



# **A komfortérzet javításának eszköze épített környezetben**

Tézisfüzet

2022

Készítette: Cakó Balázs  
okl. létesítménymérnök  
épületgépész mérnök

Témavezető: Eördöghné Dr. Miklós Mária  
okl. épületgépész mérnök

# 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.

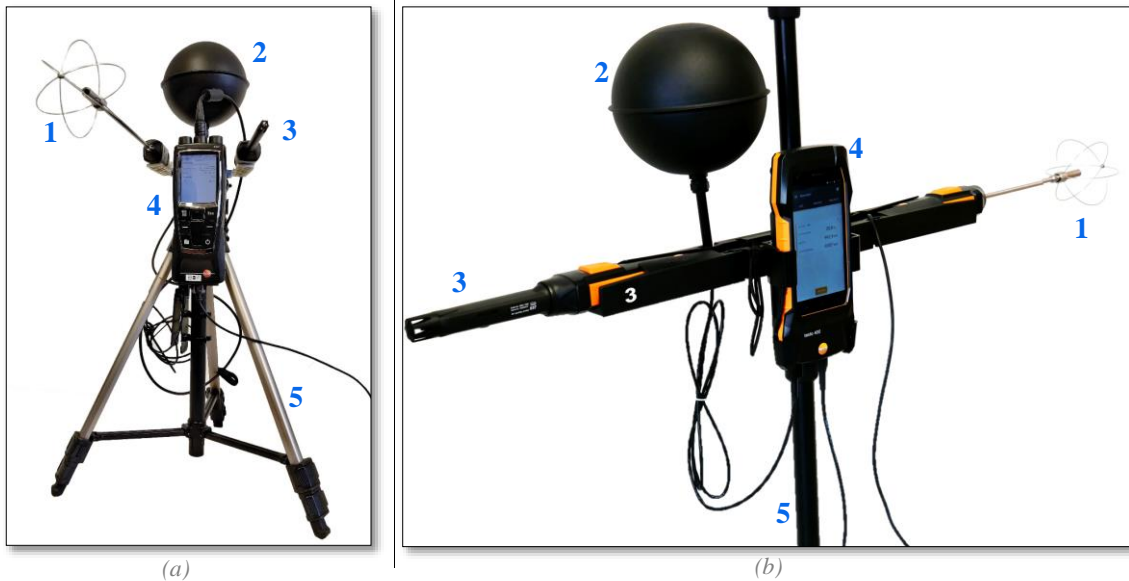
A kutatás **céljaként** a dolgozók komfortérzetének javítását szolgáló változtatások azonosítása, valamint a loungek (pihenők) újraértelmezése és a használatuk fokozása került meghatározásra. Az adatgyűjtés során a téma sajátosságai miatt elsősorban kvantitatív megközelítést alkalmaztunk, amely két részből állt: egyrészt kérdőíves adatgyűjtés történt a dolgozók komfortérzetének, komfortelvárásainak, valamint a munkavégzés közbeni szokásaiknak a feltárására. Másrészt műszeres mérések történtek, amellyel 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.

## 2. A kutatások során alkalmazott mérőeszközök

A Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Karán egy TESTO 480 típusú készülék, majd a későbbiekben egy TESTO 400 típusú hőkomfort mérőállomással folytak a kutatások. A műszerek nagy pontossággal mérik a léghőmérsékletet, 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, irányfüggetlen légsebességmérő, léghőmérséklet és páratartalom érzékelő.



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

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

A kutatás során egy termikus mérőbábút alkalmaztam. Egy termikus mérőbábu az emberi test helyi vagy egész testre vonatkozó hőcseréjének pontos modellezésére képes. 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.



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

Fizikai paraméterei egy átlagos felnőtt férfi méreteivel azonosak, magassága ~1,7 m, testfelülete ~1,7 m<sup>2</sup>, mely 22 önállóan szabályozható testrésze van osztva. Tömege 19 kg a könnyű kezelhetőség érdekében, a testtömeg korrekció szoftveresen állítható, mely alapállapotban 70 kg. A mérőbábu képes

a ruházati hőszigetelőképeség mérésére, és a különböző komfort indexek, a PMV<sup>1</sup> és PPD<sup>2</sup> értékek meghatározására.

A működési elvét tekintve a környezeti paraméterek hatására a mérőbábu igyekszik a környezet felé létrejövő hővesztés és a megtermelt hőmennyiség egyensúlyban tartására. Ezt három különböző szabályozási eljárás alkalmazásával is el tudja érni, melyek a következők:

- a bőrfelületi hőmérséklet állandó értéken tartása (PI üzemmód),
- állandó teljesítmény tartás (Locked Power üzemmód),
- komfort kontrol üzemmód (Comfort üzemmód).

### 3. Komforttérkép

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. Feltételezésem szerint a komforttérkép alkalmazása javítja az általános komfortérzettel kapcsolatos elégedettséget anélkül, hogy az épületgépészeti rendszerben bármilyen beavatkozást eszközölnénk.

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 [3]. 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 tartása érdekében olyan interpolációs alapon működő eljárást fejlesztettem ki, mely lehetővé teszi a lehetséges legkevesebb mérés felhasználásával, kis számítási kapacitással a komforttérkép előállítását.

#### 3.1 Komforttérkép alkotás a mérési pontok interpolációval történő kiterjesztésével

A módszer kidolgozásához az alapötletet 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 színt 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 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.

---

<sup>1</sup> PMV: predicted mean vote - várható hőérzeti érték)

<sup>2</sup> PPD: predicted percentage dissatisfied - kedvezőtlen hőérzet várható százalékos valószínűsége

Egy üresen maradó, mérési pontok közötti cella értéke az alábbi összefüggés alapján határozható meg:

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

ahol:

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

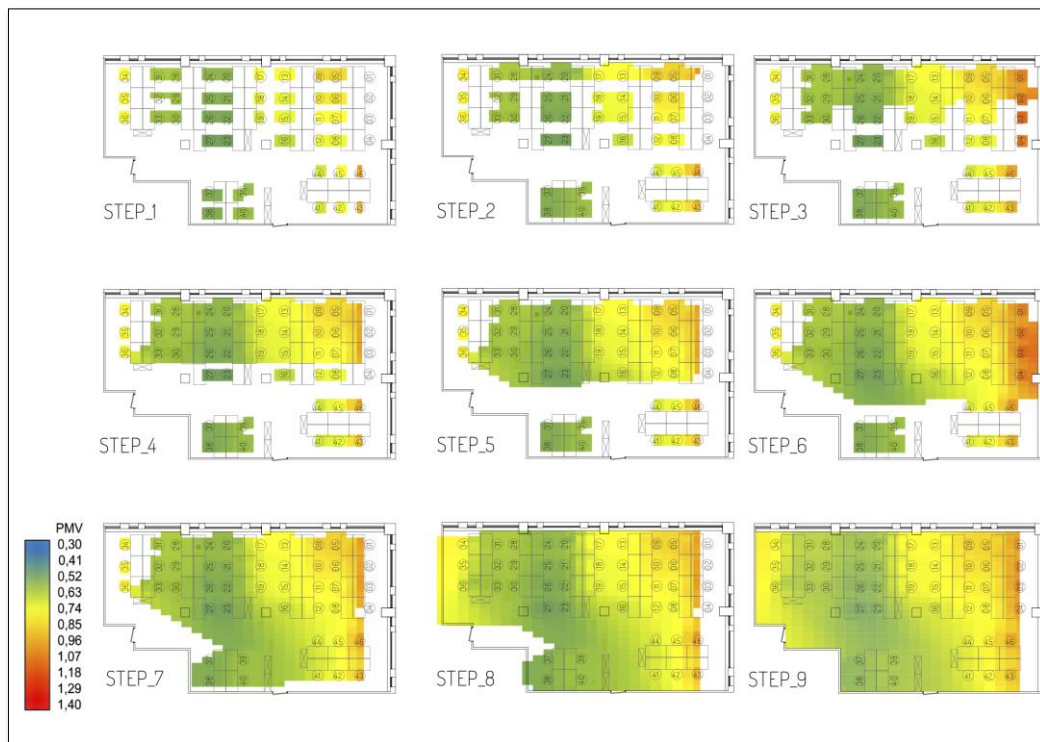
$N$  – halmaz, amely a meghatározandó cella oldalszomszédjainak az indexeit tartalmazza.

A rács méréssel nem rendelkező celláira iteratívan alkalmazva az interpolációs formulát előáll a vizsgált tér közelítő komforttérképe. Az ezt végző algoritmus pszeudokódja a következő:

```
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
```

4. ábra A mérési pontok interpolációval történő kiterjesztésének pszeudokódja

Az iterációs eljárás főbb lépéseit a következő ábrason mutatom be:



5. ábra A mérési adatok interpolációval történő kiterjesztésének főbb lépései

Látható, hogy az interpolációs formula alkalmazásával a tér minden pontján meghatározható a hőérzeti érték (PMV), melyhez szint rendelhetünk.

### 3.2 Mérési pontok kiterjesztése mesterséges intelligencia eszközökkel

Az interpolációs és extrapolációs eljárások mellett a mesterséges intelligencia eszközök is lehetőséget nyújtanak a mérési adatok kiterjesztésére. Érdeemes megjegyezni, hogy mesterséges intelligencia alatt a neurális hálózat alapú megoldásokat értjük. Habár elsöre 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 modell függvény (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.



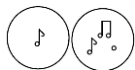
### 3.2.1 Mért és számított eredmények ábrázolása, komforttérkép vizualizálása

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 piktogrammok, szimbólumok formájában történő ábrázolás.

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).



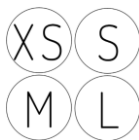
A *akusztikai komfort* szimbólum az irodai háttérzaj egy adott munkaállomásra jellemző mértékét jelzi.



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

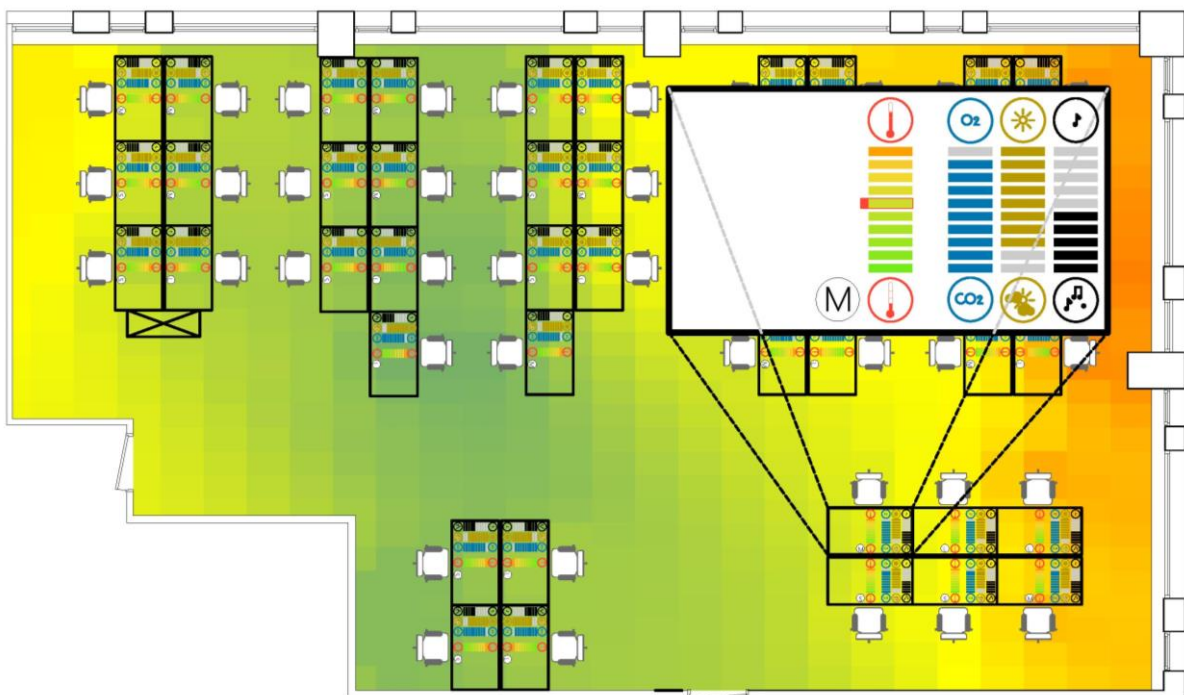


A *légminőség* szimbólumok a munkahely levegőminőség-jellemzőit mutatják.



Az XS, S, M, L, XL jelzések az adott munkaállomás asztaljának magasságát jelzik (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.

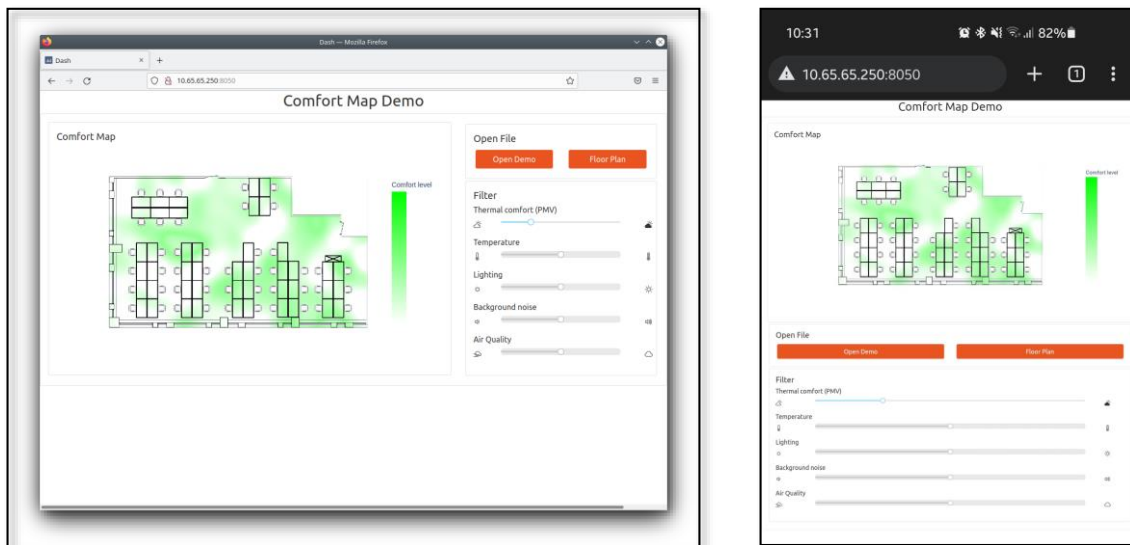
A skálák kialakításánál figyelembe vettük, hogy az adott tartományhoz ne társuljon negatív érzés, így a skála színe a lehetséges munkaállomások lefoglalását követően dinamikusan változik. Ezáltal minden esetben a lehető legjobb elérhető munkaállomáshoz a zöld szín társul.



6. ábra A kutatás során mért összes komfortparamétert ábrázoló komforttérkép



### 3.3 Komforttérkép applikáció



7. ábra Komforttérkép applikáció prototípusa

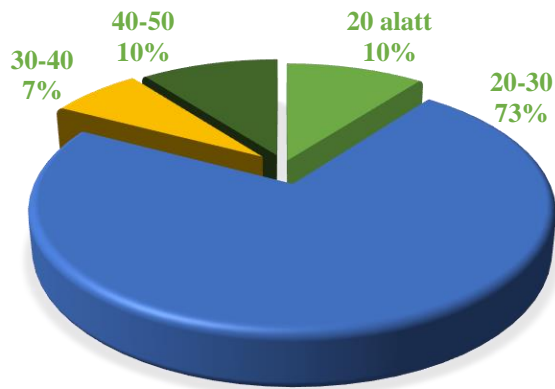
A kutatás során elkészült a komforttérkép alkalmazás prototípusa, mely alkalmas arra, hogy kép formátumban beolvassa az ábrázolni kívánt alaprajzot és a mért adatokat, melyek felhasználásával előállítja a bemutatott komforttérképet az adott helyiségre. A 7. ábra komforttérkép applikáció prototípusát 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.

## 4. Élőalanyos 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 elégedetlenek 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 megállapított és a hőkomfort mérőállomás (TESTO 400) által mért komfortparamétereket.

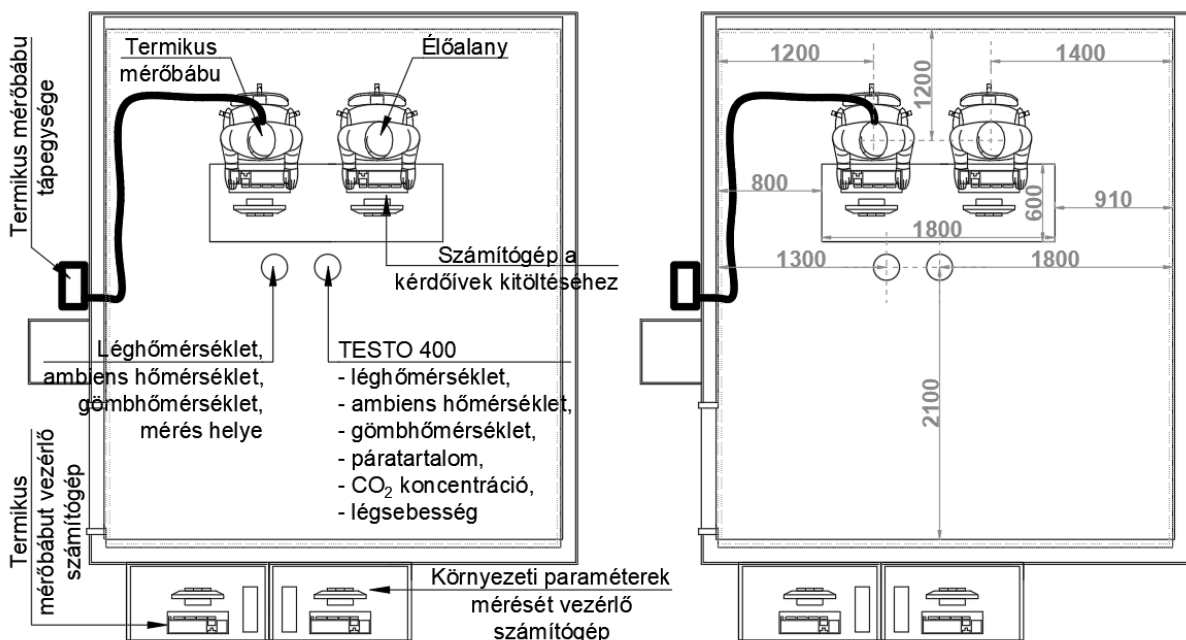
Az élőalanyok bevonásával zajló kutatás során a Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Karán az Épületgépész- és Létesítménymérnöki Tanszék Hőtechnikai laboratóriumában végeztem méréseket. A kutatásban 29 alany vett részt. A szakirodalom minimum 15 főt határoz meg ilyen jellegű kutatásokhoz. Az alanyok 19-46 év közötti egyetemi polgárok, zömében 20-30 év közötti férfiak. Az alanyok kor szerinti eloszlását a 8. ábra szemlélteti.



8. 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, 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 ítélik, jelezzék azt. A méréssorozat egy héten keresztül tartott alanyonként 2 órás váltásban. Az alanyok minimum 1,5-2 órát törltek a klímakamrában. A vizsgált alanyoktól minden esetben tájékozódunk 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 méréseket a Hőtechnika laboratóriumban kialakított mérőkamrában végeztük. A mérőkamra méretei a következők: 4,00 m (hosszúság) x 3,51 m (szélesség) x 3,03 m (belmagasság) helyiség, melynek alapterülete: 12,04 m<sup>2</sup>, térfogata 36,48 m<sup>3</sup>.



9. ábra Mérési installáció az élőalanyos mérési sorozat során



*10. ábra Fénykép a mérési installációról az élőalanyos mérési sorozat során*

## 5. A tézisek ismertetése

### 1. tézis

**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 tézis 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 a 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 irodában 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 ( $PMV=0,51\div 1,08$ ). 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 ítélnék 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. tézis

**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 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	-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.

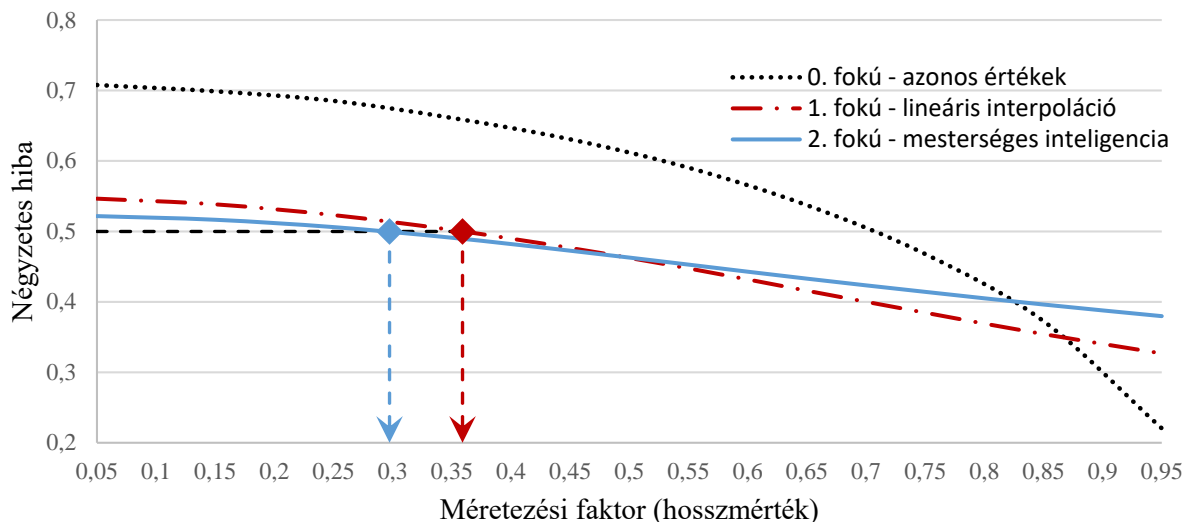
Mért értékek	Negatív eltérés	Pozitív eltérés	Max eltérés	Átlag eltérés
[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
63	-0,195	0,278	0,278	0,00354
47	-0,491	0,715	0,715	0,01123
27	-3,417	2,992	3,417	0,01324
12	-6,434	7,507	7,507	0,02660

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. figyelembevételével 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 paramétere 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.



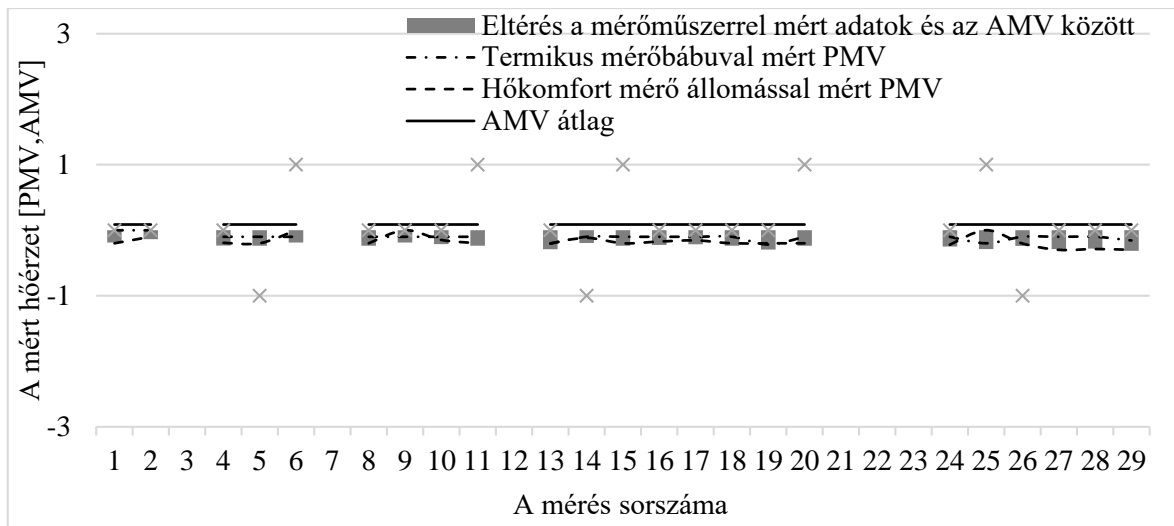
A diagram a normál eloszlású véletlen adatok interpolációs hibáját ábrázolja a méretezési faktor függvényében. A diagramról leolvasható, hogy a lineáris interpoláció alkalmazása esetén a méretezési faktor 0,36, így a területi faktor 0,129. Mesterséges intelligencia alkalmazása esetén a méretezési faktor 0,3, így a területi faktor 0,09. Ezek alapján megállapítható, hogy mesterséges intelligencia eszközök használatával kevesebb mérési pontra van szükség a komforttérvék 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 mérésorozatot 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 mérésorozatot párhuzamosan végeztem méréseket termikus mérőbábuval, hőkomfort mérőállomással és a szubjektív megítélés vizsgálatára alkalmas kérdőívekkel. A kérdőívek összeállítása és kiértékelése az MSZ EN ISO 10551:2020 szabvány alapján történt.



A diagram a méréssorozat eredményeit ábrázolja. Látható, hogy a termikus mérőbábuval és a hőkomfort mérőállomással 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.

## 6. 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 testrészekre



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 szélsőségesen 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 kérdőív a kutatások során a hipotézisek igazolásának egyik, ha nem a legfontosabb eszköze. Ezért célul tűztem ki, hogy a további kutatásaim során megkísérlem továbbfejleszteni a jelenleg is használatban lévő kérdőíveket, azok kiértékelési módszereit.

## **7. Saját közlemények**

### **Lektorált, magyar nyelvű konferenciakötetben megjelent és előadott:**

1. **Cakó Balázs**, „Az új energetikai irányelvek hatása a komfortparaméterekre,” in IV. Fialatok Európában 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 Lenkovic 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.

#### **Szabadalmak:**

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.)