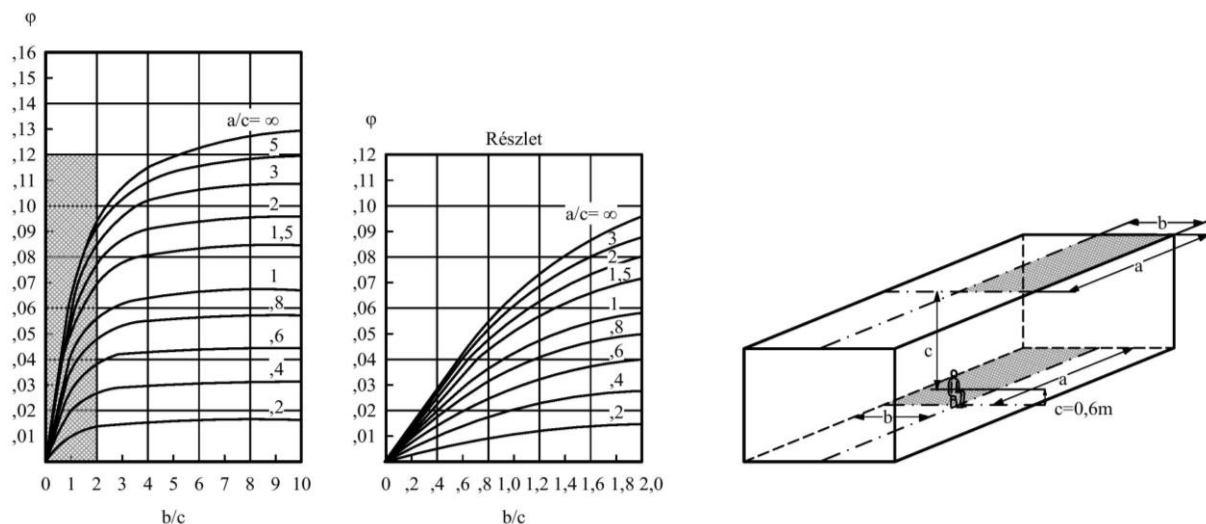
A 6. ábra felhasználásával meghatározható az egyén melletti függőleges felületek középpontja felett az elülső vagy középpontja alatt és hátul levő függőleges felületelem besugárzási tényezője, a térben elfoglalt helyzete és a tér méreteinek függvényében.



7. ábra Besugárzási tényező ülő ember és vertikális síkok között (4 eset) [4]

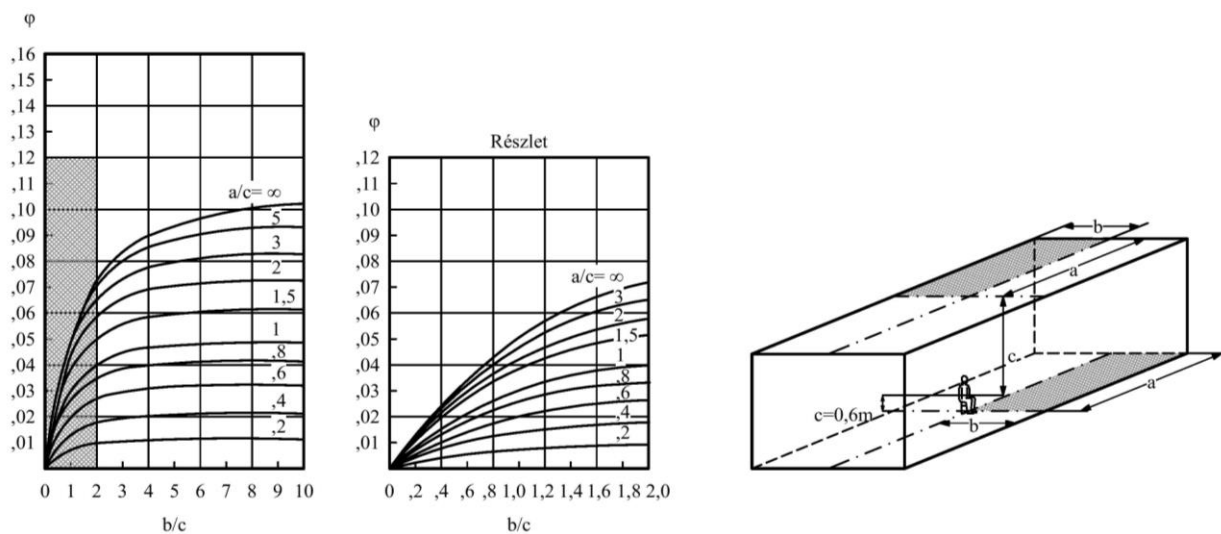
A 7. ábra felhasználásával meghatározható az egyén melletti függőleges felületek középpontja alatt az elülső vagy középpontja felett a hátul levő függőleges felületelem besugárzási tényezője, a térben elfoglalt helyzete és a tér méreteinek függvényében.





8. ábra Besugárzási tényező ülő ember és vertikális síkok között (5 eset) [4]

A 8. ábra felhasználásával meghatározható az egyén középpontjával szemben elöl, a feje fölött (mennyezet) és középpontja mögött hátul, alul (padló) elhelyezkedő vízszintes felületelem besugárzási tényezője, a térben elfoglalt helyzete és a tér méreteinek függvényében.



9. ábra Besugárzási tényező ülő ember és vertikális síkok között (6 eset) [4]

A 9. ábra felhasználásával meghatározható az egyén középpontjával szemben, hátul, alul (padló) és középpontja mögött, hátul a feje felett (mennyezet) levő vízszintes felületelem besugárzási tényezője, a térben elfoglalt helyzete és a tér méreteinek függvényében.

### 2.2.3 Operatív hőmérséklet

Az operatív hőmérséklet a műszaki gyakorlatban általánosan alkalmazott hőmérsékletérték, amely a levegő és a környezet közepes sugárzási hőmérsékletének értékét egyaránt figyelembe veszi [3]. Meghatározására általánosan alkalmazott összefüggés a következő:

$$t_o = \frac{h_r \cdot t_r + h_c \cdot t_a}{h_r + h_c} [^{\circ}C],$$

ahol:

$h_r$  – a sugárzásos hőátadási tényező [ $W/m^2K$ ],

$h_c$  – a konvekciós hőátadási tényező [ $W/m^2K$ ],

$t_a$  – a levegő hőmérséklete [ $^{\circ}C$ ],

$t_r$  – a közepes sugárzási hőmérséklet [ $^{\circ}C$ ].

A kisugárzott hőáram sűrűség a Stefan–Boltzmann-törvényből származtatva számolható [6].

$$q = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \text{ [W/m}^2\text{]}.$$

Az összes hőáram:

$$q = q_r + q_c \text{ [W/m}^2\text{]}.$$

Az alacsony hőmérsékletű tartományban a negyedfokú görbét egyenessel helyettesítjük.

$$q_r = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_r^4 - T_{sk}^4) \approx h_r \cdot (T_r - T_{sk}) \text{ [W/m}^2\text{]}.$$

Az egyenletet a sugárzásos hőátadási tényezőre rendezve az alábbi összefüggést kapjuk:

$$h_r = \varepsilon \cdot \sigma \cdot \frac{(T_r^4 - T_{sk}^4)}{T_r - T_{sk}} \text{ [W/m}^2\text{K]},$$

ahol:

$\varepsilon$  – emissziós tényező [-],

$\sigma$  – Stefan-Boltzmann-állandó, értéke  $5,67 \cdot 10^{-8}$  [ $W/m^2K^4$ ],

$T_{sk}$  – az emberi test közepes felületi hőmérséklete [K],

$T_r$  – a sugárzó felület közepes sugárzási hőmérséklete [K].

Az emissziós tényező értéke függ a test anyagától, a felület minőségétől és a hőmérséklettől. Az emberi bőr esetében  $\varepsilon \approx 0,98$ , ruházat, szövetek esetén  $\varepsilon \approx 0,90$ .

A konvekció az emberi test és a levegő közötti hőáramsűrűség, amely a Newton fal-törvénnyel számítható.

$$q_c = h_c \cdot (T_a - T_{sk}) \text{ [W]},$$

ahol:

$h_c$  – konvekciós hőátadási tényező [ $W/m^2K$ ],

$T_{sk}$  – az emberi test hőmérséklete [K],

$T_a$  – a környező levegő hőmérséklete [K].

Átrendezve az egyenletet:

$$h_c = \frac{q_c}{T_{sk} - T_a} \text{ [W/m}^2\text{K]}.$$

Alkalmazható a konvekciós hőátadási tényező számítására a következő összefüggés is:

$$h_c = 0,48 \cdot \frac{\lambda_{cl}}{L} \sqrt[4]{\tau \cdot L^3 \cdot (t_{cl} - t_a)} [W/m^2K],$$

ahol:

$L$  – az egyén magassága [m],

$\lambda_{cl}$  – a ruházat hővezetési tényezője [W/m°C],

$t_{cl}$  – a ruházat közepes felületi hőmérséklete [°C],

$t_a$  – a környező levegő hőmérséklete [°C].

Kevésbé pontos számítások esetén, esetleg nyugvó levegő esetén (<0,1 m/s) alkalmazható a Jürgens–Nusselt-egyenlet is:

$$h_c = 2,2 \cdot \sqrt[4]{t_{cl} - t_a} [W/m^2K],$$

ahol:

$t_{cl}$  – a ruházat közepes felületi hőmérséklete [°C],

$t_a$  – a környező levegő hőmérséklete [°C].

Kényszeráramlás,  $v < 2,6$  m/s légsebesség esetén a Winslow és munkatársai [7] által kidolgozott egyenlet alkalmazható:

$$h_c = 12,1 \cdot \sqrt{v} [W/m^2K].$$

1. táblázat A konvekciós hőátadási tényező ( $h_c$ ) a légsebesség ( $v$ ) függvényében

$v$	$h_c$
[m/s]	[W/m <sup>2</sup> K]
0,065	3,08
0,1	3,83
0,15	4,69
0,25	6,05
0,5	8,56
1	12,1

## 2.2.4 Eredő hőmérséklet:

Az eredő hőmérséklet ( $t_R$ ) a közepes sugárzási hőmérséklet ( $t_r$ ) és a léghőmérséklet ( $t_a$ ) számtani közepe, mivel alacsony hőmérsékleti tartományban, szobahőmérsékleten, kis légmozgás esetén a konvekció és a sugárzás kb. fele-fele arányban vesz részt a hőátadásban.

$$t_R = 0,5 \cdot t_r + 0,5 \cdot t_a [°C],$$

ahol:

$t_r$  – a közepes sugárzási hőmérséklet [°C],

$t_a$  – a környező levegő hőmérséklete [°C].

## 2.2.5 A ruházat közepes hőmérséklete

A ruházat közepes hőmérséklete a ruházat és a ruházattal nem borított testfelületek átlagos hőmérséklete. Mivel a ruházattal nem borított testfelület még a rövid ujjú inget feltételező 0,6 clo értékkel reprezentált nyári ruházat esetén is csak kb. 15%-a a teljes testfelületnek, ezért alkalmazzák a hőmérséklet indexeként a  $cl$ -t. Számszerű értéke a 21-26 °C közötti helyiség-hőmérséklet-tartományban 28 °C. Pontos értéke meghatározható az ún. Fanger-féle komfortegyenletből [3] [4].

$$t_{cl} = 35,7 - 0,032 \cdot \frac{M}{F_{Du}} \cdot (1 - \eta) - 0,18 \cdot I_{cl} \cdot \left\{ \frac{M}{F_{Du}} \cdot (1 - \eta) - 0,35 \cdot \left[ 43 - 0,061 \cdot \frac{M}{F_{Du}} \cdot (1 - \eta) \cdot p_1 \right] - 0,42 \cdot \left[ \frac{M}{F_{Du}} \cdot (1 - \eta) - 50 \right] - 0,0023 \cdot \frac{M}{F_{Du}} \cdot (44 - p_a) - 0,0014 \cdot \frac{M}{F_{Du}} \cdot (34 - t_a) \right\} [^{\circ}\text{C}],$$

ahol:

$$\frac{M}{F_{Du}} - \text{fajlagos metabolikus hő értéke } \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right],$$
$$\eta - \text{az emberi munka intenzitása } [\%],$$
$$I_{cl} - \text{a ruházat hőszigetelő képessége } [\text{clo}],$$
$$p_a - \text{parciális vízgőznyomás } [\text{Hgmm}],$$
$$t_a - \text{lég-hőmérséklet } [^{\circ}\text{C}].$$

## 2.2.6 A test ( $t_E$ ) és bőr ( $t_b$ ) hőmérséklete

Az emberi test átlagos hőmérséklete ( $t_E$ ) meghatározható a bőrhőmérséklet ( $t_b$ ) és a maghőmérséklet ( $t_{rc}$ ) ismeretében:

$$t_E = (1 - k) \cdot t_b + k \cdot t_{rc} [^{\circ}\text{C}],$$

ahol:

$$t_b - \text{bőrhőmérséklet } [^{\circ}\text{C}],$$
$$t_{rc} - \text{maghőmérséklet } [^{\circ}\text{C}],$$
$$k - \text{korrekciós tényező: hőegyensúly esetén: 0,8, izzadás esetén: 0,9, hideg környezetben: 0,67.}$$

Az emberi test bőrfelületeinek hőmérsékletértéke eltérő. Korábbiakban a következő testrészek hőmérsékletét tekintették adott körülmények között állandó és jellemző értékek: kézfej, alkar, felkar, arc, mellkas, hát, has, comb, lábszár és lábfej. A műszaki gyakorlatban azonban általában az átlagos bőrhőmérséklet-értékek ismerete szükséges. Ez négy módon határozható meg:

- Meztelen ember esetén:

$$t_b = 24,85 + 0,332 \cdot t_o - 0,00165 \cdot t_o^2 [^{\circ}\text{C}],$$

ahol:

$$t_o - \text{operatív hőmérséklet } [^{\circ}\text{C}].$$

- 0,6-1 clo hőszigetelő képességű ruházatot viselő ember esetén:

$$t_b = 25,8 + 0,267 \cdot t_o [^{\circ}\text{C}].$$

- Bedford (1948) méréssel történő meghatározása alapján:

$$t_b = 0,399 \cdot t_a + 0,363 \cdot t_{cl} + 25,76 [^{\circ}\text{C}],$$

ahol:

$t_a$  – léghőmérséklet [ $^{\circ}\text{C}$ ],

$t_{cl}$  – a ruházat közepes felületi hőmérséklete [ $^{\circ}\text{C}$ ].

- Vincent-féle egyenlet alapján (amennyiben  $v \leq 0,15$  m/s):

$$t_b = 26,5 + 0,3 \cdot t_a + 0,2 \cdot E - 1,2 \cdot v \text{ [}^{\circ}\text{C]},$$

ahol:

$E$  – a közönséges és leányékolt higanyos hőmérővel mért hőmérsékletek különbsége [ $^{\circ}\text{C}$ ],

$v$  – a légsebesség [m/s],

$t_a$  – léghőmérséklet [ $^{\circ}\text{C}$ ].

Termovíziós feltételekkel, az egyes ruházattal borított és mezítelen testrészek bőrhőmérséklete külön-külön, valamint átlagos értékük is meghatározható.

### 3 A hőkomfort témaköréhez kapcsolódó szabványok

Ebben a fejezetben bemutatásra kerülnek azon szabványok, melyek közvetve, illetve közvetetten kapcsolódnak a hőkomfort kutatásokhoz. Különös tekintettel a kutatások során alkalmazott mérőeszközök használati módjára, a mérések peremfeltételeire, valamint a termikus mérőbábuval végzett méréseket leíró szabványokra. A szabványok több aspektusból tárgyalják a leírt mérési eljárásokat, hiszen hasonló mérésekkel találkozhatunk az autópárhánban a légkondicionáló rendszerek mérése, a ruháiparban a ruházatok hőszigetelő képességének mérése, valamint az épületek zárt tereinek komfort vonatkozású mérései során. A következőkben rövid összefoglalást olvashatnak a legfontosabb szabványokból.

#### 3.1 A hőmérsékleti környezet ergonómiájához kapcsolódó szabványok összefoglalója

**MSZ EN ISO 11399:2001** *Hőmérsékleti környezetek ergonómiája. A lényeges nemzetközi szabványok alkalmazásának alapelvei*

A szabvány tartalmazza a kapcsolódó szabványok csoportosítását a környezeti hőmérséklet függvényében, és azokban alkalmazott komfort mérőszámok rövid ismertetését, továbbá egyéb kapcsolódó szabványok ismertetését (emberi fiziológia, ruházati hőszigetelőképeség és további témakörökben). Rövid kivonatot ad az egyes szabványokból (fogalommagyarázatok, főbb összefüggések ismertetése).

**MSZ EN ISO 13731:2002** *Hőmérsékleti környezetek ergonómiája. Fogalommeghatározások és jelképek*

A szabvány tartalmazza a fogalommeghatározásokat a termikus környezet témaköréből, ajánlott jelöléseket és mértékegységeket a termikus környezet témaköréből.

**MSZ EN ISO 7726:2003** *A hőmérsékleti környezet ergonómiája. A fizikai mennyiségek mérőeszközei*

A szabvány tartalmazza a legfontosabb hőkomforttal kapcsolatos mérések módszereit, valamint peremfeltételeit úgy, mint:

- léghőmérséklet mérésének módszerei és a mérés peremfeltételei,
- közepes sugárzási hőmérséklet mérése és a mérés peremfeltételei,
- sugárzási hőmérséklet mérése síkfelületek között és a mérés peremfeltételei,
- az abszolút nedvességtartalom mérése és a mérés peremfeltételei,
- légsebesség mérésének lehetőségei és a mérés peremfeltételei,
- felületi hőmérséklet mérésének módszerei és a mérés peremfeltételei,
- operatív hőmérséklet mérésének módszerei és a mérés peremfeltételei.

**MSZ EN ISO 9886:2004** *Ergonómia. A hőigénybevétel értékelése fiziológiai mérésekkel*

A szabvány tartalmazza az emberi szervezet maghőmérsékletének mérését, az emberi szervezet bőrhőmérsékletének mérését, az emberi szervezet termikus igénybevételének értékelését a pulzusszám alapján, valamint az emberi szervezet fiziológiai igénybevételének értékelését az izzadásból származó tömegvesztés alapján.

**MSZ EN ISO 8996:2005** *Hőmérsékleti környezet ergonómiája. Az anyagcsere mértékének meghatározása*

A szabvány tartalmazza az emberi szervezet hőtermelésének becslésére szolgáló táblázatokat, valamint az emberi szervezet hőtermelésének méréssel történő meghatározásának több módszerét.

**MSZ EN ISO 9920:2009** *A hőmérsékleti környezet ergonómiája. A ruházat hőszigetelésének és párolgási ellenállásának becslése*

A szabvány tartalmazza a ruházat hőszigetelő képességének méréséhez kapcsolódó legfontosabb fogalom meghatározásokat, valamint a ruházat hőszigetelő képességének meghatározására alkalmazható módszereket úgy, mint:

- komplett ruházatok hőszigetelő képességének meghatározása táblázatokból,
- ruhadarabok hőszigetelő képességének meghatározása táblázatokból,
- ruházat hőszigetelő képességének meghatározása méréssel termikus mérőbábuval,
- ruházat hőszigetelő képességének meghatározása méréssel élőalanyokon,
- ruházat páraáteresztő képességének meghatározása táblázatokból,
- ruházat páraáteresztő képességének meghatározása méréssel termikus mérőbábuval,
- ruházat páraáteresztő képességének meghatározása méréssel élőalanyokon,
- a mozgás és a szél hatása a ruházatok hőszigetelő-, és páraáteresztő képességére,
- egyéb befolyásoló tényezők a ruházat hőszigetelő képességének.

**MSZ EN ISO 15831:2004** *Ruházat. Élettani hatások. A hőszigetelés mérése hőhatásnak kitett tanbábu segítségével*

A szabvány tartalmazza a ruházat hőszigetelő képességének meghatározását termikus mérőbábuval, a mérési folyamatok bemutatását, a mért értékek összegzésének soros és párhuzamos módszerét, amérési peremfeltételeket, a mérési jegyzőkönyv követelményeit.

**MSZ EN ISO 15265:2004** *Hőmérsékleti környezetek ergonómiája. Kockázatértékelési stratégia az igénybevétel vagy a diszkomfort megelőzésére hőmérsékleti munkakörülmények esetén*

A szabvány tartalmazza a munkahelyek termikus környezettel összefüggő fiziológiai terhelésének és diszkomfortosságának kockázati elemzését 3 különböző módszerrel, eltérő értékelési szintekkel: megfigyeléssel, elemzéssel és szakvélemény készítéssel.

**MSZ EN ISO 7243:2018** *Hőhatásnak kitett környezet ergonómiája. A hőterhelés felmérése a WBGT-index (wet bulb globe temperature) alapján*

A szabvány tartalmazza a WBGT hőmérséklet meghatározásának módját, a különféle körülmények befolyását a WBGT hőmérsékletre (napsugárzás, kitettség, ruházat), mérési paraméterek rögzítését, referencia értékeket különböző aktivitási szinteken, valamint a korrekciós számítás menetét nem szabványos gömbhőmérő használata esetén.

**MSZ EN ISO 7933:2004** *Hőmérsékleti környezetek ergonómiája. A hőigénybevétel analitikus meghatározása és értékelése a várható hőterhelés számításának használatával*

A szabvány tartalmazza az emberi szervezet hőegyensúlyának számítását, a számított értékek értelmezését maximális bőrnedvesség és izzadás, illetve maximális testhőmérséklet és folyadékvesztés mellett, a megengedhető kritériumokat és maximális kitettségi időt a magas hőmérsékleten végzett munka esetében. Továbbá tartalmaz egy számítógépes programot a várható hőstressz számításához.

**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*

A szabvány tartalmazza a PMV és PPD érték meghatározását számítással. Továbbá a DR – a huzathatás miatt várható elégedetlenek százalékos arányának számítását. A PMV-PPD számítási program leírását BASIC nyelven. A PMV és PPD értékek meghatározását táblázatokból, valamint a hőkomfort ajánlott követelményeit.

**MSZ EN ISO 11079:2008** *A hőmérsékleti környezet ergonómiája. A hidegstressz meghatározása és kiértékelése megkövetelt ruhaszigetelés (IREQ) és helyi hűtőhatások esetén*

A szabvány tartalmazza az IREQ (megkövetelt ruházati hőszigetelés) értékének számítását a környezeti feltételek tekintetében. A teljes testet érő hidegsokk vizsgálatát, az egyes testrészeket érő hidegsokk vizsgálatát, a fiziológiai kritériumokat hideg kitettség esetén. Továbbá példákat az IREQ értékelésére. Leírja a WCI (szél hűtő hatásának) meghatározását, valamint számítógépes programot az IREQ számításához.

**MSZ EN ISO 15743:2009** *A hőmérsékleti környezet ergonómiája. Hideg munkahelyek. Kockázatfelmérés és -irányítás*

A szabvány útmutatást ad a hideg környezet okozta rizikó vizsgálatára és menedzselésére, továbbá orvosi vizsgálati stratégiákat határoz meg. Ellenőrző listát ad a hideg munkahelyek problémáinak feltárásához, valamint a feltárt hideggel kapcsolatos problémák analízise.

**MSZ EN ISO 10551:2020** *Fizikai környezetek ergonómiája. Szubjektív megítélési skálák a fizikai környezetek felmérésére*

A szabvány tartalmazza a kérdőív készítésének módját a szubjektív hőérzet vizsgálatához. A szubjektív skála meghatározását. Továbbá iránymutatást ad a kérdőívben feltett kérdések megfogalmazására. Tartalmaz mintákat a kérdőív tekintetében és leírja a kiértékelés menetét, az AMV (Actual Mean Vote) meghatározásának módját.

**MSZ EN ISO 12894:2003** *A hőmérsékleti környezet ergonómiája. Az igen meleg vagy hideg környezetnek kitett személyek orvosi felügyelete*

A szabvány tárgyalja az orvosi felügyelet szükségességét ( $WBGT > 25^{\circ}\text{C}$  vagy  $t_a < 0^{\circ}\text{C}$ ). Az orvosi vizsgálatok típusait és tartalmát (orvosi alkalmassági, egészségügyi megfigyelés, terepi vizsgálatok). A kérdőív és formanyomtatvány mintákat (beleegyező nyilatkozat, orvosi alkalmassági-, egészségügyi megfigyelési kérdőív minta), valamint lehetséges egészségügyi hatásokat (mint hipertermia vagy hipotermia) és azokhoz kapcsolódó elsősegélynyújtási módokat.

Mint látható nagyon tág a hőkomfort mérésekhez, szubjektív kiértékeléséhez kapcsolódó szabványok köre. Sok esetben egyértelmű utasításokat találhatunk a szabványokban, de minden esetben szükséges, hogy azonosítsuk az adott vizsgálat célját, hiszen ezek határozzák meg az alkalmazandó előírásokat.

## **3.2 Belső terek méretezési adatait tárgyaló szabványok**

Az épületgépészeti és építészeti gyakorlatban leggyakrabban az általános komfort követelményeknek történő megfelelés vizsgálata a cél. Egy a szakma szabályai szerint megtervezett épület esetén szélsőséges környezeti feltételekkel nem találkozunk. Ennek egyik oka, hogy az elmúlt évtizedek hőkomfort kutatásait ma már szabványok rögzítik, illetve önkéntes minősítési rendszerek is hivatkoznak rájuk, mint elvárható igényre. A korabeli és a hatályos szabványok iránymutatást adnak a komfortterek méretezési hőmérsékletére, egyesek az átlagos léghőmérsékletre, míg mások az alkalmazandó operatív hőmérséklet tartományra. A magyar szabványok közül a legismertebb az MSZ-04-140 szabványsorozat, melyet 2012-ben visszavontak. Helyettesítő szabványként az MSZE 24140:2012 szabvány jelent meg, melyet 2015-ben szintén visszavontak. A 2015-ben hatályba lépő



MSZ 24140:2015 szabvány a megkívánt hőkomfortról az alábbiak szerinti rendeletekre, illetve szabványokra hivatkozik:

2. táblázat A hőkomfort szempontjából támasztott követelmények hierarchikus felépítése a hatályos rendeletek és szabványok vonatkozásában

Funkció	Rendelet/Szabv.	Utód szabvány	Követelmény	Alkalmazása
lakó, iroda, más a rendeletben rögzített funkció esetén	7/2006. (V. 24.) TNM rendelet	-	operatív hőmérséklet tartomány	kötelező
jogszabály/rendelet hiányában, a funkciónak megfelelő szabvány szerint	MSZE 24203-as szabványsorozat (oktatási épületek)	-	átlagos léghőmérséklet	szabvány szerint kötelező
fentiekben meg nem határozott funkciók esetén	MSZ EN ISO 13790:2008 (visszavont)	MSZ EN ISO 52016-1:2017	operatív hőmérséklet	javasolt
fentiekben meg nem határozott funkciók esetén	MSZ EN 15251:2007 (visszavont) MSZ CR 1752:2000 (visszavont) MSZ EN ISO 7730:2006	MSZ EN 16798-1:2019 - -	operatív hőmérséklet tartomány, illetve PMV/PPD értékek különféle kategóriák szerint	javasolt

A hőkomfort kutatások széleskörű elterjedését megelőzően elsősorban tapasztalati értékek alapján meghatározott léghőmérsékletet támasztottak követelményül, különböző funkciók esetén. A hőkomfort kutatások elterjedésével a szabványokban, irányelvekben feltűnt a várható hőérzeti érték (PMV), illetve az elégedetlenek várható százalékos aránya (PPD), mint követelményérték. A várható hőérzeti érték (PMV), mint követelmény az MSZ EN 15251:2007, MSZ EN 16798-1:2019, MSZ CR 1752:2000, és MSZ EN ISO 7730:2006 szabványokban jelent meg.

Az MSZ CR 1752:2000, az MSZ EN 15251:2007, illetve az MSZ EN 16798-1:2019, szabványok PMV és PPD érték szerinti kategóriákba sorolják a komfort tereket. Az MSZ CR 1752:2000-es szabvány három kategóriát állapít meg. Az „A” leghigorúbb kategória egy szűk 6%-os elégedetlenségi arányt határoz meg. A „B” és „C” kategória kevésbé szigorú 10, illetve 15%-os elégedetlenségi arányt enged meg. E szabvány kitér az egyéb helyi diszkomfort tényezőkre, és a tényezők miatt megengedett elégedetlenek arányára is.

3. táblázat Az MSZ CR 1752:2000 szabvány hőkomfort követelményei belső terek esetén

Kategória	A test egészének hőállapota		Helyi diszkomfort			
	Az elégedetlenek százalékos aránya (PPD) [%]	Várható hőérzeti érték (PMV) [-]	Elégedetlenek százalékos értéke huzat esetében (DR) [%]	Vertikális hőmérséklet különbség esetében [%]	A meleg vagy hideg padló esetében [%]	A sugárzási aszimmetria esetében [%]
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

Az MSZ EN 15251:2007, illetve az MSZ EN 16798-1:2019 szabványok nem térnek ki a helyi diszkomfort tényezőkre. Az első három kategória megegyezik az MSZ CR 1752:2000 szabványban meghatározottakkal, azokat viszont római számokkal jelöli. Ezen túl mindkét szabvány rendelkezik egy IV. kategóriával is. A két szabvány itt eltér egymástól. A korábbi, már visszavont MSZ EN 15251:2007 szabványban a IV. kategóriára nem fogalmaz meg követelményt, mivel a PPD-nek nem szab felső határt. Az újabb MSZ EN 16798-1:2019 szabvány viszont már erre a kategóriára is megfogalmaz egy maximum 25%-os elégedetlenségi arányt.

4. táblázat MSZ EN 15251:2007 szabvány hőkomfort követelményei belső terek esetén

Kategória	A test egészének hőállapota	
	PPD [%]	PMV [-]
I	<6	-0,2<PMV<+0,2
II	<10	-0,5<PMV<+0,5
III	<15	-0,7<PMV<+0,7
IV	>15	PMV<-0,7; vagy +0,7<PMV

5. táblázat MSZ EN 16798-1:2019 szabvány hőkomfort követelményei belső terek esetén

Kategória	A test egészének hőállapota	
	Az elégedetlenek százalékos aránya (PPD) [%]	Várható hőérzeti érték (PMV) [-]
I	<6	-0,2<PMV<+0,2
II	<10	-0,5<PMV<+0,5
III	<15	-0,7<PMV<+0,7
IV	<25	-1,0<PMV<+1,0

### 3.3 Ruházat hőszigetelő képességének meghatározása

A ruházat hőszigetelő képességének meghatározására az ún. „clo” egység használatos ( $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2\text{K/W}$ ) [8]. A következő fejezetben kiemelt figyelmet fordítunk a ruházat hőszigetelő képességének mérésével foglalkozó szabványokra, hiszen ezen ismeretek szoros összefüggésben állnak a hőkomfort szempontú mérésekkel, a ruházat hőszigetelő képessége (clo értéke) kiinduló adatként szolgál, elengedhetetlen része a PMV, PPD meghatározásának. A ruházatok hőszigetelő képességének meghatározásáról az MSZ EN ISO 9920 szabvány ad iránymutatást. A szabványt 1994-es megjelenése óta 2004-ben, 2007-ben, 2009-ben frissítették, helyettesítették. A jelenleg hatályos változata a MSZ EN ISO 9920:2009 *A hőmérsékleti környezet ergonómiája. A ruházat hőszigetelésének és párolgási ellenállásának becslése (ISO 9920:2007, 2008-11-01-jei helyesbített változat)*. Ez a szabvány általános előírásokat tartalmaz a ruházat hőszigetelő képességének meghatározása tekintetében, valamint leírja a számítás módját.

A későbbiekben bemutatott MSZ EN ISO 15831:2004 *Ruházat. Élettani hatások. A hőszigetelés mérése hőhatásnak kitett tanbábu segítségével* című szabvány viszont a ruházat hőszigetelő képességének termikus mérőbábuval történő meghatározását ismerteti.

A 6. táblázat egybeveti a különböző szabványokban rögzített, a ruházati hőszigetelő képesség meghatározásához szükséges mérési peremfeltételeket és a számításra vonatkozó tudnivalókat:

6. táblázat Ruházatok termikus teljesítőképességeivel foglalkozó szabványok

	ASTM F 1291-06	ISO 9920	ISO 15831
<b>Tartalom</b>	Ruhadarabok, ruházategyüttesek	Ruhadarabok, ruházategyüttesek	Ruházategyüttesek
<b>Mérőbábu magassága</b>	$170 \pm 10 \text{ cm}$	Teljes magasság	$170 \pm 15 \text{ cm}$
<b>Mérőbábu felülete</b>	$1,8 \pm 0,3 \text{ m}^2$	Nem részletezi	$1,7 \pm 0,3 \text{ m}^2$
<b>Átlagos bőrhőmérséklet</b>	$35^\circ\text{C}$	$32\text{-}34^\circ\text{C}$	$34^\circ\text{C}$
<b>Testrészek hőmérséklete</b>	Mindegyik $35^\circ\text{C}$	Mindegyik egyenlő	Mindegyik $34^\circ\text{C}$
<b>Léghőmérséklet</b>	$\geq 12^\circ\text{C}$ -al kevesebb, mint $T_s$	$\geq 12^\circ\text{C}$ -al kevesebb, mint $T_s$	$\geq 12^\circ\text{C}$ -al kevesebb, mint $T_s$
<b>Hővesztesség</b>	$\geq 20 \pm 10 \text{ W/m}^2$	$\geq 40 \text{ W/m}^2$	$\geq 20 \text{ W/m}^2$
<b>Relatív páratartalom</b>	30-70%, lehetőleg 50%	30-70%, lehetőleg 50%	30-70%, lehetőleg 50%
<b>Légsebesség</b>	0,4 m/s	$v < 0,5 \text{ m/s}$	0,4 m/s
<b>Mérés időtatama</b>	30 perc	Egyensúlyi állapot 15 percig	Egyensúlyi állapot 20 percig
<b>Mért érték</b>	$R_t$ [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ]; $I_T$ [clo]	$I_T$	$I_T$ ; $I_{T,r}$
<b>Összegzési módszer</b>	Párhuzamos	Párhuzamos, globál	Párhuzamos vagy soros vagy a kettő átlaga
<b>Ruházati hőszigetelés meghatározása</b>	Hivatkozás ISO 9920-ra: $I_{cl} = I_T - \frac{I_a}{f_{cl}}$	Ruházategyüttes: $I_{cl} = I_T - \frac{I_a}{f_{cl}}$ Ruhadarab: $I_{clu} = I_T - I_a$	$I_{cl} = I_T - \frac{I_a}{f_{cl}}$ $I_{cl,r} = I_{T,r} - \frac{I_{a,r}}{f_{cl}}$
<b>Mértékegységek</b>	$[\text{m}^2\text{K/W}]$ ; [clo]	$[\text{m}^2\text{K/W}]$ ; [clo]	$[\text{m}^2\text{K/W}]$

### 3.3.1 A ruházat hőszigetelő képességének analitikus meghatározása

Az EN ISO 9920:2009 (*Ergonomics of the thermal environment – Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble*) európai szabvány ruházatok termikus teljesítőképességeivel foglalkozik, beleértve a hőszigetelőképeség és nedvesség áteresztő képesség mérését állandósult körülmények közt. A szabvány kitér a testmozgás és légmozgás hatására is.

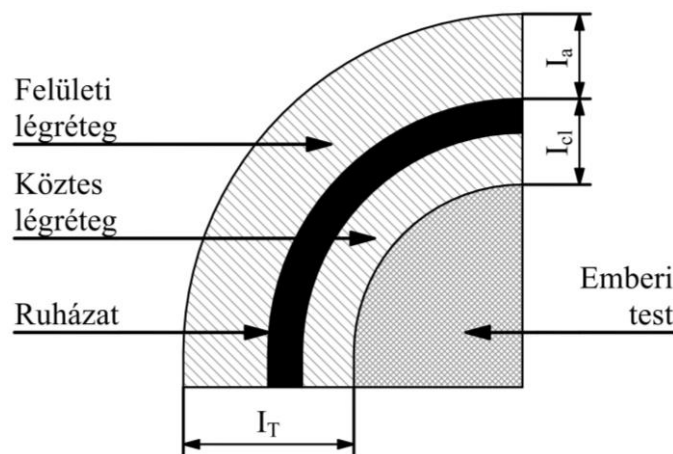
A szabvány tartalmaz fogalom meghatározásokat, melyek ismerete feltétele a mérési eljárás teljeskörű megértésének, így ezeket a következőkben tárgyaljuk. A szabvány angol, illetve német nyelven érhető el, így a szó szerinti fordítás nem minden esetben segíti a teljes megértést, így bizonyos esetekben kiegészítem saját megjegyzésekkel.

**Termikus hőszigetelés** – [Thermal insulation] (jele:  $I$ ): Két felület közti száraz hővesztéssel szembeni ellenállás,  $m^2K/W$ -ban kifejezve.

**Teljes ruházati hőszigetelő képesség** – [Total thermal insulation of clothing] (jele  $I_t$ ): *A korabeli szakirodalom [9] összes hőszigetelésként említi.* Lényegében hőszigetelés a test felületétől a környezet felé, beleértve a ruházatot és a határoló légréteget, meghatározott körülmények között, álló mérőbábuval mérve.

**Alap hőszigetelés** – [Basic insulation] (jele:  $I_{cl}$ ): Hőszigetelés a test felületétől a legkülső ruházat felülete felé, beleértve a közre zárt légréteget, meghatározott körülmények között, álló mérőbábuval mérve. *Ez tulajdonképpen a ruházat hőszigetelő képessége, a szakmában gyakran CLO értéként hivatkoznak rá.*

**Levegő hőszigetelő képessége** – [Air insulation] (jele:  $I_a$ ): A ruházatot vagy a meztelen bőrfelületet határoló levegő hőszigetelő képessége.



10. ábra A teljes és ruházati hőszigetelés hengeres modellje.

A fenti ábra szemlélteti a légrétegek elhelyezkedését, a teljes és alap (ruházati) hőszigetelő képességet.

**Ruházati tényező** – [Clothing area factor] (jele:  $f_{cl}$ ): A ruházattal borított és a meztelen testrészek felületének aránya.

$$f_{cl} = \frac{A_{cl}}{A_{Du}} [-],$$

ahol:

$A_{cl}$  – Felöltözött emberi test külső felülete [ $m^2$ ],

$A_{Du}$  – Meztelen emberi test külső felülete [ $m^2$ ].

A szabvány alapján a ruházati és légrétegből adódó hőszigetelő képességek összege nem egyenlő a teljes hőszigetelő képességgel. Ez abból adódik, hogy minél nagyobb a ruhával borított testrészek felülete és minél vastagabb a ruházat, azzal arányosan csökken a légréteg hőszigetelő réteggént érvényesülő hatása a testre. Ezen fordított arányosság kifejezésére szolgál a teljes hőszigetelő képesség meghatározása során alkalmazott összefüggésben a ruházati területi tényező ( $f_{cl}$ ).

Ezek ismeretében a teljes hőszigetelő képesség ( $I_T$ ):

$$I_T = I_{cl} - \frac{I_a}{f_{cl}} \left[ \frac{m^2 K}{W} \right],$$

ahol:

$I_{cl}$  – A ruházat hőszigetelő képessége [ $m^2 K/W$ ],

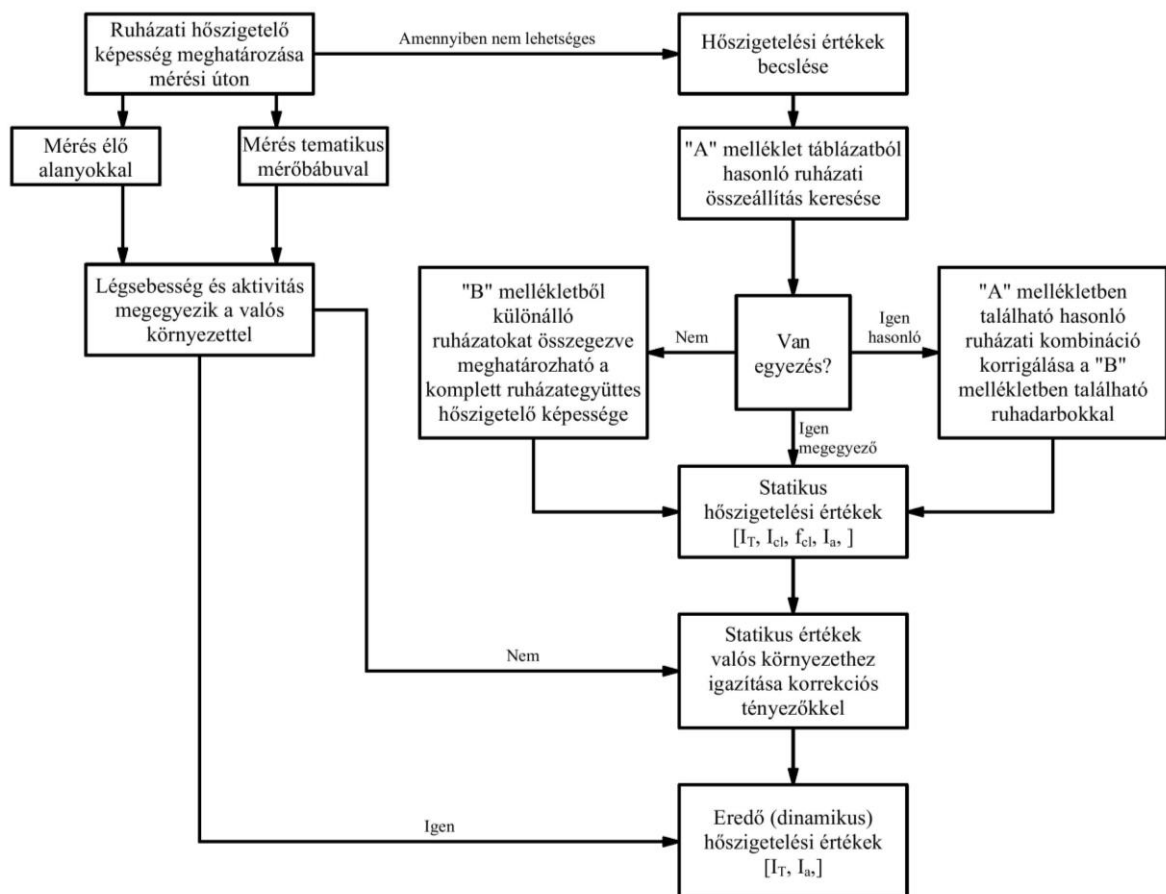
$I_a$  – A határoló légréteg hőszigetelő képessége [ $m^2 K/W$ ],

$f_{cl}$  – Ruházati tényező [-].

**Effektív hőszigetelő képesség** – [effective insulation] (jele:  $I_{clu}$ ): Egyetlen ruhadarab által nyújtott többlet hőszigetelés a meztelen testhez mérten.

A leírt különböző hőszigetelési értékek [ $m^2 K/W$ ], vagy [clo] mértékegységekben értendők.

Ideális esetben a ruházati hőszigetelő és nedvesség ellenálló képességet jelző értékek meghatározása termikus mérőbábút felhasználva vagy élő alanyokkal történik. Az ilyen jellegű mérések menete és peremfeltételei a szabványban kifejtésre kerülnek. Abban az esetben, ha nem áll rendelkezésre termikus mérőbábuhoz hasonló komplex mérőeszköz, úgy a szabvány egyéb lehetőségeket ír le, mely során ismert értékeket felhasználva lehet a vizsgálati öltözék hőszigetelő képességét megbecsülni. Segédlet gyanánt a szabvány egy folyamatábrán szemlélteti a szükséges lépéseket:



11. ábra Folyamatábra a ruházat hőszigetelő képességének meghatározásához

### Ruházat hőszigetelő képességének meghatározása táblázatokkal

A következőkben bemutatásra kerül a ruházategyüttesek hőszigetelőképességének meghatározása táblázatban szereplő ismert értékek segítségével, mely ismert értékek álló termikus mérőbábut alkalmazva kerültek kiszámításra.

### Komplett ruházategyüttesek ismert hőszigetelő képességeinek használata

Az MSZ EN ISO 9920:2007 tartalmaz számos olyan táblázatot, amelyben ruházategyüttesek és különálló ruhadarabok hőszigetelési értékei találhatóak. Javasolt azon táblázatok használata, ahol komplett ruházati rendszerek hőszigetelési értékei szerepelnek, szemben a külön ruhadarabokra jellemző értékek összegzésével, mivel így vélhetően a valósághoz közelebb eső eredmény kapható. A 7. táblázat az általános, mindennapi öltözékek hőszigetelési értékeit mutatja be [ $m^2K/W$ ] és [ $clo$ ] mértékegységekben.

7. táblázat Általános ruházategyüttesek hőszigetelési értékei

Mindennapi ruházat	clo	m <sup>2</sup> K/W
Szandál, könnyű zokni, alsónemű, rövidnadrág, póló	0,30	0,0465
Szandál, alsónemű, harisnya, alsószoknya, könnyű ruha ujjakkal	0,45	0,0698
Cipő, könnyű zokni, alsónadrág, könnyű nadrág, rövid ujjú ing	0,50	0,0775
Szandál, alsónemű, harisnya, szoknya, rövid ujjú ing	0,55	0,0853
Cipő, zokni, alsónadrág, könnyű nadrág, póló	0,60	0,0930
Cipő, alsónemű, harisnya, alsószoknya, ruha	0,70	0,1085
Cipő, zokni, alsónadrág, nadrág, póló	0,70	0,1085
Sportcipő, hosszú zokni, alsónadrág, melegítő alsó, pulóver	0,75	0,1163
Cipő, vastag zokni, alsónemű, alsószoknya, szoknya, póló	0,80	0,1240
Cipő, vastag zokni, alsónemű, szoknya, nadrág, pulóver	0,90	0,1395
Cipő, zokni, alsónadrág, nadrág, rövid ujjú trikó, póló, pulóver	0,95	0,1473
Cipő, zokni, alsónemű, nadrág, póló, kabát	1,00	0,1550
Cipő, zokni, alsónemű, harisnya, szoknya, póló, mellény, kabát	1,00	0,1550
Cipő, zokni, alsónemű, harisnya, hosszú szoknya, blúz, kabát	1,10	0,1705
Cipő, zokni, alsónadrág, nadrág, rövid ujjú trikó, póló, kabát	1,10	0,1705
Cipő, zokni, alsónadrág, nadrág, rövid ujjú trikó, póló, mellény, kabát	1,15	0,1783
Cipő, zokni, női aláöltözet, nadrág, póló, pulóver, kabát	1,30	0,2015
Cipő, zokni, férfi jégeralsó, nadrág, póló, mellény, dzseki, kabát	1,50	0,2325

A ruházati hőszigetelőképeség ily módon történő meghatározásához a vizsgálni kívánt ruházategyüttesel megegyező összeállítást kell keresni a táblázatban. Két ruházategyüttes hőszigetelő képességének ismeretében az interpoláció közelítő módszerével ismeretlen clo értékekre is lehet következtetni. Egyéb esetben, ha a vizsgálni kívánt összeállításhoz hasonló alternatíva szerepel a táblázatban, az ismert értéket egy-egy ruhadarab kivonásával vagy hozzáadásával korrigálni lehetséges. Végezetül a mozgás és légebesség hatását figyelembevételéhez korrigálás szükséges.

A szabványban található további táblázatok a következő ruházati típusokat részletezik, melyeket a terjedelemre való tekintettel a következőkben sorolunk fel: általános öltözetek, munkaruházatok, hideg ellen védő öltözékek, hőhatások ellen védő öltözékek, vegyvédelmi öltözékek, nukleáris erőművi öltözék, tipikus koreai öltözékek, tipikus Perzsa-öböl térségi öltözékek.

## Különálló ruhadarabok ismert hőszigetelő képességeinek használata

A 8. táblázat az önálló, általános ruhadarabok hőszigetelési értékeit tartalmazza.

8. táblázat Általános ruhadarabok hőszigetelési értékei

Ruhadarab	$I_{clu}$		Ruhadarab	$I_{clu}$	
	[clo]	[m <sup>2</sup> K/W]		[clo]	[m <sup>2</sup> K/W]
Alsónadrág, normál	0,05	0,0078	Overál/egyberuha	0,55	0,0853
Alsónadrág, hosszú szárú	0,10	0,0155	Blúz, könnyű	0,15	0,0233
Alsónemű	0,03	0,0047	Blúz, vastag	0,30	0,0465
Nadrág, rövid szárú	0,03	0,0047	Blézer, könnyű	0,17	0,0264
Nadrág, könnyű, hosszú szárú	0,20	0,0310	Blézer, vastag	0,37	0,0574
Nadrág, normál, hosszú szárú	0,25	0,0388	Mellény, ujj nélkül	0,12	0,0186
Nadrág, nehéz, hosszú szárú	0,28	0,0434	Pulóver, vékony	0,20	0,0310
Harisnya	0,03	0,0047	Pulóver, normál	0,28	0,0434
Szoknya, könnyű	0,15	0,0233	Pulóver, vastag	0,35	0,0543
Szoknya, vastag	0,25	0,0388	Dzseki, könnyű	0,25	0,0388
Trikó	0,04	0,0062	Dzseki, normál	0,35	0,0543
Póló	0,09	0,0140	Esőkabát	0,30	0,0465
Felső, hosszú ujjú	0,12	0,0186	Pehelykabát	0,55	0,0853
Ing, rövid ujjú	0,15	0,0233	Kabát, derékig	0,60	0,0930
Ing, könnyű, hosszú ujjú	0,20	0,0310	Parka, combközépig	0,70	0,1085
Ing, normál, hosszú ujjú	0,25	0,0388	Bokazokni, könnyű	0,02	0,0031
Ing, vastag, hosszú ujjú	0,30	0,0465	Bokazokni, vastag	0,05	0,0078
Zakó, könnyű	0,22	0,0341	Térdzokni, vastag	0,10	0,0155
Zakó, vastag	0,49	0,0760	Szandál	0,02	0,0031
Kombiné, rövid	0,13	0,0202	Cipő, vékonytalpú	0,02	0,0031
Kombiné, hosszú	0,19	0,0295	Cipő, vastagtalpú	0,04	0,0062
Ruha, könnyű, rövid	0,20	0,0310	Csizma	0,10	0,0155
Ruha, vastag, hosszú	0,40	0,0620	Kesztyű	0,05	0,0078

A szabványban lévő további táblázatok részletesebb leírást is biztosítanak a felsorolt ruhadarabok típusát és minőségét illetően. Az oszlopok közt szerepel megnevezve a felhasznált anyag vagy anyagösszeállítás, annak vastagsága, sűrűsége és légáteresztő képessége is a hőszigetelő képesség mellett.

Az ruházategyüttesek hőszigetelési értékei meghatározhatók tehát különálló termékek összegzésével. Az összegzéshez a következő képlet használható:

$$I_{cl} = \sum I_{clu} [clo],$$

ahol:

$I_{clu}$  – egy-egy különálló darab hőszigetelési értéke [clo].



Pontosabb eredményhez azonban inkább a következő konstans értékekkel korrigált egyenlet javasolt:

$$I_{cl} = 0,161 + 0,835 * \sum I_{clu} \text{ [clo]},$$

ahol:

$I_{clu}$  – egy-egy különálló darab hőszigetelési értéke [clo].

Extrém esetekben, tehát ahol 3 réteg fedi az alsó testrészt, vagy csak egy nagyon vékony ruhadarab fedi a felső testet, az összegzés módszere nem javasolt clo értékek meghatározásához. A képletek alkalmazhatósága 0,2 és 1,6 clo között vizsgált.

Amennyiben a vizsgált ruházategyüttes csak részben hasonló a 7. táblázatban szereplő ruházategyütteshez, úgy a ruházat hőszigetelő képességének korrigálása szükséges, melyet a következő egyenlet ír le:

$$I_{cl,a} = I_{cl,A} + 0,835 * \Delta I_{clu} \text{ [clo vagy } m^2K/W],$$

ahol:

$I_{cl,a}$  – A vizsgálni kívánt ruházategyüttes hőszigetelő képessége [clo vagy  $m^2k/W$ ],

$I_{cl,A}$  – A táblázatban szereplő ruházategyüttes hőszigetelő képessége [clo vagy  $m^2k/W$ ],

$\Delta I_{clu}$  – A ruhadarabok közti különbség figyelembevételére szolgáló tényező (negatív érték, ha kivonjuk a ruhadarab hőszigetelő hatását az összeállításból, vagy kisebb hőszigetelő képességgel rendelkező ruhadarabbal helyettesítünk egy másikat).

### Ruházat hőszigetelő képességének meghatározása termikus mérőbábuval

Amennyiben lehetőség van termikus mérőbábu alkalmazására, a következő részben leírt egyenleteket felhasználva kell eljárni.

Fontos megjegyezni, hogy a mérőbábuk különböznek a szegmensek számában és az elrendezésükben. A hőszigetelés mérésének módja a különböző mérőbábukon némi eltérést mutat. Eredetileg a test egészén azonos bőrfelületi hőmérséklet tartása volt a szokványos üzemmód, de egyes esetekben reálisabbnak bizonyult az állandó hővesztesség beállítása, ami a fedetlen részek alacsonyabb hőmérsékletét eredményezte (pl. kezeken) Ez alapján három különböző számítási módszer van használatban a mérőbábu típusától függően.

Az **általános egyenlet**, mely leírja a teljes hőszigetelő képességet, a következő:

$$I_t = \frac{T_s - T_a}{H_c} = \frac{\sum \alpha_i * (T_{si} - T_a)}{\sum (\alpha_i * H_{ci})} \left[ \frac{m^2K}{W} \right],$$

ahol:

$I_t$  – a ruházat teljes hőszigetelése álló mérőbábu mellett [ $m^2K/W$ ],

$T_a$  – a levegő hőmérséklete a kamrában [ $^{\circ}C$ ],

$T_s$  – a teljes test átlagos bőrfelületi hőmérséklete [ $^{\circ}C$ ],

$T_{si}$  –  $i$  szegmens átlagos bőrfelületi hőmérséklete [ $^{\circ}C$ ],

$H_c$  – az összes fűtési teljesítmény [W],

$H_{ci}$  –  $i$  szegmenshez tartozó fűtési teljesítmény [W].

Az egyenletben  $\alpha_i$  index adott szegmens felületének hányada a teljes testfelülethez viszonyítottan:

$$\alpha_i = \frac{A_i}{A},$$

ahol:

$A_i$  - a bábu  $i$  szegmensének felülete [ $m^2$ ],

$A$  - a teljes testfelület [ $m^2$ ].

A hőmérséklet vagy a hőveszteség eloszlásának két specifikus feltétele esetén, az iménti egyenlet egyszerűsíthető. Amennyiben azt a feltételezést vesszük alapul, hogy a bőrfelületi hőmérséklet egyenlő és állandó a teljes testen ( $T_{si} = T_s$ ), a következő egyenlettel lehet számolni, melyre a szabvány a **párhuzamos összegzés** módszere néven hivatkozik:

$$I_t = \frac{(T_s - T_a)}{\Sigma(\alpha_i * H_{ci})} \left[ \frac{m^2 K}{W} \right],$$

ahol:

$I_t$  – a ruházat teljes hőszigetelése álló mérőbábu mellett [ $m^2 K/W$ ],

$T_a$  – levegő hőmérséklete a kamrában [ $^{\circ}C$ ],

$T_s$  – a teljes test átlagos bőrfelületi hőmérséklete [ $^{\circ}C$ ],

$\alpha_i$  –  $i$  szegmens felületének hányada a teljes testfelülethez viszonyítottan [ $m^2$ ],

$H_{ci}$  –  $i$  szegmenshez tartozó fűtési teljesítmény [ $W$ ].

Amennyiben azt a feltételezést vesszük alapul, hogy a helyi hőveszteség (vagyis a bevitt fűtőteljesítmény) egyenlő és állandó a teljes testen ( $H_{ci} = H_c$ ), a következő egyenlettel lehet számolni, melyre a szabvány a **soros összegzés** módszere néven hivatkozik.

$$I_t = \frac{\Sigma \alpha_i * (T_{si} - T_a)}{H_c} \left[ \frac{m^2 K}{W} \right],$$

ahol:

$I_t$  – a ruházat teljes hőszigetelése álló mérőbábu mellett [ $m^2 K/W$ ],

$T_a$  – levegő hőmérséklete a kamrában [ $^{\circ}C$ ],

$T_{si}$  –  $i$  szegmens átlagos bőrfelületi hőmérséklete [ $^{\circ}C$ ],

$\alpha_i$  –  $i$  szegmens felületének hányada a teljes testfelülethez viszonyítottan [ $m^2$ ],

$H_c$  – az összes fűtési teljesítmény [ $W$ ].

## Testmozgás és légmozgás hatása a ruházati hőszigetelő és nedvességáteresztő képességre

A testmozgás és légmozgás figyelembevételére a szabvány a statikus ruházati hőszigetelőképeséget korrekcióját javasolja.

Normál vagy könnyű ruházat esetén ( $0,6 \text{ clo} < I_{cl} < 1,4 \text{ clo}$  vagy  $1,2 \text{ clo} < I_T < 2,0 \text{ clo}$ ):

$$I_{T,r} = \text{corr } I_T * I_T = e^{[-0,281*(v_{ar}-0,15)+0,044*(v_{ar}-0,15)^2-0,49*v_w+0,176*v_w^2]} * I_T.$$

Mezítelen ember esetén ( $I_{cl} = 0 \text{ clo}$ ):

$$I_{T,r} = I_{a,r} = \text{corr } I_a * I_{a,static} = e^{[-0,533*(v_{ar}-0,15)+0,069*(v_{ar}-0,15)^2-0,462*v_w+0,201*v_w^2]} * I_{a,static},$$

ahol:

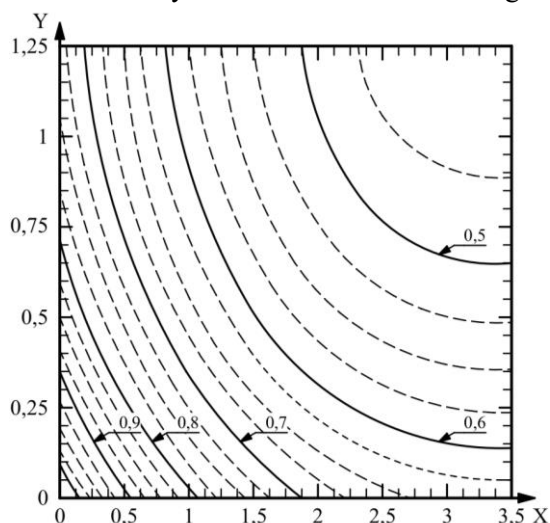
$\text{corr } I_T$  – korrekciós tényező a teljes ruházati szigetelésre [-],

$\text{corr } I_a$  – korrekciós tényező a levegő szigetelésére,

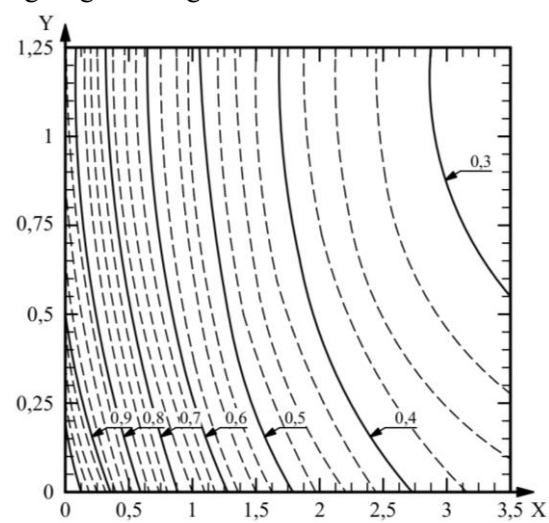
$v_{ar}$  – a relatív légsebesség m/s-ban kifejezve (értéke 0,15-3,5 m/s között) [m/s],

$v_w$  – a séta sebessége m/s-ban kifejezve (értéke 0-1,2 m/s között) [m/s].

A korrekciós tényezők a következő ábrák diagramjai segítségével meghatározhatók:



12. ábra Korrekciós tényező ( $I_{T,r}/I_T$ ) ruhával borított esetben, X – relatív légsebesség [m/s], Y – séta sebessége [m/s]



13. ábra Korrekciós tényező ( $I_{a,r}/I_a$ ) mezítelen esetben, X – relatív légsebesség [m/s], Y – séta sebessége [m/s]

### 3.3.2 A ruházat hőszigetelő képességének meghatározása termikus mérőbábuval

Az EN ISO 15831:2004 (Clothing. Physiological effect. Measurement of thermal insulation by means of a thermal manikin) európai szabvány 3+12 oldalban foglalkozik a ruházati clo érték méréssel kapcsolatos tudnivalókkal. A szabvány leírja a clo érték meghatározásának menetét, számítási elvét, a termikus mérőbábuk és mérőkamra kialakításával szemben támasztott követelményeket és a javasolt mérési peremfeltételeket a termikus környezetre vonatkozóan.

**Ruházategyüttes** – [clothing ensemble]: Különálló ruhadarabok összessége, amelyet az egyén egyszerre testén visel, egy ruházati rendszert alkotva.

**Ruházati hőszigetelő képesség** – [thermal insulation of clothing] (jele:  $I_{cl}$ ): Hőmérsékletkülönbség a viselő bőrfelülete és az ambiens hőmérséklet között, osztva az egységnyi területre jutó száraz hőátadással a hőmérsékleti gradiens irányában, ahol a száraz hőcsere hővezetési, hőáramlási és hőszugárzási komponensekből áll.

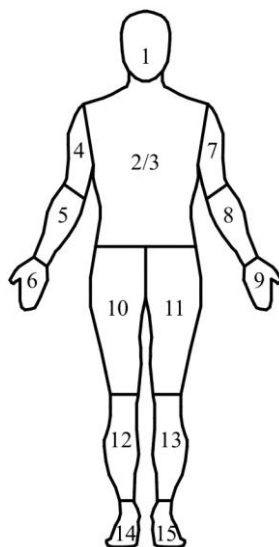
**Teljes ruházati hőszigetelő képesség** – [total thermal insulation of clothing] (jele:  $I_t$ ): A bőr és a környező levegő közötti teljes hőszigetelő képesség, beleértve a ruházatot és a határoló légréteget, meghatározott körülmények között, álló mérőbábuval mérve.

**Eredő teljes ruházati hőszigetelő képesség** – [resultant total thermal insulation of clothing] (jele:  $I_{tr}$ ): A bőr és a környező levegő közötti teljes hőszigetelő képesség, beleértve a ruházatot és a határoló légréteget, meghatározott körülmények között, mozgatható mérőbábuval mérve.

A vizsgálni kívánt ruházat darabjai oly módon kerülnek a mérőbábura, amint az praktikusán a való életben is történne. A felnőtt emberi testet mintázó termikus mérőbábu, a teljes hőszigetelőképesség ( $I_t$ ) meghatározásához belülről kerül felmelegítésre, a testen egyenletes módon eloszló állandó bőrfelületi hőmérsékletre beállítva. A mérőbábút olyan klímakamrába kell helyezni, ahol a levegő hőmérséklete, páratartalma és a légsebesség szabályozható. A mérést a bábu statikus állapotában, vagy a kezeket és lábakat mozgatva, meghatározott percenkénti fordulatszámmal és adott lépéshosszt beállítva kell elvégezni, ezzel más-más aktivitási szintet szimulálva.

A számított hőszigetelési érték magába foglalja a ruházat és a közvetlen érintkező légréteg szigetelő hatását. A kapott érték kizárólag a vizsgálat tárgyát képező ruházategyüttesre vagy ruhadarabra vonatkozik, a kialakult termikus környezetben.

Az anyaghasználatot tekintve fém és műanyag összetételű mérőbábu oly módon kerül kialakításra, hogy a felnőtt emberi testet valóságos módon mintázza. Ez alapján anatómiailag arányos fejjel, mellkassal, hasi résszel, háttal, fenékkal, lábbal, lábfejjel, karokkal, kézfejekkel és lehetőleg kidolgozott ujjakkal kell rendelkeznie. A testet minimum 15 szegmensre kell osztani, ahol minden testrész önálló módon kezelhető, azaz alap esetben a felületi bőrhőmérséklet szabályozható és a testrészen eső hőáram mérhető. Abban az esetben, ha több mint 20 testrésze tagolt a mérőbábu teste, a mért értékek kiértékeléséhez testtájékon belül szomszédos testrészeket összegezve kell kezelni ahhoz, hogy a következő ábrán látható mérőbábu felosztást kapjuk:



14. ábra A mérőbábu sematikus tagolása

A termikus mérőbábu magassága  $1,7 \pm 0,15$  m, a test felülete pedig  $1,7 \pm 0,3$  m<sup>2</sup> kell legyen. A mérőbábu testrészeinek egymáshoz viszonyítva arányosnak kell lennie annak érdekében, hogy a különböző ruházati darabokat célszerűen tudja viselni, tekintve, hogy ez nagyban befolyásolhatja a mérési eredményeket. A szabvány meghatározza a mozgatható termikus mérőbábukkal történő mérés során alkalmazandó percenkénti lépésszámot, karmozgást, a lábak és karok mozgás közbeni legnagyobb távolságát.

A mérőbábút oly módon kell kialakítani, hogy ugyanazon átlagos felületi hőmérsékletet ( $34,0 \pm 0,2^\circ\text{C}$ ) konstans módon tudjon a meztelen testén található összes szegmensen tartani. A hőmérséklet mérésre használt eszközt szegmensenként, a bőrfelület alatt minimum 0,5 mm-re kell beépíteni. A test átlagos bőrhőmérsékletének kiszámításakor minden egyes érzékelő hőmérsékletét felülettel súlyozott módon kell figyelembe venni, tekintettel a testfelületnek az érzékelő által lefedett részére. A száraz hőcsere, vagyis a mérőbábu hővesztése a ruházaton át meghatározható a konstans felületi hőmérséklet tartásához szükséges és az egyes testrészekhez bevitt (fűtési) teljesítményből.

A mérőbábút egy kontrollált környezetbe, lehetőleg úgynevezett klíma kamrába kell helyezni, amely minimum 2m x 2m x 2m. A légáramlás a kamrán belül lehet függőleges vagy vízszintes. A kamrában a mérőeszközhöz viszonyítva 0,5 m-en belüli térbeli eltérések nem haladhatják meg a következő értékeket:

- léghőmérséklet  $\pm 1,0$  °C
- relatív páratartalom  $\pm 10\%$
- légsebesség  $\pm 50\%$  az átlag értékhez képest
- a falak, padló és mennyezet hőmérséklete nem térhet el jobban mint  $1^\circ\text{C}$  az átlagos léghőmérséklettől

A kamra pillanatnyi ingadozásai a vizsgálati időszak alatt nem haladhatják meg a következőket:

- léghőmérséklet  $\pm 0,5$  °C
- relatív páratartalom  $\pm 10\%$
- légsebesség  $\pm 20\%$  a 3 percnyi mért adat átlagához képest

A léghőmérséklet mérésére elegendő egy érzékelő, mely legalább  $\pm 0,15$  °C pontossággal képes mérni nem több, mint egy perces időintervallumokban. Javasolt több érzékelő használata, melyeket a mérőbábútól  $0,5 \pm 0,1$  méterre célszerű elhelyezni. Egy érzékelő esetén minimum 1 méter magasságban, több mérőeszköz esetén azokat egységesen eltérő magasságokban kell elhelyezni és a mért értékeket átlagolni.

A relatív páratartalom mérésére bármely olyan páratartalom-érzékelő eszköz elfogadható, amelynek pontossága legalább  $\pm 5\%$ -on belül képes meghatározni a relatív páratartalmat, és az ismétlési hibája kevesebb, mint 3%.

A légsebesség mérésére a klímakamrában egy  $\pm 0,05$  m/s pontosságú, irányfüggetlen anemométert kell használni. A méréseket a mérőbábútól  $0,5 \pm 0,1$  m távolságban, legalább 3 percen keresztül kell folytatni; a 3 perc mérési eredményeit átlagolni kell. A mérés közben nem szükséges folyamatosan ellenőrizni a légsebességet, ha bizonyosan teljesül az a feltétel, hogy a légsebesség  $\pm 0,1$  m/s-al nem változik a mérés során.

### **Vizsgálendő ruhák kiválasztásának szempontjai**

A szabvány leírja, hogy célszerű ugyanazon ruhatípusból három megegyező darabot tesztelni. Abban az esetben, ha nem áll rendelkezésre több, a mérések előtt a ruhadarabokat a klíma kamrában elhelyezve kell akklimatizálni a mérés megkezdése előtt minimum 12 órával.

## Mérés menete

A teljes hőszigetelő képesség meghatározásához a mérőbábút helyhez kötötten, már a vizsgálandó ruházatba öltöztetve kell a mérőkamrába helyezni álló pozícióban úgy, hogy a lábak teljesen kinyújtottak, a karok pedig a test mellett lógnak.

A szabvány leírja, hogy a bőrfelületi hőmérséklet értékeket a test összes szegmensén be kell állítani és adott értéken kell tartani. A gyakorlatban ez összetettebb kérdés, mivel a modern termikus mérőbábu szabályozásának több módszere vagy üzemmódja már alapfunkciója a mérőműszernek.

A kamrában a léghőmérséklet 12K-el alacsonyabb értékre állítandó, mint a mérőbábu átlagos bőrfelületi hőmérséklete. Egyéb esetben a minimum 20 W/m<sup>2</sup> egységnyi hőáramlást biztosító hőmérsékleti értéket kell beállítani. A levegő relatív páratartalma 30 és 70% között tartandó, lehetőleg minél közelebb az 50%-os értékhez. A légsebességet a szabvány 0,4 ± 0,1 m/s-ban adja meg.

A valós teszt és adatgyűjtés megkezdése előtt feltételen szükséges az egyensúlyi állapot megvárni. A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy ha a bőrfelületi hőmérsékletek és egyben a bevitt fűtési teljesítmény értékek egy 10 perces perióduson belül, ±0,2 °C és ±2% ingadozáson belül maradnak, akkor a rendszer stabilizálódottnak mondható.

Egyensúlyi állapot mellett a bőrfelületi hőmérséklet, kamrai léghőmérséklet és fűtési teljesítmény értékeket minimum percenként kell rögzíteni a teljes mérés ideje alatt. Ezen eredmények átlaga egy minimum 20 perces időintervallumban lehetőséget ad, hogy elfogadható módon meghatározható legyen a vizsgált ruházat hőszigetelő képessége.

A szabvány javasolja, hogy minimum két önálló mérés történjen ugyanazon ruházati rendszerrel. Abban az esetben, ha a kapott clo értékek közti eltérés nagyobb mint 4%, további mérések szükségesek.

Az így kapott eredmények számtani átlaga kell legyen a végsősoron közölt ruházati hőszigetelő képesség értéke.

A termikus mérőbábu megfelelő és pontos működését ellenőrizni kell. Ehhez rendszeres kontrollméréseket kell végezni. Már ismert hőszigetelő képességű ruházati rendszert etalonként kezelve lehetőség van ezeket elvégezni. Amennyiben az ellenőrző mérések során kapott eredmények ± 4 %-al nagyobb mértékben eltérnek az ismert clo értéktől, a termikus mérőbábút újra kell kalibrálni a gyártói utasítás szerint.

## Mérési eredmények kiszámítása

A vizsgált ruházategyüttes hőszigetelését a mérőbábu különböző testszegmensein lévő területtel súlyozott helyi hőszigetelés összegzésével, vagy a mérőbábu testből származó teljes hőáramlás felhasználásával lehet kiszámítani. Egy adott ruházati rendszer esetében az eredmények jelentősen eltérnek a két összegzési módszer között. A ruházat konkrét típusa, a végzett tevékenység és a termikus környezet viszonyai, amelyben ezt praktikusán viseli, határozzák meg, hogy melyik modellt érdemes használni a ruházategyüttes viselőjére gyakorolt fiziológiai hatás értékelésére.

Alkalmazási szabványokban, amikor egy adott ruházati termékre vonatkozó fiziológiai követelmény meghatározásra kerül, egyértelműsíteni kell, hogy például az adott hőszigetelési érték a soros vagy párhuzamos összegzés elvét felhasználva került kiszámításra.

## Soros módszer

A teljes ruházati hőszigetelő képesség ( $I_t$ ) a termikus mérőbábuval mért eredményeket felhasználva a következő módon számítható:

$$I_t \text{ vagy } I_{tr} = \sum_i f_i * \left[ \frac{(T_{si} - T_a) * a_i}{H_{ci}} \right] \left[ \frac{m^2 K}{W} \right],$$

ahol:

$I_t$  – a ruházat teljes hőszigetelése álló mérőbábu mellett [ $m^2 K/W$ ],

$I_{tr}$  – a ruházat teljes hőszigetelése mozgó mérőbábu mellett [ $m^2 K/W$ ],

$f_i$  – a teljes test felületének az  $i$  szegmens felülete által képviselt hányada [-],

$T_a$  – levegő hőmérséklete a kamrában [ $^{\circ}C$ ],

$T_{si}$  –  $i$  szegmens átlagos bőrfelületi hőmérséklete [ $^{\circ}C$ ],

$a_i$  –  $i$  szegmens felülete [ $m^2$ ],

$H_{ci}$  –  $i$  szegmenshez tartozó fűtési teljesítmény [ $W$ ].

A teljes test felületének az  $i$  szegmens felülete által képviselt hányada ( $f_i$ ) a következő összefüggéssel számítható:

$$f_i = \frac{a_i}{A} [-],$$

ahol:

$a_i$  –  $i$  szegmens felülete [ $m^2$ ],

$A$  – teljes testfelület [ $m^2$ ].

## Párhuzamos módszer

A teljes ruházati hőszigetelő képesség ( $I_t$ ) a termikus mérőbábuval mért eredményeket felhasználva a következő módon számítható:

$$I_t \text{ vagy } I_{tr} = \frac{(T_s - T_a) * A}{H_c} \left[ \frac{m^2 K}{W} \right],$$

ahol:

$T_s$  – a mérőbábu átlagos bőrfelületi hőmérséklete [ $^{\circ}C$ ],

$T_a$  – levegő hőmérséklete a kamrában [ $^{\circ}C$ ],

$A$  – teljes testfelület [ $m^2$ ],

$H_c$  – összes fűtési teljesítmény [ $W$ ].

A mérőbábu átlagos bőrfelületi hőmérsékletét ( $T_s$ ) a következő összefüggéssel határozhatjuk meg:

$$T_s = \sum_i f_i * T_{si} \text{ [}^\circ\text{C]},$$

ahol:

$f_i$  – a teljes test felületének az  $i$  szegmens felülete által képviselt hányada [-],

$T_{si}$  –  $i$  szegmens átlagos bőrfelületi hőmérséklete [ $^\circ\text{C}$ ].

Az összes fűtési teljesítmény ( $H_c$ ) a következő összefüggéssel határozhatjuk meg:

$$H_c = \sum_i H_{ci} \text{ [W]},$$

ahol:

$H_{ci}$  –  $i$  szegmenshez tartozó fűtési teljesítmény [W].

A határoló felületet alkotó légréteg szigetelő hatása ( $I_a$ ) termikus mérőbábu segítségével a korábban ismertetett összefüggések adaptálásával meghatározható oly módon, hogy mezíten mérést végzünk.

Soros módszer esetén:

$$I_a \text{ vagy } I_{ar} = \sum_i f_i * \left[ \frac{(T_{si} - T_a) * a_i}{H_{ci}} \right] \left[ \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right],$$

ahol:

$f_i$  – a teljes test felületének az  $i$  szegmens felülete által képviselt hányada [-],

$T_a$  – levegő hőmérséklete a kamrában [ $^\circ\text{C}$ ],

$T_{si}$  –  $i$  szegmens átlagos bőrfelületi hőmérséklete [ $^\circ\text{C}$ ],

$a_i$  –  $i$  szegmens felülete [ $\text{m}^2$ ],

$H_{ci}$  –  $i$  szegmenshez tartozó fűtési teljesítmény [W].

Párhuzamos módszer esetén:

$$I_a \text{ vagy } I_{ar} = \frac{[(\sum_i f_i * T_{si}) - T_a] * A}{\sum_i H_{ci}} \left[ \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right],$$

ahol:

$f_i$  – a teljes test felületének az  $i$  szegmens felülete által képviselt hányada [-],

$T_{si}$  –  $i$  szegmens átlagos bőrfelületi hőmérséklete [ $^\circ\text{C}$ ],

$T_a$  – levegő hőmérséklete a kamrában [ $^\circ\text{C}$ ],



$H_{ci}$  – i szegmenshez tartozó fűtési teljesítmény [W],

$A$  – teljes testfelület [ $m^2$ ].

A ruházat hőszigetelő képessége (*basic*) ennek ismeretében:

$$I_{cl} = I_t - \frac{I_a}{f_{cl}} \text{ [m}^2\text{K/W]},$$

ahol:

$I_t$  – a ruházat teljes hőszigetelése álló mérőbábu esetén [ $m^2\text{K/W}$ ],

$I_a$  – a határoló felületet alkotó légréteg szigetelő hatása [ $m^2\text{K/W}$ ],

$f_{cl}$  – a ruházattal borított és a mezítelen test felületének aránya [-].

A ruházat effektív hőszigetelő képessége ( $I_{cle}$ ) pedig:

$$I_{cle} = I_t - I_a \text{ [m}^2\text{K/W]},$$

ahol:

$I_t$  – a ruházat teljes hőszigetelése álló mérőbábu mellett [ $m^2\text{K/W}$ ],

$I_a$  – a határoló felületet alkotó légréteg szigetelő hatása [ $m^2\text{K/W}$ ].

### **A mérési eredmények dokumentálásának szabályai**

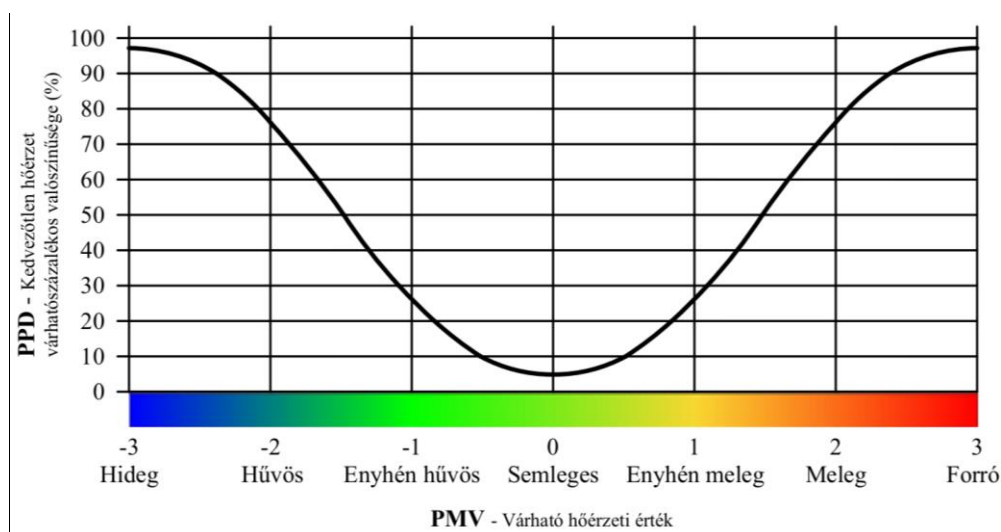
Egy mérési jegyzőkönyvnek legalább az alábbi információkat kell tartalmaznia:

- hivatkozás az alapul vett szabványra (ISO 15831),
- vizsgált ruházat leírása, beleértve az esetleges mosás/szárítás során használt módszert,
- ruházat elrendezése a mérőbábu minden részletre kitérve (pl.: ing betűre a pólóba vagy sem),
- mérőeszközök száma és a különálló, megismételt mérések száma,
- léghőmérséklet, relatív páratartalom és légsebesség adatok a klíma karmában a vizsgálat során,
- a vizsgált ruházategyüttes teljes hőszigetelő képességének számtani átlaga ( $I_t$ ), megadva az összegzési módszert, aminek alapján számították,
- a szabványtól való eltérések leírása,
- mérés időpontja.

### 3.4 Hőérzeti besorolás analitikus meghatározása

A hőérzeti besorolásra több módszer ismert, melyek között a Fanger kutatásai nyomán kifejlesztett PMV-PPD módszert napjainkban több szabvány is rögzíti. A módszer alapján meghatározhatók a PMV (predicted mean vote - várható hőérzeti érték) és a PPD (predicted percentage dissatisfied - kedvezőtlen hőérzet várható százalékos valószínűsége) értékek. A kutatások során az ASHRAE 55 és az ISO 7730 szabványokat alkalmazzuk, melyek a hőkomfort analitikus meghatározását és a PMV és a PPD index kiszámításának menetét írják le. Az ASHRAE 55 szabvány alapja az ISO 7730-as szabvány, amelynek számos követelményét átvette, azonban nem alkalmazza a komfortkategóriákat [8] [10].

A PMV-PPD meghatározása figyelembe veszi a környezetből érkező hősugárzást, a környező levegő hőmérsékletét, mozgási sebességét, annak változékonyságát (turbulencia), valamint a környezeti levegő páratartalmát. Tehát a mérés objektíven megállapítja a termikus komfortérzetet. A PMV egy nagy létszámú embercsoport átlagos termikus hőérzetét kifejező érték. A várható hőérzeti érték (PMV) alapján besorolható a vizsgált tér forró, meleg, enyhén meleg, semleges, enyhén hűvös, hűvös és hideg osztályba.



15. ábra A várható hőérzeti érték (PMV) és a kedvezőtlen hőérzet várható százalékos valószínűségének (PPD) kapcsolata

A függvényt leíró egyenlet a következő [8]:

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-(0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2)}$$

A  $PMV=0$  feltételezésével egy olyan egyenletet fogadunk el, amely a tevékenység az öltözeti jellemzők olyan kombinációját becsüli, amely semleges hőérzetet okoz [8]. A kedvezőtlen hőérzet várható százalékos valószínűsége nem esik 5% alá (elégedetlenségi arány), mivel az emberek közötti alapvető különbségek miatt lehetetlen olyan környezeti feltételeket teremteni, melyek mindenki számára megfelelőek. A diagram minimuma  $PPD = 5\%$ -nál van. Itt 5%-os valószínűséggel alakul ki kedvezőtlen hőérzet az adott tér egy pontján. Ahogy azt korábban ismertettük, napjainkban szabványban rögzített, hogy adott funkció és épület kategória esetén milyen PMV, PPD fogadható el. Ez általánosságban  $PMV = \pm 0,5$ -ig elfogadható érték. A diagramról leolvasható, hogy ebben az esetben 10%-os valószínűséggel alakul ki kedvezőtlen hőérzet, ez még a semleges osztályba sorolható állapot [8].

A következőekben bemutatásra kerül a hőérzeti besorolás analitikus meghatározása az MSZ EN ISO 7730:2006 és ASHRAE 55:2017 szabványokban rögzített módon.

Az MSZ EN ISO 7730 szabványban leírtak szerint a PMV-index használata csak a -2 és a +2 PMV érték között ajánlható, valamint abban az esetben, ha a következő kritériumok teljesülnek:

- a metabolikus hőtermelés ( $M$ ) 46-232 W/m<sup>2</sup> (0,8-4 met) között van,
- a ruházat hőszigetelő képessége ( $I_{cl}$ ) 0-310 m<sup>2</sup>K/W (0-2 clo) között van,
- a léghőmérséklet ( $t_a$ ) 10-30°C között van,
- a közepes sugárzási hőmérséklet ( $t_r$ ) 10-40°C között van,
- az átlagos légsebesség ( $v$ ) 0-1 m/s között van,
- A relatív páratartalom ( $\varphi$ ) 30-70% között van,
- A parciális vízgőznyomás ( $p_a$ ) 0-2700 Pa között van.

A PMV-PPD meghatározásához a következő paraméterekre van szükség, melyet méréssel, illetve táblázatok felhasználásával, becsléssel határozhatunk meg:

- $M$  – metabolikus hőtermelés [met],
- $W$  – mechanikai munka [met],
- $I_{cl}$  – ruházat hőszigetelő képessége [clo],
- $t_a$  – belső léghőmérséklet [°C],
- $t_r$  – közepes sugárzási hőmérséklet [°C],
- $\varphi_i$  – belső relatív páratartalom [%],
- $v$  – belső légsebesség [m/s].

A hőtermelés meghatározása az MSZ EN ISO 8996:2005 *Hőmérsékleti környezet ergonómiája. Az anyagcsere mértékének meghatározása* című szabvány ad ajánlásokat. A hőtermelés elsősorban a tevékenységtől függ, a leggyakrabban előforduló tevékenységek és hozzá tartozó hőtermelési adatok a 9. táblázatban láthatók:

9. táblázat Tájékoztató adatok a metabolikus hőtermelésre ( $M$ ) a tevékenység függvényében [11]

Tevékenység	Hőtermelés	
	[W/m <sup>2</sup> ]	met
Hátradőlés	46	0,8
Nyugodt ülés	58	1
Ülőtevékenység (hivatal/iroda, lakás, iskola, laboratórium)	70	1,2
Állás, könnyű tevékenység (vásárlás, laboratórium, könnyűipar)	93	1,6
Állás, közepes tevékenység (bolti eladó, házimunka, gépi munka)	116	2
Járás vízszintesen:		
2 km/h	110	1,9
3 km/h	140	2,4
4 km/h	165	2,8
5 km/h	200	3,4

A mechanikai munkára ( $W$ ) a metabolikus hőtermelés és a munkavégzés hatásfoka ( $\eta$ ) alapján határozható meg a következő összefüggés felhasználásával. A munkavégzés hatásfoka ( $\eta$ ) normál irodai környezetben jellemzően  $\eta=0$ , könnyű gépi munka esetén  $\eta=0,1$ , míg nehéz fizikai munka esetén  $\eta=0,1-0,2$  között alakul.

$$W = M * \eta \text{ [met]},$$

ahol:

$M$  – A metabolikus hőtermelés [met],

$\eta$  – a munkavégzés hatásfoka [-].

Ezek alapján meghatározható a sebességküszöb ( $v_{max}$ ) a ruházat hőmérséklete ( $t_{cl}$ ) és a belső levegő hőmérséklete ( $t_a$ ) ismeretében:

$$v_{max} = \frac{2,38 * (t_{cl} - t_a)^{0,25}}{12,1} \left[ \frac{m}{s} \right],$$

ahol:

$t_{cl}$  – a ruházat hőmérséklete [°C],

$t_a$  – belső léghőmérséklet [°C].

A telítési vízgőznyomás ( $p_s$ ) a belső léghőmérséklet ( $t_a$ ) Kelvinben kifejezett értékéből ( $T_a$ ) meghatározható:

$$p_s = e^{\left( \frac{-5800,22}{T_a} + 1,3914 - 4,864 * 10^{-2} * T_a + 4,1764 * 10^{-5} * T_a^2 - 1,4452 * 10^{-8} * T_a^3 + 6,5459 * \ln T_a \right)} \text{ [Pa]},$$

ahol:

$T_a$  – a belső léghőmérséklet ( $t_a$ ) Kelvinben kifejezett értéke [K].

A parciális vízgőznyomás ( $p_a$ ) a telítési vízgőznyomás ( $p_s$ ) és a relatív nedvességtartalom ( $\varphi_i$ ) szorzataként írható fel.

$$p_a = p_s * \varphi_i \text{ [Pa]},$$

ahol:

$p_s$  – a telítési vízgőznyomás [Pa],

$\varphi_i$  – a relatív nedvességtartalom [%].

A ruházat hővezetési ellenállása ( $R_{cl}$ ), annak hőszigetelő képességéből ( $I_{cl}$ ) meghatározható.

$$R_{cl} = 0,155 * I_{cl} \text{ [m}^2\text{K/W]},$$

ahol:

$I_{cl}$  – a ruházat hőszigetelő képessége [clo].

Ebből meghatározható a ruházati tényező, vagy más fordításban felületi tényező ( $f_{cl}$ ), a meghatározás módját a ruházat hővezetési ellenállásának ( $R_{cl}$ ) értéke határozza meg.

Amennyiben  $R_{cl} < 0,078$ , akkor

$$f_{cl} = 1 + 1,29 * R_{cl} \text{ [-]}.$$

Amennyiben  $R_{cl} \geq 0,078$ , akkor

$$f_{cl} = 1,05 + 0,645 * R_{cl} \text{ [-]},$$

ahol:

$R_{cl}$  – a ruházat hővezetési ellenállása [m<sup>2</sup>K/W].

Ezután meg kell határozni a ruházat konvektív hőátadási tényező ( $h_c$ ) értékét és a ruházat hőmérsékletét, melyet iterációs eljárással határozhatunk meg a ruházati tényező ( $f_{cl}$ ) és a ruházat hővezetési ellenállásának ( $R_{cl}$ ), valamint a mechanikai munka ( $W$ ), a metabolikus hőtermelés ( $M$ ) és belső lég hőmérséklet ( $t_a$ ) felhasználásával.

Az iterációt futtató programsor a következőképpen épül fel:

```
L310: xn = tcla / 100
L320: xf = xn
L330: n = 0
L340: eps = 0.00015
'.....ITERÁCIÓ.....
L350: xf = (xf + xn) / 2
L360: hcn = 2.38 * Abs(100 * xf - ta) ^ 0.25
L370: If hcf > hcn Then hc = hcf Else hc = hcn
L380: xn = (p5 + p4 * hc - p2 * xf ^ 4) / (100 + p3 * hc)
L390: n = n + 1
L400: If n > 150 Then GoTo L550
L410: If Abs(xn - xf) > eps Then GoTo L350
'..... ITERÁCIÓ VÉGE.....
L420: hcfin = hc
L540: GoTo L570
L550: hcfin = 99999!
L570: ' kimenet
```

16. ábra Konvektív hőátadási tényező végső értékének meghatározása iterációval [10]

```
L310: xn = tcla / 100
L320: xf = xn
L330: n = 0
L340: eps = 0.00015
'..... ITERÁCIÓ.....
L350: xf = (xf + xn) / 2
L360: hcn = 2.38 * Abs(100 * xf - ta) ^ 0.25
L370: If hcf > hcn Then hc = hcf Else hc = hcn
L380: xn = (p5 + p4 * hc - p2 * xf ^ 4) / (100 + p3 * hc)
L390: n = n + 1
L400: If n > 150 Then GoTo L550
L410: If Abs(xn - xf) > eps Then GoTo L350
'..... ITERÁCIÓ VÉGE.....
L420: tr = 100 * xn - 273
L540: GoTo L570
L550: tr = 99999!
L570: ' kimenet
```

17. ábra Ruházat hőmérsékletének meghatározása iterációval [10]

Az iterációt futtató programsort érdemes Excel programban új funkcióként hozzáadni a program eszköztárhoz. Ennek módja, hogy a Fejlesztőeszközök → Visual Basic felületen „Function” és „End Function” tegek közé illesztjük a bemutatott programkódot.

A ruházat közepes felületi hőmérsékletének kezdeti értéke:

$$t_{cla} = t_a + (35,5 - t_a) / (6,45 * R_{cl} + 0,1) [^{\circ}\text{C}].$$

Az iterációs számításban szereplő, számítási együtthatók ( $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5$ ), a következőképpen határozhatók meg:

$$P_1 = R_{cl} * f_{cl},$$

$$P_2 = 3,96 * P_1,$$

$$P_3 = 100 * P_1,$$

$$P_4 = P_1 * t_a,$$

$$P_5 = 308,7 - 0,028 (M - W) + P_2 * \left(\frac{t_r}{100}\right)^4,$$

ahol:

$R_{cl}$  – ruházat hővezetési ellenállása [ $m^2K/W$ ],

$f_{cl}$  – a ruházati tényező [-],

$t_a$  – belső léghőmérséklet [ $^{\circ}C$ ],

$M$  – a metabolikus hőtermelés [met],

$W$  – mechanikai munka [met],

$t_r$  – közepes sugárzási hőmérséklet [ $^{\circ}C$ ].

Ezt követően meghatározható a bőrfelület sugárzásos hővesztesége:

$$H_r = f_{cl} * 3,96 * 10^{-8} (t_{cl}^4 - t_r^4) [W],$$

ahol:

$f_{cl}$  – a ruházati tényező [-],

$t_{cl}$  – a ruházat felületi hőmérséklete [ $^{\circ}C$ ],

$t_r$  – közepes sugárzási hőmérséklet [ $^{\circ}C$ ].

A bőrfelület konvekciós hővesztesége:

$$H_c = f_{cl} * h_c * (t_{cl} - t_a) [W],$$

ahol:

$f_{cl}$  – a ruházati tényező [-],

$t_{cl}$  – a ruházat felületi hőmérséklete [ $^{\circ}C$ ],

$t_a$  – belső léghőmérséklet [ $^{\circ}C$ ],

$h_c$  – konvektív hőátadási tényező [ $^{\circ}C$ ].

A bőrfelület látens hővesztesége:

$$H_l = 3,05 * \left[ 5,73 - 0,007 * (M - W) - \frac{p_a}{1000} \right] [W],$$

ahol:

$M$  – a metabolikus hőtermelés [met],

$W$  – mechanikai munka [met],

$p_a$  – parciális vízgőznyomás [Pa].

Az izzadással történő hőveszteség:

$$H_{sw} = 0,42 * [(M - W) - 58,15] [W].$$

A légzéssel történő látens hőveszteség:

$$H_{rl} = 0,0173 * M * \left( 5,87 - \frac{p_a}{1000} \right) [W].$$

A légzéssel történő szenzibilis hőveszteség:

$$H_{rs} = 0,0014 * M * (34 - t_a) [W].$$

Az összes hőveszteség:

$$H = H_r + H_c + H_l + H_{sw} + H_{rl} + H_{rs} [W].$$

Ezek után számítható a termikus feszültség ( $L$ ) a belső hőtermelés ( $IHP$  - Internal Heat Production) és az összes hőveszteség ( $H$ ) különbségeként, ahol a belső hőtermelés ( $IHP$ ) a metabolikus hőtermelés ( $M$ ) és a munka ( $Work$ ) különbségéből adódik.

$$IHP = M - W [W].$$

Ebből számítható a várható hőérzeti érték ( $PMV$ ) és az elégedetlenek várható százalékos aránya ( $PPD$ ).

$$PMV = [0,303 * e^{-0,036*58,15*M} + 0,028] * L [-].$$

$$PPD = 100 - 95 * e^{-(0,03353 PMV^4 + 0,2179 PMV^2)} [%].$$

A várható hőérzeti érték ( $PMV$ ) alapján besorolható a vizsgált tér *Forró, Meleg, Enyhén meleg, Semleges, Enyhén hűvös* és *Hűvös* kategóriába.

### 3.5 A termikus környezet szubjektív értékelése kérdőívek segítségével

A termikus környezettel foglalkozó szabványsorozat részeként a hőkomfort mutatószámok mérésének kiegészítéseként foglalkozik az MSZ EN ISO 10551:2020-as szabvány a személyek termikus hőkomfortjának szubjektív megítélésével, és a komfort környezet szubjektív értékelésével. A szabványsorozatban tárgyalt prediktív módszerekkel nyert adatok kiegészíthetők a szabványban tárgyalt pszichológiai megközelítéssel létrehozott eljárással, mely a kérdéses komfort környezetben tartózkodó személyek helyszíni benyomásait gyűjti össze.

A termikus környezet ilyen minősítését egyes szakértők nem tartják megbízhatónak annak szubjektivitása miatt, és előnyben részesítik az „objektív” fizikai és fiziológiai alapokon működő vizsgálatokat, ez azonban nem indokolja határozott elutasítását. Az MSZ EN ISO 10551:2020 szabványnak az a célja, hogy a szubjektív értékelés módszerét meghatározza, az adatgyűjtési eszközökre, és a használatukra követelményeket fogalmazzon meg a megbízhatóság és az egységesség növelése érdekében. A szabvány az alábbi minősítő skálák felépítésével és használatával foglalkozik:

- hőérzeti skála (*észlelés*)
- hőkomfort skála (*értékelés*)
- hőpreferencia skála (*elvárás*)
- személyes elfogadhatóság
- személyes tolerancia

A skálák alkalmazásával a hőkomfort szubjektív értékelése megbízhatóbb lesz, és segíti az összehasonlíthatóságot.

A kérdőíves hőérzeti besorolás alkalmával a PMV (*predicted mean vote*) analógiájára az TSV (*thermal sensation vote*) termikus hőérzeti szavazat, az AMV (*actual mean vote*) tényleges hőérzeti szavazat, ASV (*actual sensation vote*) tényleges hőérzeti érték kifejezések elterjedtek a szakirodalomban. Az elégedetlenek várható százalékos arányának tekintetében a PPD (*predicted percentage of dissatisfaction*) analógiájára az APD (*actual percentage of dissatisfaction*) az elégedetlenek tényleges százalékos aránya kifejezés járatos.

#### 3.5.1 Az élőalanyos kutatásokhoz kapcsolódó módszertani megfontolások

Napjainkban gyakran alkalmaznak élőalanyos méréseket a hipotézisek vizsgálatára. A hőkomfort kutatás területén végzett élőalanyos mérések úttörője Wyon D., valamint Prof. Dr. Bánhidi László [12], akik összegyűjtötték azon módszereket, melyek a belső terekben előforduló hatások vizsgálatára legjobban alkalmasak. Ezeket kiegészítve saját tapasztalatokkal, illetve az EN ISO 10551:2020 című szabvány ajánlásaival a mérési módszertani megfontolások a következők [13]:

**Környezeti feltételek:** A komfort célú kutatások során korábban gyakran alkalmaztak szélsőséges környezeti feltételeket, de napjainkban elsősorban a mérsékelt, komfort tartomány az elfogadott. Ennek oka, hogy a kutatások eredményét elsősorban a lakosság körében, átlagos tevékenységek esetén alkalmazzák. Mérsékelt környezeti feltételek esetén más pszichés és fiziológiai folyamatok zajlódhatnak le, mint szélsőséges esetben. Ebből adódóan nem minden esetben lehet következtetni szélsőséges környezeti feltételek mellett végzett vizsgálatok eredményei alapján a mérsékelt környezeti stressz hatására.

**Mérési helyszín:** Annak érdekében, hogy valós, állandó érvényű megállapításokat tehesünk, mind laboratóriumi, mind helyszíni méréseket érdemes végezni. Mind a két állapotban más pszichés hatások érik az alanyokat, illetve valós helyszín esetén lehetnek olyan külső behatások, melyek laboratóriumi körülmények között nem tapasztalhatók. A laboratóriumi mérések nagy előnye, hogy a környezeti



paraméterek nagyon pontosan szabályozhatók, a hitelt érdemlő mérések alapja az állandósult stationer állapotok elérése, a mért jellemzők állandó értéken tartása, mely értelemszerűen helyszíni mérések esetén nehezen, vagy egyáltalán nem kivitelezhető. Ideális esetben mind a két módszerrel el kell végezni a mérést.

**Egészségi, érzékenységi állapot:** A komfort szempontú élőalanyos mérések során érdemes önként jelentkező alanyokkal dolgozni, de azon alanyokat, akik valamilyen betegségben szenvednek, kiszűrni. A fokozottan érzékeny alanyok vizsgálata csak abban az esetben javasolt, amennyiben a vizsgálat eredménye ennek a csoportnak a tagjaira szándékozik megállapításokat megfogalmazni. Az EN ISO 10551:2020 az élőalanyos vizsgálatok során alkalmazható kérdőívekkel foglalkozó szabvány ajánlásai alapján a kérdőívek kiértékelése során a várt választól szélsőségesen eltérő válaszokat figyelmen kívül kell hagyni, így különösen érzékeny alanyok bevonása esetén a kiértékelhető minták számának csökkenése prognosztizálható.

**Alanyok informálása:** Az élőalanyos mérések során az etikai előírások megkövetelik, hogy a résztvevőket beavassuk a mérés tárgyába, ismertessük a felhasznált eszközöket, valamint instrukciókat adjunk az alanyok vizsgálat közbeni tevékenységét illetően. Azonban nem szükséges tudni, hogy a vizsgált hatásnak mikor lesznek kitéve, így váratlanul érheti őket a hatás, ami természetesebb reakciókat eredményez válaszadáskor. Ezen esetben a teljesen informált alanyok válaszai is felhasználhatók. A vizsgálat közben nem célszerű a mért értékeket megjeleníteni számukra, hiszen ez is befolyásolhatja a válaszaikat. Ez alól kivételt képeznek a placebo-hatás vizsgálatával foglalkozó vizsgálatok.

**Tevékenység intenzitása:** A hőérzeti vizsgálatok során az alanyoknak nem kellett mást tenniük, mint elviselniük a beállított paramétereket, miközben bizonyos időközönként kitöltötték a kérdőíveket. A kérdőívek kitöltése között szabadon elfoglalhatták magukat. Mára azonban bebizonyosodott, hogy az ülő munkának markáns hatása van a metabolikus hőtermelésre, a pszichés állapotra, így amennyiben a vizsgálat célja megköveteli, érdemes az alanyokkal a vizsgált tevékenységnek megfelelő munkát végeztetni. Például irodai környezettel kapcsolatos kutatások során irodai munkát szimulálni.

**Alanyok száma:** A laboratóriumi komfort szempontú élőalanyos mérések során 15 fő tekinthető elegendőnek. A mentális teljesítőképesség vizsgálata során, amennyiben ismétléses módszerrel, kiegyensúlyozott körülmények közötti vizsgálat zajlik, jellemzően 20-30 fő az elfogadott. A helyszíni mérések alkalmával, ahol több zavaró jellemző is várható, mely hatással van a mérés kimenetelére, ott 60 fő tekinthető minimumnak.

**A vizsgálat hossza:** A vizsgálat szükséges hosszát elsősorban a vizsgálat célja határozza meg, leggyakrabban 1,5-8 órás vizsgálatokkal találkozhatunk a szakirodalomban. A fáradtság hatásának vizsgálatára szánt vizsgálatokat hosszabb ideig javasolt végezni, hiszen ekkor reális fáradtság alakul ki az alanyoknál. Ilyen vizsgálatoknál a vizsgálat időpontja is releváns, hiszen a délutáni órákban különösen érzékelhető a fáradtság hatása. Amennyiben azonos alanyokat egy vizsgálat alkalmával különböző hatásoknak teszünk ki, úgy szükséges kivárni a megváltozott környezettel kapcsolatos akklimatizációt, mely jellemzően a vizsgált paramétertől függően 30-120 perc lehet. Hőkomfort vizsgálatok esetén az akklimatizáció minimum 60 perc. Amennyiben a vizsgálat alkalmával nem változtatjuk a környezeti feltételeket elegendő 1,5-2 órás mérést végezni.

Az élőalanyos mérések jó kiegészítője a termikus mérőbábuval, illetve kombinált hőkomfort mérő műszerrel való párhuzamos mérés, hiszen a szubjektív vélemények mellett objektív módon meghatározott értékeket is kapunk.

### 3.5.2 Szubjektív értékelési skálák

A szubjektív érzékelési skálákat megkülönböztetjük aszerint, hogy azoknak milyen a súlyozása, perceptuális vagy affektív, globális vagy lokális (a környezetet, illetve a szervezetet tekintve), retrospektív vagy aktuális, pillanatnyi vagy egy időszakra kiterjedő, általános hőkomforttal vagy bizonyos hőkomfort paraméterrel foglalkozó, állandósult vagy átmeneti állapotot, illetve mérsékelt vagy szélsőséges körülményeket értékel.

Az MSZ EN ISO 10551:2020 szabvány az emberi szervezet termikus állapotán alapuló szubjektív skálát ajánl állandó környezeti viszonyok, ülő munkát végző [ $60 \text{ W/m}^2 \leq \text{met} \leq 70 \text{ W/m}^2$ ], normál ruházatú [ $(0,5 \pm 0,2) \text{ clo} < I_{cl} \leq (1,0 \pm 0,2) \text{ clo}$ ] személy teljes szervezetére és a hőkomfort általános értékelésére vonatkozóan legalább 30 perces vizsgálati időszakra. Tranziens állapotok, valamint az ülő munkánál magasabb aktivitású ( $\text{met} > 70 \text{ W/m}^2$ ), alul, illetve felülöltözött ( $I_{cl} < 0,5 \text{ clo}$ , vagy  $I_{cl} > 1,0 \text{ clo}$ ) személyek hőkomfortjának vizsgálatára nem alkalmas.

Hosszabb, több órás vizsgálati időtartam esetén érdemes az értékelést 30 percenként ugyanazon a skálán elvégezteni.

A szabvány az öt minősítő skála fokozataira, azok megfogalmazására, és a kérdések feltevésének módjára javaslatot tesz angol nyelven. Kitér a megfogalmazás módjának fontosságára.

A bemutatott skálák magyar nyelvű megfogalmazását a Parametrizált komfort a fizikai terekben kutatócsoport tagjaival közösen alakítottuk ki, különös tekintettel a MSZ EN ISO 10551:2020 szabvány javaslataira, a statisztikai szempontból történő kiértékelhetőséget szem előtt tartva, úgy, hogy azt a kutatásban résztvevő alanyok különösebb magyarázat nélkül megértsék.

#### Hőérzeti skála

A hőérzeti skála a vizsgált térben kialakuló hőmérséklethez társuló érzet számszerű meghatározását célozza. A skálák kialakítása a nemzetközi szakirodalomban, a hőkomfort szubjektív felmérésére gyakran használt skála, a VAS (visual analog scales) alapján történt.

Kérdés megfogalmazása: „Milyennek érzi Ön az az iroda/helyiség/munkakörnyezet jelenlegi hőmérsékletét?”

Kérdésre adható válaszok:

Intenzitás		Közömbösség					Intenzitás				
<i>A pólus</i> (-5)	(-4)	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	(+4)	(+5)	<i>B pólus</i>

Ahol: (-5) extrém hideg, (-4) nagyon hideg, -3 hideg, -2 hűvös, -1 enyhén hűvös, 0 se nem hideg, se nem meleg (vagy semleges), +1 enyhén meleg, +2 meleg, +3 forró, (+4) nagyon forró, (+5) extrém forró

A kutatás során a (-5), (-4), (+4), (+5) szélsőségekhez tartozó értékeket nem alkalmaztuk, hiszen a vizsgálatok célpontjában elsősorban olyan terek állnak, melyek alkalmas szellemi munkavégzésre.

#### Hőkomfort skála

A hőkomfort skála a vizsgált térben kialakuló hőérzet értékelést célozza. A skála értékei a kellemestől a rendkívül kellemetlen kategóriákhoz rendelt 5 elemből álló skála, de alkalmazható a skálák kialakítására a nemzetközi szakirodalomban, a hőkomfort szubjektív felmérésére gyakran használt skála, VAS (visual analog scales) is.

Kérdés megfogalmazása: „Milyenek találja Ön az iroda/helyiség/munkakörnyezet jelenlegi komfortját?”

Kérdésre adható válaszok:

0 1 2 3 (4)	egypólusú
-------------	-----------

Ahol: 0 kellemes, 1 kissé kellemetlen, 2 kellemetlen, 3 nagyon kellemetlen, 4 rendkívül kellemetlen

### Hőpreferencia skála

A hőpreferencia skála a vizsgált térben kialakuló hőérzettel szemben támasztott preferenciákat, igényeket határozza meg. A skálák kialakítása a nemzetközi szakirodalomban, a hőkomfort szubjektív felmérésére gyakran használt skála, a VAS (visual analog scales) alapján történt.

Kérdés megfogalmazása: „Jobban megfelelne Önnek ha az iroda/helyiség/munkakörnyezet jelenlegi hőmérséklete ... ”

Kérdésre adható válaszok:

	Intenzitás		Közömbösség					Intenzitás	
A pólus	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	B pólus	

Ahol: -3 sokkal hűvösebb lenne, -2 hűvösebb lenne, -1 kicsit hűvösebb lenne, 0 nem változna, +1 kicsit melegebb lenne, +2 melegebb lenne, +3 sokkal melegebb lenne

### Személyes elfogadhatóság

A személyes elfogadhatóság skála a vizsgált térben kialakuló hőérzet, hőmérséklet elfogadhatóságát vizsgálja.

Kérdés megfogalmazása: „Ha csak a saját igényeit veszi figyelembe, akkor Ön az iroda/helyiség/munkakörnyezet jelenlegi hőmérsékletét ... ”

Kérdésre adható válaszok:

inkább elfogadja.	inkább elutasítja.
-------------------	--------------------

### Személyes tolerancia

A személyes tolerancia skála a vizsgált térben kialakuló hőérzettel, hőmérséklettel szembeni toleranciát, elviselhetőséget vizsgálja.

Kérdés megfogalmazása: „Az iroda/helyiség/munkakörnyezet jelenlegi hőmérséklete az Ön véleménye szerint ... ”

Kérdésre adható válaszok:

0 1 2 3 (4)	egypólusú
-------------	-----------

Ahol: 0 nagyon jól elviselhető, 1 kicsit nehezen elviselhető, 2 elég nehezen elviselhető, 3 nagyon nehezen elviselhető, 4 elviselhetetlen

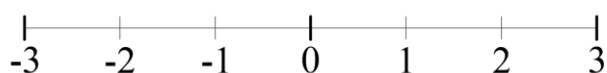
### 3.5.3 Ismételt felmérés menete

Ismételt felmérés elvégzése esetén az alanyokat előzetesen tájékoztatni kell az értékelési skála alkalmazásáról. A tájékoztatás javasolt szövege, nem szó szerinti fordításban:

„Mivel általában több órát tölt ezen a munkahelyen, rendszeres időközönként többször is felkérlek majd, hogy ugyanazon a skálán értékelje a termikus környezeti feltételeket; kérjük, ezt körültekintően tegye, minden alkalommal figyelembe véve az adott pillanatban fennálló tényleges érzését. Így (pontosabban) kifejezheti a hőérzetének lehetséges változásait, amelyeket hosszabb kitétség során tapasztalhat.”

### 3.5.4 Az alkalmazott skálák megjelenése

A kettőnél több szinttel rendelkező skálák nem folytonos formátumban is bemutatathatók: 3, 4, 7 vagy 9 egyenlő távolságra elhelyezett különálló szint. A válaszadás a megfelelő szint bejelölésével történhet. Ezek a szintek folytonos vonalon is ábrázolhatók, a megfelelő szint és megnevezés feltüntetésével. Ez a megoldás köztes szint megjelölését is lehetővé teszi.



18. ábra Példa az alkalmazott skálák megjelenésére (7 pontos skála)

Számítógépen történő kitöltés esetén figyelni kell arra, hogy lehetőség szerint köztes értékek is megadhatók legyenek, ne csak a kerek értékek, hiszen ez nagymértékben árnyalhatja az eredményeket.

### 3.5.5 Az alkalmazott skálák kiértékelése

Az egyes skálákat más és más módszerekkel lehet kiértékelni, a skála jellegétől függően, melyet könnyen átlátható módon a 10. táblázatban foglaltam össze.

10. táblázat A különböző skálák kiértékelésének módjai

Skála	Kiértékelés módja
Hőérzeti skála	<ul style="list-style-type: none"><li>• Átlag számítással</li><li>• Szórás vizsgálattal</li><li>• Egymintás T-próba a vizsgált értékek és a 0 (semleges hőérzet) között</li><li>• p – szignifikancia vizsgálattal</li></ul>
Hőkomfort skála	<ul style="list-style-type: none"><li>• Helyzeti középérték (medián) számítással</li><li>• Az elégedetlenek százalékos arányának számításával</li><li>• A hőérzeti skála felhasználásával számított PMV-ből számolt, teoretikus PPD-vel történő összevetés</li><li>• A kellemetlen kategóriák százalékos aránya</li></ul>
Hőpreferencia skála	<ul style="list-style-type: none"><li>• Helyzeti középérték (medián) számítással</li><li>• Khi-négyzet próba a vizsgált preferencia eloszlásai között</li><li>• p – szignifikancia vizsgálattal</li></ul>
Személyes elfogadhatóság	<ul style="list-style-type: none"><li>• Válasz: elfogadja / elutasítja</li><li>• Az elfogadhatatlan vélemények százalékos aránya</li></ul>
Személyes tolerancia	<ul style="list-style-type: none"><li>• Helyzeti középérték (medián) számítással</li><li>• A nehezen elviselhető kategóriák százalékos aránya</li></ul>

## 4 Hőérzeti kutatások során alkalmazott mérőeszközök

Ebben a fejezetben bemutatásra kerülnek azon mérőeszközök és mérési eljárások, melyek a hőkomfort kutatásokban elsődleges szerepet kapnak. Napjainkban elsősorban villamos elven működő, digitalizált eszközöket használunk, melyek alkalmasak a fizikai paraméterek nagy pontosságú mérésére, illetve az adatok digitalizálására, rögzítésére.

Bemutatásra kerülnek a várható hőérzet (PMV) és az elégedetlenek várható százalékos arányának (PPD) meghatározására alkalmazott eszközök és elméleti háttérük. Tekintettel a dolgozat terjedelmére a hőkomfort paraméterek mérésének bizonyos eszközeit csak felsorolás szinten mutatom be.

Ma már széleskörben elterjedtek tekinthetők a villamos elven működő kontakthőmérők. Ezeket az eszközöket alkalmazzuk a leggyakrabban, hiszen közvetlenül digitalizálhatók a hőmérsékleti értékek, akár digitális kijelzés, vezérlés, vagy hőmérséklet lefutási trendek adatrögzítése céljából.

Alapvető érzékelő típusok:

- Ellenállás elvén működők
  - Fém ellenállás hőérzékelők – RTD
  - Termisztorok (félvezető ellenállás hőérzékelők) – PTC, NTC
- Hőelektromos elven működők:
  - Termoelemek – TC

### 4.1 Gömbhőmérséklet

A gömbhőmérséklet a hőkomfort szempontú kutatások egyik legfontosabb mérhető paramétere, hiszen a gömbhőmérséklet felhasználásával meghatározható a vizsgált térben a környező felületek közepes sugárzási hőmérséklete, mely a vizsgált test és a környező felületek közötti sugárzásos hőáram meghatározásában játszik kiemelkedő szerepet.

A gömbhőmérséklet egységesített  $D = 150$  mm-es fekete gömbbel mért hőmérsékletet jelent, melynek emissziós tényezője  $\varepsilon_g = 0,95$ . Ettől eltérő méretű és színű gömböt is alkalmaznak a mérésekhez, abban az esetben az MSZ EN ISO 7243 és az MSZ EN ISO 7726 szabvány tesz javaslatot, amellyel értéke megfeleltethető a fekete 150 mm-es gömbével.

Amennyiben gömb hőmérsékleti egyensúlyban van a környezetével akkor a következő összefüggés írható fel [14]:

$$q_r + q_c = 0,$$

ahol:

$q_c$  - konvekciós hőáram [ $\text{W}/\text{m}^2$ ],

$q_r$  - sugárzásos hőáram [ $\text{W}/\text{m}^2$ ].

A hőáramokat kifejtve:

$$[\varepsilon_g \cdot \sigma \cdot (\bar{T}_r^4 - T_a^4)] + [h_{cg} \cdot (T_g - T_a)] = 0,$$

ahol:

$\bar{T}_r$  - közepes sugárzási hőmérséklet [K],

$T_a$  - száraz léghőmérséklet [K],

$T_g$  - gömb hőmérséklete [K],

$\varepsilon_g$  - gömb emissziós tényezője [-],

$\sigma$  - Stefan-Boltzmann állandó  $5,67 \cdot 10^{-8}$  [W/(m<sup>2</sup>·K<sup>4</sup>)],

$h_{cg}$  – gömb esetén a konvekciós hőátadási tényező [W/m<sup>2</sup>K].

Ebből kifejezve a közepes sugárzási hőmérséklet:

$$\bar{T}_r = \sqrt[4]{T_g^4 + \frac{h_{cg}}{\varepsilon_g \cdot \sigma} \cdot (T_g - T_a)} \text{ [K]},$$

ahol:

$T_a$  - száraz léghőmérséklet [K],

$T_g$  - gömb hőmérséklete [K],

$\varepsilon_g$  - gömb emissziós tényezője [-],

$\sigma$  - Stefan-Boltzmann állandó  $5,67 \cdot 10^{-8}$  [W/(m<sup>2</sup>·K<sup>4</sup>)],

$h_{cg}$  – gömb esetén a konvekciós hőátadási tényező [W/m<sup>2</sup>K].

Gömbhőmérő esetén a konvekciós hőátadási tényező a következő összefüggésekkel határozható meg:

Természetes konvekció esetén:

$$h_{cg} = 1,4 \cdot \left( \frac{T_g - T_a}{D} \right)^{\frac{1}{4}} \text{ [W/m}^2\text{K]}.$$

Kényszerített konvekció esetén:

$$h_{cg} = 6,3 \cdot \left( \frac{v_a^{0,6}}{D^{0,4}} \right) \text{ [W/m}^2\text{K]},$$

ahol:

$T_a$  - száraz léghőmérséklet [K],

$T_g$  - gömb hőmérséklete [K],

$D$  - a gömb átmérője [mm],

$v_a$  - gömb körül a légsebesség [m/s].

Amennyiben az alkalmazott gömbhőmérséklet érzékelő 150 mm-től eltérő méretű, akkor az alábbi összefüggés alkalmazható az átszámításhoz. A fenti két közelítő értéket visszahelyettesítve a sugárzási hőmérséklet képletébe az alábbi összefüggést kapjuk [14].

Természetes konvekció, vagy természetes áramlás esetén:

$$\bar{T}_r = \sqrt[4]{T_g^4 + \frac{1,4 \cdot \left(\frac{T_g - T_a}{D}\right)^{1/4}}{\varepsilon_g \cdot \sigma} \cdot (T_g - T_a)} [K].$$

Kényszerített konvekció, vagy kényszerített áramlás esetén:

$$\bar{T}_r = \sqrt[4]{T_g^4 + \frac{6,3 \cdot \left(\frac{v_a^{0,6}}{D^{0,4}}\right)}{\varepsilon_g \cdot \sigma} \cdot (T_g - T_a)} [K],$$

ahol:

$q_c$  - konvekciós hőáram [ $W/m^2$ ],

$q_r$  - sugárzásos hőáram [ $W/m^2$ ],

$D$  - a gömb átmérője [mm],

$v_a$  - gömb körül a légsebesség [m/s],

$\bar{T}_r$  - közepes sugárzási hőmérséklet [K],

$T_a$  - száraz léghőmérséklet [K],

$T_g$  - gömb hőmérséklete [K],

$\varepsilon_g$  - gömb emissziós tényezője [-],

$\sigma$  - Stefan-Boltzmann állandó  $5,67 \cdot 10^{-8}$  [ $W/(m^2 \cdot K^4)$ ].

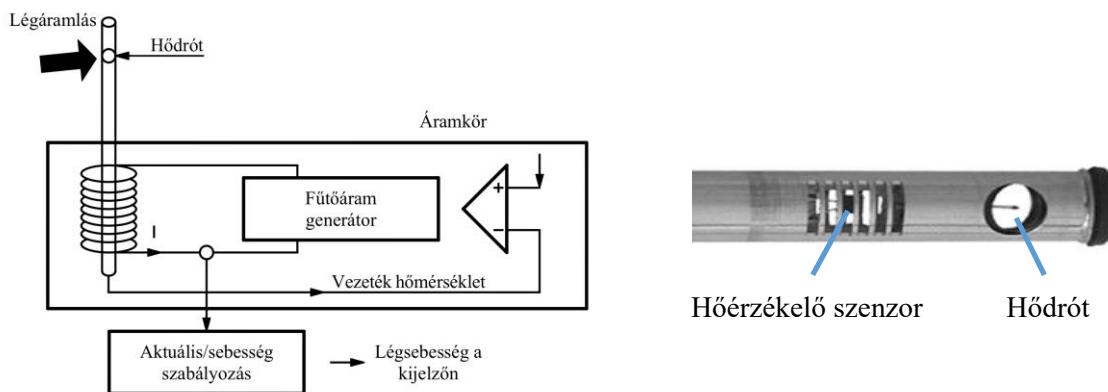
## 4.2 Légsebességmérés

A hőkomfort kutatások alkalmával fontos szempont, hogy a légáram minden irányból jelentkezhet, ezért a mérések során irányfüggetlen légsebesség mérőt kell alkalmazni. A leggyakrabban alkalmazott eszköz a hődrótos légsebességmérő.



19. ábra Hődrótos, irányfüggetlen légsebességmérő [15]

A légsebességmérő készülék elektronikája, illetve szabályozó rendszere az érzékelőben levő vezetőket folyamatosan hevíti a környezeti hőmérsékletnél magasabb állandó hőmérsékletűre. Így az érzékelőt folyamatosan hűteni tudja a légáramlás. A fűtési áram arányos a légáramlás sebességével.



20. ábra Hődrótos légsebességmérő felépítése [15]

### 4.3 Kombinált mérőeszközök, hőkomfort mérő állomás

A hőkomfort tényezők (PMV és PPD) mérésére ma már számos eszköz megtalálható a piacon, hiszen egyes önkéntes minősítési rendszerek, valamint a belső terekkel foglalkozó szabványok követelményrendszer határoznak meg a komfortterekkel szemben. A követelményeknek való megfelelés ellenőrzésének legegyszerűbb módja a kombinált mérőeszközök alkalmazása. A Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Karán egy TESTO 480 típusú készülékkel, majd a későbbiekben egy TESTO 400 típusú hőkomfort mérőállomással folyták a kutatások.

A műszerek nagy pontossággal mérik a léghőmérséklet, valamint az effektív (EH), és korrigált effektív hőmérséklet (KEH) számításához szükséges paramétereket, valamint az ISO 7730 előírásnak megfelelő módon számítják ki a PMV és PPD értékeket, melyet, a környezeti vagy sugárzó hőmérséklet, a páratartalom, a légsebesség és a ruházat értékeiből automatikusan számít.

A készülék egy összetett készülék, mely a következő három fő egységből épül fel.

**Glóbusz- vagy gömbhőmérő:** egy kívülről feketére festett 150 mm-es rézgömb, amelynek középpontjában van elhelyezve a hőmérséklet-érzékelő (K típusú hőelem). A glóbuszhőmérőt a zárt tér azon pontjában kell elhelyezni, amelyben a közepes sugárzási hőmérsékletet kell meghatározni. A glóbuszban a sugárzásos hőcsere, illetve részben konvekciós hőcsere folytán kialakul egy hőmérséklet, amelyet glóbuszhőmérsékletnek nevezünk [16].



21. ábra Glóbuszhőmérő [17]



A glóbuszhőmérséklet alapján számítható a közepes sugárzási hőmérséklet, szabványos, D=150 mm átmérőjű, feketére festett,  $\varepsilon_g=0,95$  emissziós tényezőjű gömbre, kényszeráramlás esetén a következő összefüggés írható fel [14]:

$$t_r = \sqrt[4]{(t_g + 273)^4 + 2,5 \cdot 10^8 \cdot v_a^{0,6} \cdot (t_g - t_a)} - 273 \text{ [}^\circ\text{C]}.$$

természetes áramlás esetén:

$$t_r = \sqrt[4]{(t_g + 273)^4 + 0,4 \cdot 10^8 \cdot \sqrt[4]{|t_g - t_a|} \cdot (t_g - t_a)} - 273 \text{ [}^\circ\text{C]},$$

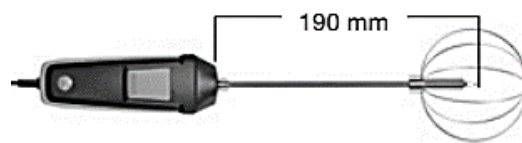
ahol:

$t_g$  - glóbusz hőmérséklet [ $^\circ\text{C}$ ],

$t_a$  - környezeti léghőmérséklet [ $^\circ\text{C}$ ],

$v_a$  - légsebesség [ $^\circ\text{C}$ ].

**Irányfüggetlen légsebességmérő**, mely a légsebesség, valamint a léghőmérséklet mérésére alkalmas, előbbi felhasználásával számítható a turbulencia fok. Az eszköz egy hődrótos légsebességmérő, amely egy fűtött fűtőszál állandó hőmérsékleten tartásához szükséges áramerősség ismeretében adja meg a kialakuló légsebességet.

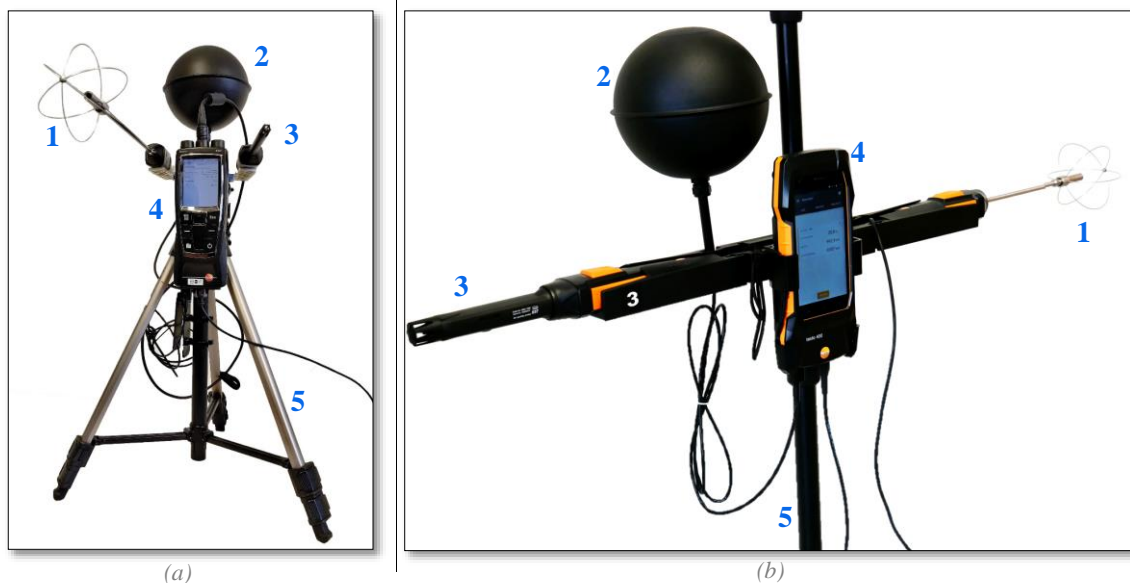


22. ábra Irányfüggetlen légsebességmérő [18]

**Léghőmérséklet és páratartalom érzékelő**, mely alkalmas a léghőmérséklet és a relatív páratartalom mérésére. A hőérzetet a levegő száraz hőmérsékletén kívül a levegő relatív nedvességtartalma is befolyásolja.



23. ábra CO<sub>2</sub> szonda, léghőmérséklet és relatív páratartalom érzékelővel [19]



24. ábra TESTO 480 (a) és TESTO 400 (b) multifunkciós klimatechnikai mérőműszerek

1 – Irányfüggetlen légsebességmérő, 2 – Glóbuszhőmérő, 3 – Lég hőmérséklet és páratartalom érzékelő, 4 – Mérésadatgyűjtő, 5 - Állvány

A 24. ábra a PMV-PPD mérésre alkalmazott mérőösszeállítást mutatja mérési installációban. A mérés menete az ISO 7726 és az ISO 7730 szabvány szerint történik [14] [8]. A mérést az adott teret használók tevékenységének megfelelő magasságban kell végezni. A tényleges mérés előtt figyelembe kell venni a mérőeszközök, különös tekintettel a nagy tehetetlenségű glóbusz hőmérő akklimatizációs idejét (kb. 20-30 perc). Az adatrögzítés gyakoriságát a mérés célja határozza meg, de javasolt legalább 15 másodpercenként rögzíteni az adatokat. A bemutatott eszközöknél rögzített a mérés darabszáma, így a sűrű mintavételezés rövid mérések esetén alkalmazható. Hosszabbtávú mérések esetén érdemes csökkenteni az adatrögzítés gyakoriságát.

A bemutatott készülékek a mért értékek alapján elvégzik a PMV és PPD index kiszámítását, így a méréssel egy időben tájékozódhatunk a mért és számított értékekről. Ennek ellenére nem lehet megfeleltetni arról a tényről, hogy ezen eszközök akkor adnak releváns eredményt, ha a megfelelő, állandósult, stacioner állapot megvalósul, a mérés tárgyát képező térben a mért paraméterek nem változnak. Ennek érdekében a mérési adatok rögzítését követően az adatok kimenthetők további feldolgozás céljából, így meghatározható az az időintervallum, melyben a mérési adatok állandósultnak tekinthetők [20]. Ehhez a mérés típusától függően hosszabb idejű mérési sorozat szükséges. Amennyiben egy mérendő paraméter esetében több mérési adat is rendelkezésre áll az idő függvényében, úgy az adatok sokasága az átlag értéktől való eltérést, azaz szórást mutat. A szórás a mérés hibáját mutatja számszerűen.

A mérés hibái lehetnek statikus hibák, amik vagy szisztematikus, azaz rendszeres hibák (ilyen például a nullpont eltolódás) vagy véletlen hibák. Kialakulhat még dinamikus hiba, ezek pedig a műszerek bemeneti érték átalakító részeiből adódnak, mivel időbeli késleltetéssel követik a bemenő jelet.

#### 4.4 Termikus mérőbábu alkalmazása a hőérzeti kutatásokban

Egyre növekvő igény figyelhető meg termikus mérőbábuk kutatás és fejlesztés területén történő alkalmazására. Ezt elősegíti, hogy a multi szegmentált termikus mérőbábuk léte és alkalmazási lehetőségeik egyre jobban ismertek. A trend megfigyelhető a nemzetközi publikációk tetemes számából és a legyártásra kerülő, majd gyakorlati alkalmazásban lévő mérőbábuk számából [21].

Az alkalmazhatóság széles palettája jellemzi a modern termikus mérőbábukat. A folyamatos technológiai fejlődés kiterjed a mérőbábuk szempontjából releváns gyártási folyamatok, anyagtechnológia és elektronika területére is. Így lehetséges az, hogy termikus mérőbábukat ruházati rendszerek hőtani tulajdonságainak meghatározására, szélsőséges vagy összetett hőviszonyokra adott emberi reakciók előrejelzésére, az autó és az építőiparon belül az épületgépészeti rendszerek értékelésére és nem utolsósorban általános hőérzeti kutatásokra is alkalmaznak [21] [22].

Hőérzeti kutatások szempontjából jelentős segítséget nyújt egy nagy bonyolultságú, de kezelhetőségét tekintve egyszerű mérőműszer, amely a hőkomfort vizsgálatok során egyébként gyakori élő alanyos méréseket kiválthatja. Egy termikus mérőbábu az emberi test helyi vagy egész testre vonatkozó hőcseréjének pontos szimulációjára képes. Az ember és környezete közt kialakuló hőtranszport folyamatok minden típusát képes modellezni a tér minden irányába. Lényeges előny az egyszerűsített és megismételhető mérés, illetve az eredő pontos és megbízható mérési eredmény [23] [24]. A módszer és a mérés jellegéből adódóan a kapott értékek közvetlenül szolgálhatnak az emberi hőérzetet leíró modellek bemeneti értékeiként. Hőkomfort vizsgálatok során gyűjtött tapasztalatok olyan matematikai modellek kialakulásához vezettek, amelyek zárt terekben kialakuló különböző termikus környezetek, emberi komfortérzetre gyakorolt hatását képesek leírni és előre megbecsülni. Az ember, hőérzeti szempontból vett jólétét az imént említett matematikai modellek, az úgynevezett komfort indexek fordítják le egy objektív módon értékelhető és kézzelfogható rendszerre [4]. Ezen értékek már akár a tervezési fázisban is releváns információt adhatnak a méretezési alapadatok meghatározására vagy meglévő rendszerek értékelésére, besorolására.

#### **4.5 Termikus mérőbábuk történeti áttekintése**

Az emberi szervezet alkalmazkodása adott környezethez rendkívül összetett folyamat. Megannyi tényező hat külön-külön a közérzetre, valamint kölcsönhatásban érvényesülnek, és a szervezet az együttes ingerekre reagál [25]. Ezen környezeti hatásokat egyéni módon dolgozza fel és érzékeli szervezetünk. Arra, hogy mennyire elégedett és milyen a zárt terekben kialakuló komfortérzete az embernek, többek között a belső környezet minősége van befolyással [9]. Az épületgépészet és az építészet lényeges feladata a komfortterek belső levegő minőségének megfelelő szinten tartása és a tervezett légállapotok kialakítása. Ezen tevékenységgel párhuzamosan megfogalmazódott a zárt terekben kialakuló, hőkomfort érzékelésére és értékelésére irányuló igény. Korábban a ruházati iparban is jelentkezett hasonló feladat tekintve, hogy a ruházat nagyban befolyásolja az egyéneknél kialakuló komfortérzetet [26]. Ami összeköti tehát a ruházati ipart és az épületgépészetet, az az adott tárgyak és termékek fejlesztésére irányuló olyan törekvések, ahol elsődleges szempont az emberi igények kielégítése a megfelelő termikus komfort megteremtésével. Figyelembe véve a belső terek termikus környezetének összetettségét és az emberi alkalmazkodóképesség folyamatát, megfogalmazódik az igény egy komplex mérőműszer iránt, amely képes a megannyi tényezőt feldolgozni.

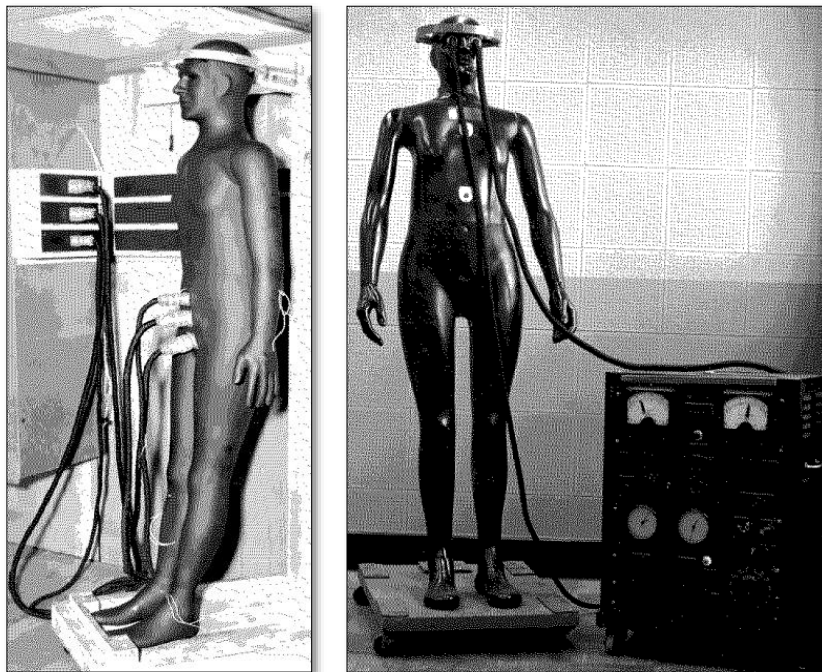
Az ember hőkomfortját a levegő hőmérséklete, a közepes sugárzási hőmérséklet, a levegő sebessége és a páratartalom befolyásolja nagymértékben, további tényezők pedig a ruházat, az aktivitási szint és a testpozíció [8]. Ezen komfort paraméterek mérése szükséges ahhoz, hogy átfogó kép rajzolódjon ki a komfortérzetet befolyásoló hatásokról, és hogy érdemi becslést lehessen adni a várható hőérzetre vonatkozóan. Nehezítő tényező, hogy tényleges homogén termikus környezet még a vizsgálati célra kialakított mérőkamrákban is nehezen szimulálható, mivel a függőleges hőgradienseket nehéz kiküszöbölni a levegő erőteljes keveredése nélkül, amely erőteljes keveredés nagy légsebességet és turbulenciát von magával. További probléma, hogy a testpozíciótól függően a testrészek egymásra kisebb-nagyobb mértékben hatással vannak. Álló vagy ülő helyzet, a végtagok elhelyezkedése a törzshöz képest, ülő helyzetben a szék kialakítása mind-mind befolyásoló tényező. A korábban bemutatott külön műszerekből álló, kombinált mérőállomások ezeket a tényezőket nem veszik figyelembe.

Az előbb említett szempontokat azonban képes számításba venni az úgynevezett termikus mérőbábu. A termikus mérőbábu egy olyan mérőeszköz, amely termikus mérőtestből, vezérlőegységből, adatgyűjtőből és az adatfeldolgozást, valamint megjelenítést végző számítógépből épül fel. Egységes definíciót nehéz megfogalmazni, mivel kialakításban, anyaghasználatban, funkciókat és szabályozási módokat tekintve különbözőek. Összességében elmondható azonban, hogy ez a komplex és kifinomult mérőeszköz a komfortterek hőkönyezetének kiértékelésére és ruházatok termikus teljesítőképességének vizsgálatára alkalmas, köszönhetően annak, hogy élethűen szimulálja az emberi hőszabályozó rendszert.

#### 4.5.1 Korai termikus mérőbábuk

A termikus mérőbábuk használata, sok más technikához hasonlóan, a II. világháború és az azt követő katonai ergonómiai fejlesztésekkel foglalkozó laboratóriumokban kezdődött. A hadipari termékekkel (kifejezetten ruházati rendszerekkel) foglalkozó fejlesztők és tudósok katonai szükségszerűség nyomása miatt kénytelenek voltak megszakítani az elméleti szintű innovációkat és olyan módszereket kidolgozni, amelyekkel érvényes és a gyakorlatban is hasznos vizsgálatot lehet végezni az emberi hőleadás szimulálásával kapcsolatban komplex termikus környezetben [22] [26].

A modern termikus mérőbábuk előfutárai tehát ruházat értékelésére szolgáló egyszelvényű rézbábuk voltak. Az ezt követő verziók továbbra is egy, vagy csak néhány szegmensből álló, az emberi test felépítésére nem, vagy csak kismértékben hasonlító mérőeszközök formájában jelentek meg [27].



25. ábra Termikus mérőbábuk az Egyesült Államok hadseregének laboratóriumában [28]

A bal oldali képen az egy szegmensből álló, míg a jobb oldali képen egy hat szegmensből álló „Harvard Copper Man” elnevezésű termikus mérőbábu látható.

Korlátozta a méréseket, hogy csupán egy testtartás szimulációja lehetséges. Összetett termikus környezetben a ruházat és hőkomfort értékeléséhez azonban lényegesen hasznosabbnak bizonyultak ezek a korai mérőeszközök is, mint az őket megelőző különálló fizikai műszerek.

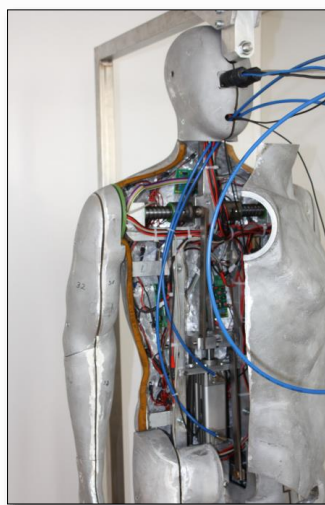
A bőrhőmérséklet független szabályozásával rendelkező testrészek száma az 1980-90-es évekig általában 16-19 szegmensre korlátozódott. Az olyan mérőbábuval kapott adatokat, amelyek több

szekcióval rendelkeznek, a kiértékelés előtt általában az említett 16-19 szegmensre kell összevonni. Az 1980 előtt épített mérőbábukat kézzel, vagy egyszerű on-off szabályozókkal, vagy analóg vezérlőáramkörökkel működtetik. Az informatika fejlődésével a későbbi mérőbábukat általában digitálisan vezérlik, a szabályozók ekkor szoftveres algoritmusokból állnak. A visszacsatolási hurok arányos, integráló és differenciáló összetevői könnyebben optimalizálhatók az egyes szakaszokra a gyors és stabil szabályozás elérése érdekében. A digitális számítógépes vezérléssel megvalósítható a szoftveres kalibrálás és segíti a kifinomultabb kimutatások készítését, elemzést [26] [27].

#### 4.5.2 A modern termikus mérőbábuk

A termikus mérőbábuk több, mint fél évszázada szolgálnak kutatási és fejlesztési célokat, és feltételezhető, hogy mára több, mint 100 példány van párhuzamos használatban [22] [29]. Ez idő alatt az alapvető működési elvektől eltekintve igen sok mindenben változtak, korszerűsödtek. A modern termikus mérőbábuk mind anyaghasználatban, mind a szabályozási módokat illetően fejlettebbek. Az alap szabályzási elv a bőrfelületi hőmérséklet állandó értékre történő beállítását jelenti minden testrészen, vagy szegmensenként más, de ugyanúgy konstans hőmérsékleti értékek tartása a lényeg. Más esetben az állandó hőáram elvén működhet egy mérőbábu, azaz, akár csak az állandó felületi hőmérséklet, ugyanolyan értéket az összes zónára be lehet állítani, vagy az egyes zónákhoz külön-külön választható konstans hővesztesség társítható. Ilyenkor állandó fűtési teljesítmény kerül a felületekhez vezetve és az így kapott felületi hőmérsékletet kell mérni. Alapvető tulajdonság minden modern termikus mérőbábu esetében még az imént részletezett módokon túl az önállóan szabályozható, akár 20-30 szegmensből álló testfelépítés, a részletes, felnőtt emberi test arányaihoz mért kidolgozás, és az, hogy tetszőleges helyzetben végezhető velük a mérés. Fontos és igen praktikus tulajdonság a végtagok és a törzs mozgathatósága, tekintve, hogy a statikus kialakítás a tényleges felhasználói körülményekhez korlátozottan igazodik.

Használatuk mára kiterjed az autóiparra, és jelenlétük továbbra is meghatározó a hőkomfort kutatások során. Fontos kiemelni a mérőbábuk gyakorlati kutatásokban betöltött szerepét, ugyanis specifikus visszajelzést biztosítanak ahhoz, hogy a komplex termikus környezetet gyorsan és hatékonyan lehessen vizsgálni. A ruházati iparban változatlanul segítik a jobb termikus tulajdonságokkal rendelkező ruházati rendszerek fejlesztését. Fejlődésüknek köszönhetően mára a modern termikus mérőbábuk szerteágazó alkalmazása lehetséges.



26. ábra Modern termikus mérőbábu belső kialakítása [24]



Feltétlenül meg kell említeni a mozgatószerkezettel rendelkező, magasabb aktivitási szintet szimuláló egyedeket, amik az izzadást és légzést is képesek értékelhető mértékben reprodukálni. A következő alfejezetek ilyen kialakítású mérőbábuk konkrét példáit mutatja be.

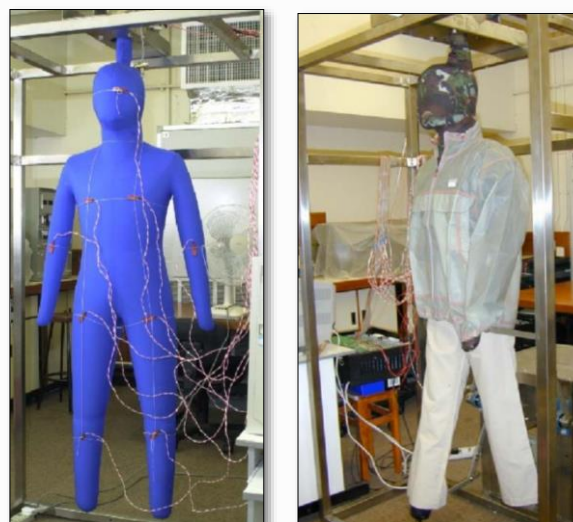
### 4.5.3 Izzadó termikus mérőbábuk

Az emberi hőátadás vizsgálata során nem csak a három (hővezetés, hőátadás, hőszigetelés) alapvető fizikai folyamat fontos, hanem célravezető lenne az izzadás, verejtékezés jelensége, tehát a párolgásos hőleadás vizsgálata is. Rendszerint az izzadásra is képes mérőbábuk külső mozgató szerkezettel rendelkeznek mely a végtagokat meghatározott ütemben irányítja a sétálást, futást vagy egyéb tevékenységeket utánozva.



27. ábra Newton termikus mérőbábuk mozgatható testrészekkel [30]

A „Newton” névre keresztelt izzadó termikus mérőbábút az Egyesült Államokban fejlesztették ki [29]. A testrészek száma alapján három verzióban, 20, 26 és 34 testrészre osztott típus létezik. Az ilyen típusú mérőbábu nagy példányszámban található világszerte. „Newton” a ruházati hőszigetelő képességet csak száraz hőcsere üzemmódban képes meghatározni. Az így kapott értékeket felhasználva és az izzadást szimulálva a ruházat nedvességgel szembeni ellenállását képes számszerűsíteni. Ez azt jelenti, hogy két lépésben kell az erre irányuló méréseket elvégezni.



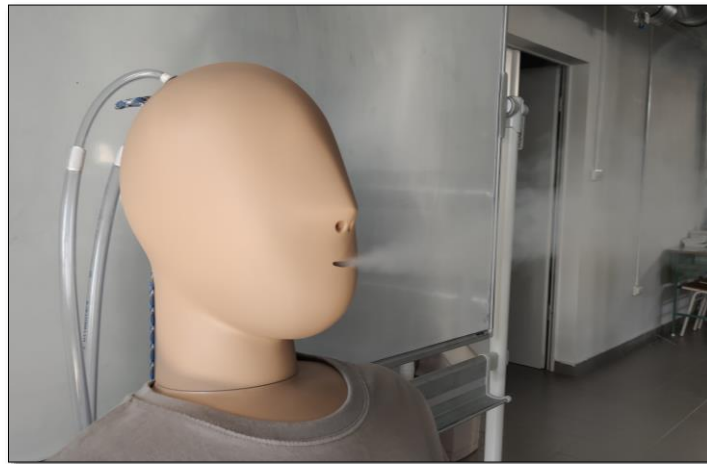
28. ábra Walter termikus mérőbábu [31]

Ezzel szemben a Hongkongi Műszaki Egyetemen kifejlesztett, „Walter” elnevezésű mérőbábu egy lépésben képes ruházati hőszigetelő képességet és nedvességáteresztő képességet mérni [32] [33]. Egy alapvetően vízálló szövetből készült "bőr" réteg tartja testében a vizet. Az enyhén nedvesség-áteresztő anyag segítségével szimulálja a perspirációt. Emellett „Walter” úgy éri el az emberhez hasonló testhőmérséklet-eloszlást, hogy meleg vizet keringtet a test közepétől a végtagjai felé, ezzel szimulálva az emberi anatómiát. „Walter” az első olyan izzadó bábu a világon, amely vízkeringtető rendszerből, vízálló és páraáteresztő szövetből készült [29].

További különbség, hogy Newton esetében a szabályozási elv történhet állandó hőáram, vagy állandó hőmérséklet tartás elvén, míg Walter csak az utóbbi üzemmódban képes működni. Az izzadó termikus mérőbábuk összetettségéből értelemszerűen adódó számos hátrány is jelentkezik ezen két példánál. Walter esetében például a szövet felépítésű külső réteg idővel ereszthet és a „Gore-Tex” típusú anyag pótlása költséges [29]. Ezek a kétezres évek elején megépített mérőbábu típusok a korlátozottság ellenére kétségtelenül hozzájárulnak a jövőbeni fejlesztési törekvésekhez.

#### 4.5.4 Lélegző termikus mérőbábuk

A termikus mérőbábuk hőérzeti kutatásokban való fokozott használata olyan típusok kifejlesztéséhez vezetett, amelyek képesek szimulálni a légzést, és amelyek sikeresen alkalmazhatók a belső levegő minőségének értékelésére [22]. Használatuk nemcsak a zárt terekben tartózkodó emberek hőkomfortjának vizsgálatára terjed ki, hanem légtechnikai vagy egyéb épületgépészeti megoldások értékelésére is. Ide tartoznak például az újra belélegzett, de elhasznált levegő mennyiségének kimutatására irányuló vizsgálatok.



29. ábra PT TEKNIK gyártmányú termikus mérőbábu a PTE-MIK Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszék laboratóriumában légzés áramlástechnikai vizsgálata közben

A zárt terekkel szemben támasztott komfortkövetelmények kielégítése szempontjából lényeges a belső levegő minősége, továbbá komfort és egészségügyi okokból kiemelten fontos, hogy megfelelő maradjon. Termikus mérőbábuk mesterséges tüdővel történő felszerelése lehetővé teszi a légzés szimulációját. A PTE-MIK Épületgépészeti és Létesítménymérnöki tanszékén található termikus mérőbábu esetén az orron és/vagy a szájon át történő légzés intenzitása 5-30 l/perc közti értékig állítható és a percnkénti légzésszám 6-30 között meghatározható. A kilélegzett levegő egy, a levegő minőség értékelésére alkalmas berendezésbe kerül bevezetésre. Annak érdekében, hogy a kilépő levegő valóságosabb szimulációja lehetséges legyen, a mesterséges tüdőt egy párasító és fűtőegységgel lehet kiegészíteni, így a kilélegzett levegő megfelelő hőmérsékleten és páratartalommal hagyja el a mérőbábút [34].

#### 4.5.5 Női termikus mérőbábuk

1989-ig a használatban lévő mérőbábuk közül az összes alapvetően egy átlagos felnőtt férfi arányait mintázva készült. „Nille” az első női termikus mérőbábu a Dán Műszaki Egyetemen (DTU) fejlesztésében készült [21]. A műanyag borítású szegmentált, önállóan szabályozható testrészekkel rendelkező termikus mérőbábu egyik egyedi jellemzője, hogy képes a légzésre. Érdekesség továbbá, hogy ez a női mérőbábu egy új felfűtési és mérési technikát, valamint egy új szabályozási koncepciót is tartalmazott. Megszakításos módszer biztosította, hogy a fűtéséhez és méréséhez szegmensenként egyetlen vezetékre legyen csak szükség. Ezen felül a bábu sajátos szabályzási programja "komfort" algoritmusokat használt a különböző testrészek adaptív módon történő vezérlésére [21] [35].



30. ábra A Dán Műszaki Egyetemen (DTU) fejlesztésében készült női termikus mérőbábuk

Ezt követően számos újabb női mintára formázott termikus mérőbáburól számolnak be a nemzetközi publikációk, köztük a „Wenda” nevű, izzadó típusról, akit a korábban részletezett Walterről mintáztak [21].

#### 4.5.6 Gyermek méretű és specifikus mérőeszközök

Érthető módon a mérőbábuk jellemzően egy kifejlett felnőtt ember arányaival megegyezők. Nem gyakori, azonban található létező példa gyermek méretű termikus mérőbábura is (Ruth). A legkisebb egy 1 kg-os baba modell, amelyet az inkubátorok és más koraszülöttek ápolási módszereinek értékelésére használtak [36]. Külön gyermek méretű mérőeszköz létrehozása fontos, tekintve, hogy gyermekek élőalanyos vizsgálatokban történő részvétele etikai megfontolásból sem lehetséges. Ezen felül a gyermekek teste a kisebb tömege miatt csak kevesebb hőenergiát képes termelni a felnőtt testhez képest, illetve a gyermekek hőszabályozási képessége még korántsem teljesen kifejlett.



31. ábra „Charline” elnevezésű mérőbábu [37]



A „Charline” elnevezésű mérőbábu a gyermek és felnőtt test közti fiziológiai különbségek miatt egy 20 kg súlyú, 92 cm magas gyermeket mintáz, és az emberi test által termelt hőt szimulálja egy számítógép által vezérelt fűtőrendszer segítségével. Jellemzően ágyneműk, takarók és hasonló termékek termikus tulajdonságainak értékelésére használják. Ennek segítségével gyermekek ágyneműinek alváskomfortját értékelni és optimalizálni lehet a gyermekek speciális élettani igényeihez igazodva. „Charlene” réz helyett szintetikus anyagokból készült. A számítógép által vezérelt fűtési rendszer lehetővé teszi a hőáram független szabályozását hat különböző szegmensen [37].

A termikus mérőbábuk fejlesztésének fő csapásirányait követve és az emberi hőcsere folyamatok szimulálásakor szerzett tapasztalatok alapján specifikus alkalmazásokra is lehetséges hasonló és egyedi mérőeszközöket gyártani. Ugyancsak ruházati termékek értékelésére különálló emberi lábat, kezet és fejet mintázó modellek is léteznek [21].

#### 4.5.7 Merülő mérőbábu



32. ábra NEMO a merülő mérőbábu [37]

„Nemo” a merülőkamrában, víz alatt alkalmazott termikus mérőbábu súlya 71kg, alumínium külső vázzal és 23 önállóan szabályozható szegmensen rendelkezik. Minden testrész külön fűtőelemmel van ellátva az egyenletes hőáramláshoz, és szegmensenként kettő hőmérséklet érzékelővel méri a bőrhőmérsékletet. A mérőbábu 3 méter mélységig minősítetten vízálló, lehetővé téve a búvárruhák és hasonló jellegű védőfelszerelések valóság-hű vizsgálatát [37].

#### 4.5.8 Nagy szegmentáltságú autóiipari mérőbábu

Az „Adam” elnevezésű mérőbábu jellegzetessége a testfelület részletes szegmentáltsága. A 126 testrészből álló kifinomult, felületi érzékelőkkel szerelt mérőbábu képes páratlan módon kölcsönhatásba lépni a környezettel. Súlya 61 kg, magassága 175 cm.



33. ábra Az „Adam” elnevezésű 126 szegmensből álló termikus mérőbábu [37]

A felszíni bőrhőmérséklet gyors válaszüze megközelíti az emberi bőr reakció idejét. Valóságű és egyenletes izzadásra képes. Kialakítását emberihez hasonló geometria és súly jellemzi. Légzés szimulációjára képes a környezeti levegő beáramoltatásával és meleg, nedves levegő kiáramlásával. Minden egyes szegmense tulajdonképpen egy önálló mérőeszköz, beépített fűtéssel, hőmérséklet-érzékelővel, hőáram-mérővel és egyenletes izzadság elosztással és helyi vezérlő egységgel, amely egy zárt hurkú működést hoz létre. Leggyakoribb alkalmazási területe a járműipar, beleértve a személygépjárművek és akár repülők fedélzetén, állandósult, vagy nem egyenletes környezeti körülmények közt, ruházatok termikus tulajdonságainak mérése [37] [38].

11. táblázat Termikus mérőbábuk fejlődése [21] [22] [38]

#	Típus	Szegmensek fő jellemző	Anyag	Testhelyzet	Ország, év
1	COPPERMAN	1	Réz	Álló	USA, 1942
2	ALMANIKIN	11	Alumínium	Álló	UK, 1964
3	CEPAT400	Sugárzó	Alumínium	Álló	Franciaország, 1972
4	HENRIK2	16	Műanyag	Mozgatható	Dánia, 1973
5	CHARLIE	16	Műanyag	Mozgatható	Németország, 1978
6	SIBMAN	16	Műanyag	Mozgatható	Svédország, 1980
7	VOLTMAN	19	Műanyag	Ülő	Svédország, 1982
8	ASSMAN	36	Műanyag	Ülő	Svédország, 1983
9	TORE	19	Műanyag	Mozgatható	Svédország, 1984
10	ÉTIMAN BÉLA	18	Műanyag	Mozgatható	<b>Magyarország,</b> 1984
11	CLOUSSEAU	7	Műanyag	Álló	Franciaország, 1980
12	COPELIUS	18 - Izzadó	Műanyag	Mozgatható	Finnország, 1988
13	NILLE	16 - Női	Műanyag	Mozgatható	Dánia, 1989
14	HEATMAN	36	Műanyag	Ülő	Svédország, 1991
15	TARO	1 - Izzadó	Bronz	Álló	Japán, 1992
16	NILLE	Lélegző	Műanyag	Mozgatható	Dánia, 1996
17	SAM	26 - Izzadó	Műanyag	Mozgatható	Svájc, 2001
18	WALTER	1 - Izzadó	Szövet	Mozgatható	Hong Kong, 2002
19	TOM	26	Réz	Mozgatható	USA, 2003
20	ADAM	126	Porózus fém	Mozgatható	USA, 2003
21	KEM	17	Porózus anyag	Mozgatható	Japán, 2004
22	NEWTON	32 - Izzadó	Nedvszívó bőr	Mozgatható	USA, 2005
23	NEWTON	Hőszabályzó, izzadó	Nedvszívó bőr	Mozgatható	USA, 2009
24	WENDA	Női, izzadó	Szövet	Mozgatható	USA, 2016
25	RUTH	11- Gyermekek	Nedvszívó bőr	Mozgatható	USA, 2017
26	<b>MIKLÓS</b>	22 - Lélegző	Műanyag	Mozgatható	Dánia, 2019 <b>Magyarország,</b> 2019

A Magyarországon használt, Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Karhoz tartozó termikus mérőbábu - „Miklós”, dán fejlesztésű és gyártású típus.

A 11. táblázat alapján követhető a különböző, termikus mérőbábukat érintő technikai előre lépések. Generációs lépcsőfokként lehet kezelni a szegmentáltság bevezetését, ami önállóan szabályozható testrészeket eredményezett, a nem csak álló helyzetű, mozgatható végtagokkal rendelkező mérőbábukat, melyek lehetővé tették több felhasználói körülmény vizsgálatát. Határozott előrelépést jelentett az izzadó és lélegző mérőbábuk fejlesztése, mellyel az emberi hőleadás teljes spektrumában vizsgálható. A termikus mérőbábuk sokrétű alkalmazhatósága egyedi kialakításokat eredményez, kezdve a különböző védőruházatok vizsgálata során alkalmazott egy-egy különálló testrészből álló mérőeszközöktől, a gyermekméretű vagy éppen női testet mintázó mérőbábukig. Előreláthatólag a következő generációs fiziológiai szabályozási modellekkel vezérelt termikus mérőbábuknak a termikus környezet változásaira adaptív módon kell reagálnia, az emberi alkalmazkodóképességet még részletesebben utánozva.

## 4.6 A Magyarországon használt termikus mérőbábuk

### 4.6.1 Az első magyar termikus mérőbábu

Az első magyar termikus mérőbábu Dr. Bánhidi László emeritus professzor nevéhez fűződik, aki a magyar komfortkutatások úttörője. A 80-as években, az Építéstudományi Intézetben svéd szakemberek segítségével állították össze a termikus mérőbábút, mely később a BME Épületgépészeti Tanszékére, majd ezt követően a Pécsi Tudományegyetem Pollack Mihály Műszaki Kar Épületgépészeti Tanszékére került.



34. ábra Első magyar termikus mérőbábu (ÉTIMAN, később BÉLA) [39]

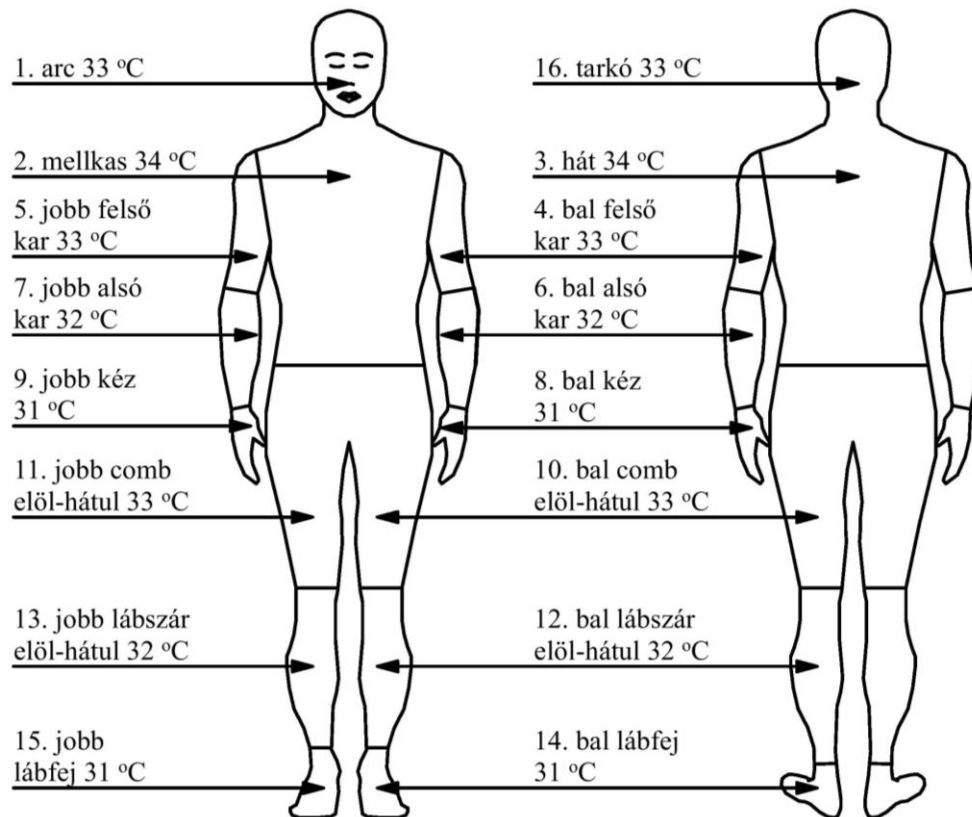
A termikus mérőbábút eredetileg ÉTI-MAN, majd később BÉLA névre keresztelték.

Az ÉTI termikus mérőbábuja egy nagy bonyolultságú mérőműszer összeállításként fogható fel, amelynek felépítése egy átlagos felnőtt ember testméreteivel megegyezik. Abban az időben, az ÉTI-MAN-hez hasonló, második generációs számító mérőbábuból 5-6 darab volt mindösszesen használatban világszerte [40]. A nagyrészt műanyag felépítésű bábu üvegszál erősítésű poliészter szerkezetből állt. A mechanikai tartást végző elemek, valamint a 16 különálló testszegmenshez futó kábelek testüregekbe szerelve kaptak helyet, melyek poliuretán habbal lettek kitöltve. A további rétegek a következőképpen lettek kialakítva: minden testszegmens felületéhez külön fűtőhuzal hálózat tartozott. Az egyenletes hőmérséklet eloszlás érdekében egy vékony, fémszórási technológiával felhordott alumínium réteg került kialakításra az elektromos szigetelést adó műanyagrétegre. A mérést végző ellenálláshőmérők egy újabb műanyagrétegre kerültek, amelyek a testrészek önálló hőmérséklet szabályozásához szükségesek. Legvégül pedig egy esztétikai és védelmi szerepet betöltő újabb műanyag réteg került kialakításra a mérőbábu testének teljes felületén.

„A szabályozóegység két Tour Anderson gyártmányú mikroprocesszoros folyamatirányítóból és a működésükhöz szükséges kiegészítő panelekből áll. E szabályozók mindegyike a kifejlesztett IPCL programnyelven programozható. A programozásra két lehetőség van; egy kézi módszer, az un. Hand-Terminal segítségével, vagy egy felügyelő számítógéppel.

Az adatfeldolgozást és felügyeletet ellátó számítógép egy ABC 80 típusú, svéd gyártmányú asztali számítógép teljes kiépítésében, azaz csatlakoztatva van hozzá adatmagnó, kétlemezes mágneses adatrögzítő, 80 karakteres mátrix nyomtató és rajz gép. A felépítés lehetővé teszi a helyszíni méréseket is.” [40]

A mérés alapelve az ÉTI mérőbábu esetében változatlan. A mérőbábu az előírt, valóságosnak tekinthető felületi hőmérsékletre fűtött testrészek értéken tartásához bevitt elektromos energiát, illetve a hőmennyiséget képes mérni és az eredményeket feldolgozni [41].



35. ábra A termikus mérőbábu felületi hőmérséklete és testrészei [23]

A katonai ruházatra irányult mérések mellett más, külföldi alkalmazásban is szerepe volt a mérőbábusnak. Egyrészt történtek a mérőbábuk fejlesztésével kapcsolatos kooperációs törekvések és a mérőbábút konkrétan felhasználó gyakorlati megbízásos vizsgálatok is [40].

A Svéd Állami Építőipari Kutató Intézetben megtalálható volt a magyar mérőbábuval megegyező felépítésű és működésű „testvére”. Tekintve, hogy a svéd szakemberek szerepet vállaltak a magyar vonatkozású mérőbábu kifejlesztésében az ÉTI, illetve a svéd mérőbábu csereszabatosak. Az együttműködés a mérési metodika és technika fejlesztése mellett kiterjed az eredmények cseréjére is.

Konkrét gyakorlati alkalmazást igénylő megbízás a Bécsi Műszaki Egyetem részére készült. Tekintve, hogy a zárt téren belül az emberi test sugárzásos hőleadása jelentős hányadát teszi ki a teljes hőleadásnak, a nem jól szigetelt és ez által hideg külső falak és egyéb határoló szerkezetek ezt a hővesztést fokozhatják. A kutatás alapcélkitűzése, hogy a határoló szerkezetek szigetelése helyett, egy nagyobb mértékben reflektáló anyaggal vonják be azokat, annak érdekében, hogy az ember sugárzásos hőleadása csökkenjen, és a kedvező hőérzethez társuló léghőmérséklet alacsonyabb lehessen. A kutatás élő alanyokat és a termikus mérőbábút bevonva történt és első lépésként a megoldás elvi lehetőségei kerültek tisztázásra. Az eredmények alapján 1-2 °C-al alacsonyabb léghőmérséklet mellett is sikerült a megfelelő hőérzeti állapotot elérni.

Másik megbízás úgyszintén energiamegtakarítási célokat szem előtt tartva, egy kísérleti napház üvegezett loggia helyiségében folyt. Nemcsak a helyiség energetikai jellemzői és az alkalmazott különböző árnyékolástechnikai megoldások vizsgálatára került sor, hanem az üvegezett helyiségben kialakuló belső mikroklíma emberi test hőleadására gyakorolt hatását is számszerűsíteni lehetett a termikus mérőbábu felhasználásával [40].

Az ÉTIMAN névre keresztelt termikus mérőbábu a kétezres évek elején a Pécsi Tudományegyetem Pollack Mihály Műszaki Karára került, ekkor már a régi szoftver és a működtetését biztosító hardver eszközök tönkrementek, így annak megújítását a Karon az akkori Épületgépész és Villamosmérnök tanszék közösen vállalta magára.

#### 4.6.2 Második magyar vonatkozású termikus mérőbábu

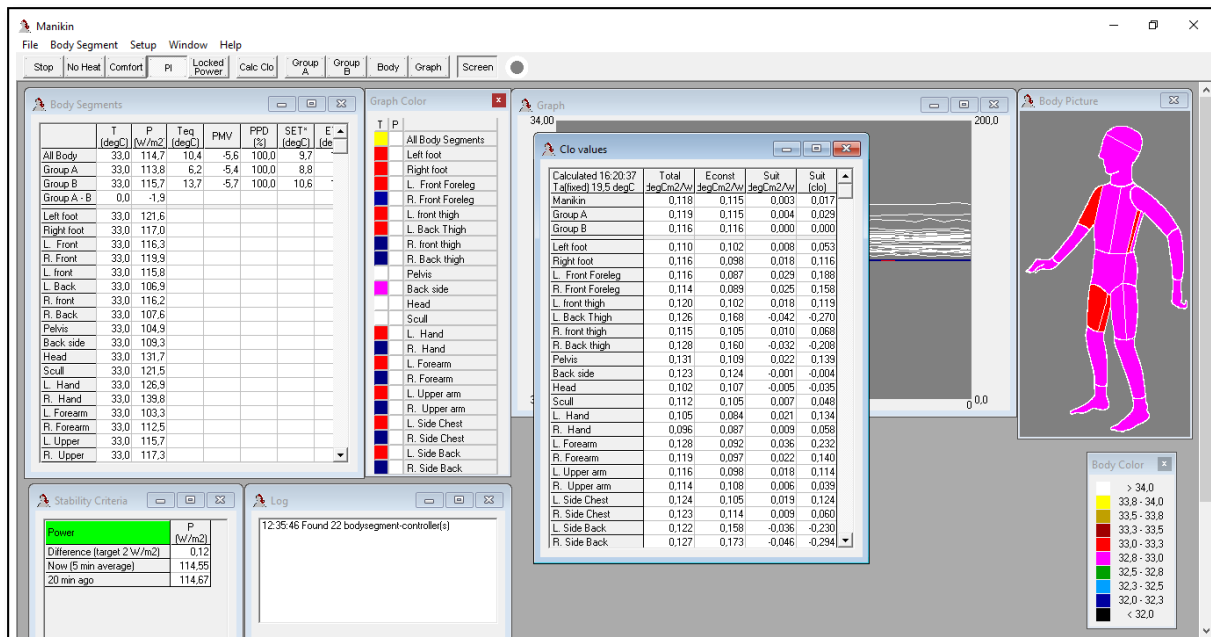
Miután Béla, az első magyar termikus mérőbábu visszakerült a Budapesti Műszaki Egyetemre, a Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Karán egy új keletkezett a komfort szempontú kutatások terén. Elindult a törekvés egy újabb termikus mérőbábu építése vagy beszerzése iránt. Prof. Dr. Fülöp László elhivatott munkájának köszönhetően lehetőség adódott egy dán, a PT-Teknik által gyártott termikus mérőbábu beszerzésére. A Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kar Épületgépész- és Létesítménymérnöki Tanszékére 2019 év végén érkezett a később a Kar neve után MIK-LÓS-ra keresztelt termikus mérőbábu.



36. ábra Miklós a PTE-MIK-en végzett kutatások során

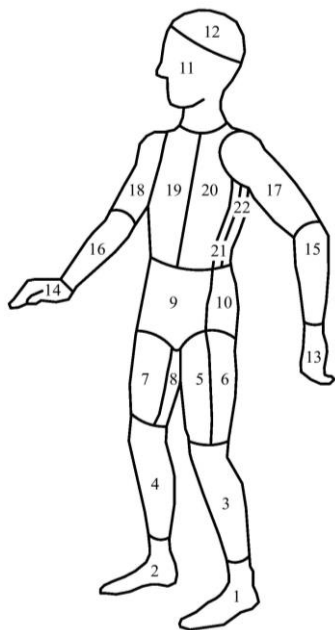
Fizikai paraméterei egy átlagos felnőtt férfi méreteivel azonosak, magassága  $\sim 1,7$  m, testfelülete  $\sim 1,7$  m<sup>2</sup> mely 22 önállóan szabályozható testrészre van osztva. Tömege 19 kg a könnyű kezelhetőség érdekében, a testtömeg korrekció szoftveresen állítható, mely alapállapotban 70 kg. Végtagjai (beleértve a könyök- és térd ízületeket, kéz- és lábfejeket), a törzs, a medence tájéka és feje mozgatható. Ezen tulajdonságok megkönnyítik a felöltöztetést és levetköztetést, illetve lehetőség adnak az ülő és álló pozícióban történő méréseknek. A mérőbábu az izzadás jelenségét nem szimulálja, így a száraz hőcsere vizsgálata lehetséges, viszont a légzés áramlástechnikai vizsgálataira alkalmas (lásd a 4.5.4 fejezetben). A mérőbábu képes a ruházati hőszigetelőképeség mérésére, és a különböző komfort indexek, a PMV és PPD értékek meghatározására. A mérőeszközhöz tartozó szoftveres háttér gyors és átlátható kezelőfelületet biztosít a mérések lebonyolításához.





37. ábra A mérést vezérlő szoftver képernyő képe

Valós időben változó grafikus megjelenítéssel ábrázolható a pillanatnyi bőrfelületi hőmérséklet sematikus ábrán testrészekre bontva, illetve grafikonon hosszabb időintervallumot ábrázolva is láthatjuk szegmensenként a felületi hőmérsékletek alakulását és a bevitt elektromos teljesítményt.



Jel	Testrész	Felület	Jel	Testrész	Felület
1	bal lábfej	0,053	12	koponya	0,0544
2	jobb lábfej	0,053	13	bal kézfej	0,0457
3	bal lábszár	0,115	14	jobb kézfej	0,0457
4	jobb lábszár	0,115	15	bal alkar	0,042
5	bal comb elől	0,0951	16	jobb alkar	0,042
6	bal comb hátul	0,0951	17	bal felkar	0,083
7	jobb comb elől	0,0951	18	jobb felkar	0,083
8	jobb comb hátul	0,0951	19	bal mellkas	0,0894
9	medence	0,046	20	jobb mellkas	0,0894
10	fenék	0,077	21	bal hát	0,0894
11	fej	0,08	22	jobb hát	0,0894

$$\Sigma=1,6728 \text{ m}^2$$

38. ábra A termikus mérőbábu testrészeinek felülete

A működési elvét tekintve a legtöbb, emberi hőszabályozó rendszert szimuláló termikus mérőbábu működési elve két vezérlési módszeren alapul. A lehetőségek közé tartozik alapesetben a **bőrfelületi hőmérséklet állandó értéken tartása (PI üzemmód)**, mely során mért érték a szükséges fűtőteljesítmény. Ilyenkor vagy az egész testfelületen egyenlő a felületi hőmérséklet, vagy szegmensenként más, de konstans a beállított érték.

A testrészek teljesítményszabályozása a következő összefüggés alapján történik [42]:

$$P = K \left( \Delta T + \frac{1}{\tau} \int \Delta T dt \right) [W],$$

$$P \geq 0 W,$$

$$\Delta T = T_{skin} - T [K],$$

ahol:

$P$  – Teljesítmény [W],

$T_{skin}$  – Bőr hőmérséklete [°C],

$T$  – Mért hőmérséklet [°C],

$K$  – Konstans (alapértelmezett érték 100) [-],

$\tau$  – Konstans (alapértelmezett érték 20) [-].

Az állandó felületi hőmérséklet mérés fő előnye, hogy a reakcióidő rövidebb. Mivel a felületi hőmérséklet, és ezzel együtt a testhőmérséklet állandó, a mérőbábuban tárolt hő nem változik. Ha minden zónában ugyanaz a hőmérséklet, nem lesz belső hőáramlás a szomszédos testrészek között. A hátránya, hogy a szabályzás miatt többé-kevésbé instabil, illetve az a tartomány, amelyben ez az elv működik, szintén korlátozott.

Másik lehetőség az **állandó teljesítmény (Locked Power üzemmód)** tartás, amikor a kialakuló felületi hőmérsékletek mérése ad visszacsatolást. Ilyenkor a hőáramok  $W/m^2$ -ben kifejezett fajlagos értéke állítható be szegmensenként eltérő, vagy a teljes testen azonos konstans értékre. Ennek a módszernek az előnye a korlátlan mérési tartomány, a stabilitás. Hátránya, hogy a kialakuló felületi hőmérsékletek irreálisak lehetnek, lassúbb a szabályozott rendszerhez képest, valamint belső hőáramlás is előfordulhat, ha a zónák hőmérséklete eltérő.

Egy harmadik, **komfort kontrol üzemmód (Comfort üzemmód)** is elérhető, ami az emberi test hőtermelését, hőleadását és hőszabályozását a lehető legéletszerűbben igyekszik követni és szimulálni. A komfortegyenlettel szabályozott mérőbábu bőrfelületi hőmérséklete és a hővesztesége közel ugyanúgy változik, mint az ember esetében.

Az alapvető szabályozási elv a következő [43]:

$$P = \frac{T_{db} - T}{R_t} [W],$$

$$P \geq 0 W,$$

ahol:

$P$  – Teljesítmény [W],

$T_{db}$  – Test maghőmérséklete [°C],

$T$  – Mért hőmérséklet [°C],

$R_t$  – Test hővezetési ellenállása [ $m^2K/W$ ] [ $\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$ ]

A test hővezetési ellenállása  $R_t=0,054 m^2K/W$  konstans a bőr elfogadott hőátbocsátási ellenállása, amikor a környezeti hőmérséklet körülbelül  $21,6 ^\circ C$  [44]. Az egyenletben kapott  $H_c [W/m^2]$  érték a hőáramot jelöli. A komfort üzemmód tehát a bőrfelület hőmérséklete és a száraz hőveszteség közötti

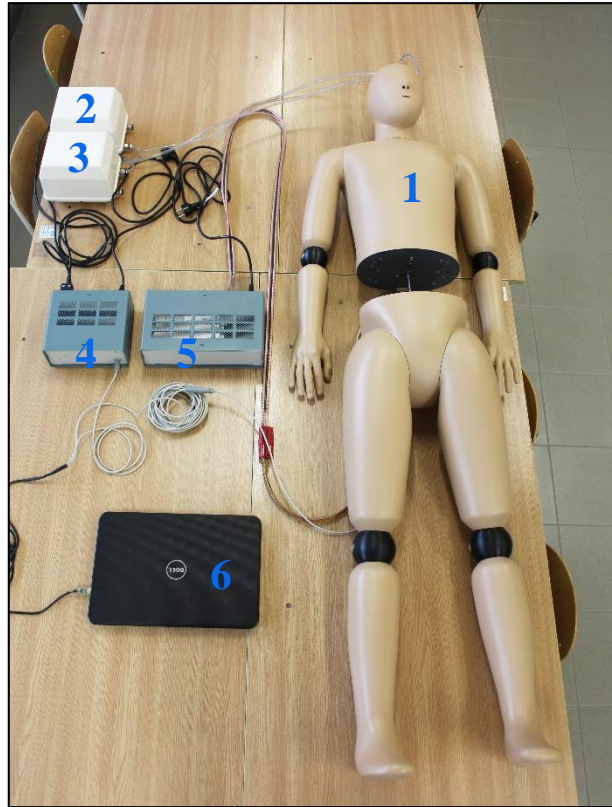


korreláció fenntartására használható, mely összefüggés a Fanger féle komfortegyenletre [4] vezethető vissza. A komfort üzemmódot kifejezetten a PMV és PPD indexek meghatározásakor kell alkalmazni. Ennek az elvnek az az előnye, hogy a kialakuló felületi hőmérsékletek valóságűek lesznek. Hátránya, hogy az állandó felületi hőmérsékleti üzemmódhoz képest lassú, és itt is előfordulhat belső hőáramlás, ha a szegmensek hőmérséklete jelentősen eltérően alakul.

A többi korábban említett üzemmód, melyek alapján a mérőbábu szabályozása történik, összefügg a ruházati hőszigetelőképeség meghatározásának módszereivel. A bőrfelületi hőmérséklet állandó, előre definiált értéken tartó üzemmódban a párhuzamos összegzést javasolt alkalmazni. Az állandó teljesítmény tartás üzemmódban az a feltételezés érvényes, hogy a helyi hőáramok az egész testen egyenlők és a soros összegzés módszerével javasolt a ruházati hőszigetelőképeséget meghatározni. Valószínűsíthető, hogy egyik eljárás sem tükrözi teljes mértékben a ténylegesen lezajló folyamatokat a valós helyzet összetettsége miatt, de kielégítő pontosságú és szabványosítással összehasonlítható eredményeket lehet felállítani a leírt eszközökkel. A soros és párhuzamos összegzés módszer empirikus képletei, az összetett valóságot egy-egy általános érvényű egyenletbe akarja redukálni.

Minden esetben, a peremfeltételek és a számítási metódus megválasztásakor az alkalmazott szabványra hivatkozni kell. Így a mérési eljárás megismételhető és a kapott eredményeket a körülményekhez mérten lehet kezelni.

A termikus mérőbábu a következő fő egységekből épül fel: a termikus mérőtest, mely alsó- és felső részre szedhető a könnyed kezelhetőség érdekében. A 22 részre tagolt mérőtest minden szegmenséhez önálló fűtő- és mérőhálózat csatlakozik. Az előre kiválasztott szabályozási módszer alapján a felületi hőmérséklet, vagy a fűtéshez bevihető elektromos teljesítmény minden testrész esetében külön beállítható. Ezzel egyidőben az adott értékek folyamatos mérését és rögzítését teszi lehetővé a komplex mérőműszer. Mindezt a mérőbábuhoz tartozó saját szoftveres háttér teszi kezelhetővé. Egy asztali személyi számítógép szükséges a szoftver futtatásához és a mérőbábu használatához, melyet a mérőtestbe csatlakozó adatkábel kapcsolja össze. A mérőtesthez csatlakozik továbbá az áramellátást biztosító tápegység is. A számítógép, mint vezérlőegység és a tápegység elhelyezhető célszerűen a mérésre használt klímakamrán kívül.



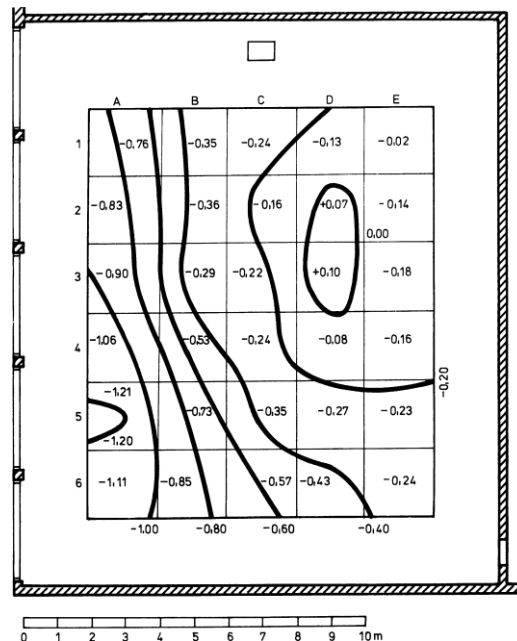
39. ábra A termikus mérőbábu és kiegészítői

1- termikus mérőtest, 2,3 - légzés szimulálására alkalmas kompresszor, 4 – tápegység a kompresszorokhoz, 5 – tápegység a termikus mérőtesthez, 6 – mérést vezérlő számítógép

A mérőbábu kiegészítő tartozéka egy lélegeztető rendszer mely a fej tetején, két csonkon csatlakoztatható. A kialakított orrjáraton kifújott levegő termikus tulajdonságai, a levegő hőmérséklete és nedvességtartalma alapesetben változatlan, ez a légzéssel elméletben leadott rejtett hő vizsgálatának szab határt. A légzés szimulációja olyan értelemben lehetséges, hogy a ki- és belégzés intenzitása, vagyis hossza, a légmennyiség és a köztes szünet időtartama állítható. Ez elsősorban áramlástanai kísérleteknek enged teret. Amennyiben a légzéssel leadott hő vizsgálata is szükséges, úgy további kiegészítő berendezéseket kell csatlakoztatni, mely lehetővé teszi a beszívott és kifújott levegő hőmérsékletének és páratartalmának beállítását.

## 5 Komforttérkép

A szakirodalomban számos olyan példával találkozunk, ahol a komfortparaméterek valamelyikét alaprajzra vetítve ábrázolják, köztük Fanger, aki a kutatásaiban a komfort paramétereket iso-PMV trendek formájában ábrázolta [4], de nem találkozunk olyannal, amikor több komfortparamétert egy időben ábrázolunk.



40. ábra Egy iskolai tanterem iso-PMV-görbéi [3]

A komforttérkép koncepciója az, hogy mezők, illetve skálák segítségével egy időben több komfortparamétert is ábrázol, így lehetővé teszi a komplex, a felhasználó szempontjából releváns komfortparaméterek szerinti tájékozódást.

Továbbá a szakirodalomban számos példát találunk a komfortparaméterek számítással történő meghatározására, szimulációjára a vizsgált térben végzett mérési adatok alapján [45] [46] [47]. Ilyen a [45] [47], ahol a komfort paramétereket olyan egészségügyi intézményekben vizsgálták, ahol szigorú légminőségi és ruházkodási feltételek uralkodtak.

A koncepció kiinduló feltételezése, hogy a vizsgált tér a hatályos szabványokban rögzített hőkomfort paraméterek szempontjából megfelelő, vagy csak kis mértékben tér el attól, a tervezés során törekedtek a követelményértékek maradéktalan betartására, vagy az üzemeltetés során a szélsőségesen rossz hőérzetű terek esetében végrehajtották a szükséges intézkedéseket. Ennek megfelelően a vizsgált terekben várhatóan csak kisebb eltérések mutatkoznak a komfortmutatók vonatkozásában, szélsőségesen rossz komforttal rendelkező területek nincsenek.

Általános megjegyzés, hogy nehéz olyan környezetet kialakítani, amely széles körben elfogadott a különböző hőigényű alkalmazottak számára. A legtöbb kutatással ellentétben nem a gépészeti rendszerek, a hőmérsékleti viszonyok finomhangolásával kívánjuk javítani a komfortérzetet, hanem az irodai dolgozókat az egyéni komfortigényüknek megfelelően irányítani a számukra optimális munkaállomás kiválasztása érdekében. Ennek feltétele, hogy a gépészeti rendszer, a klimatikus tér a hatályos szabványoknak megfelelően került kialakításra, az esetleges elégedetlenséget nagyrészt csak a különböző preferenciák okozzák. Természetesen a komforttérkép alkalmazható a szélsőségesen diszkomfortos esetekben, ahol iránymutatást ad az üzemeltetés számára a komfortparaméterek javítása céljából. Feltételezésem szerint a komforttérkép alkalmazása javítja az általános komfortérzettel

kapcsolatos elégedettséget anélkül, hogy az épületgépészeti rendszerben bármilyen beavatkozást eszközölnénk.

Az elmúlt években a számítástechnikai eszközök fejlődésével, a szimulációs eszközök megjelenésének köszönhetően lehetővé vált a hőkomfort paraméterek CFD (computational fluid dynamics) szimulációval történő meghatározása és mezők formájában történő ábrázolása. Ilyen szoftver például a SimScale [48].

A kutatás során nagy hangsúlyt fektettem arra, hogy komforttérkép szabványosított, a szakmai publikum által elfogadott módszerekkel előállítható legyen, így a hőkomfort tekintetében az ISO 7730 szabványban rögzített PMV-PPD (predicted mean vote–predicted percentage dissatisfied) módszert alkalmazzuk.

A kifejlesztett eszköz a mért adatokat, a szimuláció eredményét, vagy ezek kombinációját megjelenítő eszköz. A komforttérkép méréssel történő megalkotása során a felbontás nagyban függ a mérések darabszámától. Amennyiben ez szimulációval történik, úgy a szimuláció hitelt érdemlő módon történő elkészítése nagyfokú paraméterezést igényel és erősen párhuzamosított számítógépes környezetben futtatható csak [49]. Ebben az esetben a számítási igény hátrányt jelent olyan környezetben, ahol nagy mennyiségű paramétert dolgozunk fel. Ezen kompromisszumokat szem előtt tartva, valamint a számítási igény és a mérések számának szűk határon belül tartásának érdekében olyan interpolációs alapon működő eljárást fejlesztettem ki, mely lehetővé teszi a lehetséges legkevesebb mérés felhasználásával, kis számítási kapacitással a komforttérkép előállítását.

## 5.1 A komforttérkép kidolgozásának előzményei

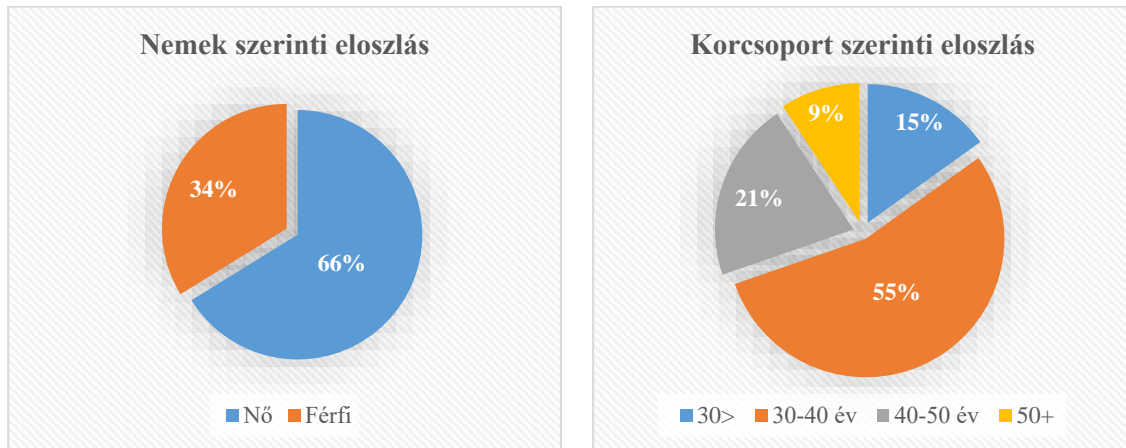
Kutatási munkám előzménye, hogy az irodai környezet komfortérzetre gyakorolt hatásainak és egészségkockázatokkal kapcsolatos vélemények megismerése érdekében a Parametrizált komfort a fizikai terekben kutatócsoport kutatási programot szervezett. Az adatfelvétel helyszínéül egy olyan irodater került kiválasztásra, amely egyterű irodaként, egyedi helyfoglalási rendszert (shared desk) alkalmazva biztosítja az ott dolgozók számára a munkakörnyezetet.

A kutatás céljaiként a dolgozók komfortérzetének javítását szolgáló változtatások azonosítása, valamint a loungek (pihenők) újraértelmezése és a használatuk fokozása került meghatározásra. Az adatgyűjtés során a téma sajátosságai miatt elsősorban kvantitatív megközelítést alkalmaztunk, amely két részből állt: egyrészt kérdőíves adatgyűjtés történt a dolgozók komfortérzetének, komfortelvárásainak valamint a munkavégzés közbeni szokásaiknak a feltárására. Másrészt műszeres mérések történtek, amellyekkel a vizsgált irodahelyiség objektív komfortparamétereit határoztuk meg. A szubjektív komfortérzettel kapcsolatban anonim, önkéntes alapon kitölthető kérdőíves felmérést végeztünk.

Az irodaterben található munkaállomások (munkaasztalok) magassága azonos, és nem szabályozható. Ugyanakkor az ülőmunkával összefüggő egészségi problémákkal küzdő irodai dolgozók számára állítható magasságú asztalok is rendelkezésre állnak. A munkaállomásokhoz karfával ellátott, állítható magasságú szék tartozik. Az asztalok hosszanti oldalán akusztikus paravánok találhatók. Az irodaterekhez közösségi terek (loungek) is tartoznak, de ezeket a tereket a dolgozók nagyon ritkán használják.

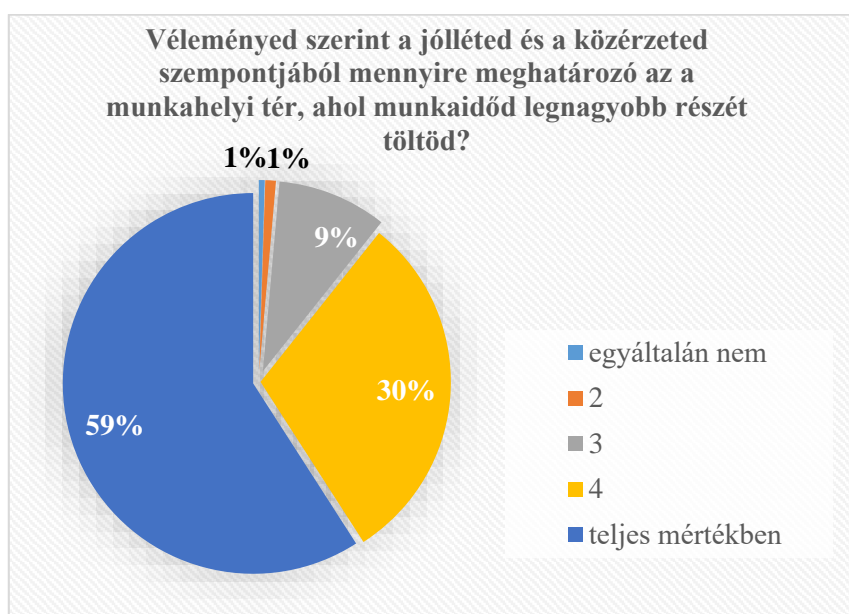
A szubjektív komfort érzettel kapcsolatban anonim, önkéntes alapon kitölthető kérdőíves felmérést végeztünk. A kérdőív többkörös egyeztetés után magyar és angol nyelven készült el, összesen 32 kérdésből állt, az adatvédelmi GDPR előírásoknak megfelelően. A vizsgálatban résztvevő válaszadók a budapesti multinacionális cég irodaházában dolgozó munkavállalók, szubjektív munkahelyi komfortérzetükkel kapcsolatos adatgyűjtés a cég belső információs rendszerén közzétett online kérdőív segítségével 2019. november és december hónapjaiban történt. Az irodaházban összesen 2 163

munkavállaló dolgozik, a rendelkezésre álló időszakban 216 dolgozó töltötte ki kérdőívünket, 210 fő magyarul, illetve 6 fő angolul. A válaszadók önkéntesen és anonim módon vettek részt a felmérésben. A válaszadóknak minden kérdés esetén lehetősége volt a „nem kívánok válaszolni” opció megjelölésére. Az elemzett adatok közzlése aggregált formában, az egyéni adatok azonosíthatósági lehetőségének kizárásával történik. A válaszadók 34% férfi, míg 66%-a nő volt, zömében (55%) 30-40 év között.



41. ábra A válaszadók nemek és korcsoport szerinti megoszlása

A kérdőív a WHO-5 Well-Being-Index [50] meghatározásához szükséges kérdések mellett, a munkahelyi térrel való elégedettség, a well-beinget és az egészséget befolyásoló tényezők megítélése, és a munkaterhelés jellemzői témakörökre vonatkozóan tartalmazott elsősorban zárt kérdéseket. A statisztikai elemzések az IBM SPSS Statistics v24 szoftver alkalmazásával kerületek elvégzésre. A szubjektív munkahelyi komfortérzet mérése, és az azt befolyásoló tényezők azonosítását célzó adatfelvételt követően többdimenziós statisztikai elemzési módszert alkalmaztunk. A gyakorisági megoszlások vizsgálata gyakorisági táblák elemzésével történt. A magyarázó- és az eredményváltozók közötti sztochasztikus kapcsolat vizsgálatára kontingencia-táblák és korrespondencia analízis elemzésével történt, amely eljárások során a Khí-négyszet próba eredménye ( $p \leq 0,05$ ) alapján került a kapcsolat jellege értékelésre. A magyarázó és az eredményváltozók közötti kapcsolatok vizsgálatához további módszerként az egyutas varianciaanalízis és a t-próba ( $p \leq 0,05$ ) került alkalmazásra.



42. ábra A munkahelyi tér szerepére vonatkozó kérdés eredményei

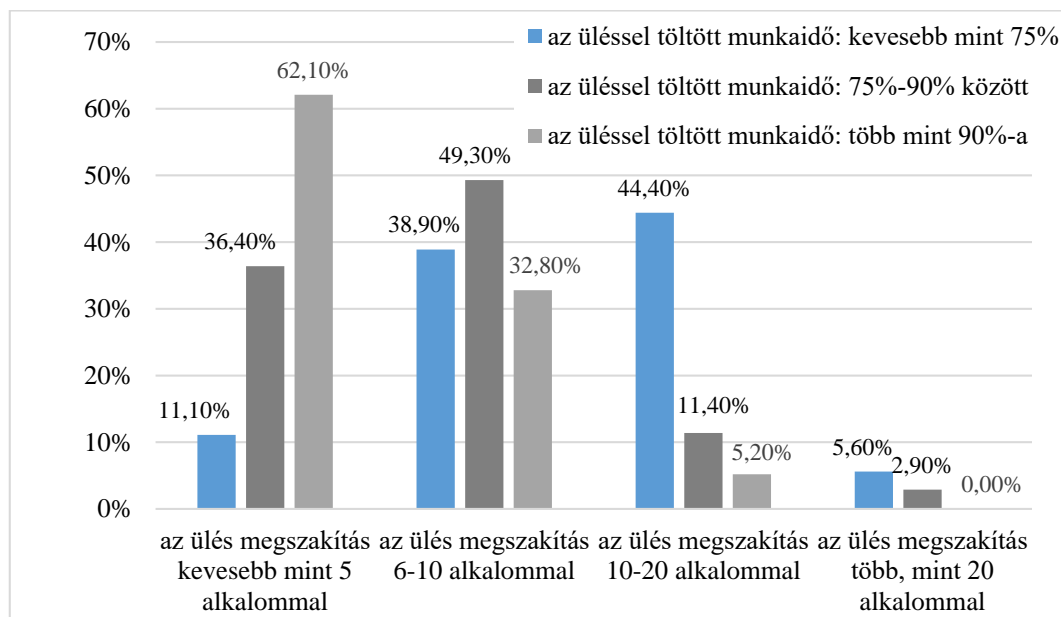
A felmérés eredményei szerint (42. ábra) a válaszadók 59%-a szerint teljes mértékben és összesen 98%-uk tekinti a jóllétét és a közérzetét meghatározóan befolyásolónak a munkavégzés helyeül kijelölt munkahelyi teret.

Továbbá a munkaállomások komfort paramétereinek egyéni szabályozhatóságát tekintve a válaszadók közel kétharmada (64,8%) elégedetlen volt a „zaj és hang” paraméter állítási lehetőségével. Ezen kívül a válaszadók fele (50,1%) a szellőzés, 46,8%-a pedig a hőviszonyok szabályozhatóságával volt elégedetlen. A dolgozók a legkisebb arányban (22,2%) a munkaállomások árnyékolhatóságával voltak elégedetlenek.

A komfortparaméterekkel kapcsolatos negatív és nagyon negatív véleményeket összevonva a legtöbben (45,8%) a zaj és hangterhelést ítélték az egészségüket negatívan befolyásoló paraméternek. A szellőzés esetében ez az arány 39,9%, a hőmérsékleti viszonyok tekintetében pedig 35,1% volt. Összességében az irodai dolgozók jelentős része úgy vélte, hogy a komfortérzetüket és az egészségi állapotukat egynél több komfortparaméter negatívan befolyásolja.

A kérdőíves kutatással párhuzamosan végzett műszeres mérések alapján megállapítható, hogy annak ellenére, hogy a vizsgált épület és iroda minden vonatkozó műszaki előírásnak megfelelt, a tér különböző részei között jelentős különbségek azonosíthatók (lásd 16. táblázat).

A válaszadók munkavégzési szokásainak feltárását célzó felmérés eredményei azt mutatták, hogy a dolgozók 64,8%-a munkaidejének 75-90%-át tölti ülve, 26,9%-a pedig munkaidejének több, mint 90%-át tölti ülve. A teljes munkaidő alatt a dolgozók 41,2%-a az, aki az ülést felállással, vagy az irodater más részeinek felkeresésével jellemzően öt alkalommal, vagy ennél kevesebbszer szakítja meg. A dolgozók 44,0%-a az ülőmunka folyamatosságát jellemzően 6-10 alkalommal szakítja meg.



43. ábra Az ülő pozícióban töltött időtartam és az ülőmunka megszakítási gyakoriságának kombinációja

Az irodaházban található lounge-okat a válaszadók 7,4%-a használja hetente, 17,6%-a havonta, 75%-a pedig ritkábban, mint havonta.

A munkakörnyezet támogató jellegét értékelve a válaszadók egyharmada (32,4%) jelezte, hogy a jelenlegi munkakörnyezetét nem tekinti a hatékony munkavégzést támogató környezetnek. A válaszadók több, mint fele (51,4%) jelezte, hogy a koncentrációt igénylő feladatmegoldást munkakörnyezete nehezíti, és 14,3% szerint a munkakörnyezete a kommunikáció szempontjából hátrányos.

Az adatelemzés eredményei alapján került kidolgozásra az a koncepció, amely mint keretrendszer segítheti elő az irodai dolgozók komfortérzetének javítását, és az irodai munkavégzéshez köthető egészségkockázatok csökkentését.

A koncepció egyik meghatározó eleme a komforttérkép. Tekintettel arra, hogy a kutatásban én a hőkomfort paraméterekkel összefüggésbe hozható hatásokkal foglalkoztam, a következőekben a komforttérkép hőkomforthoz kapcsolódó megállapításait ismertetem.

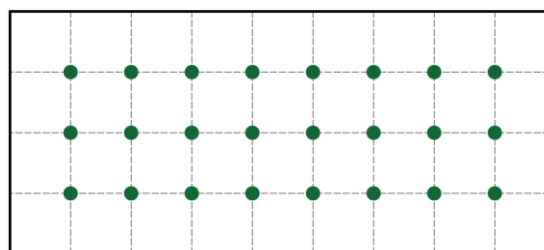
A kérdőíves kutatásra adott válaszok alapján megállapítom, hogy a nagyterű irodai térben dolgozók (98%) meghatározónak tartja a jóllét és a közérzet szempontjából a munkahelyi teret. A mérési eredmények alapján kijelenthető, hogy a tér különböző pontjain eltérő hőérzeti viszonyok uralkodnak ( $PMV=0,51\div 1,08$ ). A kérdőívekből, valamint a helyszíni bejárások alapján kiderült, hogy a térben dolgozók különböző preferenciákkal rendelkeznek, egyesek alacsonynak, míg mások magasnak ítélték meg a térben uralkodó hőmérséklet szintet. A bejárás során azt is tapasztaltam, hogy egymáshoz közel ülő munkavállalók erősen eltérő ruházatban végezték feladatukat, mely arra enged következtetni, hogy más és más környezeti hőmérsékletet ítélnek megfelelőnek. Ezek alapján megállapítható, hogy amennyiben a munkavállalókat a saját preferenciájuk alapján helyezzük el a térben, úgy a teljes állományra nézve az átlagos elégedettség nő. Ezek alapján kijelenthető, hogy a komforttérkép alkalmazása javítja a nagyterű, share desk, open office menedzsmentet alkalmazó irodákban dolgozó munkavállalók komfortérzetét azáltal, hogy minden munkavállaló a saját preferenciái szerint választhatja meg a munkaállomását, anélkül, hogy az épületgépészeti rendszerben bármilyen beavatkozást eszközölnénk.

## 5.2 Komforttérkép létrehozása

A kutatás alapvető feltevése, hogy a PMV-PPD módszer felhasználásával létrehozható egy úgynevezett hőérzeti komforttérkép, mely a tér több pontján ábrázolja az adott ponton várható hőérzetet. A komforttérkép létrehozása során, a vizsgált teret a munkaállomásoknak és egyéb környezeti feltételeknek, például a markánsan eltérő hőmérsékletű felületeknek figyelembevételével felbontjuk. Az így kialakult raszter minden pontján mérjük, vagy egyéb módszerrel meghatározzuk a komfortparamétereket. A komfortparaméterek meghatározása történhet: nagyszámú méréssel, kisszámú méréssel validált szimulációval, illetve jelen a kutatás keretében kidolgozott módszerrel a mérési adatok kiterjesztésével, mely történhet interpolációval, valamint mesterséges intelligencia eszközökkel. A bemutatott módszerekben mind a mérések, mind pedig a számítási igények tekintetében markáns különbségek adódnak.

### 5.2.1 Nagyszámú méréssel történő komforttérkép alkotás

Nagyszámú méréssel történő komforttérkép alkotás során a kialakult raszter minden pontjában mérést végzünk, így a mért eredmények ábrázolásával kialakítható a komforttérkép.

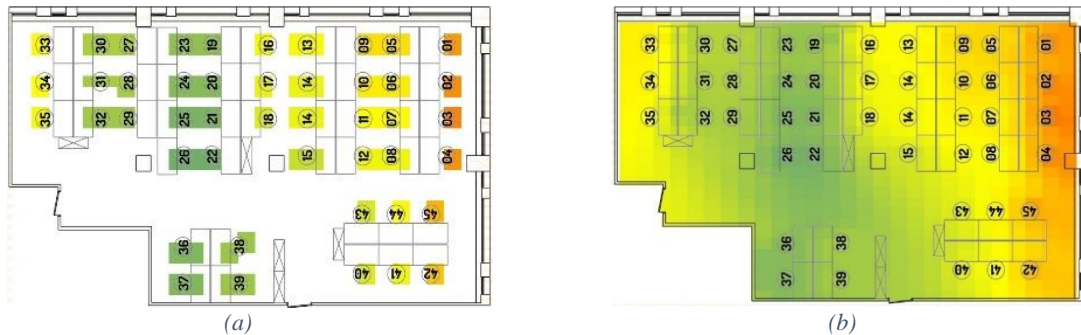


● mért értékek, ● számított értékek

44. ábra Nagyszámú méréssel történő komforttérkép alkotás szemléltetése



A módszer rendkívül időigényes, mérési pontonként hozzávetőleg 15-30 perc mérés és további 30 perc adatfeldolgozás, de pontosabb eredményt ad az analitikus módon történő komforttérkép alkotásnál. A módszer csak akkor alkalmazható, amennyiben a vizsgált tér már megépült és azt rendeltetésszerűen használják. A módszer további hátránya a többi komforttérkép alkotással szemben, hogy a felbontása jóval rosszabb.

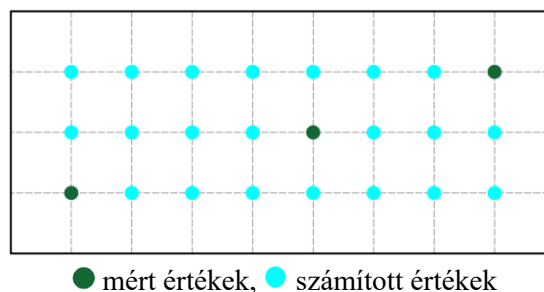


45. ábra (a) – Mérési adatok ábrázolásával történt komforttérkép alkotás, (b) – Mérési pontok interpolációval történő kiterjesztésével történt komforttérkép alkotás

A szimulációs modellezési eljárások, valamint a kifejlesztett módszerek és a modern számítógépes eszközök lehetőséget biztosítanak arra, hogy akár elemi raszterben történjen a komfortparaméterek meghatározása, ezt ábrázolva jóval homogénebb képet kapunk a tér komfortparamétereiről, azok térbeli eloszlásáról.

## 5.2.2 Kiszámú méréssel validált szimulációval történő komforttérkép alkotás

Kiszámú méréssel validált szimulációval történő komforttérkép alkotás során a kialakult raszter néhány pontján mérést végzünk. A mért értékeket egy felépített modellel végzett szimuláció validálására használjuk fel.



46. ábra Kiszámú méréssel validált szimulációval történő komforttérkép alkotás szemléltetése

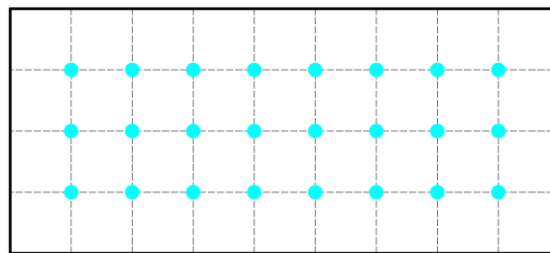
Az épületszerkezetek, a beépített épületgépészeti rendszer figyelembevételével kell megalkotni a modellt, amely alkalmas kell legyen arra, hogy több pontban meghatározhatók legyenek a komfortparaméterek. A validáció során a választott térben hőkomfort szempontból nevezetes pontokon kell méréseket végezni, a mérések helyét a következő szempontok szerint kell megválasztani: lehűlő felületek helyzete és aránya, az épületgépészeti rendszerek helyzete, markánsan eltérő hőmérsékletű helyek, ez utóbbi kézi hőmérővel, hőkamerával gyorsan feltérképezhető [48]. A PMV, PPD értéket több magasságban is meg lehet határozni, a padlótól való távolságot a helyiség funkciójának függvényében kell meghatározni. Ülő, irodai jellegű munkavégzés esetén a legtöbb szakirodalmi forrás a 0,6 m magasságot ajánlja, mely az emberi test súlypontja ülő helyzetben. A komforttérkép irodai térben alkalmazható, a tapasztalatok alapján célszerűbb a komfortparamétereket az ülő ember fejmagasságára meghatározni, amely 1,1 m. A PMV, PPD mérésekkel egyidőben mérni kell a külső léghőmérsékletet, hogy számolható legyen a határoló szerkezetek belső felületi hőmérséklete is. Ezek ismeretében a létrehozott modellt a mérési eredmények felhasználásával validálni kell. A validáció során a modell kiinduló adatait a mért értékekkel kell feltölteni (hőmérséklet, páratartalom, léghőmérséklet,



légsebesség stb.). Amennyiben a szimulációval és méréssel meghatározott hőkomfort paraméterek eltérése elfogadható mértékű, úgy a szimulációt validnak tekinthetjük. A validációt követően a szimuláció segítségével a tér minden pontjára meghatározható a PMV, PPD érték. A módszer pontossága a validációnak köszönhetően megközelíti a méréssel történő komforttérkép alkotás pontosságát, a felbontás jóval jobb, kevesebb helyszíni mérést igényel. Hátránya, hogy a szimulációs modell paraméterezése rendkívül időigényes, a szimuláció futtatása nagy számítási kapacitást igényel.

### 5.2.3 Szimulációval történő komforttérkép alkotás

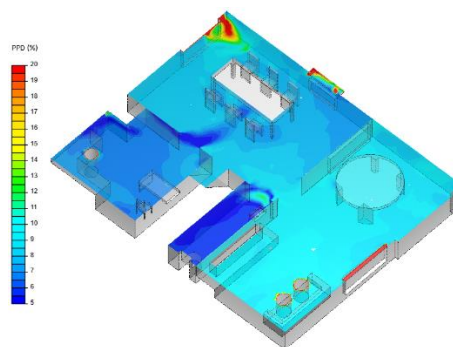
A modellalkotással, szimulációval történő eljárás során a vizsgált tér minden pontjában analitikus módon történik a komforttérkép alkotás.



● mért értékek, ● számított értékek

47. ábra Szimulációval történő komforttérkép alkotás szemléltetése

Ekkor mérés nem történik, a légállapotokat a hatályos szabványoknak megfelelően kell felvenni. Erre az EN 16798 szabvány alkalmazható. A belső felületi hőmérsékletet és az ebből számítandó közepes sugárzási hőmérsékletet az épületszerkezetek ismeretében lehet meghatározni. Mind a szimulációval, mind a kisszámú méréssel validált szimulációval történő komforttérkép alkotás nagymennyiségű számítást igényelnek. Az utóbbi években a mérnöki szimulációs eszközök megjelenésével, lehetővé vált, hogy ezen számításokat gyorsan és hatékonyan elvégezzessük, teszteljük és optimalizáljuk az adott tereket hőkomfort szempontjából. Ilyen szoftver például a SimScale, mely segítséget nyújt a PMV, PPD mezők formájában való ábrázolásában [3].



48. ábra PPD mezők formájában történő ábrázolása ISO 7730 számítási módszer szerint SimScale szoftverben

A SimScale komputációs folyadék dinamika (CFD) modellen alapuló eljárással képes egy térben a komfortparaméterek szimulációjára. Az algoritmus a Lattice Boltzmann módszert (LBM) implementálja egy magasan párhuzamosított számítógépes környezetben. Az LBM a Boltzmann-egyenlet közelítő megoldását adja eredményül diszkrét fázistérben és linearizált ütközésoperátor mellett [8]. A SimScale a gyártói ajánlás szerint egy több GPU-t tartalmazó munkaállomáson futtatható hatékonyan, tehát egyszerű irodai környezetben is elterjedt PC segítségével nem oldható meg a feladat. A módszer minden tekintetben kiemelkedő előnye, hogy nagy mélységig paraméterezhető, peremfeltételek könnyedén adaptálhatók a modellben.

A következőkben bemutatott két eljárást azért fejlesztettem ki, mert célunk, hogy a komforttérkép a gyakorlatban is teret tudjon nyerni. Egy általános irodai célokra szánt PC-vel is elvégezhető a komforttérkép alkotás, nem igényel magas számítási kapacitású munkaállomást és a módszerrel nagymértékben csökkenthető a mérési pontok száma, így a helyszíni élőmunka is.

## 5.2.4 Komforttérkép alkotás a mérési pontok interpolációval történő kiterjesztésével

A módszer kidolgozásához az alapötlet a fényképek feldolgozása során alkalmazott Bayer interpoláció adta. Leegyszerűsítve a módszer lényege, hogy egy adott fotó felbontásának javítása érdekében az adott kép felbontását megduplázzuk, így lesznek olyan pixelek, melyhez szint kell rendelni. A szín hozzárendelése a környező pixelek színe alapján történik, ezt nevezi a képfeldolgozással foglalkozó tudományág demozaik eljárásnak vagy másnéven De-Bayer interpolációnak.

A módszert adaptálva a hőkomfort paraméterekere a vizsgált térben kisszámú mérést végzünk a szélsőségesen eltérő komfortparaméterekkel rendelkező pontokon. Az interpolációs eljárás segítségével közelíthetők a hőkomfort paraméterek a vizsgált tér azon pontjain, ahol nem voltak mérések. Ehhez legegyszerűbben a lineáris, illetve kétdimenziós esetben bilineáris interpolációt használhatunk, amely a képfeldolgozás egy gyakran használt eszköze. Az interpoláció alkalmazásához a komforttérképet egy rektilineáris (vízszintes és függőleges) kétdimenziós rácsban szükséges felvenni. A rácsban az egyes cellák a vizsgált tér pontjait jelképezik, és a mérésekből származó komfortparaméterek a megfelelő cellákban kerülnek rögzítésre. Egy üresen maradó, mérési pontok közötti cella értéke az alábbi összefüggés alapján határozható meg:

$$v = (i, j) = \frac{1}{|N|} \sum_{(m,n) \in N} v(i + m, j + n), N = \{(-1,0), (1,0), (0,1), (0, -1)\},$$

ahol:

$v(i, j)$  az  $(i, j)$  indexű cella értéke,

$N$  – halmaz, amely a meghatározandó cella oldalszomszédjainak az indexeit tartalmazza.

A rács mérésel nem rendelkező celláira iteratívan alkalmazva az interpolációs formulát előáll a vizsgált tér közelítő komforttérképe. Az ezt végző algoritmus a pszeudokódja következőképpen néz ki:

```

begin
GRID := Mérési adatok
M_INDICES := Mérési indexek
SIZE_X := GRID Méret az X tengelyen
SIZE_Y := GRID Méret az Y tengelyen
NEIGHBORS := [(0,-1), (0,1), (-1,0), (1,0)]
NB_RUNS := Az egymást követő interpolációs futtatások száma
for r := 1 to NB_RUNS do
  for i := 1 to SIZE_X do
    for j := 1 to SIZE_Y do
      if (i,j) is in M_INDICES then
        skip
      else
        value := 0
        for each (m,n) in NEIGHBORS do
          value := value + GRID(i+m, j+n)
        endfor
        GRID(i,j) := value/4
      endif
    endfor
  endfor
endfor
end

```

49. ábra A mérési pontok interpolációval történő kiterjesztésének pszeudokódja

0,79	0,79	0,76	0,69	0,62	0,62	0,62	0,62	0,60	0,58	0,57	0,57	0,61	0,66	0,73	0,77	0,77	0,77	0,78	0,81	0,84	0,86	0,86	0,89	0,94	0,98	1,00
0,79	0,79	0,79	0,67	0,62	0,62	0,62	0,62	0,59	0,57	0,57	0,57	0,57	0,70	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,83	0,86	0,86	0,86	0,86	0,97	1,03	1,01
0,79	0,79	0,76	0,69	0,62	0,62	0,62	0,62	0,60	0,57	0,57	0,57	0,61	0,68	0,77	0,77	0,77	0,77	0,78	0,82	0,86	0,86	0,86	0,89	0,95	1,03	1,01
0,79	0,78	0,76	0,69	0,64	0,62	0,62	0,61	0,60	0,59	0,58	0,58	0,61	0,67	0,72	0,76	0,76	0,77	0,78	0,81	0,84	0,85	0,87	0,89	0,94	0,97	1,00
0,79	0,78	0,76	0,68	0,62	0,62	0,62	0,61	0,59	0,58	0,57	0,58	0,60	0,67	0,72	0,74	0,75	0,76	0,77	0,81	0,83	0,84	0,85	0,87	0,95	0,98	1,00
0,78	0,78	0,76	0,67	0,61	0,61	0,61	0,61	0,58	0,56	0,56	0,56	0,59	0,68	0,74	0,74	0,74	0,74	0,77	0,80	0,82	0,82	0,82	0,86	0,96	1,05	1,02
0,78	0,78	0,75	0,67	0,61	0,61	0,61	0,61	0,58	0,56	0,56	0,56	0,58	0,67	0,74	0,74	0,74	0,74	0,76	0,80	0,82	0,82	0,82	0,86	0,96	1,05	1,04
0,78	0,77	0,72	0,65	0,61	0,61	0,61	0,60	0,57	0,55	0,55	0,55	0,58	0,66	0,72	0,74	0,74	0,74	0,76	0,79	0,81	0,81	0,81	0,85	0,96	1,02	1,05
0,77	0,77	0,70	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,56	0,54	0,54	0,54	0,57	0,66	0,72	0,74	0,74	0,74	0,76	0,78	0,79	0,79	0,79	0,84	0,97	1,08	1,06
0,77	0,77	0,71	0,63	0,60	0,60	0,60	0,59	0,56	0,54	0,54	0,54	0,58	0,65	0,72	0,73	0,74	0,74	0,76	0,77	0,79	0,79	0,79	0,85	0,96	1,08	1,08
0,77	0,74	0,70	0,66	0,62	0,61	0,60	0,59	0,57	0,55	0,54	0,55	0,58	0,63	0,68	0,72	0,74	0,75	0,76	0,77	0,78	0,79	0,80	0,85	0,94	1,01	1,06
0,76	0,74	0,70	0,66	0,64	0,62	0,60	0,59	0,56	0,54	0,53	0,54	0,56	0,61	0,66	0,70	0,71	0,72	0,73	0,76	0,77	0,77	0,79	0,83	0,93	1,00	1,03
0,75	0,74	0,71	0,67	0,64	0,63	0,61	0,59	0,55	0,51	0,51	0,51	0,55	0,60	0,64	0,68	0,68	0,68	0,71	0,75	0,75	0,75	0,75	0,81	0,94	1,04	1,03
0,74	0,74	0,71	0,68	0,65	0,63	0,61	0,59	0,55	0,51	0,51	0,51	0,54	0,58	0,62	0,66	0,68	0,68	0,70	0,73	0,75	0,75	0,75	0,81	0,93	1,04	1,04
0,74	0,73	0,72	0,69	0,66	0,63	0,61	0,59	0,56	0,54	0,52	0,52	0,54	0,57	0,61	0,64	0,66	0,68	0,70	0,72	0,74	0,75	0,77	0,82	0,90	0,98	1,02
0,74	0,73	0,72	0,70	0,67	0,64	0,61	0,59	0,57	0,55	0,53	0,53	0,54	0,57	0,60	0,63	0,65	0,67	0,69	0,71	0,73	0,75	0,77	0,81	0,88	0,94	0,98
0,73	0,73	0,72	0,70	0,68	0,65	0,62	0,59	0,57	0,55	0,54	0,54	0,54	0,56	0,59	0,62	0,64	0,67	0,69	0,71	0,73	0,75	0,78	0,84	0,88	0,93	0,95
0,73	0,73	0,72	0,70	0,68	0,66	0,63	0,60	0,57	0,55	0,55	0,54	0,54	0,56	0,58	0,61	0,63	0,66	0,68	0,70	0,71	0,75	0,79	0,87	0,96	0,94	0,94
0,73	0,73	0,72	0,71	0,69	0,67	0,64	0,61	0,59	0,56	0,55	0,54	0,55	0,56	0,58	0,60	0,62	0,65	0,67	0,69	0,71	0,75	0,79	0,87	0,96	0,95	0,94
0,73	0,73	0,72	0,71	0,69	0,67	0,65	0,62	0,60	0,57	0,55	0,55	0,56	0,57	0,58	0,60	0,62	0,64	0,66	0,69	0,71	0,74	0,79	0,85	0,91	0,94	0,94
0,73	0,73	0,72	0,71	0,70	0,68	0,65	0,63	0,59	0,56	0,55	0,56	0,57	0,59	0,59	0,59	0,61	0,63	0,66	0,68	0,70	0,73	0,78	0,83	0,88	0,92	0,94
0,73	0,73	0,72	0,71	0,70	0,68	0,66	0,62	0,58	0,55	0,55	0,57	0,59	0,59	0,59	0,60	0,61	0,63	0,65	0,67	0,70	0,73	0,77	0,82	0,86	0,90	0,92
0,73	0,73	0,72	0,71	0,70	0,69	0,66	0,60	0,55	0,55	0,55	0,57	0,59	0,59	0,59	0,60	0,61	0,62	0,64	0,68	0,70	0,73	0,77	0,82	0,86	0,89	0,90
0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	0,69	0,66	0,59	0,55	0,55	0,55	0,57	0,58	0,59	0,59	0,60	0,61	0,62	0,64	0,68	0,72	0,74	0,76	0,84	0,92	0,90	0,90
0,73	0,72	0,72	0,71	0,71	0,69	0,66	0,59	0,55	0,55	0,55	0,57	0,59	0,59	0,59	0,60	0,61	0,62	0,64	0,68	0,72	0,74	0,76	0,84	0,92	0,91	0,90
0,72	0,72	0,72	0,72	0,71	0,69	0,66	0,60	0,55	0,55	0,55	0,57	0,59	0,59	0,60	0,60	0,60	0,62	0,64	0,67	0,70	0,73	0,77	0,82	0,87	0,90	0,90
0,72	0,72	0,72	0,72	0,71	0,69	0,66	0,61	0,57	0,55	0,55	0,57	0,58	0,59	0,59	0,60	0,60	0,62	0,64	0,66	0,69	0,72	0,76	0,80	0,85	0,88	0,89

50. ábra Az összes mért adat felhasználásával előállított hőérzeti komforttérkép, az értékek a várható hőérzetet (PMV) jelölik

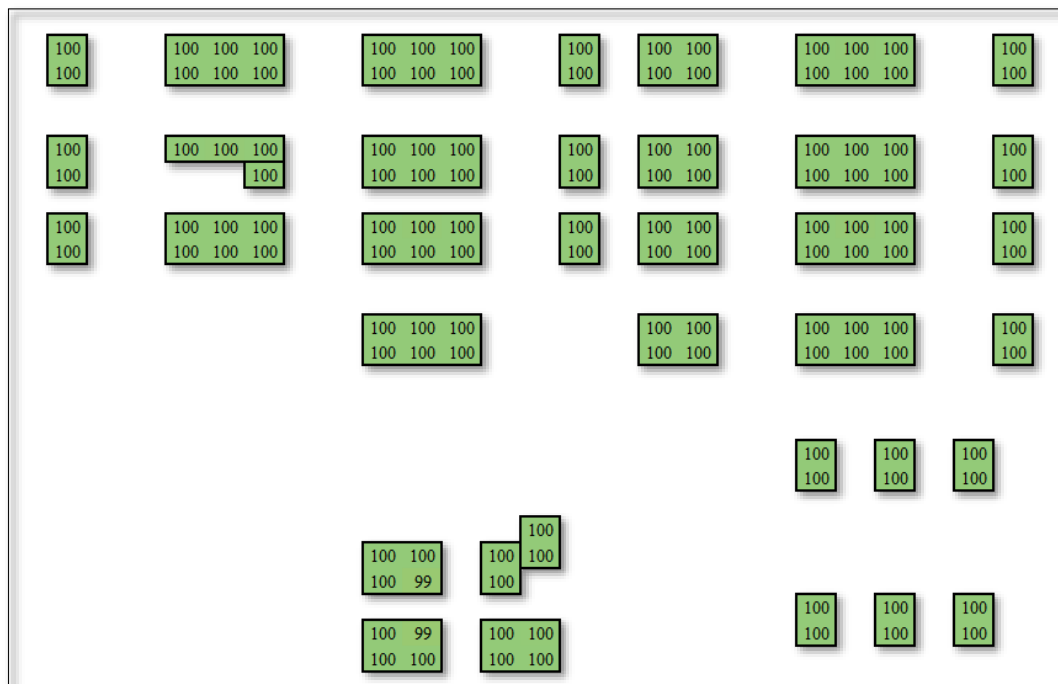
Az 50. ábra az összes mért adat felhasználásával előállított hőérzeti komforttérképet mutatja, a cellákban szereplő értékek a várható hőérzet (PMV) mért és számított értékét jelölik. A bekeretezett tartományokban történt mérés. Annak érdekében, hogy meggyőződjek a módszer alkalmazhatóságáról,

a következőkben elkezdtem csökkenteni a mért értékek számát, majd újra futtattam az interpolációt. A könnyebb átláthatóság érdekében az alaprajzot ezúttal eltávolítottam, a mért és számított értékeket megjelenítettem.

0,79	0,79	0,76	0,69	0,62	0,62	0,62	0,62	0,60	0,58	0,57	0,57	0,61	0,66	0,73	0,77	0,77	0,77	0,78	0,81	0,84	0,86	0,86	0,89	0,94	0,98	1,00
0,79	0,79	0,79	0,67	0,62	0,62	0,62	0,62	0,59	0,57	0,57	0,57	0,57	0,70	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,83	0,86	0,86	0,86	0,86	0,97	1,03	1,01
0,79	0,79	0,76	0,69	0,62	0,62	0,62	0,62	0,60	0,57	0,57	0,57	0,61	0,68	0,77	0,77	0,77	0,77	0,78	0,82	0,86	0,86	0,86	0,89	0,95	1,03	1,01
0,79	0,78	0,76	0,71	0,65	0,62	0,62	0,61	0,60	0,59	0,58	0,58	0,61	0,67	0,72	0,76	0,76	0,77	0,78	0,81	0,84	0,85	0,87	0,89	0,94	0,97	1,00
0,79	0,78	0,76	0,70	0,65	0,62	0,62	0,61	0,59	0,58	0,57	0,58	0,60	0,67	0,72	0,74	0,75	0,76	0,77	0,81	0,83	0,84	0,85	0,87	0,95	0,98	1,00
0,78	0,78	0,76	0,68	0,61	0,61	0,61	0,61	0,58	0,56	0,56	0,56	0,59	0,68	0,74	0,74	0,74	0,74	0,77	0,80	0,82	0,82	0,82	0,86	0,96	1,05	1,02
0,78	0,78	0,75	0,67	0,61	0,61	0,61	0,60	0,58	0,56	0,56	0,56	0,58	0,67	0,74	0,74	0,74	0,74	0,76	0,80	0,82	0,82	0,82	0,86	0,96	1,05	1,04
0,78	0,77	0,72	0,65	0,61	0,60	0,61	0,60	0,57	0,55	0,55	0,55	0,58	0,66	0,72	0,74	0,74	0,74	0,76	0,79	0,81	0,81	0,81	0,85	0,96	1,02	1,05
0,77	0,77	0,70	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,56	0,54	0,54	0,54	0,57	0,66	0,72	0,74	0,74	0,74	0,76	0,78	0,79	0,79	0,79	0,84	0,97	1,08	1,06
0,77	0,77	0,71	0,63	0,60	0,60	0,60	0,59	0,56	0,54	0,54	0,54	0,58	0,65	0,72	0,73	0,74	0,74	0,76	0,77	0,79	0,79	0,79	0,85	0,96	1,08	1,08
0,77	0,74	0,70	0,66	0,62	0,61	0,60	0,59	0,57	0,55	0,54	0,55	0,58	0,63	0,68	0,72	0,74	0,75	0,76	0,77	0,78	0,79	0,80	0,85	0,94	1,01	1,06
0,76	0,74	0,70	0,66	0,64	0,62	0,60	0,59	0,56	0,54	0,53	0,54	0,56	0,61	0,66	0,70	0,71	0,72	0,73	0,76	0,77	0,77	0,79	0,83	0,93	1,00	1,03
0,75	0,74	0,71	0,67	0,64	0,63	0,61	0,59	0,55	0,51	0,51	0,51	0,55	0,60	0,64	0,68	0,68	0,68	0,71	0,75	0,75	0,75	0,75	0,81	0,94	1,04	1,03
0,74	0,74	0,71	0,68	0,65	0,62	0,61	0,59	0,55	0,51	0,51	0,51	0,54	0,58	0,62	0,66	0,68	0,68	0,70	0,73	0,75	0,75	0,75	0,81	0,93	1,04	1,04
0,74	0,73	0,72	0,69	0,66	0,63	0,61	0,59	0,56	0,54	0,52	0,52	0,54	0,57	0,61	0,64	0,66	0,68	0,70	0,72	0,74	0,75	0,77	0,82	0,90	0,98	1,02
0,74	0,73	0,72	0,70	0,67	0,64	0,61	0,59	0,57	0,55	0,53	0,53	0,54	0,57	0,60	0,63	0,65	0,67	0,69	0,71	0,73	0,75	0,77	0,81	0,88	0,94	0,98
0,73	0,73	0,72	0,70	0,68	0,65	0,62	0,59	0,57	0,55	0,54	0,54	0,54	0,56	0,59	0,62	0,64	0,67	0,69	0,71	0,73	0,75	0,78	0,84	0,88	0,93	0,95
0,73	0,73	0,72	0,70	0,68	0,66	0,63	0,60	0,57	0,55	0,55	0,54	0,54	0,56	0,58	0,61	0,63	0,66	0,68	0,70	0,71	0,75	0,79	0,87	0,96	0,94	0,94
0,73	0,73	0,72	0,71	0,69	0,67	0,64	0,61	0,59	0,56	0,55	0,54	0,55	0,56	0,58	0,60	0,62	0,65	0,67	0,69	0,71	0,75	0,79	0,87	0,96	0,95	0,94
0,73	0,73	0,72	0,71	0,69	0,67	0,65	0,62	0,60	0,57	0,55	0,55	0,56	0,57	0,58	0,60	0,62	0,64	0,66	0,69	0,71	0,74	0,79	0,85	0,91	0,94	0,94
0,73	0,73	0,72	0,71	0,70	0,68	0,65	0,63	0,59	0,56	0,55	0,56	0,57	0,59	0,59	0,59	0,61	0,63	0,66	0,68	0,70	0,73	0,78	0,83	0,88	0,92	0,94
0,73	0,73	0,72	0,71	0,70	0,68	0,66	0,63	0,59	0,55	0,55	0,57	0,59	0,59	0,59	0,60	0,61	0,63	0,65	0,67	0,70	0,73	0,77	0,82	0,86	0,90	0,92
0,73	0,73	0,72	0,71	0,70	0,69	0,67	0,64	0,58	0,55	0,55	0,57	0,59	0,59	0,59	0,60	0,61	0,62	0,64	0,68	0,70	0,73	0,77	0,82	0,86	0,89	0,90
0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	0,69	0,67	0,62	0,57	0,55	0,55	0,57	0,58	0,59	0,59	0,60	0,61	0,62	0,64	0,68	0,72	0,74	0,76	0,84	0,92	0,90	0,90
0,73	0,72	0,72	0,71	0,71	0,69	0,67	0,60	0,55	0,55	0,55	0,57	0,59	0,59	0,59	0,60	0,61	0,62	0,64	0,68	0,72	0,74	0,76	0,84	0,92	0,91	0,90
0,72	0,72	0,72	0,72	0,71	0,69	0,66	0,61	0,55	0,55	0,55	0,57	0,59	0,59	0,59	0,60	0,61	0,62	0,64	0,67	0,70	0,73	0,77	0,82	0,87	0,90	0,90
0,72	0,72	0,72	0,72	0,71	0,69	0,66	0,62	0,57	0,55	0,55	0,57	0,58	0,59	0,59	0,60	0,60	0,62	0,64	0,66	0,69	0,72	0,76	0,80	0,85	0,88	0,89

51. ábra Az összes mért adat 63%-ának felhasználásával előállított hőérzeti komforttérkép, az értékek a várható hőérzetet (PMV) jelölik

A következőkben azokat a cellákat vizsgáltam, ahol korábban mérés útján ismert volt a várható hőérzet számszerűsített értéke, melyet az 52. ábra szemléltet.



52. ábra A méréssel érintett területeken meghatározott várható hőérzet (PMV) és az adatok 63%-át felhasználva számított várható hőérzet (PMV) százalékos aránya

Az 52. ábra a méréssel érintett területeken meghatározott várható hőérzet (PMV) és az adatok 63%-át felhasználva számított várható hőérzet (PMV) százalékos aránya. A maximális eltérés 1,08%, a teljes területre vetített átlagos eltérés 0,02%.

A bemutatott eljárást elvégeztem az összes mérési adat 65% / 47% / 27% / 12%-át felhasználva, melynek eredményeit a terjedelembre való tekintettel táblázatos formában közlök.

12. táblázat A mért értékek felhasználásának csökkentésével kialakuló százalékos eltérések (lineáris interpolációval).

Mért értékek	Negatív eltérés	Pozitív eltérés	Max eltérés	Átlag eltérés
[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
63	-1,075	0,306	1,075	0,02295
47	-4,323	1,676	4,323	0,31932
27	-11,487	15,292	15,292	0,70944
12	-62,270	34,670	62,270	1,26598

A 12. táblázat alapján megállapítható, hogy a komforttérkép alkotás a mérési pontok interpolációval történő kiterjesztésével lehetséges; hátránya, hogy a komforttérkép pontossága rendkívül érzékeny a mérési pontok számára.

Ennek oka, hogy az eljárással nem rendelhetünk egyéb paramétert a tér pontjaihoz, kizárólag a hőérzet (PMV) értékére történik az interpoláció. Ezért szélsőséges peremfeltételek esetén kizárólag a mérési darabszám növelésével kaphatunk az elfogadható hibahatáron belüli eredményt. Kutatásom során olyan eszközöket kerestem, melyek képesek lehetnek az előzőekben bemutatott probléma feloldására, tehát azon túl, hogy kisszámú mérésből képes létrehozni a hőérzeti komforttérképet, képes több paramétert kezelni, akár a nyers mérési adatokat, mint a mért léghőmérséklet, a közepes felületi sugárzási hőmérséklet, a belső relatív páratartalom, az adott pontban mért légsebesség. Továbbá képes „real time” frissíteni a komforttérképet csak egy-egy fizikai paraméter mérése esetén is, például csak a léghőmérséklet méréssel PMV indexet számolni.

## 5.2.5 Mérési pontok kiterjesztése mesterséges intelligencia eszközökkel

Az interpolációs és extrapolációs eljárások mellett a mesterséges intelligencia eszközök is lehetőséget nyújtanak a mérési adatok kiterjesztésére. Az elején érdemes megjegyezni, hogy mesterséges intelligencia alatt a neurális hálózat alapú megoldásokat értjük itt. Habár elsőre máshogy tűnhet, a mesterséges intelligencia alapú megoldás mégsem különbözik sokban az interpolációs megoldásoktól. A mérési adat kiterjesztés problémája adott, és mindkét esetben ugyanaz, miszerint kevés számú ismert mérési adat alapján becsüljük meg a mérési adattal nem rendelkező helyeken a vizsgált mennyiség értékeit.

Az első különbség a probléma matematikai megfogalmazásában mutatkozik meg. Amikor interpolációról beszélünk, akkor feltételezzük, hogy egy ismert modellfüggvény (például lineáris) paramétereit megválaszthatjuk úgy, hogy a mért vagy méretlen pontokat behelyettesítve a függvény eredményül adja a vizsgált mennyiség adott pontokon lévő értékét, természetesen valamilyen hiba erejéig. Tömören ez egy ismert függvény illesztése megadott értékpárokra. Mesterséges intelligencia esetén szintén bizonyos paraméterek megfelelő megválasztásával érjük el ezt, azonban egy modellfüggvény helyett egy neurális hálózati architektúra paramétereiről van szó. Ez az architektúra elképzelhető úgy, mint ismert modellfüggvények és ezek különböző lineáris és nemlineáris kombinációinak összessége.

A neurális hálózat elemi egysége a mesterséges neuron. A mesterséges neuron az alábbi funkciót valósítja meg:

$$y = \phi(\bar{x} \cdot \bar{w} + b),$$

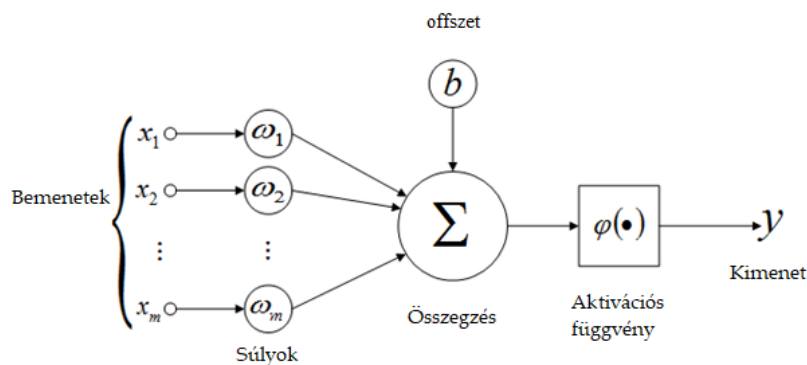
ahol:

- $y$  – a neuron kimenete,
- $\bar{x}$  – a neuron bemenete,
- $\bar{w}$  – a súlyok,
- $b$  – a bias vagy offszet,
- $\phi$  – az aktivációs függvény.

Az egyenletben  $y$  skalár érték a mesterséges neuron „kimenete”,  $\bar{x} = [x_0, x_1, \dots, x_N]$  a neuron bemenete. A neuron megválasztható paramétereit együttesen a  $\bar{w} = [w_0, w_1, \dots, w_N]$  „súlyok” és  $b$  „bias” vagy „offset” értékek alkotják. A  $\phi$  pedig az úgynevezett „aktivációs függvény”.

Az aktivációs függvény argumentumában szereplő kifejezés lineáris, ha csak ezt tekintjük, akkor egy darab neuron paraméterein keresztül egy lineáris illesztést hajthatunk végre, és a végeredmény egy lineáris interpoláció lesz, hasonlóan az előzőekben bemutatott interpolációval történő komforttérkép kiterjesztéshez. Annak érdekében, hogy a komforttérkép alkotás pontosságát növelni tudjuk, több paramétert kell figyelembe vennünk egy időben, a legtöbb hőkomfort paraméter viszont nem lineáris eloszlást mutat. Ha a lineáris közelítés nem nyújt elegendő pontosságot, akkor az aktivációs függvényen keresztül nemlinearitást vihetünk a modellünkbe, ezzel komplexebb összefüggések leírása is elérhetővé válik.

A nemlinearitás által nyert komplexitáson kívül más előnnyel is jár az aktivációs függvények alkalmazása. Az aktivációs függvények korlátossá tehetik a mesterséges neuron kimenetét, ez bizonyos esetekben előnyös kényszert jelent; például, ha tudjuk, hogy a modellezni kívánt mennyiség értéke csak pozitív lehet, vagy csak egy intervallumon belül értelmezett. A legtöbb hőkomfort paraméter esetében ez a feltétel igaz. A 53. ábra egy mesterséges neuron sematikus rajzát mutatja be.



53. ábra Egy mesterséges neuron sematikus rajza

A gyakorlatban nem egy neuront, hanem egy egész neurális hálózatot használunk modellként. A neurális hálózat felépítése egy réteges struktúrát követ. Az egyes rétegekben a mesterséges neuronok párhuzamosan helyezkednek el, vagyis egy rétegen belül minden neuron ugyanazt az  $\bar{x}$  bemeneti adatot kapja.



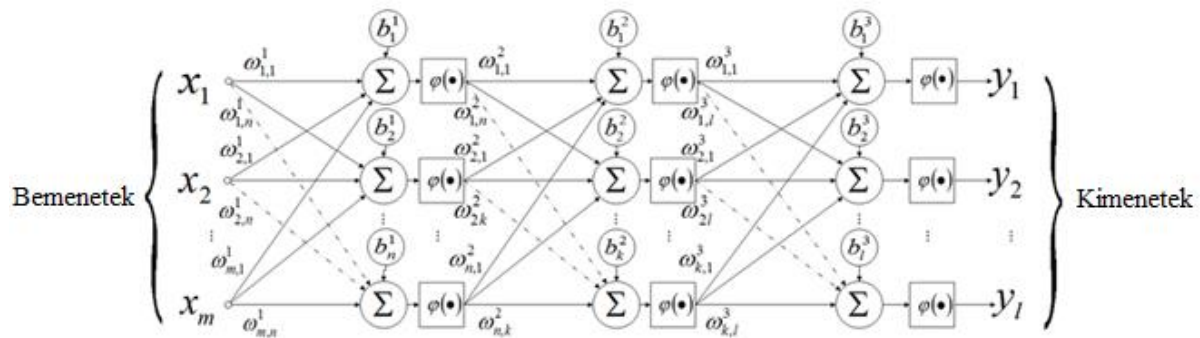
Így egy neurális hálózati réteg kimenete a következő módon írható le:

$$\bar{y} = \phi(\bar{x} \cdot W + \bar{b}),$$

ahol:

- $\bar{y}$  – a neuron kimenete,
- $\bar{x}$  – a neuron bemenete,
- $W$  – a súlymátrix,
- $\bar{b}$  – a bias vagy offszet,
- $\phi$  – az aktivációs függvény.

Az összefüggés hasonló az egy neuron működését leíró egyenlethez. M darab neuronból álló réteg esetén  $\bar{y}$  és  $\bar{b}$  M dimenziós vektorok, míg  $\bar{x}$  továbbra is az N dimenziós bemeneti adatot leíró vektor.  $W$  egy NxM méretű súlymátrix, aminek az M darab oszlopvektora tartalmazza az egyedi neuronok súlyait. Így egy réteg a funkcióját tekintve annyit tesz, hogy az eredetileg N dimenziós bemeneti adatot egy M dimenziós térbe képezi le. Ez több szempontból is hasznos lehet, például ki lehet szűrni a redundáns, esetleg felesleges bemeneti változókat vagy növelni lehet a modell komplexitását. Interpolációs megközelítésből egy neurális hálózat réteg képes arra, hogy szakaszos interpolációt realizáljon, ahol az egyes szakaszokat külön-külön neuronok valósítják meg. A 54. ábra egy réteges felépítésű neurális hálózatot ábrázol.



54. ábra Egy réteges felépítésű neurális hálózat látható

A neurális hálózat paramétereinek megfelelő megválasztása **tanításon** keresztül zajlik. A tanítás során a korábbiakban bemutatott a mérési pontok interpolációval történő kiterjesztésével foglalkozó fejezetben leírtakhoz hasonlóan járunk el. Az ismert  $(\bar{x}, \bar{y}_t)$  bemenet-kimenet párokat mutatunk be a hálózatnak és egy  $L(\bar{y}_p, \bar{y}_t)$  hiba függvénnyel kiszámítjuk a hálózat által  $\bar{x}$  bemenetre adott  $\bar{y}_p$  becslés és a helyes  $\bar{y}_t$  érték közötti eltérést.

A hibafüggvény pontos alakját a megoldandó probléma szerint választjuk meg, tipikusan ez lehet abszolút távolság, euklideszi távolság, koszinusz távolság vagy valamely információs mennyiség, például a kereszt entrópia. Interpolációs feladatokhoz jellemzően jó választás az euklideszi távolság. A modell paramétereinek meghatározásához sztochasztikus gradiens módszert használhatunk. Ez esetben a hiba függvény gradiensét vesszük a modell paramétereinek szerint, és a gradiens szerint módosítjuk a paramétereket. A példa bemutatás, hiba számítás, gradiens számítás és paraméter frissítés folyamatot iteratívan végezzük addig, amíg a hiba függvény értéke egy elvárt minimális szintre csökken.

A következő összefüggés a paraméterek „frissítési” szabálya, ahol  $\eta$  tanulási rátán keresztül szabályozhatjuk a frissítések nagyságát:

$$W_{n+1} = W_n - \eta \nabla L(\bar{y}_p, \bar{y}_t),$$

ahol:

$W_{n+1}$  – a neurális súlyok frissítés utáni értéke,

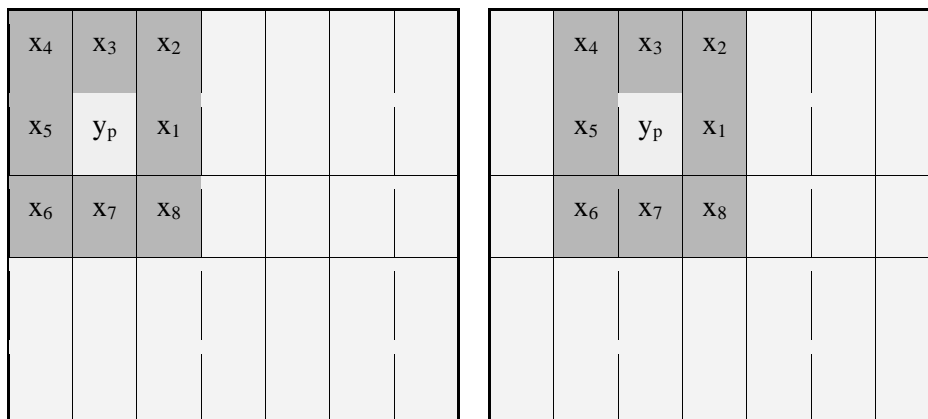
$W_n$  – a neurális súlyok aktuális értéke,

$\eta$  – a tanulási ráta,

$\nabla L$  – hibafüggvény gradiense a neurális súlyok szerint.

Az előzőekben tárgyalt numerikus matematikai szükségleteket kielégítik a modern mesterséges intelligencia szoftver könyvtárak, mint például a Torch vagy a Tensorflow. Ezekben válogathatunk a különböző felépítésű neurális rétegek, hálózati architektúrák és tanító algoritmusok között.

Az interpoláció során a vizsgált teret cellákra osztjuk. A meghatározandó  $y$  érték környezetében elhelyezkedő  $x_i$  értékek fogják alkotni a neurális hálózat bemenetét. A tér teljes kiértékeléséhez végig léptetjük a neurális hálózatot a tér celláin, kihagyva azokat, amelyek mérési értékkel rendelkeznek. Az  $y_p$  predikciókból egy új rács jön létre, amelyen iteratív módon, többször elvégezzük a kiértékelést. Az iterációt addig futtatjuk, amíg a predikciók konvergálni kezdenek, vagy kielégítő eredményt kapunk.

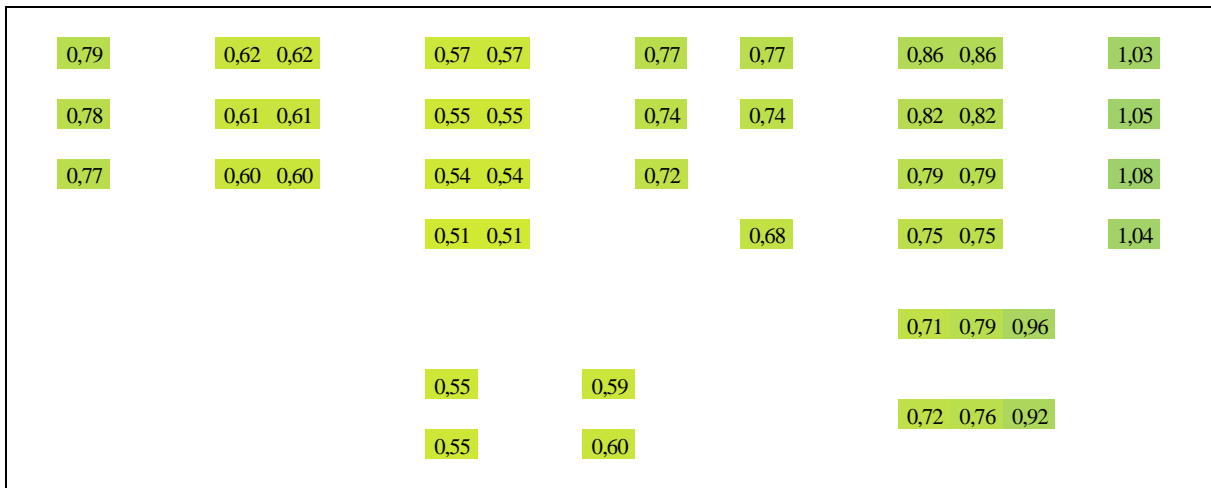


55. ábra Az interpolációt végző neurális hálózat léptetése a tér celláin

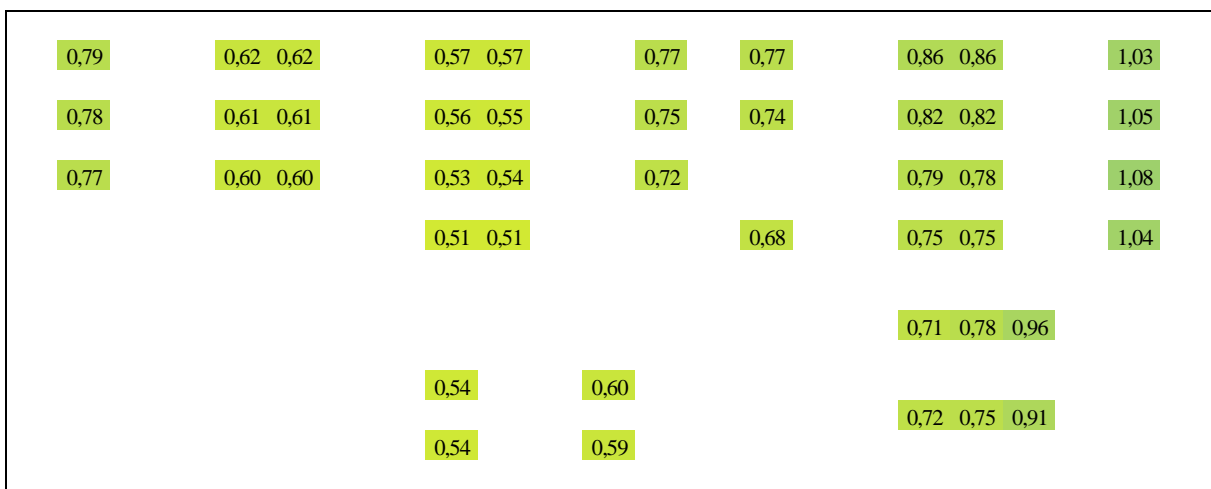
Az interpolációt végző neurális hálózat tanításához egy olyan teret választunk, amelynek minden cellája ismert értékekkel rendelkezik. Ezen a téren a fentebb ismertetett kiértékelések minden iterációja után a frissítési szabálynak megfelelően módosítjuk a hálózat súlyait egészen addig, amíg a hálózat reprodukálni tudja a tanításhoz használt ismert értékeket. Amint ez megtörtént, a neurális hálózatot a tanult súlyokkal együtt elmentjük, és később interpolációra használhatjuk akár más terekben is. A tanításhoz használt adat lehet szintetikus, amennyiben rendelkezünk olyan fizikai modellel, amely alapján generálható valóság-hű adat.

A lineáris interpolációval történő mérési adat kiterjesztést tárgyaló fejezethez hasonlóan a következőkben a mért adatokat a bemutatott mesterséges intelligencia alapú módszerrel kiterjesztettem, majd a mért adatok számát csökkenteni kezdtem (63%,47%,27%,12%) és összevettem az eredetileg méréssel meghatározott adatokkal.

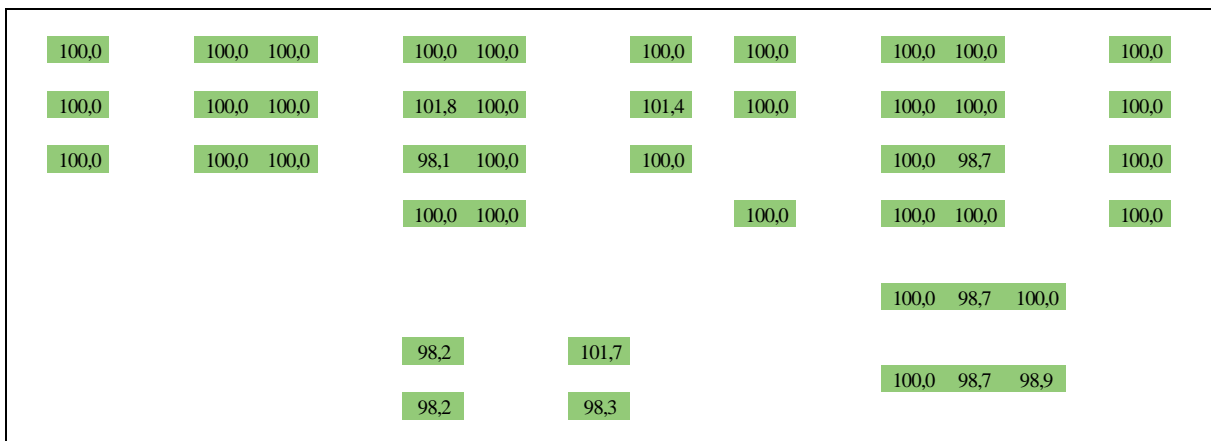




56. ábra Az összes mért adat eloszlása a térben



57. ábra Az adatok 47%-ának felhasználásával újra számolt adatok a méréssel érintett területeken



58. ábra A méréssel érintett területeken meghatározott várható hőérzet (PMV) és az adatok 47%-át felhasználva számított várható hőérzet (PMV) százalékos aránya

A korábbiakhoz hasonlóan a terjedelempre való tekintettel az eredményeket táblázatos formában közlöm.

13. táblázat A mért értékek felhasználásának csökkentésével kialakuló százalékos eltérések (mesterséges intelligencia eszközökkel).

Mért értékek	Negatív eltérés	Pozitív eltérés	Max eltérés	Átlag eltérés
[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
63	-0,195	0,278	0,278	0,00354
47	-0,491	0,715	0,715	0,01123
27	-3,417	2,992	3,417	0,01324
12	-6,434	7,507	7,507	0,02660

A 13. táblázat alapján megállapítható, hogy a komforttérkép alkotás a mérési pontok mesterséges intelligencia eszközökkel történő kiterjesztésével lehetséges. Ez a módszer is érzékeny a mérési pontok számára, de a nem linearitásnak, a kényszereknek, a jóval összetettebb struktúrának köszönhetően jóval kevésbé, mint a lineáris interpolációs eljárás.

### 5.2.6 Minimális mérési szám meghatározása

A kutatás során azt a célt tűztem ki magam elé, hogy a komforttérkép létrehozása a lehető legkisebb élőmunka befektetéssel létrehozható legyen, a lehető legnagyobb pontosságban. Ennek érdekében vizsgáltam az interpolációs és mesterséges intelligencia elvén működő mérési adat kiterjesztést. A kutatás elején a tér minden, hőkomfort szempontól jelentős pontján mértem, így például egy irodaépületben, minden munkahelyen. A helyszíni élőmunka ezáltal magas, mely nem segíti a módszer elterjedését, használatának megkönnyítését. Ezért kidolgoztam egy módszert, mellyel meghatározható a térben a minimum szükséges mérésszám. Annak érdekében, hogy a kidolgozott módszer általános érvényű legyen, a mérési hibákat kizárandó a mért hőkomfort paraméterekre jellemző randomizált normál eloszlású adatokat használtam, így bizonyos feltételrendszerrel kiterjeszhető bármely térre.

A minimális mérési szám meghatározásához első lépésben felosztottam a teret cellákra úgy, hogy a környezeti kényszerek, például berendezések, bútorok stb. figyelembevétele mellett a mérőműszer által lefedett terület legyen egy cella mérete. Ezután a tér minden cellájához generáltam egy véletlen számot a mérendő mennyiség becsült várhatóérték és szórás paraméterei szerinti normális eloszlásból  $N(\mu, \sigma^2)$ . Az így kapott randomizált mérési térképnél a valós mérésekből készített térkép szabályosabb lesz, vagyis a szomszédos cellák közötti eltérés várhatóan kisebb a valós adatok esetén, mint a randomizált adatok esetén. Következő lépésben az alkalmazni kívánt interpolációs eljárást használva méreteztem át a randomizált térkép celláit úgy, hogy először megnöveltem őket, majd visszakicsinyítettem az eredeti méretükre. Ez a lépés elképzelhető úgy, mintha egy nagyobb felbontású képet átméreteznénk kisebb felbontásba, majd ezt visszaméreteznénk az eredeti felbontásra. Az eredeti randomizált térképen végeztem el az át- és visszaméretezési lépést többször (közel 100 alkalommal), különböző méretezési faktorokkal, és számítottam ki az eredeti kép és a visszaállított kép közötti négyzetes hibát.

A négyzetes hiba alatt az átlagos négyzetes hibák átlagát értem, ahol az átlagos négyzetes hibát (Mean Squared Error - MSE), a következő összefüggéssel határoztam meg:

$$MSE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2,$$

ahol:

$Y_i$  – adott mérési pontra radomizált (helye) érték,

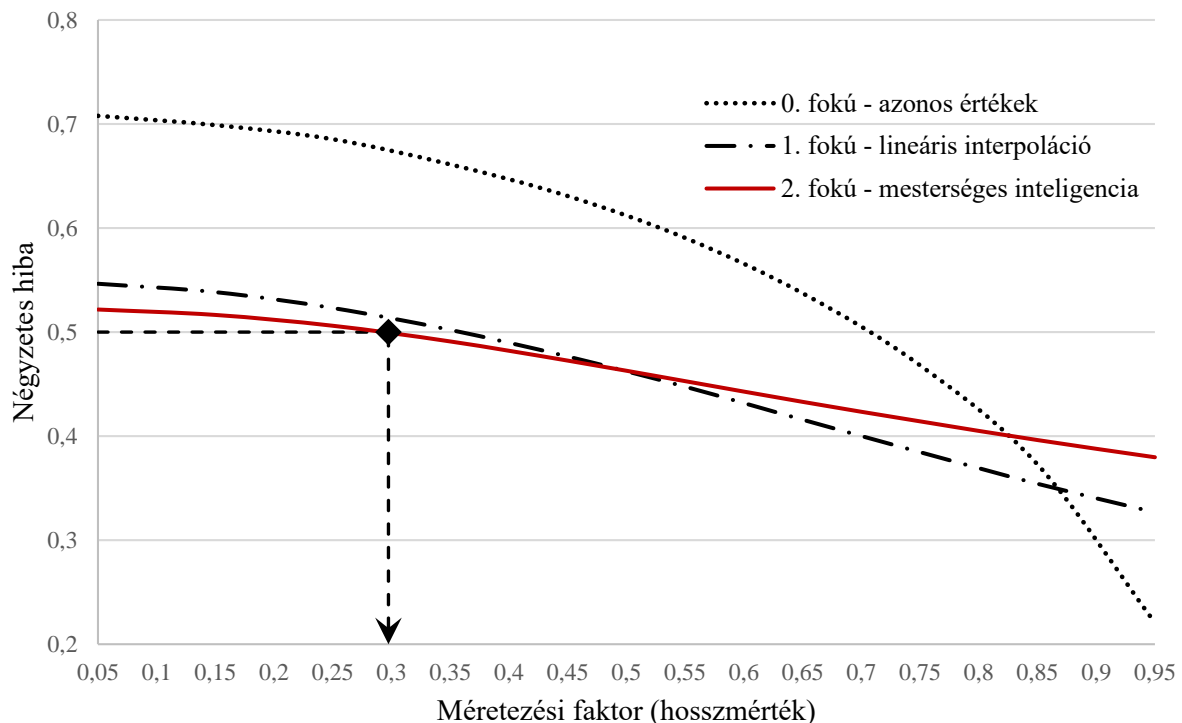
$\hat{Y}_i$  – adott mérési pontra interpolált (jósolt) érték,

$n$  – az adatpontok száma.

A következőkben minden méretezési faktor esetén külön-külön a kapott átlagos négyzetes hibákat átlagoltam. A méretezési faktor alatt azt értem, hogy egyenletes eloszlásban hányad részét tartjuk meg a mérési, illetve jelen esetben a radomizált pontoknak. A méretezési faktor a hossz mértékre vonatkozik, a területi faktor ennek a négyzete.

A minimális mérési szám meghatározásához megkerestem azt a méretezési faktort, amely esetében az interpoláció négyzetes hibája megegyezik az előzetesen becsült szórással (5%), majd a faktor négyzetével (területi faktor) szoroztam meg az első lépésben kapott cellák számát.

A 59. ábra egy  $\mu = 20, \sigma = 0,5$  becsült várhatóértékhez (20°C) és szóráshoz (5%) készült hibagörbe különböző fokú polinomiális interpolációk alkalmazásával. A 0. fokú körbe az egymás melletti cellák adatainak másolásának, az 1. fokú görbe a mérési pontok interpolációval történő kiterjesztésének, míg a 2. fokú görbe a mesterséges intelligencia eszközök alkalmazásával történő kiterjesztésének felel meg.



59. ábra  $N(20; 0,25)$  normál eloszlású véletlen adatok interpolációs hibája

Ezáltal az 59. ábra a normál eloszlású véletlen adatok interpolációs hibáját ábrázolja a méretezési faktor függvényében. A mérendő mennyiségek (hőmérséklet, páratartalom, légsebesség) elfogadott szórása 0,5, így a 2. fokú hibagörbét leolvastva a méretezési faktor 0,3. A méretezési faktor egy

hosszmérték, a cella szélességét jelöli, így ennek a négyzetgyöke adja a területi faktort, ami 0,09. Ez alapján kijelenthető, hogy amennyiben a komforttérkép alkotás eszközeként a mért adatok mesterséges intelligenciával történő kiterjesztésének módszerét alkalmazzuk, úgy a mérési darabszám az eredeti 9%-ára csökkenthető.

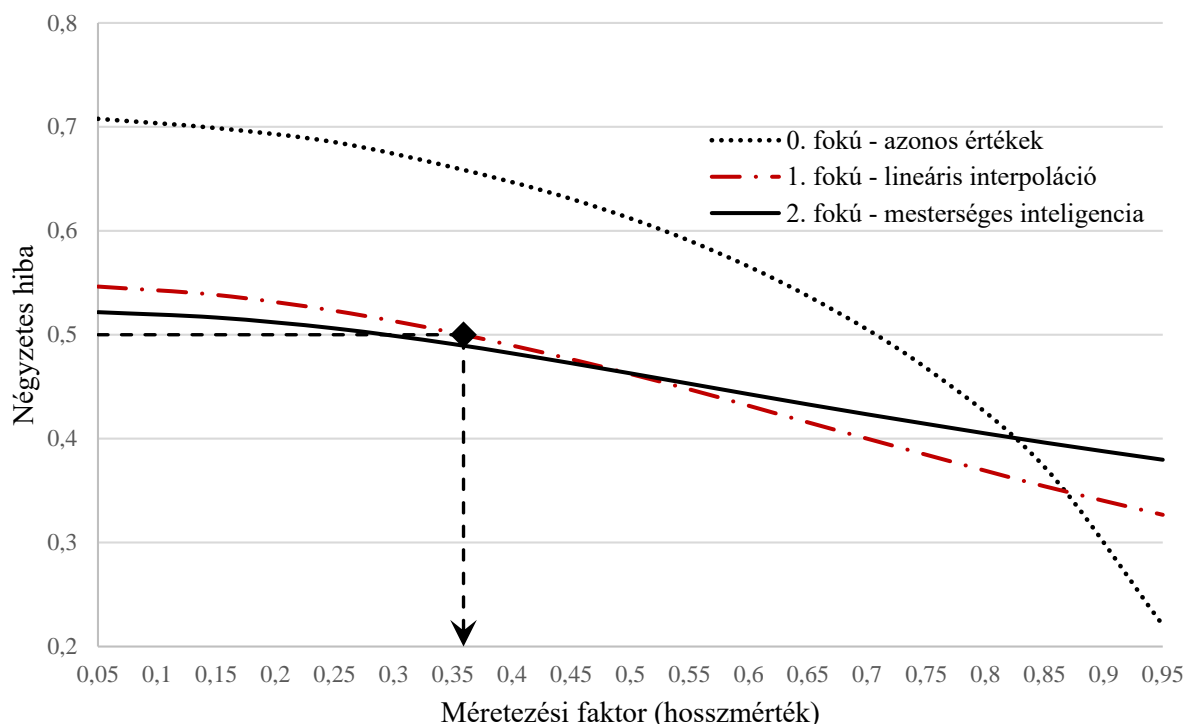
A megértést segítő tételünk fel egy 10 m x 10 m befoglaló méretű irodát, ahol 2 méterenként található egy munkaállomás. Amennyiben minden munkaállomásra szeretnénk meghatározni a komfort paramétereket, úgy  $5 \times 5 = 25$  ponton kellene méréseket végeznünk, de a mért adatok mesterséges intelligenciával történő kiterjesztésének módszerét alkalmazva elegendő ennek 9%-án, tehát 2,25, felfelé kerekítve, tehát 3 helyen méréseket végezni, ahhoz, hogy a megengedett szóráson belüli eredményt kapjuk.

A mérési pontok helyét a térben egyenletesen elosztva kell megválasztani úgy, hogy a falaktól a cella oldalhosszúságának felétől kezdjük a mérési pontok elhelyezését.

Fontos megjegyezni, hogy a 3 db mérési pont csak abban az esetben alkalmazható, ha a tér határoló felületének felületi hőmérséklete csak kismértékben tér el egymástól. Amennyiben a vizsgált tér belső és külső falkapcsolattal is rendelkezik, úgy a mérési pontok számának növelése szükséges, mely a 14. táblázatban látható.

14. táblázat Mérési pontok számának minimuma a lehűlő felületek számának függvényében

Lehűlő felületek száma	Mérési pontok számának minimuma
1	3
2	4
3-	5



60. ábra  $N(20; 0,25)$  normál eloszlású véletlen adatok interpolációs hibája

A bemutatott műveletet az 1. fokú görbére is elvégezve (60. ábra) a méreteezési faktor értéke 0,36, ezáltal a területi faktor 0,129. Ez alapján kijelenthető, hogy amennyiben a komforttérkép alkotás

eszközöként a mért adatok lineáris intelligenciával történő kiterjesztésének módszerét alkalmazzuk, úgy a mérési darabszám az eredeti 12,9%-ra csökkenthető.

A leírtak alapján bizonyítható, hogy a mesterséges intelligencia eszközök alkalmazásával történő hőérzeti komforttérkép kiterjesztés esetén kevesebb mérést kell végezni azonos eredmény eléréséhez.

### 5.2.7 Komforttényezők közös, laikusok számára reprezentatív skálára hozása

A komforttérkép elsődleges célja, hogy a felhasználók megválaszthatják a számukra optimális helyet, ahol lehetőség szerint a komfortparaméterek kombinációja számukra optimális, vagy legalábbis elfogadható, így annak könnyen érthetőnek kell lennie laikusok számára is. Mivel nem csak a hőkomfort paraméterek, hanem a legtöbb markáns befolyást gyakorló komfortparamétert ábrázolunk a komforttérképen, így nagyban elősegíti a megértést, ha azt egy egységes skálán ábrázoljuk. Természetesen az egyes komfortparaméterek, mind a megvilágítás, zaj, hőkomfort stb. más-más súlyt képviselnek a teljes komfort megítélésében. A komforttérkép megvalósítása érdekében azt az egyszerűsítést tesszük, hogy minden komforttényezőt azonos 10-es skálán ábrázolunk. A közös léptékre hozott hőkomfort skálára TCS (Thermal Comfort Scale) skálaként hivatkozom a továbbiakban. A hőkomfort esetén a kiindulási alap az elégedetlenek százalékos aránya (PPD), ahogy azt az előzőekben bemutattam, az értéke 5 és 100% között lehet, ahol 5% a semleges hőérzet, még a 100% a túl hideg, túl meleg hőérzethez tartozó elégedetlenek várható százalékos aránya. Ennek alapján a skálázási rendszert úgy kellett kialakítani, hogy az 5% PPD jelentse a közös skálán a 10-es, legjobb minősítést, még a 100% PPD a 0-s, azaz legrosszabb minősítést. Az ezt leíró függvény leképzése függvényillesztéssel történt, így a kapott egyenlet a következő:

$$TCS = 2,35884 \cdot 10^{-4} \cdot PPD^2 - 0,130031 \cdot PPD + 10,6443,$$

ahol:

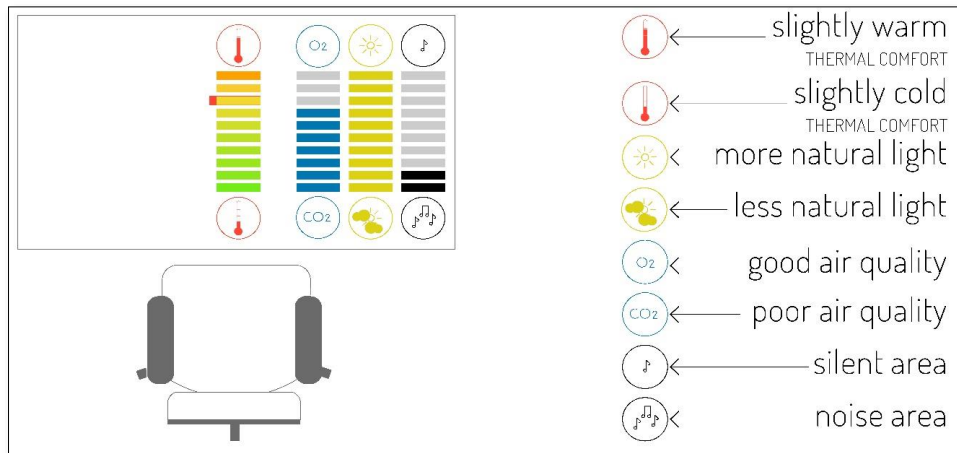
PPD – kedvezőtlen hőérzet várható százalékos valószínűsége [%].

### 5.2.8 Mért és számított eredmények ábrázolása, komforttérkép vizualizálása

Az előzőekben bemutatott módszerekkel kapott eredmények ábrázolása történhet a paraméterek mezők formájában, illetve a paraméterek skálán való ábrázolásával, valamint ezek kombinációjával. Amennyiben a komforttérképen több komfortparamétert kívánunk megjeleníteni, úgy az átláthatóság szempontjából célszerű a mezők és skálák kombinációjával történő ábrázolás. Ekkor a mező egyes részein szint rendelünk az adott komfortparaméter értékéhez, így szemléltethető a tér különböző pontjainak eltérése. Az így kialakult komforttérképen az egyes pontokhoz skálákat rendelhetünk, melyek reprezentatívan mutatják az egyéb komfortparaméterek alakulását.

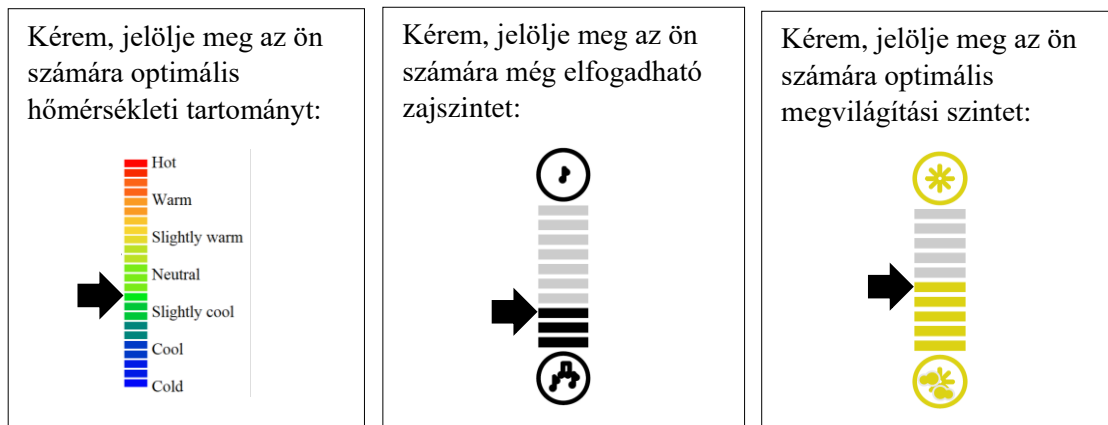
Jelen kutatás egy olyan irodaházban folyik, ahol foglalási rendszert alkalmaznak a munkaállomások megválasztására, így kézenfekvő, hogy a foglalási rendszerben ábrázoljuk komfortparamétereket, így segítsük a felhasználót a választásában.

– *Kutatási területem a hőkomfortra fókuszál, a többi komfortparaméter (megvilágítás, zaj, légminőség, stb...) mérése és Komforttérképbe történő implementálása a Parametrizált komfort a fizikai terekben kutatócsoport tagjaihoz köthető, az eredmények bemutatása a komplex átláthatóság érdekében történik.* –



61. ábra Komfortparaméterek ábrázolása munkaállomásonként

Az információtartalmát tekintve információt kapunk a munkaállomáson kialakuló hőérzetről (PMV), a természetes megvilágítás szintjéről, a zajjal kapcsolatos komfortszintről. Ezek ismeretében akár egy szűrő segítségével is megtörténhet a munkaállomások kiosztása, foglalása.

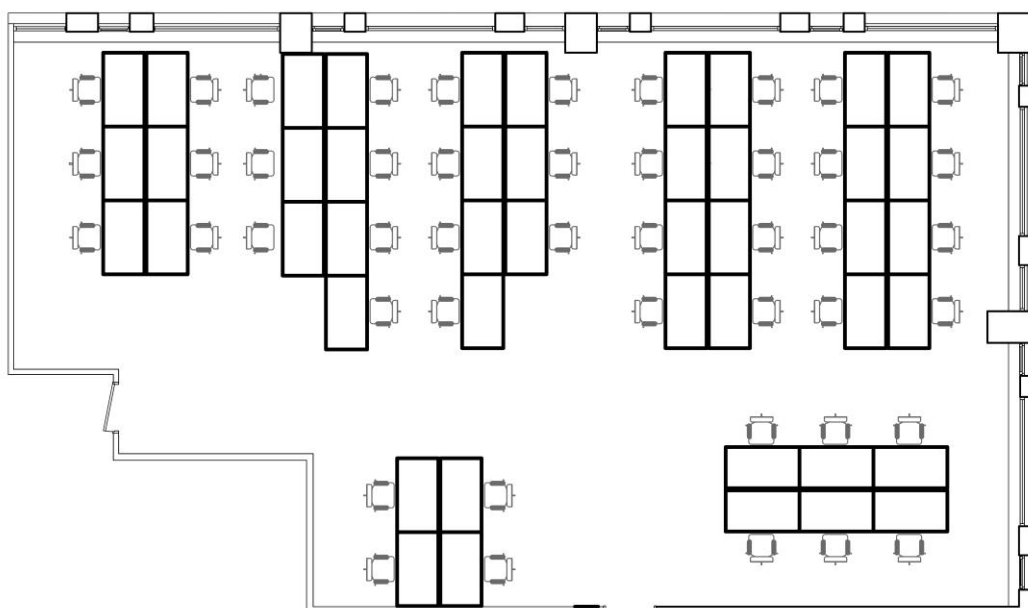


62. ábra Információbekérés komfort szerinti munkaállomás választáshoz

Az asztalfoglalás során csak olyan paramétereket kell bekérnünk a felhasználótól, melyre nagy eséllyel releváns választ kapunk. Ilyen a hőérzet, a megvilágítási szint, a zajszint. Amennyiben a foglalás egyesével, felhasználói szinten történik, mindenki a saját maga számára legkedvezőbb helyet választja. Ennek köszönhetően a szélsőséges elégedetlenségek száma nagymértékben csökken, a globális elégedettség nő.

Kutatásunk során egy olyan multinacionális IT szektorban dolgozó céget kerestünk fel, mellyel több éve fennálló együttműködésünk van. A vizsgált irodaházban több, mint 2000 fő dolgozik, nagyméretű nyitott, open office irodákban, share-desk megoldással. Kutatásunkra etikai engedélyt kértünk az Egészségügyi Tudományos Tanács - Tudományos és Kutatásetikai Bizottságtól (ETT TUKEB), melyet engedélyeztek (ügyiratszám: 49506-2/2018/EKU).

A kutatás során több nagyméretű irodában végeztünk méréseket, az elvégzett mérések alapján került kijelölésre egy a komforttérkép alkalmazási lehetőségeinek kimutatására legalkalmasabb helyiség, ahol további nagyszámú mérést végeztünk. A mérések a 63. ábrán feltüntetett munkaállomásokon történtek. A projekt során a következő komfortparamétereket mértük: a megvilágítást, a zajszintet, a CO<sub>2</sub> (szén-dioxid) koncentrációt, a hőkomfort tényezőket (lég hőmérséklet, a környező felületek sugárzásos hőmérséklete, légsebesség, páratartalom). Minden mérést kalibrált mérőeszközzel végeztünk.



63. ábra A vizsgált iroda alaprajza

A nagyszámú mérések felhasználásával előállítottuk a komfortterképet, a legfontosabb eredmény érdekében. A mérések eredményét a terjedelemre való tekintettel csak egy munkaállomásra mutatja a 15. táblázat.

15. táblázat Egy munkaállomás mért és számított adatai

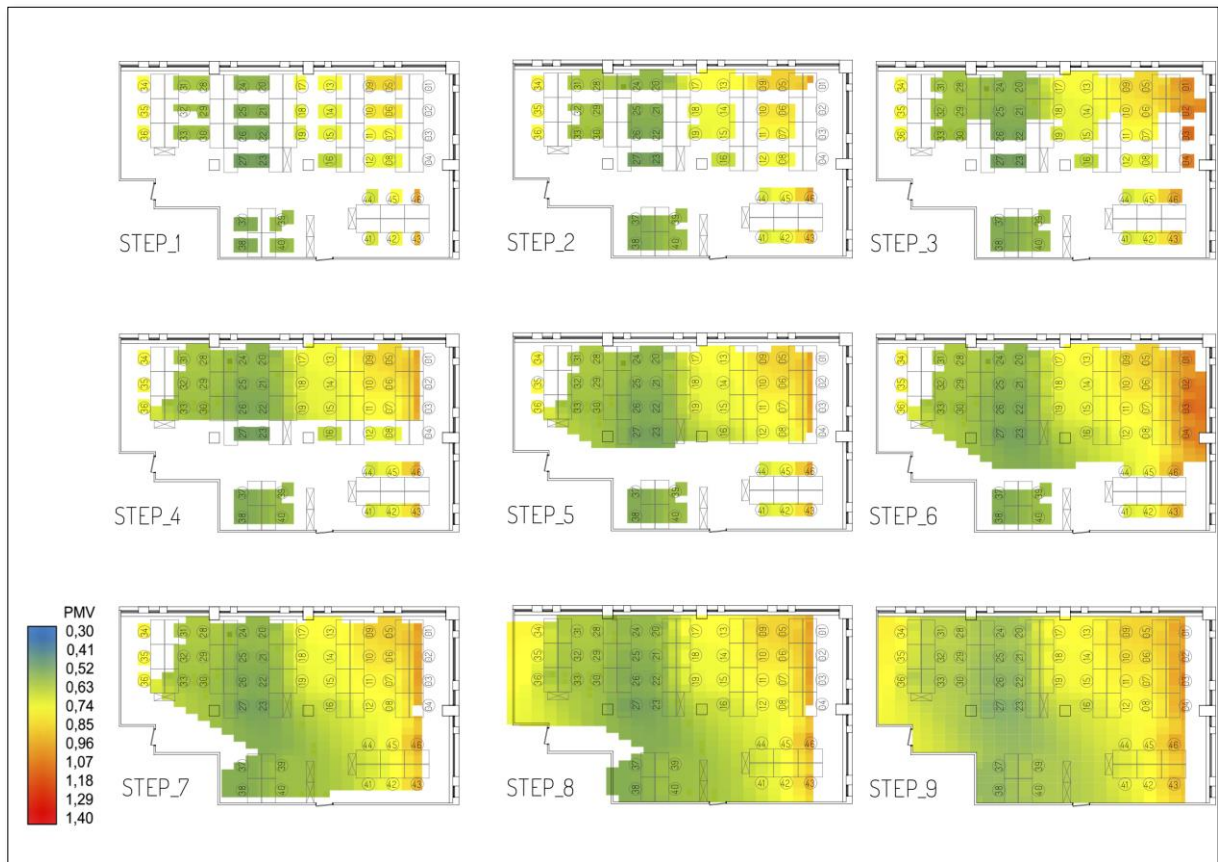
Munkaállomás jele	PMV	PPD	CO <sub>2</sub>	DF (%)	RT60 (sec) / L <sub>A</sub> (dB)	v [m/s]
6	0,82	19,3	710	5,0	0,51/45.7	0,124

16. táblázat A mért komfort paraméterek minimum és maximum értékei

Mért komfortparaméter	Attribútumok	Értékek	Referencia értékek
Vizuális komfort	DF (%)	0,7 – 15,1	≥ 2
Akusztikai komfort	RT60 (sec)	0,31 – 0,56	0,3 – 0,6
	L <sub>A</sub> (dB)	46,1 – 49,9	40
Hőkomfort	PMV	0,51 – 1,08	lásd 15. ábra
	PPD	10,51 – 29,74	lásd 15. ábra
Légminőség	CO <sub>2</sub> koncentráció (ppm)	655 - 1060	1000

A hőkomfort paraméterek mérése az előzőekben ismertetett szempontoknak megfelelően 1,1 m magasságban történt. A tényleges mérés előtt a műszerek aklimatizációs idejének időtartamát (20-30 perc) megvártuk, különös tekintettel a nagy tehetetlenségű glóbusz hőmérőre. A méréssorozat két lépcsőben történt, elsőként 2019. decemberében, majd 2020. márciusában végeztük a méréseket. Az első méréssorozat alkalmával több irodahelyiséget vizsgáltunk alacsony mérési sűrűséggel, majd a komfortterkép koncepciójának validálása szempontjából legalkalmasabb irodában (63. ábra) mind a 45 munkaállomáson megtörtént a komfort paraméterek mérése. A mérések egyenként 5 percesesek voltak, az adatokat másodpercenként rögzítettük, mely munkaállomásonként 300 mérési adatot jelentett (mért fizikai paraméterenként). Ez elegendő volt a mérési hibák és zavaró jellemző kiszűréséhez. A mérési adatok kiértékelése automatikusan történt, de minden adatsort felülvizsgáltunk. A méréseket munkanapon, az irodater átlagos kihasználtsága mellett végeztük. A mérési adatok interpolációval

történő kiterjesztésével létrehoztam a vizsált tér hőérzeti komforttérképét. Az iterációs folyamat főbb lépéseit a 64. ábra mutatja.



64. ábra A mérési adatok interpolációval történő kiterjesztésének főbb lépései

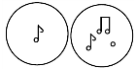
Az így elkészült komforttérkép lehetőséget ad a komfortparaméterek ábrázolására a tér minden pontján, láthatóvá válnak a tér különböző hőérzeti besorolású pontjai, illetve skálák formájában ábrázolva minden mért komfortparaméter ábrázolható. A kutatás során ábrázolt komfortparaméterek a következők: zaj, légminőség, megvilágítás, hőérzeti érték. A komfortparaméterek ábrázolása során különös tekintettel kell lenni arra, hogy a laikusok számára is érthető módon kerüljenek a paraméterek ábrázolásra. Ennek legcélszerűbb eszköze a piktogramok, szimbólumok formájában történő megjelenítés.



Az egyes szimbólumok a következő módon segítenek az optimális munkaállomás kiválasztásában:



A *hőkomfort* szimbólum a hőérzeti tartományt jelzi. A skálán feltüntetett fokok az iroda hőmérsékleti tartományán belüli relatív hőmérsékletkülönbségeket mutatják (nem Celsius vagy Fahrenheit fokot).



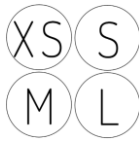
A *akusztikai komfort* szimbólum az irodai háttérzaj egy adott munkaállomásra jellemző mértékét jelzi.



A *vizuális komfort / megvilágítás* szimbólum az adott munkaállomás természetes fény általi megvilágítottságát mutatja.

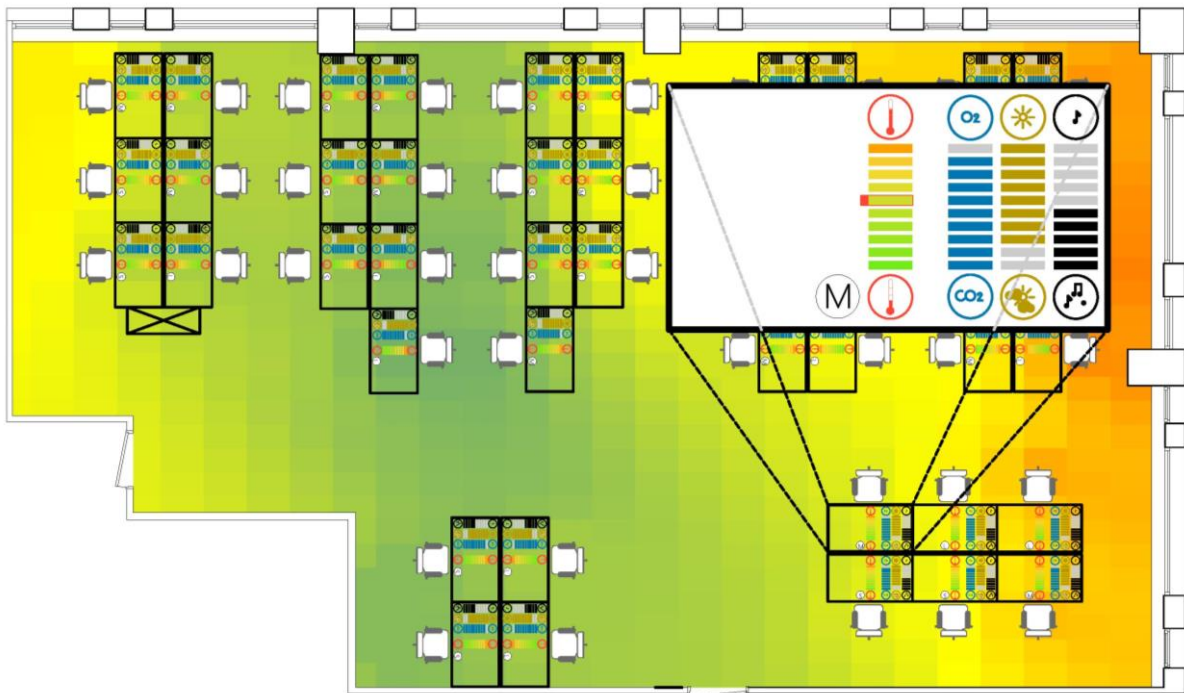


A *légminőség* szimbólumok a munkahely levegőminőség-jellemzőit mutatják.



Az XS, S, M, L, XL jelzések az adott munkaállomás asztaljának magasságát jelzi (XS=68 cm, S=72cm, M=74 cm, L=76 cm és XL=80 cm). E jelzés segítségével mindenki az egyéni testmagasságának leginkább megfelelő magasságú munkaállomást választhatja ki.

A skálák kialakításánál figyelembe vettük, hogy az adott tartományhoz ne társuljon negatív érzés, így a skála színe a lehetséges munkaállomások lefoglalását követően dinamikusan változik. Ezáltal minden esetben a lehető legjobb elérhető munkaállomáshoz a zöld szín társul.



65. ábra A kutatás során mért összes komfortparamétert ábrázoló komforttérkép

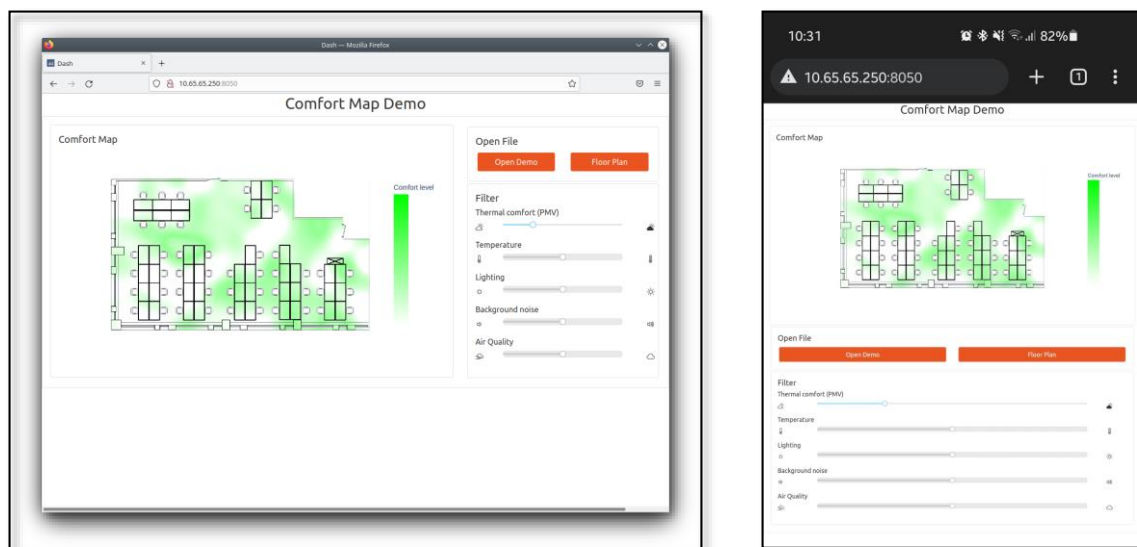
A komforttérkép előnye, hogy leegyszerűsített módon ábrázolja a diszkrét pontok közötti különbségeket a komfortparaméterek tekintetében, ezt átlátható, felhasználóbarát módon teszi.

A komforttérkép alkalmazását megkönnyíti az a helyzet, hogy a komforttérkép a munkaállomások foglalásához használt foglalási rendszer részeként is megjeleníthető, és az alkalmazás kínálta szűrők segítségével az egyéni komfortelvárásnak leginkább megfelelő munkaállomás választható ki.

Az egyes komfortparaméterek egyéni szabályozhatósága a komforttérkép használatával szintén megoldottá válik, mivel a munkavállaló nem kényszerül egy adott munkahelyen dolgozni, ahol nem áll módjában a komfortparamétereket szabályozni, hanem az igényeinek megfelelően választhatja meg a számára optimális komfortparaméterekkel rendelkező munkaállomást.

Véleményem szerint az analógia kiterjeszhető minden olyan komforttérre, ahol a térben tartózkodók helyzete nem rögzített, mint például a fekvőbeteg elhelyezésre. A koncepció szerint, amennyiben ismert a fekvőbetegek preferenciája, akár a megkérdezésük, akár a kórtörténetük alapján, úgy a legmegfelelőbb hely választható meg számukra. Természetesen tisztában vagyok azzal, hogy a MSZ EN ISO 7730 szabványban rögzített PMV-PPD módszer nem alkalmazható teljes egészében a betegségben küszködő emberek komfort szempontú vizsgálatára, de véleményem szerint a komforttérkép koncepciója kiterjeszhető erre a szegmensre, mely további kutatást igényel. A komforttérkép könnyen elérhető mérőeszközökkel, szabványosított módon előállítható, így alkalmazása, a széles körben való elterjedése könnyedén megvalósítható.

### 5.3 Komforttérkép applikáció bemutatása



66. ábra Komforttérkép applikáció prototípusa

A kutatás során elkészült a komforttérkép alkalmazás prototípusa, mely alkalmas arra, hogy kép formátumban beolvassa az ábrázolni kívánt alaprajzot és a mért adatokat, melyek felhasználásával előállítja a bemutatott komforttérképet az adott helyiségre. A 66. ábra a komforttérkép applikáció prototípusát mutatja. A felhasználói felületen lehetőség van a személyes preferenciák beállítására, mely alapján a szoftver képes a tér színezését annak függvényében változtatni, hogy mely helyeken mért adatok felelnek meg az általunk beállított preferenciáknak. A preferenciáknak való megfelelést az alkalmazás úgy jeleníti meg, hogy a mért, illetve interpolált paraméter és a beállított preferencia érték abszolút különbségét veszi, és ehhez rendel színskálát. Így a térképen a beállított preferenciához közel álló területek lesznek megjelölve. A beállított paraméterekből készült térképet és a vizsgált helység alaprajzát egyszerű kompozitálással vetíthetjük egymásra.

Az alkalmazás fejlesztés során azt a célt tűztük ki, hogy különböző eszközökön, például mobiltelefonon, tableten vagy számítógépen hasonló felülettel találkozzon a felhasználó, ezért webalkalmazás formájában készült a grafikus felhasználói felület. A webalkalmazásban történő megjelenítés további előnye, hogy futtatása megoldható helyi számítógépen, de akár felhő szolgáltató

szerverein is. A webalkalmazáshoz használt keretrendszer a Dash<sup>1</sup>, amely a webes grafikai elemeken kívül tartalmazza a webszerver szolgáltatást is, így az alkalmazás elkészítéséhez elegendő volt a komfortparaméterek feldolgozásához és a komforttérkép generálásához szükséges programokat megírni.

#### 5.4 A komforttérkép vertikális, háromdimenziós kiterjesztésének koncepciója

Az előzőekben bemutatott komforttérkép egy síkon, az adott teret használók jellemző súlypontjában ábrázolja a hőkomfort paramétereket, illetve fejmagasságban az egyéb komfortparamétereket (zaj, megvilágítás, légminőség). Ennek oka, hogy az elterjedt mérési eljárások, mint a hőkomfort mérő állomással (TESTO 400) történő mérés az MSZ ISO 7730 szabvány alapján egy pontra vetítve határozza meg a hőkomfort mutatókat. Viszont egy valóságos környezetben a tér fizikai paraméterei, különböző módon fejtik ki hatásukat az egyes testrészek tekintetében. Például egy szellőztetett helyiség esetén a ruhával nem borított testrészekben intenzívebb hőáramlás alakulhat ki. Továbbá az eltérő felületi hőmérsékletekből adódóan az egyes testrészek és környező felületek közötti sugárzásos hőáram különbsége miatt a sugárzási aszimmetria káros hatásai is jelentkezhetnek. Kutatások bizonyítják, hogy a sugárzási aszimmetria hatása növeli az elégedetlenek várható százalékos arányát (PPD) [51].

Ezen felül bizonyos embercsoportok esetében intenzívebb érzékenységet tapasztalhatunk a tér vertikális hőmérsékleteloszlásával szemben. Emellett amennyiben a vertikális hőmérsékleteloszlás szélsőértékei nagyban eltérnek, úgy jelentős lehet az elégedetlenek várható százalékos arányának (PPD) növekedése, annak ellenére, hogy a teret használók súlypontjában mért hőérzeti mutatók megfelelnek. Ennek tipikus esete, amikor a hideg padló, légfűtési megoldással (pl. kazettás Fan-Coil) társul, ekkor a hideg padló miatt az alacsonyabb rétegekben mért hőmérséklet lényeges különbséget mutat a tartózkodási zónában kialakuló hőmérséklethez képest.

A leírtak alapján kijelenthető, hogy a komforttérképnél célszerű a komfortparaméterek vertikális eloszlását is számításba venni, legalábbis azon komfortparaméterek tekintetében, melyek eltérően hatnak a test különböző pontjain (pl. léghőmérséklet, légsebesség, páratartalom, sugárzás stb.). A számítástechnika, a mérési eljárások fejlődésével ez mára kivitelezhetővé vált. A CFD alapú szimulációs eljárások képesek a tér minden pontjára meghatározni a hőkomfort mutatókat (PMV, PPD) [52], illetve az ismert mesterséges intelligencia eszközök is alkalmasak a mért hőkomfortparaméterek vertikális irányú kiterjesztésére.

A hőkomfort paraméterek háromdimenziós kiterjesztésének legalkalmasabb eszköze a termikus mérőbábu, hiszen a felépítéséből adódóan jól szimulálja egy valódi embert felépítését, valósabb képet ad az egyes testrészekre meghatározott hőkomfort mutatók terén. A termikus mérőbábu képes az egyes testrészekre, azok felosztásának függvényében a rájuk vonatkozó konvekciós és sugárzásos hőáram meghatározására. Ezt kiegészítve egy hőkomfort mérőállomás által mért fizikai paraméterekkel kialakítható egy olyan hőtechnikai modell, mely a testrészek bontásában képes a várható hőérzet meghatározására. Ebben az esetben, viszont nem alkalmazható a MSZ ISO 7730 szabványban rögzített PMV-PPD módszer, hiszen a komfortegyenleteket a teljes testre írják fel, mely tartalmazza a sugárzásos, a konvekciós, a látens, az izzadással történő és a légzéssel történő hőleadást is, így adott testrésze nem értelmezhető.

Ennek a problémának a feloldására célszerű a felületi hőmérsékletre, illetve a hőáramokra támasztott követelményértékeket meghatározni, melyet több kutatás is közzétesz.

A bemutatott koncepció kidolgozása jelenleg is folyamatban van. A követelményértékek meghatározására szubjektív élőalanyos kutatást tervezek végrehajtani, mely során az élőalanyos

---

<sup>1</sup> <https://plotly.com/dash/>

kérdőíves kutatás eredményeit kívánom összevetni a termikus mérőbábuval mért eredményekkel, illetve a szakirodalomban található adatokkal.

## 5.5 A dinamikus komforttérkép koncepciója

Napjainkban mindenki számára elérhetővé váltak az olyan eszközök, melyek képesek a tér hőmérsékletének, páratartalmának, megvilágítási szintjének folyamatos rögzítésére és ezt felhő szolgáltatásban tárolják. Természetesen a lakossági felhasználásban értékesített termékek mérési pontossága nem laboratóriumi szintű, ezért a kutatás során felkerestünk olyan partnereket, akik az általunk vizsgált paraméterek mérésére kínálnak professzionális eszközöket, ilyen például Siemens.

A komforttérkép vizualizálására kifejlesztett, mesterséges intelligencia alapú program alkalmazható oly módon, hogy a felhőben tárolt, folyamatosan frissülő adatokat felhasználva *real time* frissítse a megjelenített komforttérképet. Ennek köszönhetően az év minden napján, minden időpillanatban valós képet kapunk a komfortparaméterekről, mely nagymértékben növeli komforttérkép hatékonyságát.

Az ezzel kapcsolatos kutatások jelenleg is folynak, olyan mérőállomás kifejlesztésén dolgozunk, melyet a tér különböző pontjain elhelyezve képesek lehetünk az adatok felhőben történő tárolására, lehetőleg adatvezeték nélkül. Az egyes mérőállomásokat a minimum mérésszám meghatározását bemutató fejezet szempontjai alapján célszerű elhelyezni.

A komforttérkép alkotás módszere ebben az esetben mesterséges intelligencia alapú lenne, hiszen a folyamatos monitorozás alkalmával nem áll módunkban minden komfortparamétert a tér több pontján egyidőben mérni költség és időhatékonyan. A mesterséges intelligencia „tanítása” közben viszont a vizsgált térben az egyes fizikai paraméterek közötti kapcsolat a függvényillesztés kapcsán ismert. Amennyiben a mesterséges intelligenciát megfelelő mértékben feltöltöttük tényszerű, mért adatokkal, úgy képes csak egy-egy mért fizikai paraméter megváltoztatásával is meghatározni a megváltozott hőkomfort paramétereket. Tehát a mesterséges intelligenciát egyfajta fejlett „*Black box*” modellként használva alkalmazható a hőkomfort paraméterek meghatározására, amennyiben az adott térben már történt korábban ilyen jellegű mérés.

## 5.6 A komforttérkép alkalmazásának egészségvédelmi szempontjai

A munkahelyi környezet minősége és a munkahelyi hatások összessége a munkavállalók egészségi állapotára meghatározó hatást gyakorol. Mindebből következően a munkahelyi egészségfejlesztés területén az egészségvédelmi feladatok mind nagyobb fontossággal jelennek meg. Az egészséges munkahely olyan munkahely, ahol a munkavállalók és a vezetők folyamatos figyelmet fordítanak az egészséges munkakörnyezet kialakítására, valamint a munkavállalók biztonságának és jólétének védelmére [53]. Napjainkban az egészséges munkahelyek kialakításával kapcsolatos feladatrendszer jelentős változáson ment keresztül. A papírintes munkára való áttérés következtében az irodai dolgozók a munkaidejük nagy részét a munkaállomások mellett töltik [54]. Ebből következően az olyan egészségkockázatok, mint a munkavégzés közbeni nem megfelelő testtartás, a számítógépes monitor okozta látásterhelés, vagy a zavaró beltéri környezetminőség okozta diszkomfort érzések elsősorban azzal függnek össze, hogy a munkavállalók gyakran akár tíz órát is ülnek egy munkanapon [55].

A rendszeresen hosszabb ideig ülő helyzetben töltött idő növeli a szív- és érrendszeri betegségek és a 2-es típusú cukorbetegség [56], a metabolikus szindróma [57], valamint a vastagbél-, petefészek-, prosztataadaganatok kockázatát [58] [59] [60]. Az irodai dolgozók körében mindemellett a depresszió és más mentális betegségek kockázata is jelentősen emelkedett [61]. Következésképpen az irodai környezetben végzett munka számos egyéb munkahelyhez hasonlóan jellemző és meghatározó egészségkárosító tényező lehet [62] [63]. Nem meglepő tehát, hogy a beltéri környezet

komfortparaméterei – úgy is, mint a vizuális komfort, az akusztikai komfort, a levegőminőség és a termikus komfort – az irodai dolgozók általános komfortérzetét és egészségét jelentősen befolyásolják [64].

A vizuális komfort feltételei és a fényviszonyok a dolgozók hangulatát, éberségét és figyelemét nagymértékben alakítják [65] [66]. A közös használatú irodaterekre jellemző irodai zajterhelés fokozza a stresszérzetet, és gyakran okoz olyan fáradtságot és kimerültséget, amely nem a munkaterhelésre vezethető vissza [67] [68] [69] [70] [71], továbbá a kedvezőtlen akusztikai hatások a kognitív képességeket és a teljesítőképességet is csökkenthetik [72] [73] [74]. A kedvezőtlen hőkomfort paraméterek (a levegő hőmérséklete, páratartalma és a légáramlás intenzitása) az általános egyéni diszkomfortérzet kialakulásának esélyét jelentősen növelik, továbbá a „sick building”, magyarul „beteg épület” szindrómának (továbbiakban SBS) nevezett tünetegyütes kialakulásához is hozzájárulhatnak. Az SBS okozta jellemző panaszok a szemviszketés, könnyezés, orrfolyás, száraz és viszkető bőr, fejfájás, hányinger, fáradtság és koncentrációs problémák [75]. A beltéri levegő minőségét tekintve a széndioxid-koncentráció meghatározó fontosságú: a 800 ppm értéket meghaladó minden további 250 ppm koncentrációnövekedés a torokfájás, orr- és orrmelléküreg-irritáció, mellkasi szorítás és nehéz légzés érzetének esélyét szignifikánsan növeli [76] [77] [78] [79] [80]. Mindezek a kutatási eredmények egyértelművé teszik, hogy az komfort paraméterek az irodai dolgozók egészségére és komfortérzetére valós hatást gyakorolhatnak.

Kutatási adatok alátámasztják, hogy azok az irodai dolgozók, akik a munkakörnyezetükben akár a világítást, akár a hőmérsékletet szabályozni tudják, ritkábban szenvednek az SBS tüneteitől, hosszabb időn keresztül képesek koncentráció- és teljesítőképességüket fenntartani, valamint az általános komfortérzetüket is kedvezőbben értékelik, mint azok a munkavállalók, akik számára a komfortparaméterek – vagy azok közül néhánynak – egyéni szabályozási lehetősége nem biztosított [81] [82] [83] [84] [85].

Az eddigi megállapítások egyértelműen igazolják, hogy az irodai munkakörnyezetben dolgozók számos egészségkockázatnak vannak kitéve. A komforttérkép alkalmazásával segíthető az irodai dolgozók komfortérzetének javítása, és az irodai munkavégzéshez köthető egészségkockázatok csökkentése.

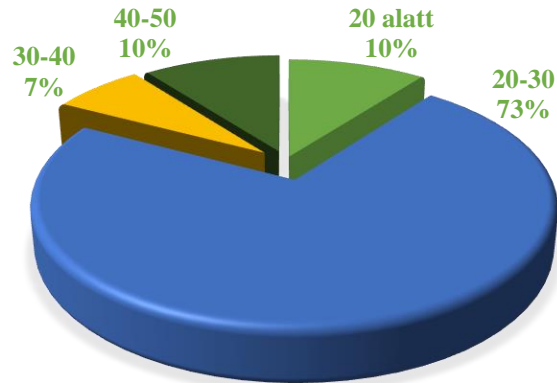
## 5.7 Élőalanyos mérések

A Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kar Épületgépész- és Létesítménymérnöki Tanszékén lévő, Magyarországon egyedülálló, a Dán PT-Teknik gyártmányú termikus mérőbábu rendelkezik egy ún. „Comfort” móddal, mely a termikus mérőbábuk körében nem elterjedt eljárás alapul. A gyártó elmondása szerint csak az általuk gyártott termikus mérőbábuk rendelkeznek ezzel a szabályozási móddal. Tekintettel arra, hogy egy ilyen mérőbábu bekerülési költsége több, mint 50 MFt, így nem elterjedt világszerte (az amerikai *Newton* típus hozzávetőleg ennek a duplája). Csak néhány darab található Európában. A gyártó elmondása alapján a „Comfort” móddal végzett mérések jóval jobban szimulálják az emberi hőháztartást, mint az elterjedt állandó felületi hőmérséklet tartás vagy az állandó teljesítmény tartás módszerével végzett mérések.

A hőkomfort vonatkozású élőalanyos mérések során magyarországi viszonylatban még nem alkalmazták a termikus mérőbábu komfortegyenlet alapján történő szabályozását, így nem állnak rendelkezésre adatok annak kapcsán, hogy az ún. „Comfort” módban meghatározott hőérzeti értékek (PMV) és az elégedetlenség várható százalékos aránya (PPD) összhangban van-e a szubjektív megítélés vizsgálatára alkalmazott kérdőívekre adott válaszokkal.

Az élőalanyos mérések további céljaként azt határoztam meg, hogy összevessem a termikus mérőbábu komfortegyenlet alapján történő szabályozása esetén és a hőkomfort mérő állomás (TESTO 400) által mért komfortparamétereket.

A élőalanyok bevonásával zajló kutatás során a Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Karán az Épületgépész- és Létesítménymérnöki Tanszék Hőtechnikai laboratóriumában végeztem méréseket. A kutatásban 29 alany vett részt. A szakirodalom minimum 15 főt határoz meg ilyen jellegű kutatásokhoz. Az alanyok 19-46 év közötti egyetemi polgárok, zömében 20-30 év közötti férfiak. Az alanyok kor szerinti eloszlását a 67. ábra szemlélteti.



67. ábra A résztvevő alanyok kor szerinti eloszlása

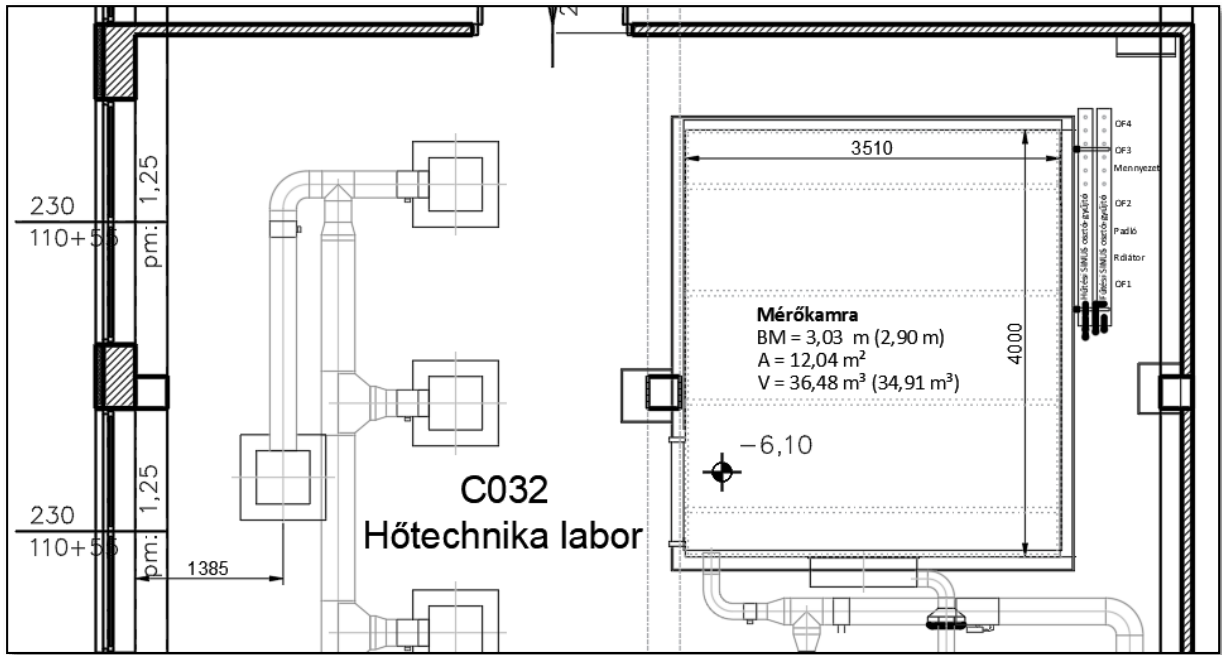
Az alanyok öltözetét tekintve irányított volt a vizsgálat, mindenkitől azt kértük, hogy azonos ruházatban vegyen részt a mérésen, mely megegyezett a termikus mérőbábu ruházatával (75. ábra), hozzávetőleg  $I_{cl} \approx 0,65$  clo hőszigetelő képességgel. Arra kértük a résztvevőket, hogy a mérés során lehetőség szerint ne módosítsanak a ruházatukon, ha mégis szükségesnek ítéli, jelezzék azt. Az azonos ruházat biztosítása érdekében váltás ruházatot biztosítottunk azok számára, akik nem a megadott paramétereknek megfelelő ruházatban érkeztek. A méréssorozat egy héten keresztül tartott alanyonként 2 órás váltásban. Az alanyok minimum 1,5-2 órát törlöttek a klímakamrában. A vizsgált alanyoktól minden esetben tájékoztunk az egészségügyi állapotukról, a korábbi tevékenységükről. Az alapvető kérdéseken túl testhőmérséklet mérés is történt. A vizsgálat során minden alany egészségesen, kipihenten, jó közérzettel érkezett a mérésre.

A vizsgálatban résztvevő alanyokat csak a szükséges mértékben avattuk be a kutatások tárgyába, illetve a mért értékekről sem kaptak tájékoztatást a mérés közben, hogy ez által ne befolyásoljuk a szubjektív véleményüket.

A kamra légállapotának beállítása során arra törekedtünk, hogy a teljes vizsgálat során azonos, semleges hőérzet alakuljon ki. A klímakamra felépítését és a beállított felületei, illetve léghőmérsékleteket a következő fejezetben ismertetem.

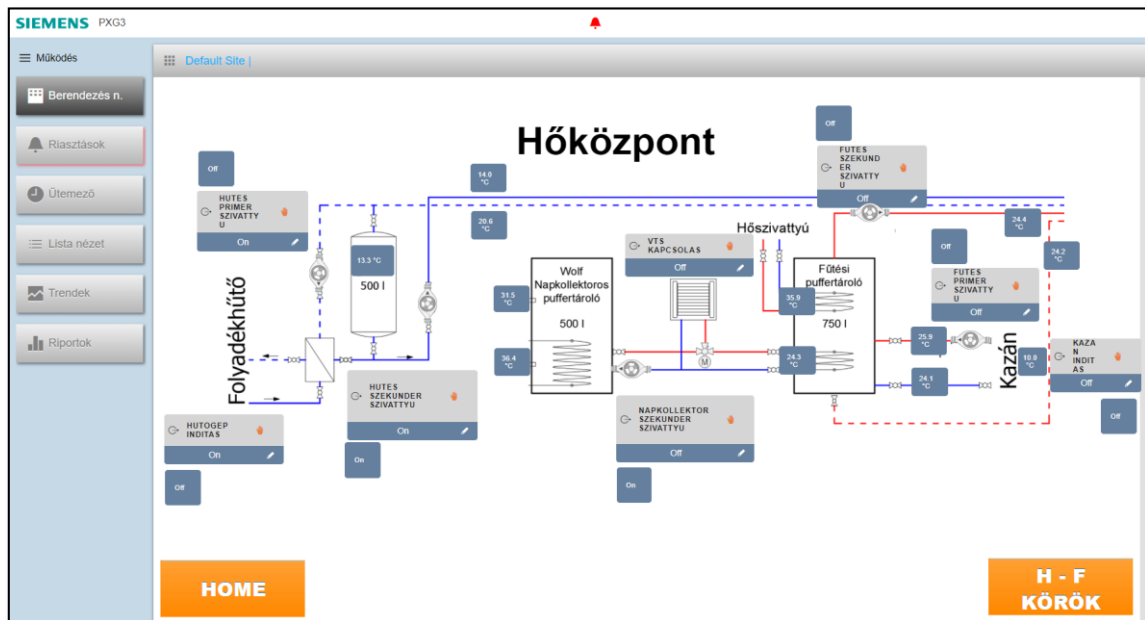
### 5.7.1 Laboratórium bemutatása

A méréseket a Hőtechnika laboratóriumban kialakított mérő kamrában végeztük. A kamra egy eredetileg fűtő és hűtőberendezések hőtechnikai mérésére kialakított belső helyiség, mely minden tekintetben megfelel a hőkomfort vizsgálatok elvégzésére. A mérőkamra méretei a következők: 4,00 m (hosszú) x 3,51 m (széles) x 3,03 m (belmagasságú) helyiség, melynek alapterülete: 12,04 m<sup>2</sup>, térfogata 36,48 m<sup>3</sup>.



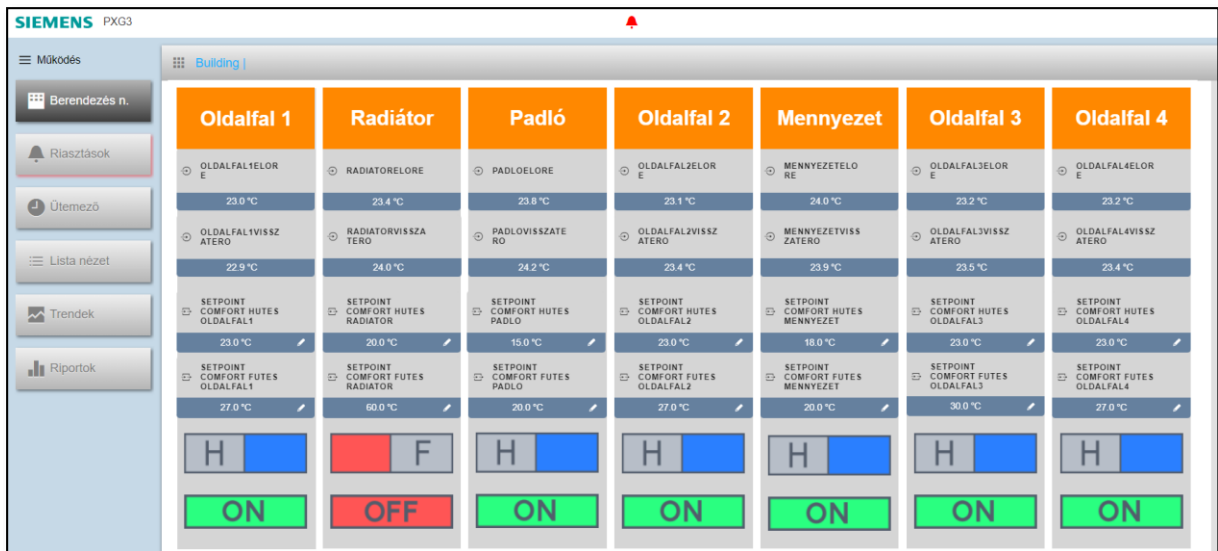
68. ábra Hőtechnika laboratórium részleges és a mérőkamra alaprajza

A mérőkamrának nincs külső térrel határos fala, valamint minden felülete felületfűtéssel, hűtéssel kialakított felület. A falak és padló külön-külön igény szerint, tetszőleges kombinációban tudnak fűteni vagy hűteni. A beltéri zárt környezetet elsősorban az előremenő víz hőmérséklet állításával lehet szabályozni egy Siemens felügyeleti rendszeren keresztül. Így a falak felületi hőmérséklete közel állandó értéken tartható. A mérőkamra valamennyi határoló felülete a környezet felé 10 cm hőszigeteléssel rendelkezik.



69. ábra Siemens felügyeleti rendszer hőközponti kezelőfelülete





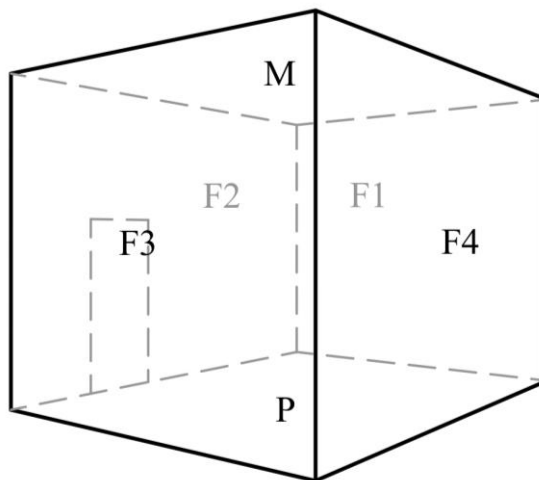
70. ábra Siemens felügyeleti rendszer fűtő-hűtő körök kezelőfelülete

A mérések során jellemzően a felületeket hűtöttük, hiszen a mérőbábu, a világítás, a méréseket vezérlő számítógép, az élőalany hőterhelésként jelentkezett. A nagy hőterhelésű berendezéseket, mint például a termikus mérőbábu és egyéb mérőeszközök tápegységeit a kamrán kívül helyeztük el, hogy minél kevésbé zavarják a mérést. A világítótestek ledes, kis teljesítményű lámpák voltak. A mérőkamrát egy központi szellőztető berendezés látja el friss levegővel, mely rendelkezik hővisszanyerővel, a befűvés a mennyezet alatt, az oldalfalon elhelyezett résbefűvővel megoldott. Ennek ellenére a szellőztetést csak a két mérés közötti időben kapcsoltuk be, hogy ne zavarja a mérést, de mégis alacsony értéken tartjuk a CO<sub>2</sub> koncentrációt. A térben a légsebesség minden esetben kevesebb mint 0,1 m/s volt.

### 5.7.2 A mérőkamrában kialakuló fizikai paraméterek mérése

A mérőkamra minden felületét (padló, mennyezet, falak) termoelemekkel mértük. Minden felületen több mérési pontot alakítottunk ki, hogy a mérési hibákat kiküszöböljük. Mértük továbbá a helyiség közepén a léghőmérsékletet, az ambiens hőmérsékletet, valamint a gömbhőmérsékletet. A mérésekre ellenállás hőmérőket és termoelemeket alkalmaztunk.

Csatorna	Felület
1. csatorna	F1
2. csatorna	F1
3. csatorna	F2
4. csatorna	F2
5. csatorna	F3
6. csatorna	F3
7. csatorna	F4
8. csatorna </td <td>F4</td>	F4
9. csatorna	P
10. csatorna	P
11. csatorna	Szabadon álló
12. csatorna	Árnyékolt
13. csatorna	Kamrán kívül

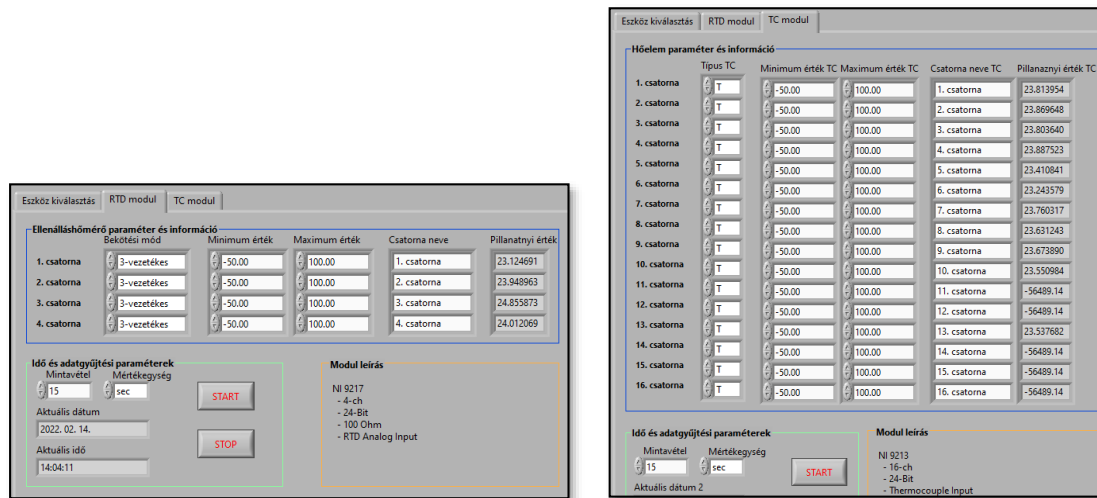


71. ábra A mérőkamra felületein elhelyezett hőmérséklet érzékelők

A mérés vezérlését egy LabVIEW rendszertervezési platformon és fejlesztőkörnyezeten kialakított szoftverrel végeztük, mely egy National Instruments típusú mérési adatgyűjtővel lehetőséget biztosít a

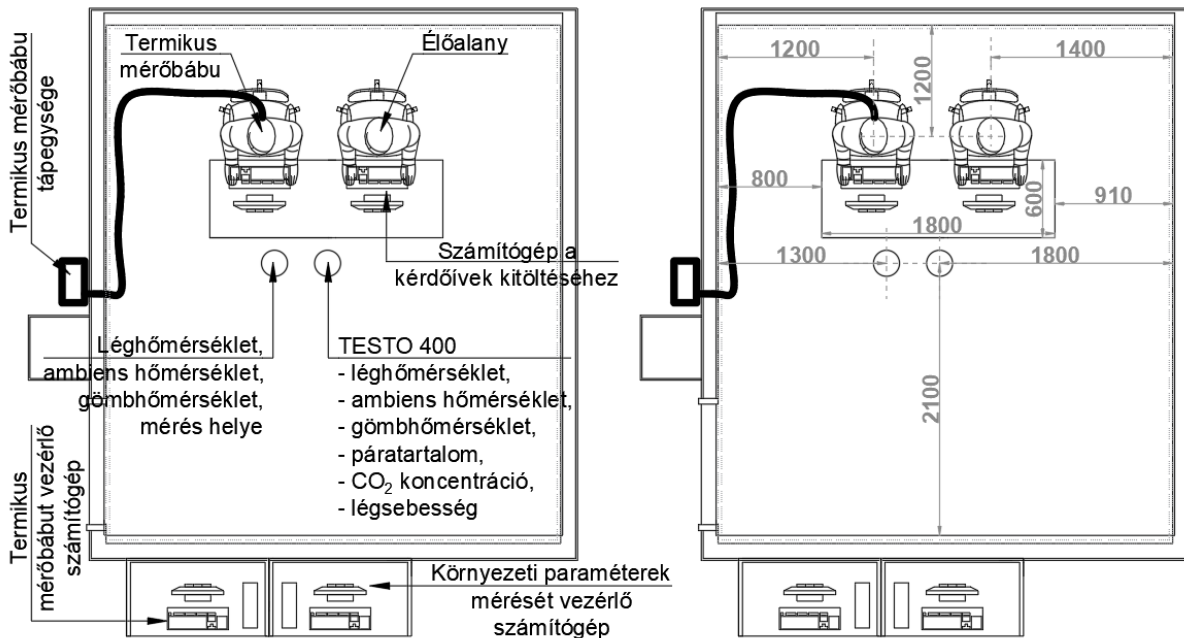


pillanatnyi hőmérsékletek megfigyelésére, az adatok igény szerinti gyakoriságú rögzítésére. A mérések során 15 másodpercenként rögzítettük a mért adatokat.



72. ábra Környezeti paraméterek mérését vezérlő szoftver kezelőfelülete: bal oldalon az ellenállás hőmérők (NI9217), még jobb oldalon a hőelemek (NI9213) mért adatai és beállítási értékei

A kiértékelés során a különböző felületen mért felületi hőmérsékleteket átlagoltam. Az érzékelők működését és pontosságát, a mérés megkezdése előtt és után egy kalibrált mérőműszerrel ellenőriztem. A vizsgálat során mind a termikus mérőbábuval, mind pedig a TESTO 400 multifunkciós, a hőkomfort paraméterek mérésére alkalmas hőkomfort mérőállomással is méréseket végeztem. Ezen eszközök esetén is 15 másodperces mintavételezést alkalmaztam. Az alany, a mérőeszközök és a fontosabb berendezések elhelyezését a 73. és 74. ábra mutatja.



73. ábra Mérési installáció az élőalanyos mérési sorozat során



74. ábra Fénykép a mérési installációról az élőalanyos mérési sorozat során

### 5.7.3 A mérőbábus méréshez kapcsolódó mérési módszer ismertetése

A komforttérkép koncepciójának kidolgozása során azt a peremfeltételt fogalmazzuk meg, hogy a komforttérkép a közel megfelelő, vagy legalábbis még elfogadható hőérzeti besorolású terekben kíván segítséget nyújtani a különböző preferenciák hatásainak figyelembevételével. A szélsőségesen rossz hőérzeti besorolású terekben legfeljebb a jobb hőérzeti besorolás eléréséhez szükséges építészeti és épületgépészeti átalakításokra világít rá. Ebből adódóan a mérés során igyekeztük a semleges hőérzetnek megfelelő környezeti feltételeket biztosítani. Ennek érdekében a méréseket megelőzően a termikus mérőbábu és a hőkomfort mérő állomás segítségével úgy állítottuk be a teret, hogy mind a két eszköz közel a semleges hőérzetnek megfelelő értékeket mutassa.

A méréssorozat megkezdése előtt a termikus mérőbábu által viselt ruházat hőszigetelő képességének mérése történt meg. A mérést „A hőmérsékleti környezet ergonómiája. A ruházat hőszigetelésének és párolgási ellenállásának becslése” című MSZ EN ISO 9920:2009 hivatkozási számú szabvány alapján, végeztük a következő peremfeltételek mellett.

17. táblázat Az MSZ EN ISO 9920:2009 szabványban rögzített peremfeltételeknek történő megfelelés ellenőrzése

Paraméter	Peremfeltétel	Mért érték
Légsebesség	$<0,15 \text{ m/s}$	0,05-0,07 m/s
Az ambiens és közepes sugárzási hőmérséklet közötti különbség	$\leq  1 ^\circ\text{C}$	0,3°C
Relatív páratartalom	30-70%, lehetőség szerint 50%	40%
A mérőbábu fajlagos hőleadása	min. $20 \text{ W/m}^2$ , ajánlott tartomány $40\text{-}80\text{W/m}^2$	65W
Bőrfelület közepes hőmérséklete	32-34 (azonos a teljes testfelületen)	33°C
Az operatív hőmérséklet és a bőrfelület közepes hőmérséklete közötti különbség	$\geq 12^\circ\text{C}$	13,4°C

A táblázatból látható, hogy az MSZ EN ISO 9920:2009 szabványban rögzített peremfeltételeknek a mérés során megfeleltünk. A részeredényeket, valamint a mérési installációt a következő ábra mutatja. A vizsgálat során egy egyszerű beltéri ruházatot vizsgáltunk, hosszú sötét nadrág, rövid ujjú világos póló, zárt cipő. A kutatásban részvevő élőalanyoktól azt kértük, hogy ezzel azonos ruházatban jelenjenek meg a méréseken. A zökkenőmentes méréssorozat lefolytatása érdekében biztosítottunk váltásruházatot azok számára, akik nem a megadott öltözetben érkeztek.

	<b>Testrész</b>	<b>CLO</b>
M	Manikin	0,637
1	Bal lábfej	0,696
2	Jobb lábfej	0,644
3	Bal lábszár	0,789
4	Jobb lábszár	0,829
5	Bal comb elől	0,87
6	Jobb comb elől	1,06
7	medence	4,034
	:	
25	Bal comb hátul	1,717
26	Jobb comb hátul	2,121
27	Hát	4,03
28	Fej	0,049



75. ábra Mérési eredmények, valamint mérési installáció, ülő és álló helyzetben

A bemutatott termikus mérőbábunál, a CLO érték meghatározására mind a soros, mind pedig a párhuzamos módszerek alkalmazhatóak. A soros és a párhuzamos módszer a bőrhőmérsékletet és az egyes testrészek hőáramát vizsgálja a helyi ellenállások kiszámításához, amelyeket aztán a soros, illetve a párhuzamos modell szerint összegez.

A vizsgálat alkalmával állandó testfelületi hőmérséklet mérés módszerét alkalmaztuk, így az összegzés párhuzamos módszerrel történt. A mért CLO érték 0,637.

A ruházat termikus mérőbábuval meghatározott hőszigetelő képessége kiinduló adatként szolgált a hőkomfort mérő állomásnak is.

Egy ember hőleadása hozzávetőleg 60-100 W, így a mérések közötti időben meg kellett oldani, hogy ezt a teljesítményt szimuláljuk a kamrában, annak érdekében, hogy a mérés kezdetekor a mért fizikai paraméterek beállása kellően gyors legyen. Erre a feladatra egy elektromos fűtőberendezést alkalmaztunk, melynek teljesítményét egy Toroid transzformátorral<sup>2</sup> és egy villamos teljesítmény mérővel állítottuk be 80 W-ra. A rendszerbe egy időkapcsolót is beiktattunk, így a kora reggeli mérések előtt 2 órával üzembe lépett az elektromos fűtőberendezés. Amikor az alany belépett a kamrába a fűtőberendezést kikapcsoltuk, így a kamrában a hőterhelés közel állandó volt, ezzel nagymértékben csökkentettük az állandósult stacioner állapotok kialakulásának idejét.

<sup>2</sup> A toroid transzformátorok specifikus konstrukciójukban különböznek a tipikus transzformátoroktól. Transzformátormagjuk gyűrű alakú, és erre van felcsévélve a tekercs.

Az előalanyos vizsgálatot a 18. táblázatban bemutatott ütemezésben hajtottuk végre. Minden nap reggel 8:00 és este 18:00 között kétórás váltásban.

18. táblázat A vizsgálat tervezett ütemezése

<b>Relatív idő</b>	<b>Esemény</b>
-15 perc	Érkezés, általános állapot felmérése
-5 perc	Ruházat ellenőrzése
0	Belépés a klímakamrába, a mérés megkezdése Az emberi hőleadást szimuláló fűtőberendezés lekapcsolása
60 perc	Tetszőleges tevékenység
90 perc	Bőrhőmérséklet mérése
95 perc	Kérdőív kitöltésének megkezdése
105 perc	Bőrhőmérséklet mérése
110 perc	A mérés vége Intenzív szellőzés indítása
115 perc	Intenzív szellőzés leállítása

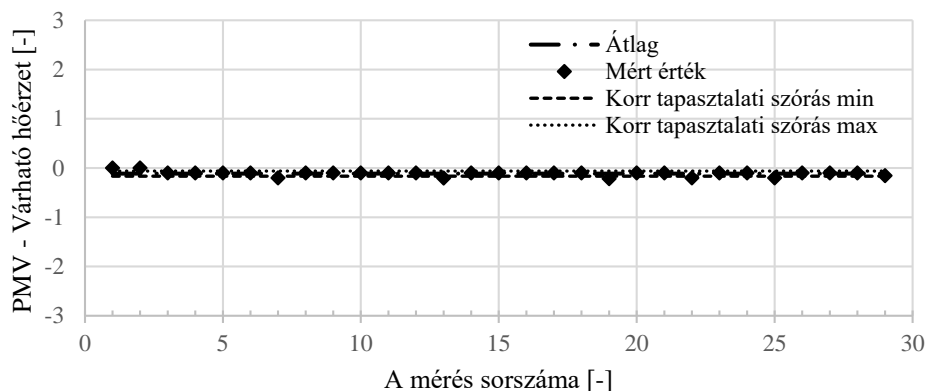
## 5.7.4 Mérés eredményei

A 19. táblázat az élőalanyos mérések eredményeit mutatja. A táblázat első kiemelt részén a mérés sorszama, a mérés kezdete és vége látható. A második kiemelt részen a termikus mérőbábuval mért eredmények, a harmadik részben a hőkomfort mérő állomás által mért eredmények, míg az utolsó részében a kérdőívekre adott válaszok alapján kapott tényleges hőérzeti érték.

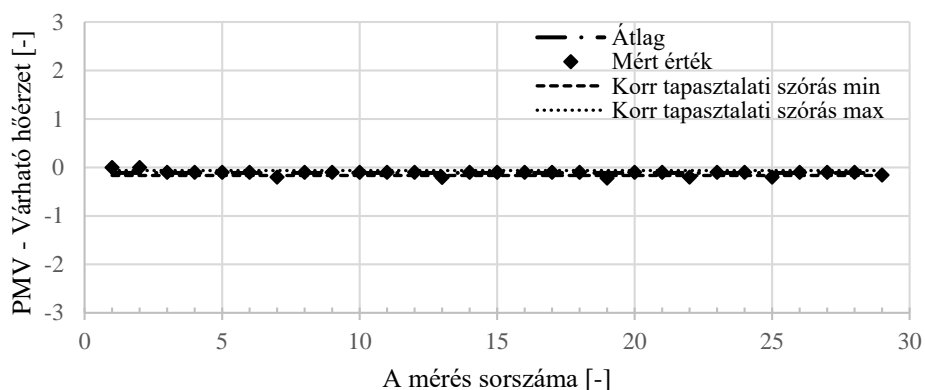
19. táblázat az élőalanyos mérés eredményei

Mérés			PMV - Mérőbábu			PMV – TESTO 400			Kérdőív
#	kezdet	vége	MIN	MAX	ÁTLAG	MIN	MAX	ÁTLAG	AMV
01	2022.02.14 09:05	2022.02.14 09:20	0,00	0,00	<b>0,00</b>	-0,20	-0,20	<b>-0,20</b>	<b>0,00</b>
02	2022.02.14 11:05	2022.02.14 11:20	0,00	0,00	<b>0,00</b>	-0,10	-0,10	<b>-0,10</b>	<b>0,00</b>
03	2022.02.14 12:55	2022.02.14 13:10	-0,10	-0,10	<b>-0,10</b>	-0,20	-0,10	<b>-0,14</b>	<b>1,00</b>
04	2022.02.14 15:00	2022.02.14 15:15	-0,10	-0,10	<b>-0,10</b>	-0,20	-0,10	<b>-0,19</b>	<b>0,00</b>
05	2022.02.14 16:55	2022.02.14 17:10	-0,10	-0,10	<b>-0,10</b>	-0,20	-0,20	<b>-0,20</b>	<b>-1,00</b>
06	2022.02.14 19:00	2022.02.14 19:15	-0,10	-0,10	<b>-0,10</b>	0,00	0,00	n.a.	<b>1,00</b>
07	2022.02.15 09:05	2022.02.15 09:20	-0,20	-0,20	<b>-0,20</b>	-0,20	-0,20	<b>-0,20</b>	<b>-1,00</b>
08	2022.02.15 10:55	2022.02.15 11:10	-0,10	-0,10	<b>-0,10</b>	-0,20	-0,20	<b>-0,20</b>	<b>0,00</b>
09	2022.02.15 13:00	2022.02.15 13:15	-0,10	-0,10	<b>-0,10</b>	0,00	0,00	n.a.	<b>0,00</b>
10	2022.02.15 15:05	2022.02.15 15:20	-0,10	-0,10	<b>-0,10</b>	-0,20	-0,10	<b>-0,15</b>	<b>0,00</b>
11	2022.02.15 17:05	2022.02.15 17:20	-0,10	-0,10	<b>-0,10</b>	-0,20	-0,10	<b>-0,20</b>	<b>1,00</b>
12	2022.02.15 18:55	2022.02.15 19:10	-0,10	-0,10	<b>-0,10</b>	0,00	0,00	n.a.	<b>1,00</b>
13	2022.02.16 08:55	2022.02.16 09:10	-0,20	-0,30	<b>-0,21</b>	-0,20	-0,20	<b>-0,20</b>	<b>0,00</b>
14	2022.02.16 10:55	2022.02.16 11:10	-0,10	-0,10	<b>-0,10</b>	-0,20	-0,10	<b>-0,12</b>	<b>-1,00</b>
15	2022.02.16 12:55	2022.02.16 13:10	-0,10	-0,10	<b>-0,10</b>	-0,20	-0,20	<b>-0,20</b>	<b>1,00</b>
16	2022.02.16 14:55	2022.02.16 15:10	-0,10	-0,10	<b>-0,10</b>	-0,20	-0,10	<b>-0,17</b>	<b>0,00</b>
17	2022.02.16 17:20	2022.02.16 17:35	-0,10	-0,10	<b>-0,10</b>	-0,20	-0,10	<b>-0,16</b>	<b>0,00</b>
18	2022.02.16 19:05	2022.02.16 19:20	-0,10	-0,10	<b>-0,10</b>	-0,20	-0,20	<b>-0,20</b>	<b>0,00</b>
19	2022.02.17 08:55	2022.02.17 09:10	-0,20	-0,30	<b>-0,22</b>	-0,20	-0,20	<b>-0,20</b>	<b>0,00</b>
20	2022.02.17 10:55	2022.02.17 11:10	-0,10	-0,10	<b>-0,10</b>	-0,20	-0,20	<b>-0,20</b>	<b>1,00</b>
21	2022.02.17 13:00	2022.02.17 13:15	-0,10	-0,10	<b>-0,10</b>	-0,20	-0,20	<b>-0,20</b>	<b>-1,00</b>
22	2022.02.17 15:00	2022.02.17 15:15	-0,20	-0,20	<b>-0,20</b>	0,00	0,00	n.a.	<b>-1,00</b>
23	2022.02.17 17:00	2022.02.17 17:15	-0,10	-0,10	<b>-0,10</b>	-0,30	-0,20	<b>-0,20</b>	<b>1,00</b>
24	2022.02.17 19:00	2022.02.17 19:15	-0,10	-0,10	<b>-0,10</b>	-0,30	-0,20	<b>-0,22</b>	<b>0,00</b>
25	2022.02.18 08:55	2022.02.18 09:10	-0,20	-0,20	<b>-0,20</b>	0,00	0,00	n.a.	<b>1,00</b>
26	2022.02.18 11:00	2022.02.18 11:15	-0,10	-0,10	<b>-0,10</b>	-0,30	-0,20	<b>-0,20</b>	<b>-1,00</b>
27	2022.02.18 13:00	2022.02.18 13:15	-0,10	-0,10	<b>-0,10</b>	-0,30	-0,30	<b>-0,30</b>	<b>0,00</b>
28	2022.02.18 15:00	2022.02.18 15:15	-0,10	-0,10	<b>-0,10</b>	-0,30	-0,20	<b>-0,29</b>	<b>0,00</b>
29	2022.02.18 17:00	2022.02.18 17:15	-0,10	-0,20	<b>-0,16</b>	-0,30	-0,30	<b>-0,30</b>	<b>0,00</b>

A mérési eredményeket a 76. ábra, 77. ábra, 78. ábra diagram formájában szemlélteti. A diagramokon feltüntetésre került a számított szórás minimum és maximum értéke, valamint a teljes adathalmazra meghatározott átlag.



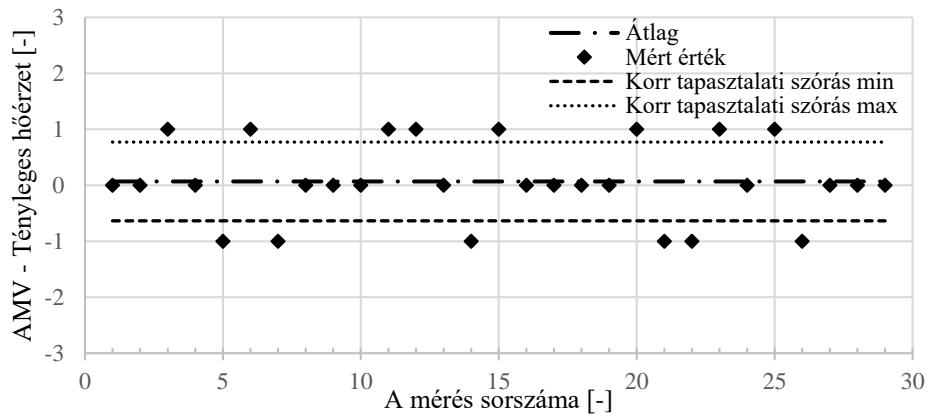
76. ábra Az élőalanyos mérés során termikus mérőbábuval mért PMV (várható hőérzeti érték)



77. ábra Az élőalanyos mérés során hőkomfort mérő állomással (TESTO 400) mért PMV (várható hőérzeti érték)

A diagramokból (76. ábra és 77. ábra) megállapítható, hogy a mérés során az objektív összehasonlítás célját szolgáló termikus mérőbábu „Comfort” módban és a hőkomfort mérőállomás is teljesen azonos, bőven a mérési hibahatáron belüli eredményeket adott. A termikus mérőbábu által mért adatok standard deviációja 5%, az relatív hiba értéke -0,3062. A hőkomfort mérőállomás által mért adatok standard deviációja 4,85%, a relatív hiba értéke -0,1509. Ez alapján kijelenthető, hogy irodai környezetben a teljes testre nézve mind a termikus mérőbábu „Comfort” módban, mind pedig a hőkomfort mérőállomás alkalmas a várható hőérzeti érték MSZ ISO 7730 szabványban rögzített módon történő meghatározására, állandósult állapotok mellett.

A mérés során azt tapasztaltuk, hogy a hőkomfort mérőállomás lényegesen érzékenyebb a pillanatnyi légsebesség ingadozásokra, mint a termikus mérőbábu. Ez abból adódik, hogy a hőkomfort mérőállomás a PMV meghatározását a komfort egyenlet alapján minden időpillanatra elvégzi, így kisebb légsebesség ingadozások esetén félrevezető eredményeket ad. A termikus mérőbábuval mért eredményekben ez az ingadozás nem figyelhető meg, hiszen a ruházat hőszigetelő képességéből, illetve a hőtároló tömegéből adódóan csillapítás alakul ki, így a bőrfelület mentén kialakuló hőátadási tényezőben ez nem, vagy csak elenyészően kis mértékben jelenik meg. A jelenség vizsgálat távlati célú kutatási terveim között szerepel. Feltételezésem szerint, azon mérések során, ahol a légsebesség ingadozása tapasztalható (pl.: folyamatosan változó befűvási szögű anemosztátok, fan-coilok esetén, huzatos helyiségek) a hőkomfort mérő állomással mért légsebesség csúcsokat a kiértékelés során a ruházat által indukált csillapítási tényezővel korrigálni kell, vagy a légsebességet nagyobb időegység időarányos átlagával kell figyelembe venni.



78. ábra Az élőalanyos mérés során kérdőív segítségével meghatározott AMV (tényleges hőérzeti érték)

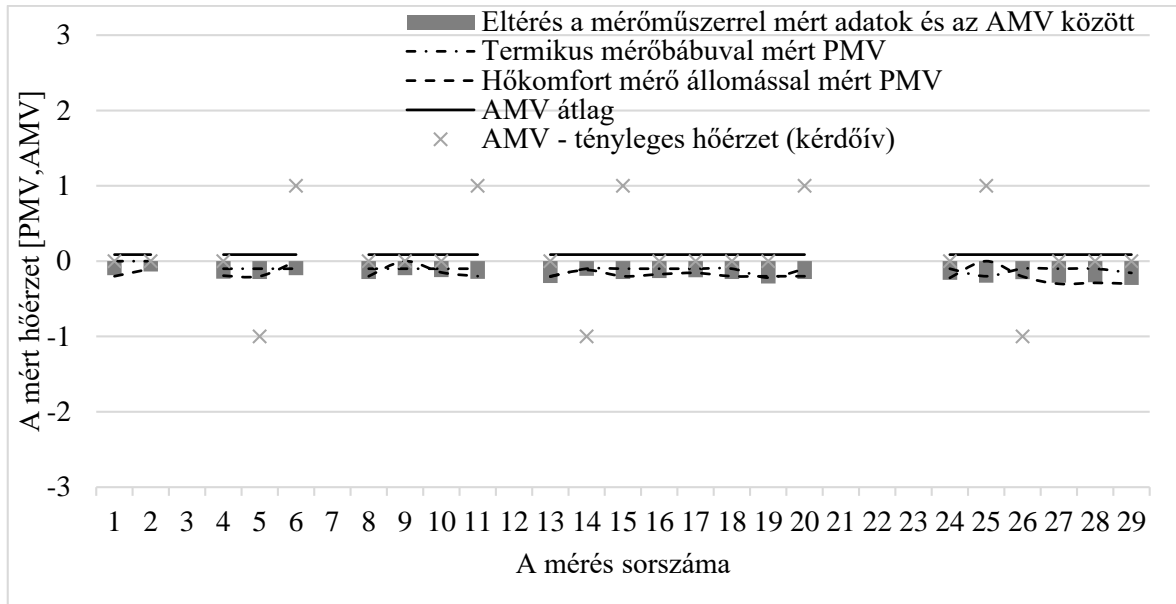
Az élőalanyos mérés során a tényleges hőérzeti érték (AMV) eloszlását a 78. ábra szemlélteti. A szubjektív véleményalkotásból adódóan a szórása, standard deviációja jóval nagyobb 13%. Fontos megemlíteni, hogy a kérdőívek kiértékelése során több ellentmondásos választ is találtunk. Például az első kérdésre (Milyennek érzi Ön az az iroda/helyiség/munkakörnyezet jelenlegi hőmérsékletét?) „kissé meleg” (PMV=1) értéket jelölte meg, majd a harmadik kérdésnél (Jobban megfelelne Önnek ha az iroda/helyiség/munkakörnyezet jelenlegi hőmérséklete...) a „nem változtatna” opciót választotta. Az ellentmondásos válaszokat a kiértékelés során kiszűrtük, a kiértékelhető válaszokat és a válaszdással egy időben, termikus mérőbábuval mért várható hőérzet értékét a 20. táblázat tartalmazza.

20. táblázat A kiértékelhető kérdőíves válaszok és a kérdőív kitöltésével párhuzamosan, termikus mérőbábuval mért várható hőérzeti érték

#	Mérőbábu			Kérdőív			
	PMV [-]	PMV átl. [-]	PPD [%]	AMV [-]	AMV átl. [-]	APD* [%]	APD [%]
01	0,00	-0,11	5,00	0,00	0,09	5,16	21,74
02	0,00		5,00	0,00			
04	-0,10		5,21	0,00			
05	-0,10		5,21	-1,00			
06	-0,10		5,21	1,00			
08	-0,10		5,21	0,00			
09	-0,10		5,21	0,00			
10	-0,10		5,21	0,00			
11	-0,10		5,21	1,00			
13	-0,21		5,88	0,00			
14	-0,10		5,21	-1,00			
15	-0,10		5,21	1,00			
16	-0,10		5,21	0,00			
17	-0,10		5,21	0,00			
18	-0,10		5,21	0,00			
19	-0,22		5,99	0,00			
20	-0,10		5,21	1,00			
24	-0,10		5,21	0,00			
25	-0,20		5,83	1,00			
26	-0,10		5,21	-1,00			
27	-0,10		5,21	0,00			
28	-0,10		5,21	0,00			
29	-0,16		5,51	0,00			



A 20. táblázatból kiderül, hogy a kérdőíves kiértékelés során az elégedetlenek tényleges aránya  $APD=21,74\%$ , mely nagymértékben eltér a kérdőívek segítségével meghatározott, tényleges hőérzeti érték (AMV) felhasználásával számított elégedetlenek teoretikus arányától  $APD^*=5,16\%$ . Az MSZ EN ISO 10551:2020-as szabvány alapján a kiértékelés során a helyzeti középérték (medián) tekinthető mérvadónak, a kérdőívek esetén a helyzeti középérték a „kellemes” válasznak megfelelő érték, mely összhangban van az elégedetlenek teoretikus arányával ( $APD^*$ ). Az elégedetlenek teoretikus aránya ( $APD^*$ ) jó közelítéssel megegyezik a termikus mérőbábu által mért, az MSZ ISO 7730 szabványban rögzített módon számított elégedetlenek várható százalékos arányával  $PPD=5,29\%$ .



79. ábra A mérőeszközökkel mért hőérzeti érték összehasonlítása a szubjektív véleményekkel

A termikus mérőbábuval mért várható hőérzeti érték átlaga  $PMV=-0,11$ , míg a kérdőívekkel meghatározott  $AMV=0,09$ , tehát a szubjektív és objektív módszerrel meghatározott hőérzet különbsége  $0,2$ . Tekintettel arra, hogy hetes skálán vizsgáljuk a hőérzetet ( $-3\div 3$ ), ez a különbség a teljes skálára vetítve  $2,86\%$ , mely kisebb, mint a mérőeszközök elfogadható hibája. Ez alapján megállapítható, hogy az MSZ EN ISO 10551:2020-as szabvány alapján kialakított kérdőív alkalmas a vizsgálati csoportnak megfelelő, irodai környezetben munkát végző dolgozók hőérzetének kérdőíves meghatározására.

Továbbá kijelenthető, hogy a termikus mérőbábu „Comfort” módban történő üzemeltetése során meghatározott komfortparaméterek összhangban vannak mind a hőkomfort mérőállomás által mért, mind pedig a szubjektív kérdőíves válaszok által meghatározott hőkomfort paraméterekkel.



## 6 Összefoglalás

A kutatómunka során a Kutatócsoport kidolgozta a Komforttérkép koncepcióját, mely munkában én a hőkomforttal kapcsolatos kutatást vezettem.

A kutatás során alkalmazott komforttérkép koncepció abban az esetben valósítható meg, ha a teret használók nem rendelkeznek fix munkaállomással, a munkaállomás a tevékenység jellegének megfelelően szabadon választható. Ilyen például a multinacionális, sok alkalmazottat foglalkoztató cégeknél elterjedt shared desk és hot desk rendszerű menedzsment. A komforttérkép alkalmazása esetén a komfortparamétereket közvetlenül az alkalmazottaknak mutatjuk be egy applikáció segítségével.

A dolgozat első felében bemutatom a kutatás során kidolgozott komforttérkép koncepcióhoz szorosan kapcsolódó szakirodalmi hátteret, elsősorban a hőkomfort területére fókuszálva.

Bemutatásra kerülnek a témához kapcsolódó szabványok és a hőérzet kérdőívekkel történő meghatározásának menete, módszertani megfontolásai.

Ismertetem a hőérzet analitikus meghatározásához szükséges mérőeszközöket, kiemelt figyelmet fordítva a Magyarországon egyedülálló komplex és sokparaméteres vizsgálatot lehetővé tevő mérőrendszerre, a termikus mérőbábura.

Bemutatom a komforttérkép koncepcióját, annak kidolgozásának előzményeit, valamint, hogy a Kutatócsoport által végzett munkában milyen szerepem volt.

A disszertáció második felében a hőérzeti komforttérképre koncentrálni bemutatásra kerül a komforttérkép létrehozásának lehetséges módjai, azok előnyei és hátrányai.

Bemutatásra kerül az általam kidolgozott eljárás a mérési adatok lineáris interpolációval történő kiterjesztése. Igazolom a módszer alkalmazhatóságát.

Ezt követően bemutatom az általam kidolgozott eljárás a mérési adatok mesterséges intelligencia eszközökkel történő kiterjesztését. Igazolom a módszer alkalmazhatóságát.

Meghatároztam a mérési adatok kiterjesztésének módszereihez kapcsolódó minimum mérésszámot. Megállapítottam, hogy a mesterséges intelligencia eszközökkel történő mérési adat kiterjesztés során kevesebb mérést kell végezni az adatok lineáris interpolációval történő kiterjesztéséhez képest.

Bemutatásra kerül a projekt során elkészült komforttérkép, az alkalmazás lehetőségei és a komforttérképben rejlő potenciál.

A dolgozat végén igazolom, hogy a hőérzeti vonatkozású kutatások során alkalmazott PT-Teknik gyártmányú termikus mérőbábu „Comfort” mód használata mellett alkalmas a Magyarországon, irodai munkát végző embercsoportok hőérzetének MSZ ISO 7730 szabványban rögzített módon történő meghatározására állandósult állapotok mellett.

## 7 A tézisek ismertetése

### 1. tétel

**A komforttérkép alkalmazása javítja a nagyterű, share desk, open office menedzsmentet alkalmazó irodákban dolgozó munkavállalók komfortérzetét azáltal, hogy minden munkavállaló a saját preferenciái szerint választhatja meg a munkaállomását, anélkül, hogy az épületgépészeti rendszerben bármilyen beavatkozást eszközölnék.**

A tétel bizonyítására kérdőíves kutatást és helyszíni méréseket szerveztünk egy multinacionális IT szektorban dolgozó cégnél. A vizsgált irodaházban összesen 2163 munkavállaló dolgozik, a rendelkezésre álló időszakban 216 dolgozó töltötte ki kérdőívet, 210 fő magyarul, illetve 6 fő angolul. A kérdőív a WHO-5 Well-Being-Index [53] meghatározásához szükséges kérdések mellett, a munkahelyi térrel való elégedettség, a well-beinget és az egészséget befolyásoló tényezők megítélése, és a munkaterhelés jellemzői témakörökre vonatkozóan tartalmazott elsősorban zárt kérdéseket.

A kérdőíves kutatásra adott válaszok alapján megállapítottam, hogy a nagyterű irodai térben dolgozók meghatározónak tartják (98%) a jóllét és a közérzet szempontjából a munkahelyi teret. A mérési eredmények alapján kijelenthető, hogy a tér különböző pontjain eltérő hőérzeti viszonyok uralkodnak ( $PMV=0,51\pm 1,08$ ). A kérdőívekből, valamint a helyszíni bejárások alapján kiderült, hogy a térben dolgozók különböző preferenciákkal rendelkeznek, egyesek alacsonynak, míg mások magasanak ítélték meg a térben uralkodó hőmérséklet szintet. A bejárás során azt is tapasztaltam, hogy egymáshoz közel ülő munkavállalók erősen eltérő ruházatban végezték feladatukat, mely arra enged következtetni, hogy más és más környezeti hőmérsékletet ítélnek megfelelőnek. Ezek alapján megállapítható, hogy amennyiben a munkavállalók a saját preferenciájuk alapján választhatják meg a helyüket a térben, úgy a teljes állományra nézve az átlagos elégedettség nő, tehát a komfortérzetük javul.

### 2. tétel

**A kutatás során kifejlesztett módszer - a mérési adatok lineáris interpolációval történő kiterjesztése - alkalmazható a méréssel nem érintett területek hőkomfort paramétereinek meghatározására, így a hőérzeti komforttérkép létrehozására.**

A tétel bizonyítására nagyszámú mérést végeztem. A mérési adatok felhasználásával előállítottam a komforttérképet, majd a mért adatok csak egy részét felhasználva újra előállítva a komforttérképet a két térkép közötti eltérést vizsgáltam, melyet a következő táblázat foglal össze.

Mért értékek	Negatív eltérés	Pozitív eltérés	Max eltérés	Átlag eltérés
[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
63	-1,075	0,306	1,075	0,02295
47	-4,323	1,676	4,323	0,31932
27	-11,487	15,292	15,292	0,70944
12	-62,270	34,670	62,270	1,26598

Az eredményekből kiderül, hogy az adatok 47%-ának felhasználásával 5% maximum eltérésen belül van a két térkép közötti maximális eltérés, ami a mérések elfogadott hibája. Így kijelenthető, hogy a komforttérkép létrehozása lehetséges az adatok csak egy részének felhasználásával, interpolációval történő kiterjesztésével, de pontossága nagyban függ a mérések számától.

### 3. tézis

**A kutatás során megalkotott módszer - a mérési adatok mesterséges intelligencia eszközök használatával történő kiterjesztése - alkalmazható a méréssel nem érintett területek hőkomfort paramétereinek meghatározására, így a hőérzeti komforttérkép létrehozására.**

A tézis bizonyítására nagyszámú mérést végeztem. A mérési adatok felhasználásával előállítottam a komforttérképet, majd a mért adatok csak egy részét felhasználva újra előállítva a komforttérképet a két térkép közötti eltérést vizsgáltam, melyet a következő táblázat foglal össze.

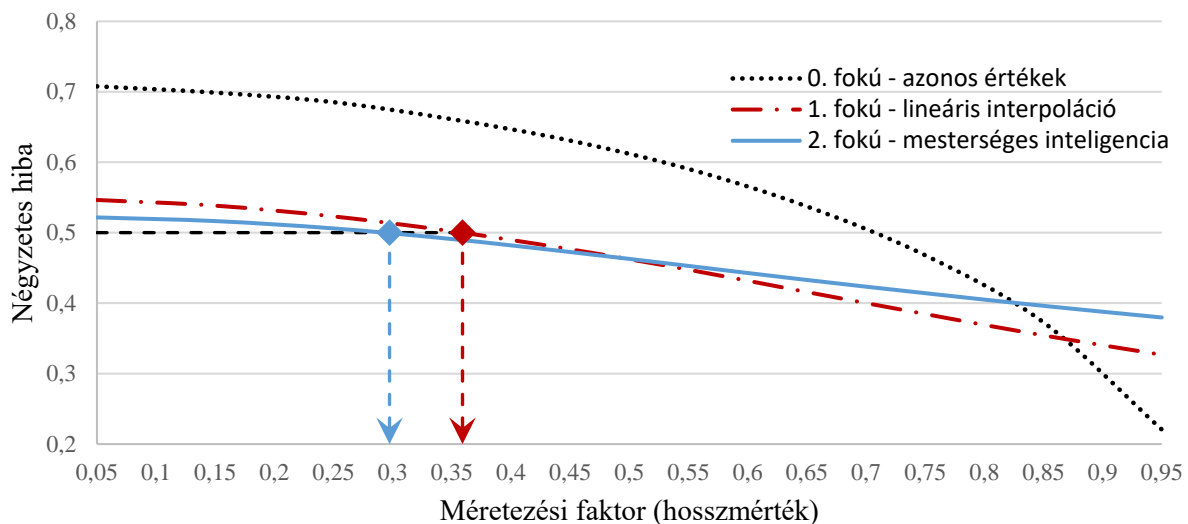
Mért értékek	Negatív eltérés	Pozitív eltérés	Max eltérés	Átlag eltérés
[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
63	-0,195	0,278	0,278	0,00354
47	-0,491	0,715	0,715	0,01123
27	-3,417	2,992	3,417	0,01324
12	-6,434	7,507	7,507	0,02660

Az elemzésekből kiderül, hogy a mért értékek 27%-ának felhasználásával is 3,5% maximum eltérésen belül van a két térkép közötti maximális eltérés, ami kevesebb, mint a mérések elfogadott hibája. Így kijelenthető, hogy a komforttérkép létrehozása lehetséges az adatok csak egy részének felhasználásával, mesterséges intelligencia eszközökkel történő kiterjesztésével. Ez a módszer is érzékeny a mérési pontok számára, de a nem linearitásnak, a kényszereknek, a jóval összetettebb struktúrának köszönhetően kevésbé, mint a lineáris interpolációs eljárás.

#### 4. tézis

**A hőérzeti komforttérkép létrehozása mesterséges intelligencia eszközök használatával kevesebb mérési pontot igényel a mérési pontok számának lineáris interpolációval történő kiterjesztésével összehasonlítva.**

Annak érdekében, hogy a kidolgozott módszer általános érvényű legyen, a mérési hibákat kizárandó, a mért hőkomfort paraméterekre jellemző randomizált normál eloszlású adatokat használtam; így az bizonyos feltételrendszerrel kiterjeszthető bármely térre. Felosztottam a teret cellákra úgy, hogy a környezeti kényszerek, például berendezések, bútorok stb. figyelembevétele mellett a mérőműszer által lefedett terület legyen egy cella mérete. Ezután a tér minden cellájához generáltam egy véletlen számot a mérendő mennyiség becsült várhatóérték és szórás paraméterei szerinti normális eloszlásból  $N(\mu, \sigma^2)$ . Az így kapott randomizált mérési térképnél a valós mérésekből készített térkép szabályosabb lesz, vagyis a szomszédos cellák közötti eltérés várhatóan kisebb a valós adatok esetén, mint a randomizált adatok esetén. Következő lépésben az alkalmazni kívánt interpolációs eljárást használva méreteztem át a randomizált térkép celláit úgy, hogy először megnöveltem őket, majd visszakicsinyítettem az eredeti méretükre.



A diagram a normál eloszlású véletlen adatok interpolációs hibáját ábrázolja a méretezési faktor függvényében. A diagramról leolvasható, hogy a lineáris interpoláció alkalmazása esetén a méretezési faktor 0,36, így a területi faktor 0,129. Mesterséges intelligencia alkalmazása esetén a méretezési faktor 0,3, így a területi faktor 0,09. Ezek alapján megállapítható, hogy mesterséges intelligencia eszközök használatával kevesebb mérési pontra van szükség a komforttérkép előállításához.

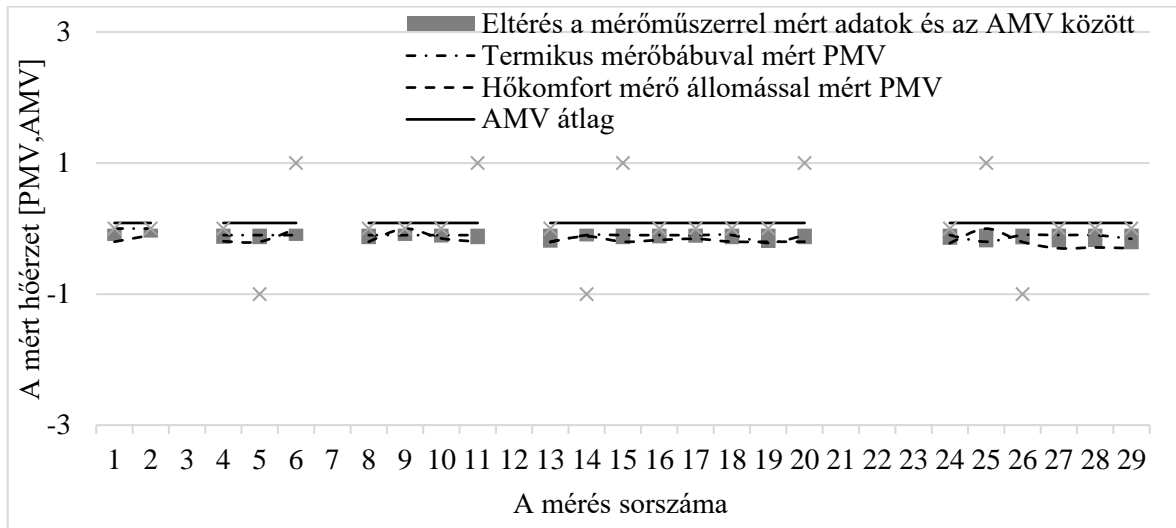
#### 5. tézis

**A hőérzeti vonatkozású kutatások során alkalmazott PT-Teknik gyártmányú termikus mérőbábu „Comfort” mód használata mellett alkalmas a Magyarországon, irodai munkát végző embercsoportok hőérzetének MSZ ISO 7730 szabványban rögzített módon történő meghatározására, állandósult állapotok mellett.**

A hőkomfort vonatkozású élőalanyos mérések során magyarországi viszonylatban még nem alkalmazták a termikus mérőbábu komfortegyenlet alapján történő szabályozását, így nem állnak rendelkezésre adatok annak kapcsán, hogy az ún. „Comfort” módban meghatározott hőérzeti érték (PMV) és az elégedetlenek várható százalékos aránya (PPD) összhangban van-e a szubjektív megítélés vizsgálatára alkalmazott kérdőívekre adott válaszokkal.

A kutatás során élőalanyok bevonásával a Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai kar Épületgépészeti- és Létesítménymérnöki Tanszék Hőtechnikai Laboratóriumában méréssorozatot

végeztem. Az alanyok létszámát tekintve a laboratóriumi, hőérzeti kutatások során elfogadottnak tekinthető létszám duplájával végeztük a méréseket. A résztvevő alanyok 19-46 év közötti egyetemi polgárok voltak. A mérésorozatban párhuzamosan végeztem méréseket termikus mérőbábuval, hőkomfort mérő állomással és a szubjektív megítélés vizsgálatára alkalmas kérdőívekkel. A kérdőívek összeállítása és kiértékelése az MSZ EN ISO 10551:2020 szabvány alapján történt.



A diagram a mérésorozat eredményeit ábrázolja. Látható, hogy a termikus mérőbábuval és a hőkomfort mérő állomással mért hőérzeti érték (PMV) közel azonos az MSZ EN ISO 10551:2020 szabványban rögzített módon, a kérdőívekre adott válaszok alapján meghatározott hőérzeti értékkel (AMV). Továbbá mind a termikus mérőbábu „Comfort” módban, mind pedig a hőkomfort mérőállomás az elfogadott szóráson belüli eredményt adta.

## **8 További kutatási lehetőségek**

### **1. Hőérzet meghatározása a mért paraméterek intenzív fluktuációja esetén**

A mérések során azt tapasztaltuk, hogy a hőkomfort mérőállomás lényegesen érzékenyebb a pillanatnyi légsebesség ingadozásokra, mint a termikus mérőbábu. Ez abból adódik, hogy a hőkomfort mérőállomás a PMV meghatározását a komfort egyenlet alapján minden időpillanatra elvégzi, így kisebb légsebesség ingadozások esetén félrevezető eredményeket ad. A termikus mérőbábuval mért eredményekben ez az ingadozás nem figyelhető meg, hiszen a ruházat hőszigetelő képességéből, illetve a hőtároló tömegéből adódóan csillapítás alakul ki, így a bőrfelület mentén kialakuló hőátadási tényezőben ez nem, vagy csak elenyészően kis mértékben jelenik meg. A jelenség vizsgálat távlati célú kutatási terveim között szerepel. Feltételezésem szerint, azon mérések során, ahol a légsebesség ingadozása tapasztalható (pl.: folyamatosan változó befűvási szögű anemosztátok, fan-coilok, huzatos helyiségek esetén) a hőkomfort mérőállomással mért légsebesség csúcsokat a kiértékelés során a ruházat által indukált csillapítási tényezővel korrigálni kell, vagy a légsebességet nagyobb időegység időarányos átlagával kell figyelembe venni.

### **2. A komforttérkép alkalmazási lehetőségeinek kiterjesztése**

Feltételezésem szerint a komforttérkép koncepciója kiterjeszhető minden olyan komforttérre, ahol a térben tartózkodók helyzete nem rögzített, mint például a fekvőbeteg elhelyezésre. A koncepció szerint, amennyiben ismert a fekvőbetegek preferenciája, akár a megkérdezésük, akár a kórtörténetük alapján, úgy kiválasztható számukra a legmegfelelőbb hely. Természetesen tisztában vagyok azzal, hogy a MSZ EN ISO 7730 szabványban rögzített PMV-PPD módszer nem alkalmazható a betegségben küszködő emberek komfort szempontú vizsgálatára, de véleményem szerint a komforttérkép koncepciója kiterjeszhető erre a szegmensre, mely további kutatást igényel.

### **3. A komforttérkép vertikális, háromdimenziós kiterjesztése**

Egy valóságos környezetben a tér fizikai paraméterei különböző módon fejtik ki hatásukat az egyes testrészekre. Egy szellőztetett vagy huzatos helyiség esetén a ruhával nem borított testrészek intenzívebb hőáramlás alakulhat ki, továbbá az eltérő felületi hőmérsékletekből adódóan az egyes testrészek és környező felületek közötti sugárzásos hőáram különbsége miatt a sugárzási aszimmetria káros hatásai is jelentkezhetnek. Kutatások bizonyítják, hogy a sugárzási aszimmetria hatása növeli az elégedetlenség várható százalékos arányát (PPD) [54]. Ezen felül bizonyos embercsoportok esetében intenzívebb érzékenységet tapasztalhatunk a tér vertikális hőmérséklet-eloszlásával szemben. Emellett amennyiben a vertikális hőmérsékleteloszlás szélsőértékei nagyban eltérnek, úgy jelentős lehet az elégedetlenség várható százalékos arányának (PPD) növekedése, annak ellenére, hogy a teret használók súlypontjában mért hőérzeti mutatók megfelelnek. Ennek tipikus esete, amikor a hideg padló légfűtési megoldással (pl. kazettás Fan-Coil) társul, ekkor a hideg padló miatt az alacsonyabb rétegekben mért hőmérséklet lényeges különbséget mutat a tartózkodási zónában kialakuló hőmérséklethez képest. Véleményem szerint a komforttérkép vertikális kiterjesztésével, azaz egy háromdimenziós komforttérkép létrehozásával a fent leírt jelenségek kezelhetők azáltal, hogy az érzékeny embercsoportok irányítottan kapnak munkaállomást, illetve, hogy az üzemeltetés számára rámutat a szélőségesen problémás helyekre, így építészeti, épületgépészeti megoldásokkal kezelhető a probléma.

### **5. A komfort vonatkozású szubjektív kérdőívek továbbfejlesztése**

A kutatás során azt tapasztaltam, hogy szubjektív kérdőívvel történő hőérzet meghatározását egyes szakértők nem tartják megbízhatónak annak szubjektivitása miatt, és előnyben részesítik az objektív fizikai és fiziológiai alapokon működő vizsgálatokat. Ennek ellenére a kutatások során a hipotézisek igazolásának egyik, ha nem a legfontosabb eszköze. Ezért célul tűztam ki, hogy a további kutatásaim során megkísérlem továbbfejleszteni a jelenleg is használatban lévő kérdőívet, azok kiértékelési módszereit.

## Hivatkozások

---

- [1] M. Safizadeh, L. Watly és A. Wagner, „Evaluation of Radiant Heating Ceiling Based on Energy and Thermal,” *Energies*, pp. 12, 3437., 2019.
- [2] Paul Roelofsen, „The impact of office environments on employee performance: The design of the workplace as a strategy for productivity enhancement,” *Journal of Facilities Management*, 2002.
- [3] Kajtár László és Bánhidi László, *Válogatott fejezetek a komfortelmélet témaköréből*, Budapest: Akadémiai Kiadó, 2018.
- [4] Povl Ole Fanger, *Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering*, Koppenhága, Dánia, 1970.
- [5] Wolfgang Feist, *Thermische Gebäudesimulation*, Heidelberg: Verlag C.F. müller, 1994.
- [6] Dr. Fáy Árpád, *Bevezetés a hősugárzás elméletébe*, Miskolc: Miskolci Egyetem, 2020.
- [7] C. -E. A. Winslow, A. P. Gagge and L. P. Herrington, “Heat exchange and regulation in radiant environments above and below a temperature,” *American Physiological Society*, vol. 131, pp. 79-92, 1940.
- [8] *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*, Budapest: Magyar Szabványügyi Testület, 2006.
- [9] Dr. Kalmár Ferenc, *Belső környezet minősége*, Budapest: Terc Kiadó, 2013.
- [10] *ASHRAE Standard 55-2010 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- [11] *MSZ EN ISO 8996:2005 - Hőmérsékleti környezet ergonómiája. Az anyagcsere mértékének meghatározása*, Budapest: Magyar Szabványügyi Testület, 2005.
- [12] Barna Edit, *A sugárzási hőmérséklet aszimmetria és a meleg padló együttes hatása a hőérzetre*, 2012.
- [13] David P. Wyon és Dr. Bánhidi László, *A minta nagyságának kérdése a belső környezeti hatásokkal foglalkozó kutatásokban*, Magyar Épületgépészet, LII. 2003/12., pp: 9-10..
- [14] *MSZ EN ISO 7726:2003 - A hőmérsékleti környezet ergonómiája. A fizikai mennyiségek mérőeszközei*, Budapest: Magyar Szabványügyi Testület, 1998.
- [15] KIMO Instruments, [Online]. Available: <http://kimo.hu/>. [Hozzáférés dátuma: 14. 09. 2021.].
- [16] Beford T. és Warner C.G., „The globe thermometer in studies of heating and ventilation,” *Epidemiology and Infection*, 1934.

- [17] Testo (Magyarország) Ker. Kft., [Online]. Available: <https://www.testo.com/hu-HU/globusz-erzekelo-o-150mm-k-tip-hoelem-sugarzo-ho-meresere/p/0602-0743>. [Hozzáférés dátuma: 22. 09. 2021.].
- [18] Testo (Magyarország) Ker. Kft., [Online]. Available: <https://www.testo.com/hu-HU/komforterzet-erzekelo-a-turbulencia-fok-meresekre-en-13779/p/0628-0143>. [Hozzáférés dátuma: 22. 09. 2021.].
- [19] Testo (Magyarország) Ker. Kft., [Online]. Available: <https://www.testo.com/en-US/temperature-probe-o-12-mm/p/0636-9743>. [Hozzáférés dátuma: 22. 09. 2021.].
- [20] Bjarne W. Olesen és K. C. Parsons, „Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730,” *Energy and Buildings*, 2002.
- [21] Zhongxiang Lei, „Review of application of thermal manikin in evaluation on thermal and moisture,” *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 2019.
- [22] Ingvar Holmer, „Thermal manikin history and applications,” *European Journal of Applied Physiology*, 2004.
- [23] Hannu Anttonen, Juhani Niskanen, Harriet Meinander, Volkmar Bartels, Kalev Kuklane and Randi E., “Thermal Manikin Measurements—Exact or Not?,” *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 2004.
- [24] Dubravko Rogale, Goran Majstorović és Snježana Firšt Rogale, „Comparative analysis of the thermal insulation of multi-Layer thermal inserts in a protective jacket,” *Materials (Basel)*, 2020.
- [25] George Havenith, „Interaction of Clothing and Thermoregulation,” *Exogenous Dermatology*, 2002.
- [26] David P. Wyon, „Use of thermal manikins in environmental ergonomics,” *Scandinavian journal of work, environment & health*, %1. kötet15, 1989.
- [27] Ingvar Holmer, „Thermal manikins in research and standards,” *National Institute for Working Life*, 1999.
- [28] Thomas L. Endrusick, Leander A. Stroschein és Richard R. Gonzalez, „U.S. Military Use of Thermal Manikins in Protective Clothing Research,” *Environmental Science*, 2002.
- [29] F. Wang, „A Comparative Introduction on Sweating Thermal Manikins “Newton” and “Walter”,” in *7th International Thermal Manikin and Modelling Meeting*, University of Coimbra, Portugal, 2008.
- [30] „Thermetrics,” [Online]. Available: <https://thermetrics.com/>. [Hozzáférés dátuma: 22. 01. 2022.].
- [31] Jintu Fan, Y. S. Chen és X. Oian, Features and Applications of Sweating Fabric Manikin “Walter”, Hong Kong Polytechnic University Institute of Textiles and Clothing, 2002.
- [32] Jintu Fan és Y. S. Chen, „Measurement of clothing thermal insulation and moisture vapour,” *Measurement Science and Technology*, %1. kötet13, 2002.



- [33] Jintu Fan, „Recent Developments and Applications of Sweating Fabric Manikin-“Walter”,” *European Journal of Applied Physiology*, 2004.
- [34] Thomas Lund Madsen, „Development of a breathing thermal manikin,” *National Institute for Working Life*, 1999.
- [35] Håkan O. Nilsson, Ingvar Holmér, Olle Norén és Mats Bohm, „Factors affecting the equivalent temperature measured with thermal manikins,” *Swedish Institute of Agricultural Engineering*, 1999.
- [36] Ingvar Holmér, Kalev Kuklane, Yutaka Tochihara és Takako Fukazawa, „Measurement of microclimate in diapers during supine posture using a baby thermal manikin,” *Sixth international thermal manikin and modelling meeting*, 2006.
- [37] Ghada Ahmad Mohamad, „The role of tests and manikin in defining fabrics thermal characteristics,” *International Design Journal*, 2015.
- [38] Sumit Mandal, Simon Annaheim, Martin Camenzind és René Michel Rossi, „Evaluation of thermo-physiological comfort of clothing using manikins,” *Manikins for Textile Evaluation*, 2017.
- [39] Dr. Bánhidi László, Dr. Magyar Zoltán és Dr. Révai Tamás, „Oknyomozó történelem termikus műemberrel,” *Magyar Épületgépészet*, %1. kötet11, 2010.
- [40] Dr. Bánhidi László, „A termikus műember gyakorlati alkalmazása,” *Épületgépészeti Technika*, 1987.
- [41] Dr. Magyar Zoltán, *Termikus műember alkalmazási lehetőségei hőkomfort vizsgálatoknál*, Gödöllő, 2011.
- [42] BYTELINE, „MANIKIN.DK,” 02 2022. [Online]. Available: <https://manikin.dk/download/manual.pdf>. [Hozzáférés dátuma: 03 03 2022].
- [43] Maria Konarska, Krzysztof Sołtyński, Iwona Sudoł-Szopińska, Dariusz Młodziak és Anna Chojnacka, „Aspects of standardisation in measuring thermal clothing insulation on a thermal manikin,” *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 2006.
- [44] Lijuan Wang, Ding Chong, Yuhui Di és Hui Y, „A revised method to predict skin’s thermal resistance,” *Thermal Science*, %1. kötet22, 2018.
- [45] Annemarie Eijkelenboom, Dong Hyun Kim és Philo Bluysen, „First results of self-reported health and comfort of staff in outpatient areas of hospitals in the Netherlands,” *Buildings and Environment*, 2020.
- [46] H. M. Kamar, N. B. Kamsah, F. A. Ghaleb és M. I. Alhamid, „Enhancement of thermal comfort in a large space building,” *Alexandria Engineering Journal*, 2019.
- [47] M. Mahgoub Bassuoni, M. O. Elsamadony és M. Raslan, „Assessment of Thermal Comfort in Operating Rooms Using PMV-PPD Model,” *Journal of Engeneering Research*, 2020.
- [48] „Thermal Comfort and Radiation | Thermodynamics,” [Online]. Available: <https://www.simscale.com/blog/2019/08/radiation-heat-transfer-release/>. [Hozzáférés dátuma: 06 07 2020].

- [49] S. Chen és G. D. Doolen, „Lattice Boltzmann Method For Fluid Flows,” *Annual Review of Fluid Mechanics*, 1998.
- [50] P. Bech, S. Søndergaard, S. D. Østergaard és C. W. Topp, „The WHO-5 Well-Being Index: A Systematic Review of the Literature,” *Psychotherapy and Psychosomatics*, 2015.
- [51] Vajdáné Frohner Ilona, *A sugárzási hőmérsékletaszimmetria emberre gyakorolt hatásának vizsgálata*, Budapest, 2006.
- [52] Mohammad H. Hasan, Fadi M. Alsaleem és Mostafa Rafea, „Sensitivity Analysis for the PMV Thermal Comfort,” *Engineering*, 2016.
- [53] J. Burton, „Egészséges munkahelyek: cselekvési modell: munkaadók, munkavállalók, politikai döntéshozók és szakemberek számára,” *Egészségügyi Világszervezet, WHO Press, Genf*, 2010.
- [54] T. Church, D. Thomas, C. Tudor-Locke, P. Katzmarzy, C. Ernest és R. Rodarte, „Trends over 5 decades in U.S. occupation-related physical activity and their associations with obesity,” *PLoS On* 6(5):e19657, 2011.
- [55] L. Smith, M. Hamer, M. Ucci, A. Marmot, B. Gardner és A. Sawyer, „Weekday and weekend patterns of objectively measured sitting, standing, and stepping in a sample of office-based workers: The active buildings study,” *BMC Pub Health*, 2015.
- [56] E. Wilmot, C. Edwardson és F. Archana, „Sedentary time in adults and the association with diabetes, cardiovascular disease and death: systematic review and meta-analysis,” *Diabetologia*, 2012.
- [57] C. Edwardson, T. Goerly, M. Davies, L. Gray és K. Khunti, „Association of sedentary behaviour with metabolic syndrome: a meta-analysis,” *PLoS One* 7: e34916, 2012.
- [58] M. Rodrigues Lopes, J.P. Rey-Lopez és L.F.M. De Rezende, „Sedentary behavior and health outcomes: an overview of systematic reviews,” *PLoS One* 9: e105620, 2014.
- [59] M. Parent, M. Rousseau, M. El-Zein, B. Latreille, M. D'esy és J. Siemiatycki, „Occupational and recreational physical activity during adult life and the risk of cancer among men,” *Cancer epidemiology*, 2011.
- [60] C. C. Simons, L. A. Hughes, M. van Engeland, R. A. Goldbohm, P. A. van den Brandt és M. P. Weijenberg, „Physical activity, occupational sitting time, and colorectal cancer risk in the Netherlands cohort study,” *American Journal of Epidemiology*, 2013.
- [61] A. Throp, N. Owen, M. Neuhaus és D. Dunstan, „Sedentary behaviors and subsequent health outcomes in adults a systematic review of longitudinal studies,” *American Journal of Preventive Medicine*, 2011.
- [62] Matt Bagwell és B. Fiedler, „Don't Sit This One Out: Moderating the Negative Health Impact of Sedentary Behavior at Work,” *Three Facets of Public Health and Paths to Improvements*, 2020.
- [63] L. Straker, D. Dunstan és N. Gilson, „Sedentary work. evidence on an emergent work health and safety issue - final report,” *Safe Work Australia*, 2016.

- [64] Sz. Péter, F. Holguin és L. Wood, „Nutritional Solutions to Reduce Risks of Negative Health Impacts of Air Pollution,” *Nutrients*, 2015.
- [65] J. Phipps-Nelson, J. Redman, D. Dijk és S. Rajaratnam, „A világos fénynek való nappali kitettség a gyenge fényhez képest csökkenti az álmoságot és javítja a pszichomotoros éberséget,” *Sleep*, 2003.
- [66] A. Wirz-Justice, M. Terman, D. Oren, F. Goodwin, D. Kripke és P. Whybrow, „Brightening depression,” *Science*, 2004.
- [67] D. A. Ilter, E. Ergen és I. Tekce, „Acoustical Comfort in Office Buildings,” *Architecture and Civil Engineering*, 2019.
- [68] I. Knez és S. Hygge, „Irreleváns beszéd és beltéri világítás: Hatások a kognitív teljesítményre és az önbevalláson alapuló érzelmekre,” *Applied Cognitive Psychology*, 2002.
- [69] A. Noblet és A. D. LaMontagne, „A munkahelyi egészségfejlesztés szerepe a munkahelyi stressz kezelésében,” *Health Promotion International*, 2006.
- [70] N. G. Vardaxis, „Az akusztikai komfort értékelése lakóépületekben,” 2019.
- [71] E. Viveiros, „Is acoustic comfort underestimated by architects?,” *Journal of the Acoustical Society of America*, 2010.
- [72] D. LeCompte, „Extending the irrelevant speech effect beyond serial recall,” *Journal of Experimental Psychology*, 1994.
- [73] Made Samantha Wiratha és Lucky Tsaih, „Acoustic comfort in living environment,” *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2015.
- [74] M. Mijic, D. Pavlović és M. Bjelic, „Influence of "silence" on acoustic comfort,” *IcETRA*, *Szerbia*, 2019.
- [75] P. Burge, „Sick building syndrome,” *Occupational and Environmental Medicine*, 2004.
- [76] M. Apte, W. Fisk és J. Daisey, „Associations between indoor CO2 concentrations and sick building syndrome symptoms in U.S. office buildings: an analysis of the 1994-1996 BASE study data,” *Indoor Air*, 2000.
- [77] E. Broday és A. Paula Xavier, „A method for predicting the Actual Percentage of Dissatisfied (APD) through a simple proposition of thermal comfort zones in a working environment,” *Work*, 2020.
- [78] T. Jacobs, J. Kler, M. Hernke, R. Braun, K. Meyer és W. Funk, „Direct human health risks of increased atmospheric carbon dioxide,” *Nature Sustainability*, 2019.
- [79] K. Knecht, N. Bryan-Kinns és K. Shoop, „Usability and Design of Personal Wearable and Portable Devices for Thermal Comfort in Shared Work Environments,” *Proceedings of the 30th International BCS Human Computer Interaction Conference (HCI)*, 2016.
- [80] Z. Kolková, P. Hrabovský és J. Matušov, „Analysis of thermodynamic parameters and their influence on the thermal comfort in the working environment,” *MATEC Web of Conferences*, 2018.

- [81] M. Abdul Mujeebu, J. Laquatra és G. Marques, „Indoor Environmental Quality,” *IntechOpen*, 2019.
- [82] D. H. C. Chow, „Indoor Environmental Quality: Thermal Comfort,” *Encyclopedia of Sustainable Technologies*, 2016.
- [83] T. Godish, *Indoor Environmental Quality*, CRC Press, 2000.
- [84] A. Marmot, J. Eley, M. Stafford, S. Stansfeld, E. Warwick és M. Marmot, „Building health: an epidemiological study of “sick building syndrome” in the Whitehall II study,” *Occupational and Environmental Medicine*, 2006.
- [85] O. Toyinbo, „Indoor Environmental Quality,” *Sustainable Construction Technologies*, 2019.
- [86] TC Kft., Hőelemmel és Ellenállás-hőmérővel történő méréshez, Budapest: TC Kft..
- [87] „Infrared Window,” [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Infrared\\_window](https://en.wikipedia.org/wiki/Infrared_window). [Hozzáférés dátuma: 5. december 2020.].
- [88] Termográfia Kisokos - Elmélet Gyakorlat Ötletek & Trükkök, Budapest: Testo (Magyarország) Kft., 2012.
- [89] Dr. Szabó Zsuzsanna, „A hőháztartás biológiája - A normális testhőmérséklet és eltérései,” WEBBeteg.
- [90] Dr. Magyar Zoltán, „A belső környezet minősége és az épületenergetikai (EPBD) irányelv,” Pécs, 2012.
- [91] *MSZ EN ISO 9920:2009 - A hőmérsékleti környezet ergonómiája. A ruházat hőszigetelésének és párolgási ellenállásának becslése*, Budapest: Magyar Szabványügyi Testület, 2009.
- [92] *MSZ EN ISO 15831:2004 - Ruházat. Élettani hatások. A hőszigetelés mérése hőhatásnak kitett tanbábu segítségével*, Budapest: Magyar Szabványügyi Testület, 2004.
- [93] Dr. Kajtár László és Dr. Bánhidi László, „Komfortelmélet,” Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2000.
- [94] Budulski László, *Méréstechnika és épületenergetikai diagnosztika*, Pécs: PTE MIK, 2021.
- [95] Dr. Bánhidi László, Dr. Magyar Zoltán, Dr. Révai Tamás, Lenkovics László és Laborcz György, „A Don-kanyarban viselt katonaruhába öltöztetett műemberen végzett hőérzeti mérések,” *Sereg Szemle*, 2010.
- [96] Európai Parlament és az Európai Unió Tanács, *2010/31/EU direktíva – EU direktíva az épületek teljesítőképességéről* étdolgozás.
- [97] Európai Parlament és az Európai Unió Tanács, *2002/91/EC direktíva - EU direktíva az épületek teljesítőképességéről*.
- [98] *7/2006 (V. 24.) TNM rendelet – az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról*.
- [99] *40/2012 BM (VIII. 13.) BM – az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról szóló 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet módosításáról*.

- [100] 20/2014. (III. 7.) BM rendelet – az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról szóló 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet módosításáról.
- [101] 39/2015. (IX. 14.) MvM rendelet – az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról szóló 7/2006. (V. 24.) TNM rendelet módosításáról.
- [102] MSZ 04-140-3:1987 - *Épületek és épülethatároló szerkezetek hőtechnikai számításai*, Budapest: Magyar Szabványügyi Testület, 1987.
- [103] MSZ EN 16798-1:2019 - *Épületek energetikai teljesítőképessége. Épületek szellőztetése.*, Budapest: Magyar Szabványügyi Testület, 2019.
- [104] MSZ-04-140/2:1991 - *Épületek és épülethatároló szerkezetek hőtechnikai számításai. Hőtechnikai méretezés.*, Budapest: Magyar Szabványügyi Testület, 1991.
- [105] L. László, Szerző, *Csapadékvíz hasznosítás a Solar Decathlon PTE MIK épületében.* [Performance]. 2019.
- [106] L. László, „ZÖLDTETŐ MÉRŐKÖR MÉRÉSI RENDSZERE A PTE MŰSZAKI ÉS INFORMATIKAI KARON,” in *Sopiana Kultúrális Egyesület*, Pécs, 2017.
- [107] M.R. Safizadeh, L. Watly és A. Wagner, „Evaluation of Radiant Heating Ceiling Based on Energy and Thermal Comfort Criteria, Part II: A Numerical Study,” *Energies*, 2019.
- [108] Q. Zhao, Z. Lian és D. Lai, „Thermal comfort models and their developments: A review,” *Energy and Built Environment*, 2020.
- [109] G. D. Kontes, G. I. Giannakis, P. Horn, S. Steiger és D. V. Rovas, „Using Thermostats for Indoor Climate Control in Office Buildings: The Effect on Thermal Comfort,” *Energies*, 2017.
- [110] M. Cannistraro és M. Trancossi, „Enhancement of indoor comfort in the presence of large glazed radiant surfaces by a local heat pump system based on Peltier cells,” *Thermal science and engineering*, 2019.
- [111] R. Collobert , S. Bengio és J. Marithoz, „A Modular Machine Learning Software Library,” *IDIAP Research Report*, 2002.
- [112] T. Thanem, S. Värlander és S. Cummings, „Open space = open minds? The ambiguities of pro-creative office design,” *International Journal of Work Organisation and Emotion*, 2011.
- [113] X. Shan, N. Luo és K. Sun, „Coupling CFD and Building Energy Modelling to Optimize the Operation of a Large Open Office Space for Occupant Comfort,” *Sustainable Cities and Society*, 2020.
- [114] G. M. Sargent, C. Banwell, L. Strazdins és J. Dixon, „Time and participation in workplace health promotion: Australian qualitative study,” *Health Promotion International*, 2016.
- [115] Cakó Balázs, „Az új energetikai irányelvek hatása a komfortparaméterekre,” in *IV. Fiatalok Európában Konferencia*, Pécs, Magyarország, 2018.
- [116] Cakó Balázs, „Mérés termikus műemberrel II.” in *XXII. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia*, Kolozsvár, Románia, 2018.

- [117] Cakó Balázs, „Termikus műemberek összehasonlítása,” in *VII. Interdiszciplináris Doktorandusz Konferencia*, Pécs, Magyarország, 2018.
- [118] Cakó Balázs és Lenkovics László, „The role of green roofs in the quality of the house,” in *15th Miklós Iványi International PhD & DLA Symposium : Architectural, Engineering and Information Sciences*, Pécs, Magyarország, 2019.
- [119] Cakó Balázs és Lenkovics László, „Impacts of green roofs on thermal comfort parameters,” in *11th International Symposium on Exploitation of Renewable Energy sources and Efficiency*, Szabadka, Szerbia, 2019.
- [120] Cakó Balázs, „Impacts of the clothing on comfort parameters and heating energy requirements,” in *10th International Symposium on Exploitation of Renewable Energy Sources and Efficiency*, Szabadka, Szerbia, 2018.
- [121] Cakó Balázs és Ózdi András, „Clo érték mérés termikus mérőbábuval,” in *XXV. Nemzetközi Építéstudományi Online Konferencia*, 2021.
- [122] Cakó Balázs és Loch Gábor, „PMV érték mérés termikus mérőbábuval,” in *XXV. Nemzetközi Építéstudományi Online Konferencia*, 2021.
- [123] Cakó Balázs, Zoltán Erzsébet Szeréna, Girán János, Medvegy Gabriella, Eördöghné Miklós Mária, Nyers Árpád, Grozdics Anett Tímea, Kisander Zsolt, Bagdán Viktor és Borsos Ágnes, „An Efficient Method to Compute Thermal Parameters of the Comfort Map Using a Decreased Number of Measurements,” *Energies*, 2021.
- [124] Borsos Ágnes, Zoltán Erzsébet Szeréna, Girán János, Medvegy Gabriella, Cakó Balázs és Pozsgai Éva, „The Comfort Map—A Possible Tool for Increasing Personal Comfort in Office Workplaces,” *Buildings*, 2021.
- [125] Cakó Balázs, Lovig Dalma és Ózdi András, „Measuring the effects of heated windows on thermal comfort,” *Pollack Periodica: An International Journal For Engineering And Information Sciences*, 2021.
- [126] Borsos Ágnes, Cakó Balázs, Kisander Zsolt, Zoltán Erzsébet Szeréna és Girán János, „COMFORT MAP - shared desk irodai környezetben egyéni komfort preferenciákat támogató tervező eszköz,” Pécs, Magyarország, 2021.
- [127] WHO, Egészségügyi Világszervezet, *Egészséges munkahelyek: cselekvési modell*, 2010.
- [128] Szőke Andrea, *Extenzív zöldtetők, és azokon alkalmazott egyes Sedum fajok komplex értékelése*, 2015.
- [129] Nyers József, Nyers Árpád, Kajtár László és Slavica Tomić, „Investment-savings method for energy-economic optimization of external wall thermal insulation thickness,” *Energy and Buildings*, 2015.
- [130] „Testo 882 - Thermal imager,” [Online]. Available: <https://www.testo.com/en-ID/testo-882/p/0560-0882>. [Hozzáférés dátuma: 03. 10. 2020.].

## Saját közlemények

---

### **Lektorált, magyar nyelvű konferenciakötetben megjelent és előadott:**

1. **Cakó Balázs**, „Az új energetikai irányelvek hatása a komfortparaméterekre,” in IV. Fialatok EÚrópában Konferencia, Pécs, Magyarország, 2018.

### **Lektorált könyv:**

2. **Cakó Balázs**, Lenkovics László, Budulski László, Kisander Zsolt, Loch Gábor, Ózdi András, Dr. Borsos Ágnes, Dr. Girán János, Prof. Dr. Fülöp László „Hőkomfort – Mérések és számítások”, Pécs, Magyarország, 2022, Kiadó: KomfortMűhely Kft., ISBN: 978-963-429-947-9

### **Magyarországi, lektorált, idegen nyelvű konferencia kiadványban megjelent és előadott:**

3. **Cakó Balázs**, Lovig Dalma és Ózdi András, „Measuring the effects of heated windows on thermal comfort,” Pollack Periodica: An International Journal For Engineering And Information Sciences, 2021.

### **Magyarországi, idegen nyelvű konferencia absztrakt füzetben megjelent és előadott:**

4. **Cakó Balázs** és Lenkovics László, „The role of green roofs in the quality of the house,” in 15th Miklós Iványi International PhD & DLA Symposium: Architectural, Engineering and Information Sciences, Pécs, Magyarország, 2019.

### **Külföldi, idegen nyelvű konferencia kiadványban megjelent és előadott:**

5. **Cakó Balázs** és Lenkovics László, „Impacts of green roofs on thermal comfort parameters,” in 11th International Symposium on Exploitation of Renewable Energy sources and Efficiency, Szabadka, Szerbia, 2019.
6. **Cakó Balázs**, „Impacts of the clothing on comfort parameters and heating energy requirements,” in 10th International Symposium on Exploitation of Renewable Energy Sources and Efficiency, Szabadka, Szerbia, 2018.

### **Külföldi, magyar nyelvű konferencia kiadványban megjelent és előadott:**

7. **Cakó Balázs**, „Termikus műemberek összehasonlítása,” in VII. Interdiszciplináris Doktorandusz Konferencia, Pécs, Magyarország, 2018.
8. **Cakó Balázs**, „Mérés termikus műemberrel II.,” in XXII. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia, Kolozsvár, Románia, 2018.
9. **Cakó Balázs** és Ózdi András, „Clo érték mérés termikus mérőbábuval,” in XXV. Nemzetközi Építéstudományi Online Konferencia, 2021.
10. **Cakó Balázs** és Loch Gábor, „PMV érték mérés termikus mérőbábuval,” in XXV. Nemzetközi Építéstudományi Online Konferencia, 2021.

### **Külföldi, idegen nyelvű folyóiratban megjelent:**

11. **Cakó Balázs**, Zoltán Erzsébet Szeréna, Girán János, Medvegy Gabriella, Eördöghné Miklós Mária, Nyers Árpád, Grozdics Anett Tímea, Kisander Zsolt, Bagdán Viktor és Borsos Ágnes, „An Efficient Method to Compute Thermal Parameters of the Comfort Map Using a Decreased Number of Measurements,” Energies, 2021.
12. Borsos Ágnes, Zoltán Erzsébet Szeréna, Girán János, Medvegy Gabriella, **Cakó Balázs** és Pozsgai Éva, „The Comfort Map—A Possible Tool for Increasing Personal Comfort in Office Workplaces,” Buildings, 2021.

## Szabadalom

---

1. **„Comfort Map know-how”**: **Cakó Balázs**, dr. Borsos Ágnes, Kisander Zsolt, dr. Girán János, dr. Zoltán Erzsébet Szeréna, dr. Medvegy Gabriella, – A szellemi alkotást a Pécsi Tudományegyetem Innovációs Bizottsága fogadta be. Határozat: 687.Ibh.6.(2021.12.17.)
2. **„Comfort Map Software”**: Kisander Zsolt, dr. Borsos Ágnes, **Cakó Balázs**, dr. Girán János, dr. Zoltán Erzsébet Szeréna, dr. Medvegy Gabriella,– A szellemi alkotást a Pécsi Tudományegyetem Innovációs Bizottsága fogadta be. Határozat: 688.Ibh.7.(2021.12.17.)



# Ábrajegyzék

---

1. ábra Egy átlagos ember beltérben töltött idejének százalékos megoszlása egy teljes év vonatkozásában [2].	4
2. ábra A hőmérséklet és a hőleadás összefüggése.	7
3. ábra 6 különböző eset a besugárzási tényező meghatározásához [4]	13
4. ábra Besugárzási tényező ülő ember és vertikális síkok között (1 eset) [4]	14
5. ábra Besugárzási tényező ülő ember és vertikális síkok között (2 eset) [4]	14
6. ábra Besugárzási tényező ülő ember és vertikális síkok között (3 eset) [4]	15
7. ábra Besugárzási tényező ülő ember és vertikális síkok között (4 eset) [4]	15
8. ábra Besugárzási tényező ülő ember és vertikális síkok között (5 eset) [4]	16
9. ábra Besugárzási tényező ülő ember és vertikális síkok között (6 eset) [4]	16
10. ábra A teljes és ruházati hőszigetelés hengeres modellje.	27
11. ábra Folyamatábra a ruházat hőszigetelő képességének meghatározásához	29
12. ábra Korrekciós tényező ( $I_{T,r}/I_T$ ) ruhával borított esetben, X – relatív légsebesség [m/s], Y – séta sebessége [m/s].	34
13. ábra Korrekciós tényező ( $I_{a,r}/I_a$ ) mezítenen esetben, X – relatív légsebesség [m/s], Y – séta sebessége [m/s].	34
14. ábra A mérőbábu sematikus tagolása	35
15. ábra A várható hőérzeti érték (PMV) és a kedvezőtlen hőérzet várható százalékos valószínűségének (PPD) kapcsolata	41
16. ábra Konvektív hőátadási tényező végső értékének meghatározása iterációval [10]	44
17. ábra Ruházat hőmérsékletének meghatározása iterációval [10]	44
18. ábra Példa az alkalmazott skálák megjelenésére (7 pontos skála)	51
19. ábra Hődrótos, irányfüggetlen légsebességmérő [15]	54
20. ábra Hődrótos légsebességmérő felépítése [15]	55
21. ábra Glóbuszhőmérő [17]	55
22. ábra Irányfüggetlen légsebességmérő [18]	56
23. ábra CO <sub>2</sub> szonda, léghőmérséklet és relatív páratartalom érzékelővel [19]	56
24. ábra TESTO 480 (a) és TESTO 400 (b) multifunkciós klimatechnikai mérőműszerek	57
25. ábra Termikus mérőbábuk az Egyesült Államok hadseregének laboratóriumában [28]	59
26. ábra Modern termikus mérőbábu belső kialakítása [24]	60
27. ábra Newton termikus mérőbábuk mozgatható testrészekkel [30]	61
28. ábra Walter termikus mérőbábu [31]	61
29. ábra PT TEKNIK gyártmányú termikus mérőbábu a PTE-MIK Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszék laboratóriumában légzés áramlástechnikai vizsgálata közben	62
30. ábra A Dán Műszaki Egyetemen (DTU) fejlesztésében készült női termikus mérőbábuk	63
31. ábra „Charline” elnevezésű mérőbábu [37]	63
32. ábra NEMO a merülő mérőbábu [37]	64
33. ábra Az „Adam” elnevezésű 126 szegmensből álló termikus mérőbábu [37]	65
34. ábra Első magyar termikus mérőbábu (ÉTIMAN, később BÉLA) [39]	67
35. ábra A termikus mérőbábu felületi hőmérséklete és testrészei [23]	68
36. ábra Miklós a PTE-MIK-en végzett kutatások során	69
37. ábra A mérést vezérlő szoftver képernyő képe.	70
38. ábra A termikus mérőbábu testrészeinek felülete.	70
39. ábra A termikus mérőbábu és kiegészítői	73
40. ábra Egy iskolai tanterem izo-PMV-görbéi [3]	74
41. ábra A válaszadók nemek és korcsoport szerinti megoszlása	76
42. ábra A munkahelyi tér szerepére vonatkozó kérdés eredményei	76

43. ábra Az ülő pozícióban töltött időtartam és az ülőmunka megszakítási gyakoriságának kombinációja .....	77
44. ábra Nagyszámú méréssel történő komforttérkép alkotás szemléltetése.....	78
45. ábra (a) – Mérési adatok ábrázolásával történt komforttérkép alkotás, (b) – Mérési pontok interpolációval történő kiterjesztésével történt komforttérkép alkotás.....	79
46. ábra Kiszámú méréssel validált szimulációval történő komforttérkép alkotás szemléltetése.....	79
47. ábra Szimulációval történő komforttérkép alkotás szemléltetése.....	80
48. ábra PPD mezők formájában történő ábrázolása ISO 7730 számítási módszer szerint SimScale szoftverben .....	80
49. ábra A mérési pontok interpolációval történő kiterjesztésének pszeudokódja.....	82
50. ábra Az összes mért adat felhasználásával előállított hőérzeti komforttérkép, az értékek a várható hőérzetet (PMV) jelölik.....	82
51. ábra Az összes mért adat 63%-ának felhasználásával előállított hőérzeti komforttérkép, az értékek a várható hőérzetet (PMV) jelölik.....	83
52. ábra A méréssel érintett területeken meghatározott várható hőérzet (PMV) és az adatok 63%-át felhasználva számított várható hőérzet (PMV) százalékos aránya.....	83
53. ábra Egy mesterséges neuron sematikus rajza.....	85
54. ábra Egy réteges felépítésű neurális hálózat látható.....	86
55. ábra Az interpolációt végző neurális hálózat léptetése a tér celláin .....	87
56. ábra Az összes mért adat eloszlása a térben .....	88
57. ábra Az adatok 47%-ának felhasználásával újra számolt adatok a méréssel érintett területeken....	88
58. ábra A méréssel érintett területeken meghatározott várható hőérzet (PMV) és az adatok 47%-át felhasználva számított várható hőérzet (PMV) százalékos aránya.....	88
59. ábra $N(20; 0,25)$ normál eloszlású véletlen adatok interpolációs hibája .....	90
60. ábra $N(20; 0,25)$ normál eloszlású véletlen adatok interpolációs hibája .....	91
61. ábra Komfortparaméterek ábrázolása munkaállomásonként.....	93
62. ábra Információbekerés komfort szerinti munkaállomás választáshoz .....	93
63. ábra A vizsgált iroda alaprajza .....	94
64. ábra A mérési adatok interpolációval történő kiterjesztésének főbb lépései.....	95
65. ábra A kutatás során mért összes komfortparamétert ábrázoló komforttérkép .....	96
66. ábra Komforttérkép applikáció prototípusa.....	97
67. ábra A résztvevő alanyok kor szerinti eloszlása.....	101
68. ábra Hőtechnika laboratórium részleges és a mérőkamra alaprajza.....	102
69. ábra Siemens felügyeleti rendszer hőközponti kezelőfelülete.....	102
70. ábra Siemens felügyeleti rendszer fűtő-hűtő körök kezelőfelülete .....	103
71. ábra A mérőkamra felületein elhelyezett hőmérséklet érzékelők.....	103
72. ábra Környezeti paraméterek mérését vezérlő szoftver kezelőfelülete: bal oldalon az ellenállás hőmérők (NI9217), még jobb oldalon a hőelemek (NI9213) mért adatai és beállítási értékei.....	104
73. ábra Mérési installáció az élőalanyos mérési sorozat során .....	104
74. ábra Fénykép a mérési installációról az élőalanyos mérési sorozat során.....	105
75. ábra Mérési eredmények, valamint mérési installáció, ülő és álló helyzetben.....	106
76. ábra Az élőalanyos mérés során termikus mérőbábuval mért PMV (várható hőérzeti érték) .....	109
77. ábra Az élőalanyos mérés során hőkomfort mérő állomással (TESTO 400) mért PMV (várható hőérzeti érték).....	109
78. ábra Az élőalanyos mérés során kérdőív segítségével meghatározott AMV (tényleges hőérzeti érték).....	110
79. ábra A mérőeszközökkel mért hőérzeti érték összehasonlítása a szubjektív véleményekkel.....	111

## Táblázatjegyzék

---

1. táblázat A konvekciós hőátadási tényező ( $h_c$ ) a légsebesség ( $v$ ) függvényében .....	18
2. táblázat A hőkomfort szempontjából támasztott követelmények hierarchikus felépítése a hatályos rendeletek és szabványok vonatkozásában.....	24
3. táblázat Az MSZ CR 1752:2000 szabvány hőkomfort követelményei belső terek esetén .....	25
4. táblázat MSZ EN 15251:2007 szabvány hőkomfort követelményei belső terek esetén .....	25
5. táblázat MSZ EN 16798-1:2019 szabvány hőkomfort követelményei belső terek esetén .....	25
6. táblázat Ruházatok termikus teljesítőképességeivel foglalkozó szabványok.....	26
7. táblázat Általános ruházategyüttesek hőszigetelési értékei .....	30
8. táblázat Általános ruhadarabok hőszigetelési értékei.....	31
9. táblázat Tájékoztató adatok a metabolikus hőtermelésre (M) a tevékenység függvényében [11] ....	42
10. táblázat A különböző skálák kiértékelésének módjai.....	51
11. táblázat Termikus mérőbábuk fejlődése [21] [22] [38].....	66
12. táblázat A mért értékek felhasználásának csökkentésével kialakuló százalékos eltérések (lineáris interpolációval).....	84
13. táblázat A mért értékek felhasználásának csökkentésével kialakuló százalékos eltérések (mesterséges intelligencia eszközökkel).....	89
14. táblázat Mérési pontok számának minimuma a lehűlő felületek számának függvényében .....	91
15. táblázat Egy munkaállomás mért és számított adatai .....	94
16. táblázat A mért komfort paraméterek minimum és maximum értékei .....	94
17. táblázat Az MSZ EN ISO 9920:2009 szabványban rögzített peremfeltételeknek történő megfelelés ellenőrzése .....	105
18. táblázat A vizsgálat tervezett ütemezése .....	107
19. táblázat az élőalanyos mérés eredményei.....	108
20. táblázat A kiértékelhető kérdőíves válaszok és a kérdőív kitöltésével párhuzamosan, termikus mérőbábuval mért várható hőérzeti érték .....	110