Szent István Egyetem

Termikus műember alkalmazási lehetőségei hőkomfort vizsgálatoknál

Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

dr. Magyar Zoltán

Gödöllő
2011

A doktori iskola

megnevezése: **Műszaki Tudományi Doktori Iskola**

tudományága: **Agrárműszaki tudományok**

vezetője: **Dr. Farkas István**
Egyetemi tanár, DSc
Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar
Környezetipari Rendszerek Intézet
Gödöllő

témavezető: **Dr. Barótfi István**
Egyetemi tanár, CSc
Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar
Környezetipari Rendszerek Intézet
Gödöllő

…….. ……..
Az iskolavezető jóváhagyása A témavezető jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

1.	A MUNKA ELŐZMÉNYEI, A KITŰZÖTT CÉLOK	4
2.	ANYAG ÉS MÓDSZER	6
2.1.	A kutatáshoz használt komfortelméleti fogalmak és összefüggések	6
2.2.	A termikus műember bemutatása	8
2.3.	A termovíziós vizsgálatok alkalmazhatósága	9
2.4.	A ruházat hőszigetelő képessége	10
3.	AZ EREDMÉNYEK	12
3.1.	Élő alanyok és a termikus műember felületi hőmérsékletének összehasonlítása	12
3.2.	A ruházat hőszigetelő képességének változása a környezeti levegő hőmérsékletének a függvényében	14
3.3.	Az ember hőleadásának meghatározása különböző ekvivalens hőmérsékletek mellett	15
3.4.	Az egyes emberi testrészek hőleadásának meghatározása különböző ekvivalens hőmérsékletek mellett	16
3.5.	Sugárzási hőmérséklet aszimmetria - meleg mennyezet és a hideg fal együttes hatásának - elméleti vizsgálata	17
3.6.	Sugárzási hőmérséklet aszimmetria - meleg mennyezet és a hideg fal együttes hatásának - vizsgálata termikus műember alkalmazásával	19
3.7.	Irodai munkahely modellezése termikus műemberrel	24
4.	ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	27
5.	KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK	30
6.	ÖSSZEFOGLALÁS	31
7.	AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ FONTOSABB PUBLIKÁCIÓK	32

1. A MUNKA ELŐZMÉNYEI, A KITŰZÖTT CÉLOK

Az ember a hőérzetével mindig is foglalkozott, hiszen ha fázott, akkor egy újabb ruhadarabot vett fel, vagy tevékenységének intenzitását fokozta. A technika fejlődésével és a korszerű ismeretek alkalmazásával a hőkomfort vizsgálatok tudományos jelleget és hátteret kaptak.

Az ember életének 85-90 %-át zárt térben tölti, ezért alapvető fontosságú, hogy az építész által megtervezett zárt tér biztosítsa számára azokat a komfort körülményeket, amelyek fennállása esetén jól érzi magát, valamint mind a fizikai, mind a szellemi munkavégzés szempontjából optimális teljesítmény kifejtésére képes.

A komfortelmélet az utóbbi néhány évtizedben került a tudományos kutatás kiemelt területei közé. Bebizonyították, hogy a belső tér fizikai paraméterei (léghőmérséklete, páratartalma, légsebessége, a környező felületek hőmérséklete) hatnak a zárt térben végzett tevékenységünkre, fizikai és szellemi munkavégző képességünkre. A hőkomfort vizsgálatok az 1970-es évektől új megközelítést kaptak, amikor a Dániai Műszaki Egyetemen P.O. Fanger professzor úr kidolgozta az emberi hőérzet szubjektív megítélésének komplex elméleti és mérési alapjait.

Abban a szerencsében volt részem, hogy 1993-ban egy fél évet együtt dolgozhattam Fanger professzor úrral különböző hőérzeti vizsgálatok méréses kiértékelésében és feldolgozásában. Korábbi munkahelyemen a Budapesti Műszaki Egyetem Épületgépészeti Tanszékén részt vettem Bánhidi professzor úr vezetésével hőérzeti kutatómunkában, ahol a hőmérséklet, a zaj és a megvilágítás együttes hatását vizsgáltuk az ember szellemi teljesítőképességére. Jelenlegi munkahelyemen, a Pécsi Tudományegyetem Épületgépészeti Tanszékén a laboratórium korszerűsítése és felújítása után lehetőségünk nyílt hőérzeti kutatásokat végezni.

A hőkomfort vizsgálatokat általában nagyszámú, élő alanyos mérésekkel végzik, amelyek a rengeteg változó paraméter miatt rendkívül költség- és időigényesek. A disszertáció egy másik megoldási lehetőség, a termikus műember alkalmazására irányul. A termikus műembert eredetileg az amerikai hadsereg részére a védőruházatok vizsgálatára fejlesztették ki, majd később hőérzeti kutatásokat is végeztek vele. A termikus műember alkalmazásával a szubjektív megítélés helyett egy egzaktabb, jobb lehetőség nyílt további komfortelméleti vizsgálatokra és humán gyógyászati alkalmazásokra.

A kutatómunkához az Építéstudományi Intézetben készült egyetlen hazai termikus műembert használtam. A termikus műember a Pécsi Tudományegyetem Épületgépészeti Tanszékének laboratóriumában először az 1943-ban, a 2. Magyar Hadsereg által a Don kanyarban viselt katonaruhát kapott. A hőérzeti kutatás eredménye több épületgépészeti (Bánhidi et al. 2010, Magyar 2011, Magyar et al. 2011) és haditechnikai (Révai et al. 2011a, 2011b, 2012) szakirodalomban megjelent, láthattunk cikkeket a napi sajtóban, közleményt adott ki az MTI, interjút készített a TV és a rádió is. A kutatás során, illetve annak folytatásaként mélyedtem el a termikus műember alkalmazhatóságának vizsgálatában.

Feltételeztem, hogy a hőkomfort vizsgálatok élő alanyok helyett elvégezhetők termikus műember alkalmazásával is. A termikus műember alkalmazását néhány tipikus, eddig az épületgépészeti szakterületen nem kidolgozott esetekben vizsgáltam. Az elvégzett vizsgálatok példa jellegűek, bizonyítják a termikus műember további alkalmazhatóságát a hőkomfort vizsgálatoknál.

Feltételeztem, hogy a ruházat hőszigetelő képességét nem önmagában, hanem termikus műemberen célszerű mérni. A termikus műember alkalmazásával különböző ruházatok hőszigetelő képessége is meghatározható. A ruházat hőszigetelő képességének a meghatározásával már több kutató foglalkozott, különböző számítási eljárásokat dolgoztak ki, de nem vizsgálták az eredmények hőmérséklettől való függését, melynek vizsgálatát célul tűztem ki.

Célul tűztem ki a termikus műember alkalmazásával az ember és a különböző emberi testrészek hőleadásának a meghatározását különböző hőmérsékletek mellett, különböző ruházatokban. A hőleadás ismerete nem csak a komfortelmélet, hanem az orvostudomány részére is fontos információval szolgál.

Napjainkban egyre fontosabb a megfelelő igények kielégítése a legkevesebb energia felhasználásával (Magyar et al. 2002, Magyar 2004, 2005, 2006a, 2006b, 2010). Az értekezés az ember – épület – komfort – energia témakörön belül a vizsgált térben szükséges hőkomfort igények kielégítését vizsgálja. Az ember hőérzetét befolyásolják a vizsgált tér fizikai paraméterei, a belső levegő hőmérséklete, páratartalma, sebessége, a környező felületek átlagos sugárzási hőmérséklete, valamint az ember ruházata és tevékenysége. A disszertációmban célul tűztem ki ezen paraméterek közül a ruházattal, levegő hőmérsékletével és a környező felületek közepes sugárzási hőmérsékletével történő vizsgálatokat.

Az építész által megtervezett belső térben az embert gyakran a különböző hőmérsékletű felületek hatása éri, melyet a komfortelméletben sugárzási aszimmetriának nevezünk. Célul tűztem ki a hideg fal (ami lehet külső határoló üvegfal) és a meleg mennyezet (pl. mennyezetfűtés) együttes hatásának elemzését a termikus műember alkalmazásával. Az aszimmetrikus sugárzásnál az ismert számítási módszer nem veszi figyelembe egyszerre mindkét hatást (a jelenlegi számítás vagy csak hideg falra, vagy csak meleg mennyezetre vonatkozik). Feltételeztem, hogy termikus műember alkalmazásával a sugárzó aszimmetria komplex hatása vizsgálható, így pl. vizsgálható a hideg fal (vagy üvegfelület) és a meleg mennyezet (mennyezetfűtés) együttes hatása is. Célul tűztem ki egy adott belső térben az ember hőérzetének vizsgálatát a hideg ablakfelülettől való távolság függvényében különböző öltözetben.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

Kutatásomhoz kialakítottam egy modellezési elképzelést, hipotézist állítottam fel.

Megvizsgáltam a termikus műemberek alkalmazhatóságát a hőkomfort mérésekhez. Azonos körülmények között megmértem és összehasonlítottam a termikus műember és az élő alanyok termovíziós kamerával mért felületi hőmérsékletét. A felületi hőmérséklet a különböző operatív hőmérsékletek mellett 20 – 30 °C között változott. Modell pontosságával szemben támasztott követelmény, hogy a közepes felületi hőmérsékletek ± 0,5 °C-on belül legyenek. E pontosság elegendő ahhoz, hogy termikus műembert alkalmazzunk a hőkomfort vizsgálatokhoz az élő alanyok helyett.

A termikus műember alkalmazását a komfortelmélet néhány, eddig nem vizsgált területén mutattam be. A vizsgált területek:

- A ruházat hőszigetelő képességének változása a környezeti levegő hőmérsékletének a függvényében.
- Az ember és a különböző emberi testrészek hőleadása különböző ekvivalens hőmérsékletek mellett.
- Sugárzási hőmérséklet aszimmetrián belül a meleg mennyezet és a hideg fal/ablak együttes hatásának vizsgálata.

2.1. A kutatáshoz használt komfortelméleti fogalmak és összefüggések

A belső tér állapotát legjobban az operatív hőmérséklettel lehet jellemezni. Az operatív hőmérséklet a levegő hőmérsékletének és a környező felületek átlagos sugárzási hőmérsékletének a hőátadási tényezőkkel súlyozott átlaga.

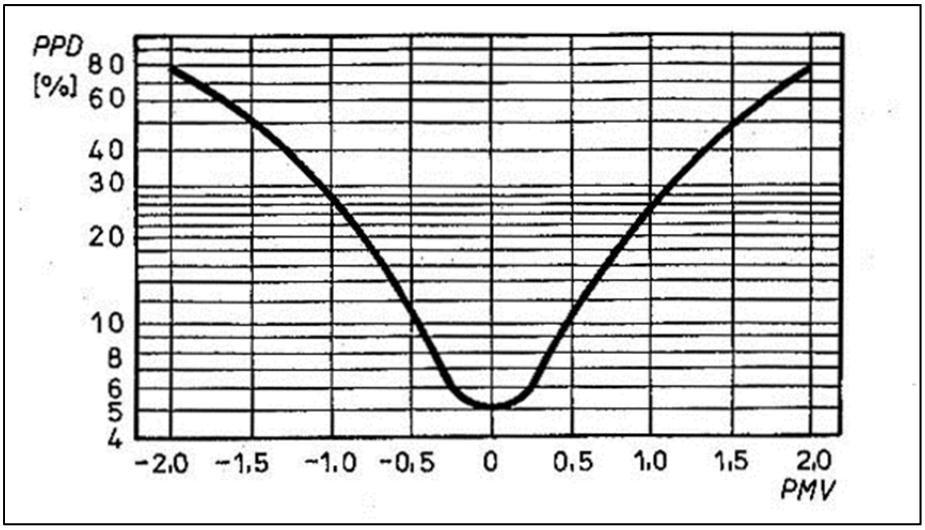
$$t_o = \frac{\alpha_s \cdot t_{ks} + \alpha_c \cdot t_a}{\alpha_s + \alpha_c} \qquad (2.1.)$$

ahol:

t_o: operatív hőmérséklet, °C
t_{ks}: közepes sugárzási hőmérséklet, °C
t_a: levegő hőmérséklete, °C
α_c: konvekciós hőátadási tényező, W/m^{2}K
α_s: sugárzási hőátadási tényező, W/m^{2}K

A termikus műemberrel végzett hőkomfort méréseknél fontos az ekvivalens hőmérséklet, amely az az elméleti hőmérséklet, amelynél a levegő hőmérséklete egyenlő a közepes sugárzási hőmérséklettel, nincs légáramlás, valamint az egyén konvekcióval és sugárzással történő hőcseréje azonos, mint a valós szituációban.

Az általános hőkomfort a PMV-PPD értékekkel jellemezhető (MSZ EN ISO 7730 (2006), MSZ CR 1752 (2000), MSZ EN 15251 (2008), Ashrae 55 (2010)). Fanger sok személy szubjektív hőérzeti adatát összegyűjtve dolgozta ki elméletét. A PMV (Predicted Mean Vote), azaz a várható hőérzeti érték definíciója szerint a 0 érték annak az esetnek felel meg, amikor a hőegyensúlyi egyenlet eredménye 0, vagyis a hőtermelés és a hőleadás egyensúlyban van. A 7 pontos skálán a pozitív PMV értékeknél a hőtermelés nagyobb a hőleadásnál, vagyis a zárt térben tartózkodó embernek melege van, negatív értékeknél a vizsgált alany fázik. A belső környezettel elégedetlenek százalékos aránya (PPD, Predicted Percentage of Dissatisfied) a 2.1. ábra szerint kifejezhető a várható hőérzeti érték (PMV) függvényében.



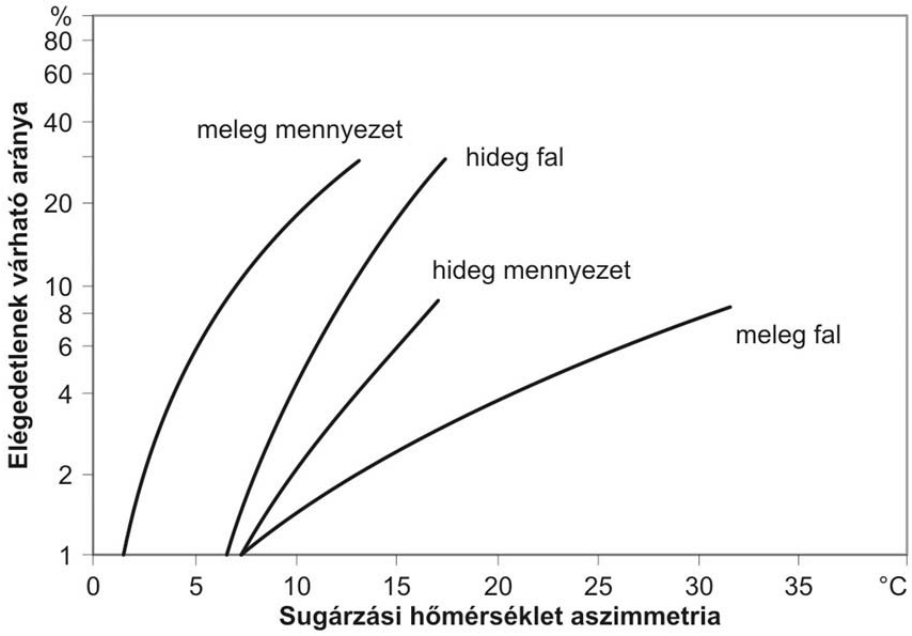
2.1. ábra
A PMV és PPD értékek kapcsolata

A görbe PMV értékre szimmetrikus és 5 %-nál minimuma van, vagyis nincs olyan légállapot, amellyel a zárt térben tartózkodók több, mint 95 %-a elégedett lenne.

A helyi hőkomfortot jelentősen befolyásolja a sugárzási hőmérséklet aszimmetria, ami az embert körülvevő környezet felületi hőmérsékleteinek különbségéből adódik. A sugárzási hőmérséklet aszimmetria követelményértékét az ASHRAE Handbook (2009) és az MSZ CR 1752 (2000) szabvány a 2.1. táblázat és a 2.2. ábra szerint határozza meg.

2.1. táblázat
Sugárzási hőmérséklet aszimmetria által okozott elégedetlenek arányának megengedett %-os értékei

Kategória	Sugárzási hőmérséklet aszimmetria, °C			
	Meleg mennyezet	Hideg fal	Hideg mennyezet	Meleg fal
A	<5	<10	<14	<23
B	<5	<10	<14	<23
C	<7	<13	<18	<35



2.2. ábra
Sugárzási hőmérséklet aszimmetria által okozott diszkomfort

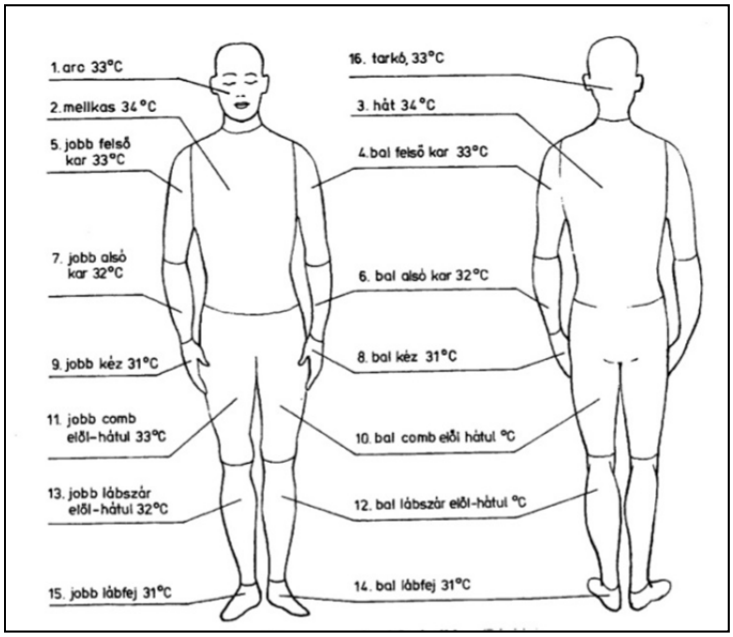
A 2.2. ábra a hideg vagy meleg mennyezet, ill. fal hatásával elégedetlenek százalékos arányát mutatja meg a sugárzási hőmérséklet aszimmetria függvényében. A gyakorlatban azonban találkozunk olyan esettel, amikor a sugárzási hőmérséklet aszimmetriát okozó tényezők nem önmagukban, hanem együttesen jelentkeznek. A szabványokban és a szakirodalomban jelenleg nem található olyan adat, ami a hideg és meleg felületek együttes hatását fejezi ki. A meleg mennyezet és a hideg fal (ami lehet egy teljes ablakfelület) együttes hatása pl. egy nagy ablakfelületekkel rendelkező irodaházban, az ablak mellett található munkahelyek esetén jelentkezhet. A hideg fal és meleg mennyezet együttes hatását számítással és mérésekkel is megvizsgáltam.

2.2. A termikus műember bemutatása

A méréses vizsgálathoz használt termikus műembert (2.3. ábra) az 1980-as években az Építéstudományi Intézetben svéd szakemberek állították össze. E műember később a BME Épületgépészeti Tanszékére, majd 2010-től kutatási célokra a Pécsi Tudományegyetem Pollack Mihály Műszaki Kar Épületgépészeti Tanszékére került, ahol új, korszerű adatgyűjtőt és feldolgozó szoftvert kapott. A termikus műember egy olyan modell, amely termikus mérőtestből, vezérlő-egységből, adatgyűjtőből és az adatfeldolgozást, valamint megjelenítést végző számítógépből épül fel. A mérőtestet egy átlagos felnőtt ember testméreteivel egyező műanyag bábuból alakították ki. A test üvegszál erősítésű, poliészter héjszerkezet, melynek üregeibe szerelték a mechanikai tartást biztosító elemeket, valamint az egyes testrészeihez futó szalagkábelek rejtett vezetéséhez szükséges csöveket. A műember testének felszínét álló pozícióban 16, ülő pozíciban18 részre osztották fel (2.4. ábra), minden egyes testrész felületébe fűtőhuzalokat süllyesztettek. Az elektromos szigetelést adó műanyag rétegre fémszórási technológiával került felhordásra egy átlagosan 0,4 mm vastag alumíniumréteg, hogy megvalósítsa a teljes felületen az egyenletes hőmérséklet-eloszlást. A mérés elve, hogy nagy pontossággal mérjük az előírt felületi hőmérsékletre fűtött testrésznek ezen

hőmérsékleten tartásához szükséges elektromos teljesítményt. A testrészek előírt felületi hőmérséklete 0 PMV érték mellett került megállapításra.

2.3. ábra
Termikus műember

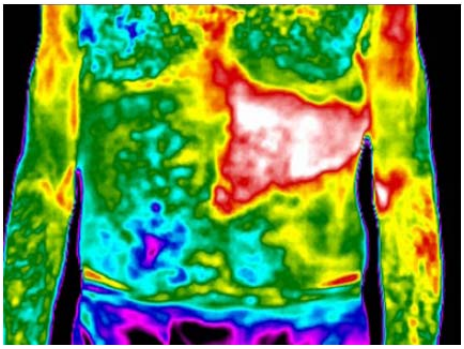


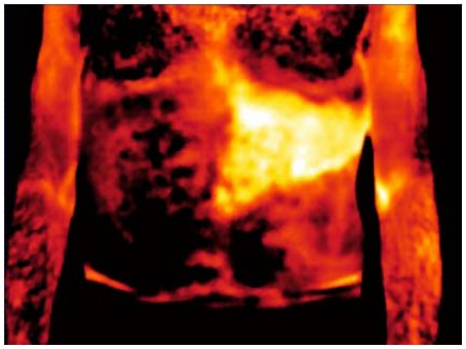
2.4. ábra
Termikus műember felületi hőmérséklete

2.3. A termovíziós vizsgálatok alkalmazhatósága

A hőmérséklet mérése során a képalkotás úgy történik, hogy az infrasugárzások intenzitásához egy szabadon választott színskála alapján színeket rendelünk, melyet pozícióhelyesen jelenítünk meg. A mérésnél nagyon fontos a test emissziós tényezőjének és a környezeti hőmérsékletnek az ismerete. A mérőberendezés csak akkor tudja meghatározni egy tárgy hőmérsékletét, ha a mérőműszeren (ill. a kiértékelő szoftveren) beállított emissziós tényező megfelel a mérendő tárgy valós jellemzőjének. Ha a mérendő tárgy nem ideális sugárzó (abszolút fekete) test $\varepsilon = 1$ emissziós tényezővel, akkor a környezeti hőmérsékletet is figyelembe kell venni a tárgyhőmérséklet meghatározása során. Az emberi bőr számítások és mérések alapján különleges képességgel rendelkezik, közel abszolút fekete testként fogható fel, mert az emissziós tényezője $\varepsilon = 0{,}95$ (Ashrae, 2009).

Az orvostudomány a humán infraemissziós képalkotást napjainkban arra alkalmazza, hogy a szervezetben fennálló rendellenességeket strukturálisan kimutassa, annak típusát, helyét kiterjedését meghatározza. A termovízió képes az elváltozások és a különböző szövetek egymástól történő elkülönítésére, valamint az élettani és kóros folyamatok időbeni lefutásának nyomon követésére is. A hőháztartás normális működés esetében kiegyenlített és a hő az egyes testtájakra jellemző módon oszlik el. A normál hőmérséklettől való eltérés csakúgy, mint a hőmérséklet kóros szabályozása kezdeti, vagy zajló betegségi folyamatot jelezhet. A fájdalmas, gyulladt, daganatos vagy alulműködő, kopott testrészek másként termelik a hőt a testünkben, mint a normálisan működő szövetek. A termovíziós vizsgálat a test hőtérképével nagy pontossággal képes az emberi szervezet élettani folyamatairól, szabályozásáról képet alkotni, és ezzel elősegíteni a betegségek korai felismerését, valamint a betegségek hátterének pontosabb tisztázását (2.5. ábra).





2.5. ábra
Különböző betegségek hőkamerás vizsgálata

Alkalmazásai példák:

- Gyulladásos mozgásszervi betegségek
- Degeneratív ízületi-, és gerincelváltozások
- Statikai és tartási zavarok
- Idegrendszeri bántalom következtében fellépő mozgásszervi zavarok
- Perifériás keringési zavarok
- Lágyrész reumatizmus (golf, teniszkönyök, fibromyalgia stb.)
- Bizonyos betegségek képi alátámasztása (fájdalom-szindróma)
- Gyógyító-és regeneráló programok felállítása
- Követéses vizsgálatok során: az egyes kezelések hatásfokának-elemzése
- Sportprogramok összeállítása
- Ergonómiai kutatások és munka-alkalmassági tanácsadás
- Daganatos elváltozások megítélése, a kezelések hatékonyságának megállapítása

2.4. A ruházat hőszigetelő képessége

Az ember hőleadását és hőérzetét a ruházat hőszigetelő képessége nagymértékben befolyásolja. A termikus műemberrel a konvektív és a sugárzásos hőleadás az egész testfelületen mérhető. A termikus műember testrészein mért felületi hőmérséklet és a fűtőteljesítmény adatokból, a testrészek felületére súlyozott összegzéssel az egész test hőleadása, valamint a ruházat hőszigetelő képessége számítható. A teljes hőszigetelő képesség, vagyis a ruházat és a ruházatot körülvevő levegőréteg együttes hőszigetelő képessége (termikus ellenállása) a következőképpen számítható:

$$I_T = I_{cl} + \frac{I_a}{f_{cl}} \tag{2.2.}$$

ahol:

I_T – a ruházat és a határoló levegőréteg együttes hőszigetelő képessége, m^2K/W
I_{cl} – a ruházat hőszigetelő képessége, m^2K/W
I_a – a határoló levegőréteg hőszigetelő képessége, m^2K/W
f_{cl} – a ruházat területi tényezője, ami a ruhába öltöztetett műember felületének és a meztelen testfelületnek az aránya, -

A teljes hőszigetelő képesség számításához a termikus műember hőleadását a vizsgált ruházatba öltöztetve kell mérni. A testet körülvevő levegőréteg hőszigetelő képességét pedig olyan módon kell meghatározni, hogy a mérés során a termikus műemberen nincsen ruha. A szakirodalom szerint a párhuzamos és a soros számítási módszert használják.

A párhuzamos összegzés számítási módszere:

A párhuzamos számítási mód esetén a szegmensenkénti hőszigetelő képességek felületre súlyozott átlaga adja meg a teljes hőszigetelő képességet.

$$I_{T,\ párh} = \frac{\left[\left(\sum_i f_i \cdot T_i\right) - T_a\right] \cdot A}{\sum_i H_i} \qquad \frac{m^2 \cdot K}{W} \tag{2.3.}$$

A soros összegzés számítási módszere:

A soros összegzés esetén a szegmensenkénti, felületre súlyozott hőszigetelő képességeket (hő ellenállásokat) összeadjuk:

$$I_{T,\ soros} = \sum_i f_i \left[\frac{(T_i - T_a) \cdot a_i}{H_i}\right] \qquad \frac{m^2 \cdot K}{W} \tag{2.4.}$$

A 2.3. és 2.4. összefüggésekben:

f_i – a termikus műember i. szegmensének területi tényezője, $f_i = ai/A$, -
a_i – a termikus műember i. szegmensének területe, m^2
A – a termikus műember egész testfelülete, m^2
T_i – a termikus műember i. szegmensének felületi hőmérséklete, K
T_a – a levegő hőmérséklete a mérőlaborban, K
H_i – a termikus műember i. szegmensébe bevezetett fűtési teljesítmény, W

A párhuzamos módszer szerint számított hőszigetelő képesség általában kb. 20%-al kisebb, mint a soros számítással meghatározott érték.

A teljes hőszigetelő képesség számítási módszerével megegyezően kell kiszámítani a meztelen embert körülvevő levegőréteg hőszigetelő képességét, az I_a értékét.

A ruházat területi tényezőjét – az f_{cl} értékét – méréssel lehet meghatározni, de a közelítő, indirekt számítása is lehetséges, melyre McCullogh és Jones (1985) összefüggése használható:

$$f_{cl} = 1 + 0{,}28 \cdot I_{cl} \tag{2.5.}$$

A ruházat hőszigetelő képessége [clo] mértékegységben:

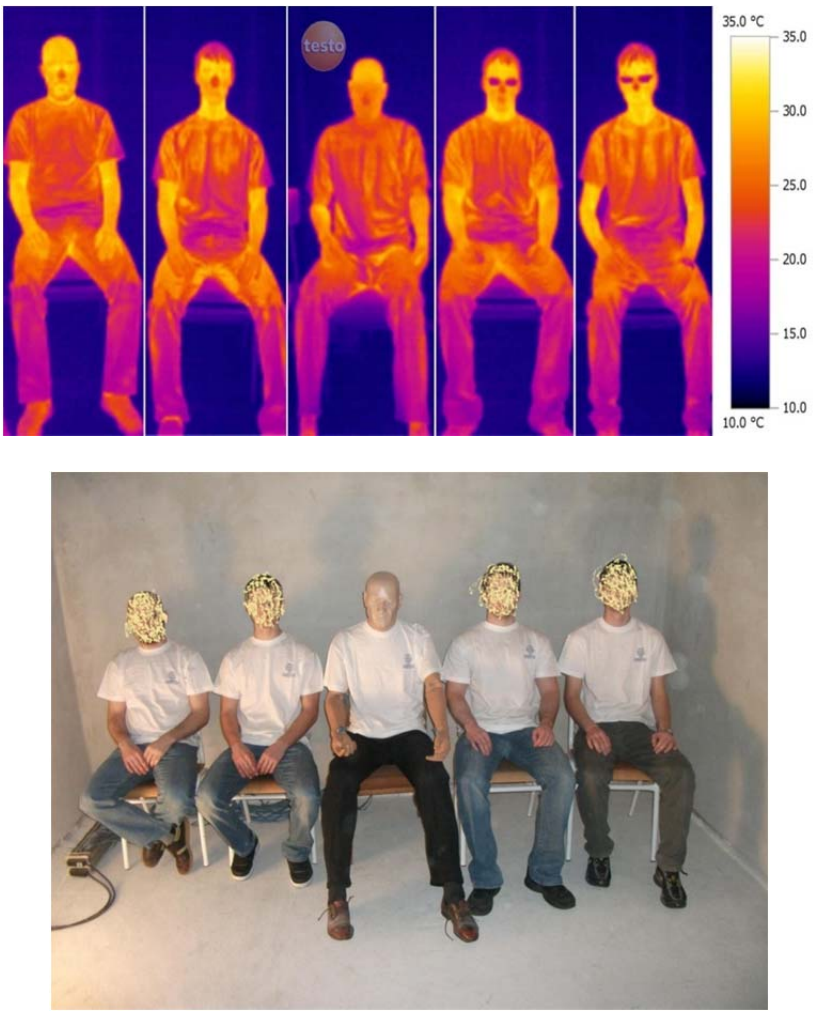
$$I_{cl} = I_{cl}\,[m^2K/W] / 0{,}155 \qquad [clo] \tag{2.6.}$$

3. AZ EREDMÉNYEK

3.1. Élő alanyok és a termikus műember felületi hőmérsékletének összehasonlítása

A termovíziós mérésekkel megvizsgáltam, hogy a termikus műember alkalmazható-e élő alanyok helyett a hőkomfort vizsgálatokhoz. A vizsgálat kiterjedt az emberre és az egyes emberi testrészekre is.

Termovíziós felvételeket készítettem a termikus műemberről és élő alanyokról, melyeknél nem a hőmérséklet abszolút értékét vizsgáltam, hanem az élő alanyok testfelületének hőmérsékletét hasonlítottam össze a termikus műember felületének hőmérsékletével. A kiválasztott élő alanyok testfelülete hozzávetőlegesen megegyezett a műember testfelületével ($A = 1{,}9\ m^2 \pm 5\ \%$), öltözetük azonos volt.



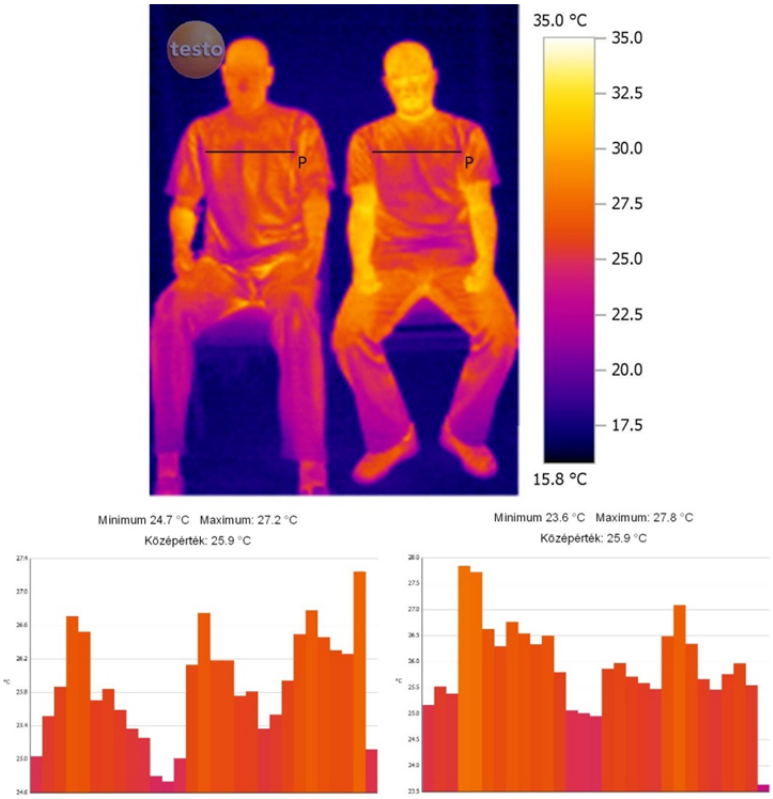
3.1. ábra
A termikus műember és az élő alanyok fényképe és termovíziós felvétele

A termovíziós méréseket 15°C, 20°C és 25°C környezeti hőmérsékleten végeztem. A 3.1. ábra mutatja a 15°C hőmérsékleten a termikus műember (középen) és az élő alanyok testfelületének hőmérsékletét.

A termovíziós vizsgálatokkal részletesen megvizsgáltam a termikus műember és az élő alanyok különböző testrészeinél a test felületi hőmérsékletének vonal menti változását. Példaképpen a 3.2. ábra 20°C környezeti hőmérsékleten, a mell magasságában egy vonal mentén, hisztogramon mutatja a test felületi hőmérsékletének változását a műemberen és a mellette jobb oldalon ülő élő alanyon. A felületi hőmérséklet a vonal mentén a vizsgált élő alany esetén 24,7°C és 27,2°C között, a termikus műember esetén pedig 23,6°C és 27,8°C között változik. A felületi hőmérséklet közepes értéke a műemberen és az élő alanyon azonos volt (25,9°C).

Az összehasonlítást elvégeztem különböző testrészek (mell, lábszár, kéz) esetén. A 15°C-on mért termovíziós felvételek a dolgozat M3. mellékletében, a 20°C-on mért felvételek az M4. mellékletben és a 25°C-on mért termovíziós felvételek az M5. mellékletben találhatók.

Vizsgálataim alapján megállapítottam, hogy az ember és a termikus műember felületi hőmérsékletei közel azonosak, a közepes felületi hőmérsékletük pedig mindig ± 0,5 °C-on belül voltak. A továbbiakban a termikus műemberen végzett hőkomfort mérések alapján az emberre vonatkozó következtetéseket állapítottam meg.

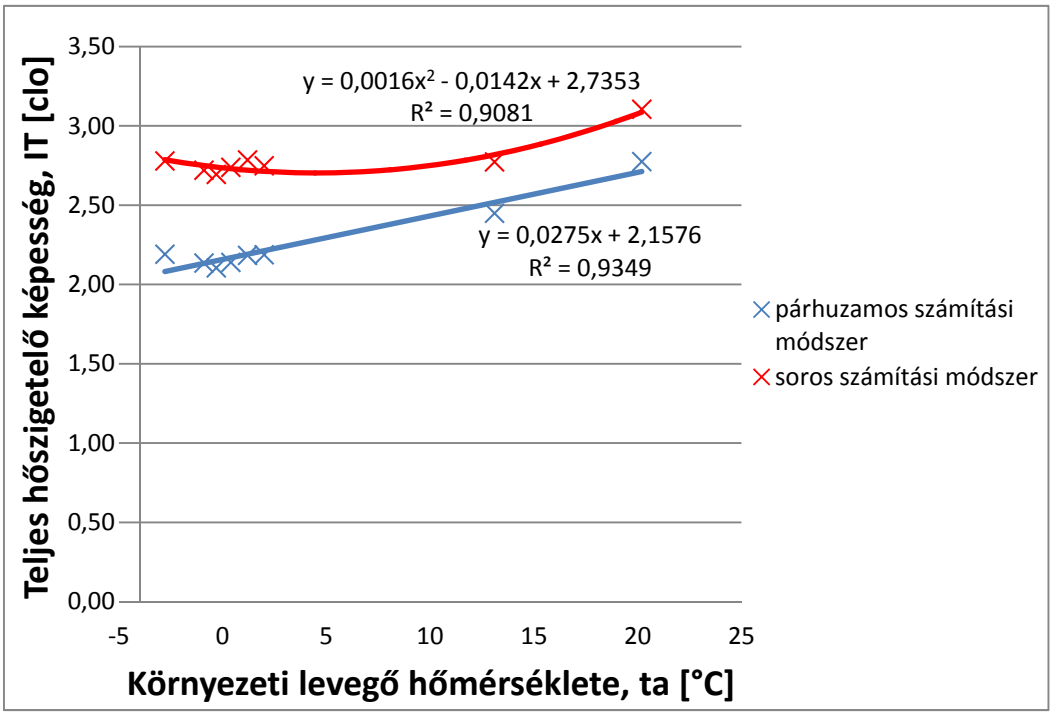


3.2. ábra

Mell magasságában a műember és az élő alany felületi hőmérsékletének összehasonlítása 20 °C környezeti hőmérsékleten

3.2. A ruházat hőszigetelő képességének változása a környezeti levegő hőmérsékletének a függvényében

A szakirodalom áttanulmányozása során a teljes hőszigetelő képességnek a környezeti levegő hőmérsékletétől való függésére nem találtam információt, ezért a termikus műemberrel történő mérésekkel megvizsgáltam, hogy a teljes hőszigetelő képesség, azaz a ruházat és a levegőréteg együttes hőszigetelő képessége hogyan függ a környezeti levegő hőmérsékletétől. A számításokhoz a 2.4. pontban ismertetett összefüggéseket használtam. A hőérzeti laboratóriumban beállított környezeti levegő hőmérséklete 13 °C és 20 °C között volt, a külső térben -3 °C és +1 °C közötti környezeti levegő hőmérsékleteknél mértem.



3.3. ábra

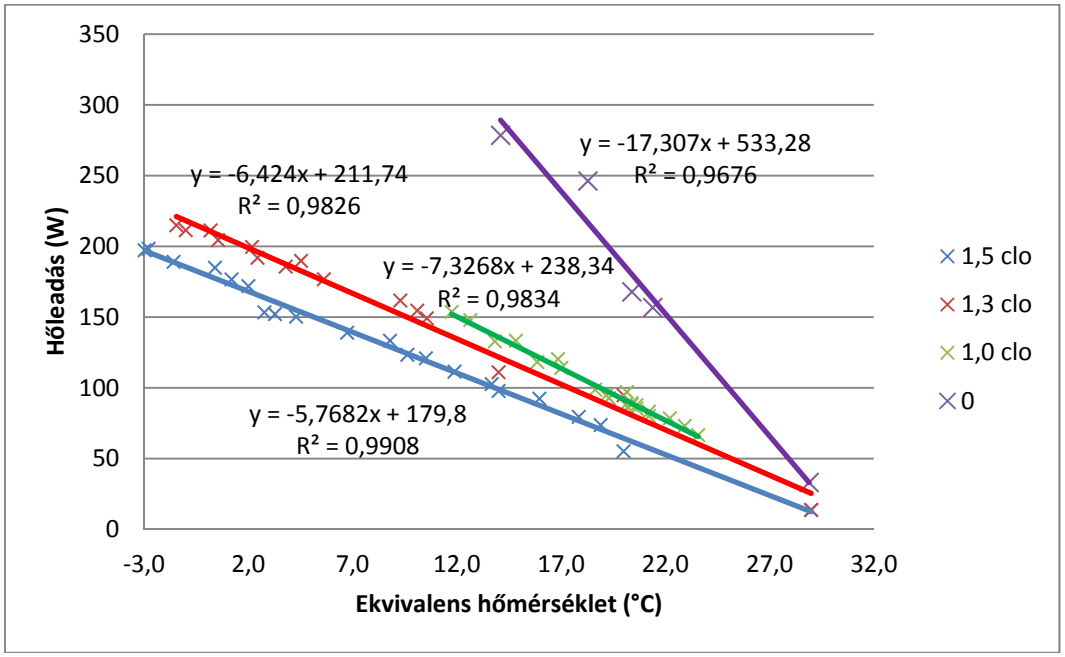
A teljes hőszigetelő képesség a környezeti levegő hőmérsékletének a függvényében

A mérési eredmények alapján megállapítottam, hogy a ruházat hőszigetelő képessége függ a környezeti hőmérséklettől, annak elhanyagolása nem indokolt. A környezeti levegő hőmérséklete és a teljes hőszigetelő képesség közötti függvénykapcsolatot a 3.3. ábra mutatja. A soros számítási módszernél – 2,78 °C és 20,2 °C között a ruházat teljes hőszigetelő képessége 11,5 %-kal, párhuzamos számítási módszernél 26,7 %-kal növekedett. A ruházat hőszigetelő képességének termikus műemberrel végzett mérésekor azt a környezeti hőmérsékletet kell a vizsgálat során beállítani, melyen a vizsgált öltözet alkalmazásra kerül.

3.3. Az ember hőleadásának meghatározása különböző ekvivalens hőmérsékletek mellett

Az ember hőleadása függ a levegő hőmérsékletétől, a környező felületek sugárzási hőmérsékletétől, a levegő sebességétől és relatív nedvesség tartalmától, valamint az ember tevékenységétől és ruházatától. A komfort térben a levegő sebességétől és a páratartalmától az ember hőleadása kevésbé függ, ezért vizsgálataim során ezen értékeket állandónak tételeztem fel. A vizsgálat során a légsebesség v = 0 m/s, a levegő relatív nedvesség tartalma φ = 50 % volt. Ezen paraméterek mellett mértem a termikus műember hőleadását különböző ruházatban. A vizsgálataim során a levegő hőmérséklete megegyezett a környező felületek közepes sugárzási hőmérsékletével, így az ember hőleadását az ekvivalens hőmérséklet függvényében határoztam meg különböző ruházat esetén.

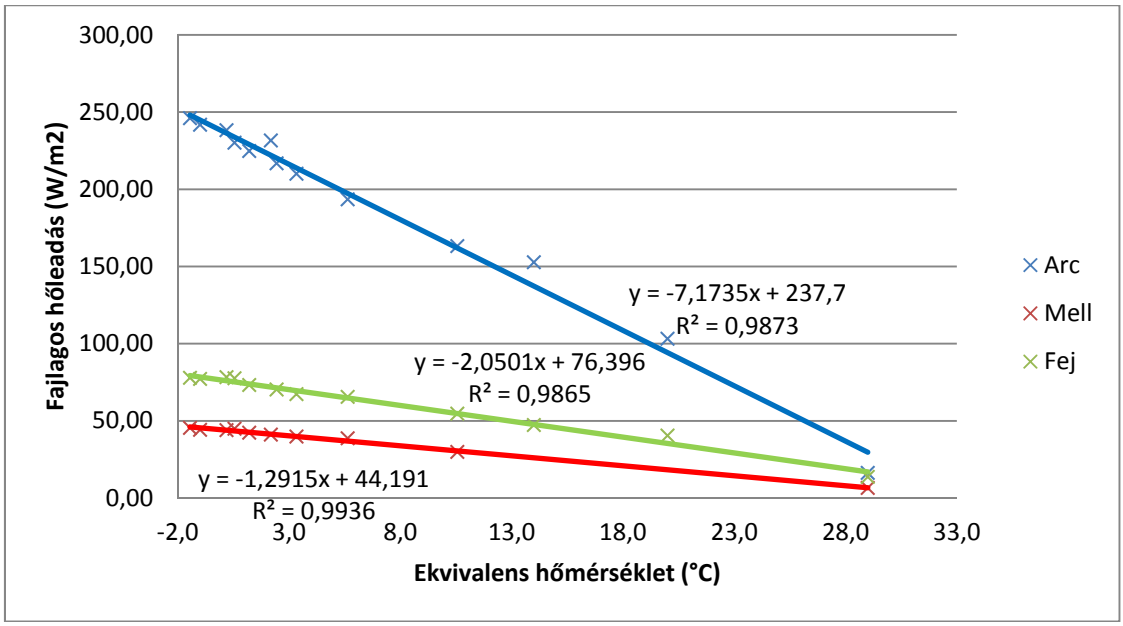
Az ember hőleadását a szakirodalom csak a tevékenység függvényében adja meg, ennek széles hőmérséklet tartományban meghatározott értékei a komfortelméletben eddig nem ismertek, a meghatározott összefüggések a további kutatásokhoz hasznos információt adnak. Az ember teljes hőleadását különböző ruházat esetén az ekvivalens hőmérséklet függvényében határoztam meg. A méréseket -3 °C és +26 °C hőmérséklet tartományban, 1,0 clo normál üzletember öltözékkel, 1,3 clo könnyű ballonkabáttal kiegészített öltözékkel és 1,5 clo szövetkabáttal kiegészített üzletember öltözékkel végeztem el. A vizsgált tartomány szélesebb volt, mint a komfort tér, de a légsebesség és a relatív nedvesség tartalom változásának hatását nem vizsgáltam. A hidegben nyílt téren dolgozó ember szervezetére az időjárási viszonyok "csillapíthatatlanul" hatnak, azok hatását csak a ruházat módosíthatja. A mérési eredmények az orvostudomány részére is hasznos, eddig nem ismert összefüggésekkel szolgálnak.



3.4. ábra
Az ember hőleadása különböző öltözékben az ekvivalens hőmérséklet függvényében

3.4. Az egyes emberi testrészek hőleadásának meghatározása különböző ekvivalens hőmérsékletek mellett

A komfortelmélet és az orvostudomány számára nem csak a teljes emberi test hőleadásának az ismerete a fontos, hanem az egyes testrészek hőleadása is. Az ekvivalens hőmérséklet függvényében meghatároztam az ember egyes testrészeinek a hőleadását, valamint egységnyi testfelületre vetített fajlagos hőleadását. A méréseket először ruhátlan test esetén, majd különböző ruházat esetén végeztem el. Megállapítottam, hogy az egyes testrészek hőleadása az ekvivalens hőmérséklet függvényében lineárisan változik. A szórásnégyzet értéke ruházat nélkül 0,8769 és 0,9959 között (kivéve a hát, ahol 0,759 volt), 1,0 clo ruházatban 0,8356 és 0,9617 között, 1,3 clo ruházatban 0,9655 és 0,9936 között, 1,5 clo ruházatban 0,7759 és 0,9961 között változott. Példaképpen az arc, a mell és a fej fajlagos hőleadását az ekvivalens hőmérséklet függvényében 1,3 clo ruházattal borított test esetén a 3.5. ábrán mutatom be. Az egyes emberi testrészek (18 db) hőleadását és fajlagos hőleadását 0 clo, 1,0 clo, 1,3 clo és 1,5 clo ruházatban az ekvivalens hőmérséklet függvényében az értekezés M6 – M9 melléklete tartalmazza.



3.5. ábra
Az arc, a mell és a fej fajlagos hőleadása 1,3 clo öltözetben

A feltárt összefüggések alapján jól kitűnik a testrészek különböző hőleadása, amely fontos információt ad a komfortelmélet részére a termikus diszkomfort vizsgálatokhoz, az orvostudomány részére pedig a különböző betegségek, pl. a vesebetegség kutatásához.

3.5. Sugárzási hőmérséklet aszimmetria - meleg mennyezet és a hideg fal együttes hatásának - elméleti vizsgálata

Az ember hőérzetét a tartózkodási zóna lokális fizikai jellemzői is befolyásolják. A helyi diszkomfort tényezők közül az egyik legfontosabb a sugárzási hőmérséklet aszimmetria vizsgálata, amikor az ember szellemi vagy fizikai tevékenységét olyan környezetben végzi, ahol pl. hideg üvegfelület, falfűtéssel és/vagy falhűtéssel, vagy akár mennyezetfűtéssel és/vagy hűtéssel ellátott határoló szerkezet kerül beépítésre.

A helyi hőkomfortot jelentősen befolyásolja a sugárzási aszimmetria, ami az embert körülvevő környezet felületi hőmérsékleteinek különbségéből adódik. A szakirodalomban és a szabványokban (2.2. ábra) található diagram a hideg vagy meleg mennyezet, ill. fal hatásával elégedetlenek százalékos arányát mutatja meg a sugárzási hőmérsékleti aszimmetria függvényében. A gyakorlatban azonban találkozunk olyan esettel, amikor a sugárzási aszimmetriát okozó tényezők nem önmagukban, hanem együttesen jelentkeznek. A szabványokban és a szakirodalomban jelenleg nem található olyan követelményérték, ami a hideg és meleg felületek együttes hatását fejezi ki. A meleg mennyezet és a hideg fal (ami lehet egy teljes ablakfelület) együttes hatása pl. egy nagy ablakfelületekkel rendelkező irodaházban, az ablak mellett található munkahelyek esetén jelentkezhet.

A meleg, fűtött mennyezet és a hideg ablakfelület együttes hatását egy egyterű iroda 21x7 méteres területének ablak melletti peremzónájában (21 m-es oldalon, középen), az ablaktól 1,1 m távolságban lévő ülő munkahelyre vizsgáltam meg. A ruházatot 1,0 clo (normál üzletember ruházat), a tevékenységet 1,2 met (69,6 W/m^2, ülő irodai munka), az átlagos légsebességet < 0,1 m/s értékkel vettem figyelembe. A számításokkal két esetet vizsgáltam:

<u>1. eset</u>

Alapadatok:

Ablak belső felületi hőmérséklete:	15,5°C
Mennyezet felületi hőmérséklete:	33°C
Padló, belső fal felületi hőmérséklete:	22°C
Levegő hőmérséklete:	22°C

Számított értékek:

Operatív hőmérséklet:	23,70°C
PMV	0,51
PPD	10,4%

<u>2. eset</u>

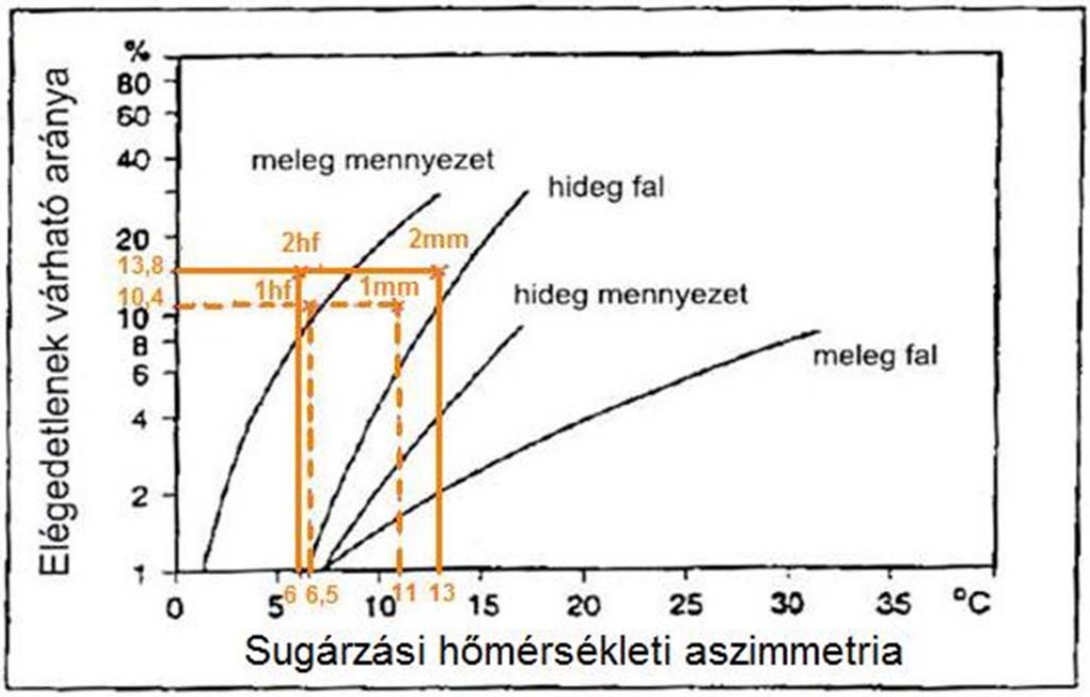
Alapadatok:

Ablak belső felületi hőmérséklete:	16°C
Mennyezet felületi hőmérséklete:	35°C
Padló, belső fal felületi hőmérséklete:	22°C
Levegő hőmérséklete:	22°C

Számított értékek:

Operatív hőmérséklet:	24,66°C
PMV	0,65
PPD	13,8%.

A vizsgálat során első lépésben a Fanger (1970) által kidolgozott számításos módszerrel meghatároztam az adott munkahelyen kialakuló operatív hőmérsékletet, melynek ismeretében, az MSZ EN ISO 7730 (2006) szabvány alapján az átlagos levegősebesség, a ruházat hőszigetelő képessége és az aktivitási szint függvényében meghatároztam a várható hőérzeti értéket (PMV) és a várható elégedetlenek százalékos arányát (PPD). A számítással és a szabvány diagramjai alapján meghatározott elégedetlenek várható aránya különböző (3.6. ábra). Amennyiben csak a hideg falat vesszük figyelembe a sugárzási hőmérséklet aszimmetriára, abban az esetben a hideg falra érvényes diagram alapján meghatározott elégedetlenek várható aránya (1%) lényegesen alacsonyabb, mint a számított érték (10,4% és 13,8%). Ha csak a meleg mennyezetet vesszük figyelembe a sugárzási hőmérséklet aszimmetriára, abban az esetben viszont a meleg mennyezetre érvényes diagram alapján meghatározott elégedetlenek várható aránya (23% és 30%) magasabb, mint a számítással meghatározott érték (10,4% és 13,8%).



3.6. ábra

A számítással meghatározott elégedetlenek százalékos aránya, a meleg mennyezetre és a hideg falra számított sugárzási hőmérsékleti aszimmetriát külön-külön figyelembe véve

Jelmagyarázat a 3.6. ábrához:

1hf: Az 1. esetben számítással meghatározott elégedetlenek várható aránya (10,4%) a hideg falra számított sugárzási hőmérsékleti aszimmetriát figyelembe véve (6,5°C)

1mm: Az 1. esetben számítással meghatározott elégedetlenek várható aránya (10,4%) a meleg mennyezetre számított sugárzási hőmérsékleti aszimmetriát figyelembe véve (11°C)

2hf: A 2. esetben számítással meghatározott elégedetlenek várható aránya (13,8%) a hideg falra számított sugárzási hőmérsékleti asszimetriát figyelembe véve (6°C)

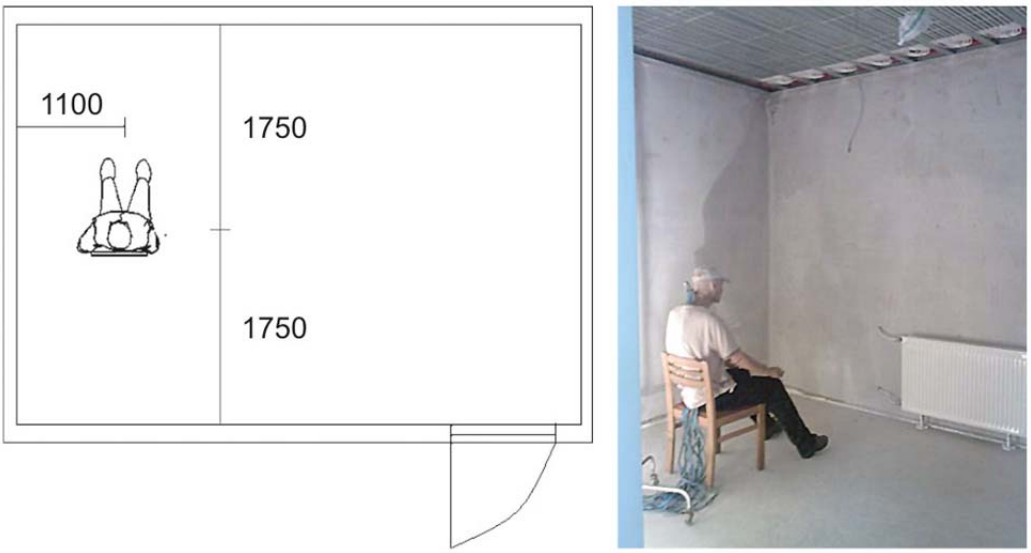
2mm: A 2. esetben számítással meghatározott elégedetlenek várható aránya (13,8%) a meleg mennyezetre számított sugárzási hőmérsékleti asszimetriát figyelembe véve (13°C)

Megállapítható, hogy a meleg mennyezet és a hideg ablakfelület egy időben jelentkező hatása az eddig ismert módszerrel, azaz a meleg mennyezetre vagy a hideg falfelületre érvényes görbével nem vizsgálható.

3.6. Sugárzási hőmérséklet aszimmetria - meleg mennyezet és a hideg fal együttes hatásának - vizsgálata termikus műember alkalmazásával

A termikus műemberrel modelleztem az emberi szervezet belső hőtermelését, amely különböző külső körülmények között (pl. hideg fal/ablak és meleg mennyezet) változik. A méréseket a Pécsi Tudományegyetem Pollack Mihály Műszaki Karának Épületgépész Tanszékén kialakított hőérzeti laboratóriumban végeztem el. A mérőlabor 3 x 4 méter alapterületű, belmagassága 3 méter. A műember a hideg faltól 1,1 m távolságra helyezkedett el (3.7. ábra). A mérőlabor minden oldalának, padlójának és mennyezetének felületi hőmérséklete mérhető és tetszőlegesen beállítható. Egy mérés időtartama kb. 4 óra hosszú volt, ebből a falfelületek hőmérsékletének beállítása 3 órára, míg a termikus műemberen végzett mérések ideje kb. 1 órára tehető. Az 1 órás mérés során kapott adatsorból átlagot képeztem és ezt használtam fel a mérések kiértékeléséhez.

A helyi hőkomfort vizsgálatához a testrészek hőleadásán kívül a termikus műember közelében mértem a fekete gömb hőmérsékletet, valamint 0,1 méter és 1,1 méter magasságban (ülő munkavégzés esetén boka és tarkó magasság) a léghőmérsékletet.



3.7. ábra

A termikus műember elhelyezkedése a mérőlaborban

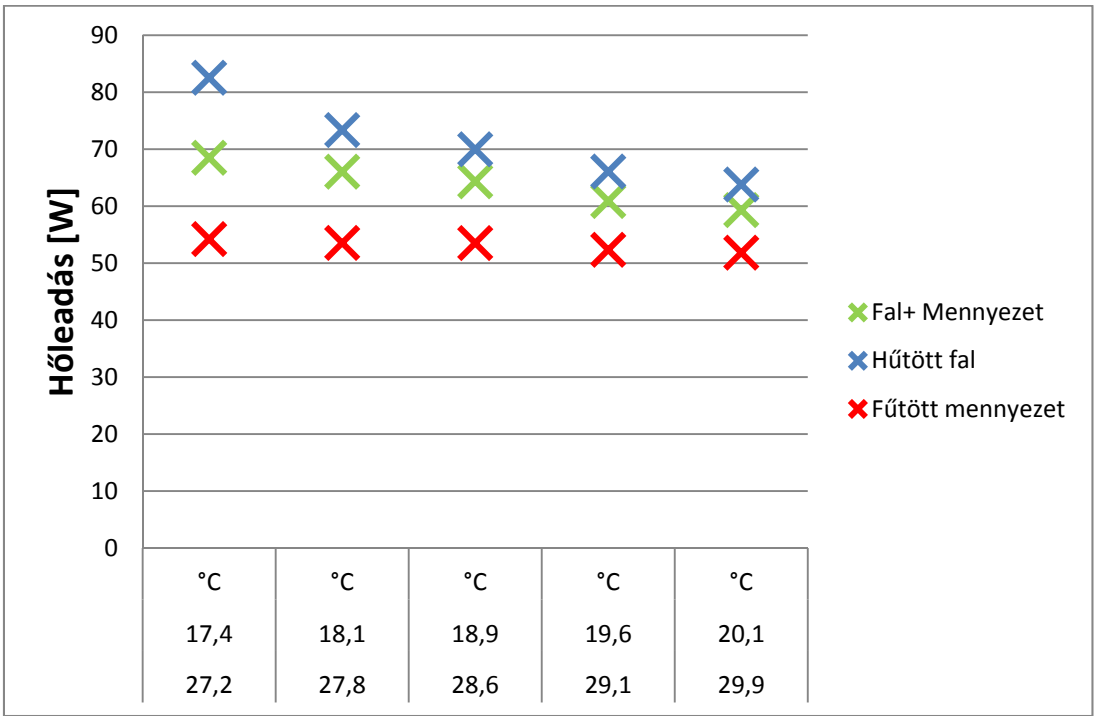
A mérés célja először a termikus műember hőleadásának a meghatározása volt hideg fal/ablak, meleg mennyezet, valamint hideg fal/ablak és meleg mennyezet együttesen fellépő hatása esetén. A mérés következő részében egy adott irodai munkahelyet modelleztem, ahol a termikus műember alkalmazásával vizsgáltam a sugárzási hőmérséklet aszimmetria hatását.

A mérés során három különböző esetben vizsgáltam a termikus műember hőleadását. Először a hűtött falnál a szokásos 17 °C és 22 °C közötti tartományban állítottam be a felületi hőmérsékleteket. A helyiségen belül minden más felület hőmérséklete 22 °C volt. Mértem továbbá a hűtött falat ellátó előremenő és visszatérő víz hőmérsékletét, valamint a helyiségben az operatív hőmérsékletet és a léghőmérsékletet 0,1 m és 1,1 m magasságban (ülő munkavégzés esetén boka és tarkó magasság).
A második mérési sorozatban a termikus műember elhelyezkedése nem változott, a mennyezetet fűtöttem fel és a méréseket a szokásos 27 °C és 30 °C közötti tartományban végeztem. A többi határoló felület hőmérsékletét 22 °C-ra állítottam be.
A harmadik mérési sorozatban mind a fal/ablak hűtése, mind a mennyezet fűtése üzemelt az előbbiekben beállított értékek szerint.
A méréseket elvégeztem tipikus üzleti ruházatban (1 clo), nyári ruházatban (0.75 clo) és ruha nélküli esetben (0 clo) is.

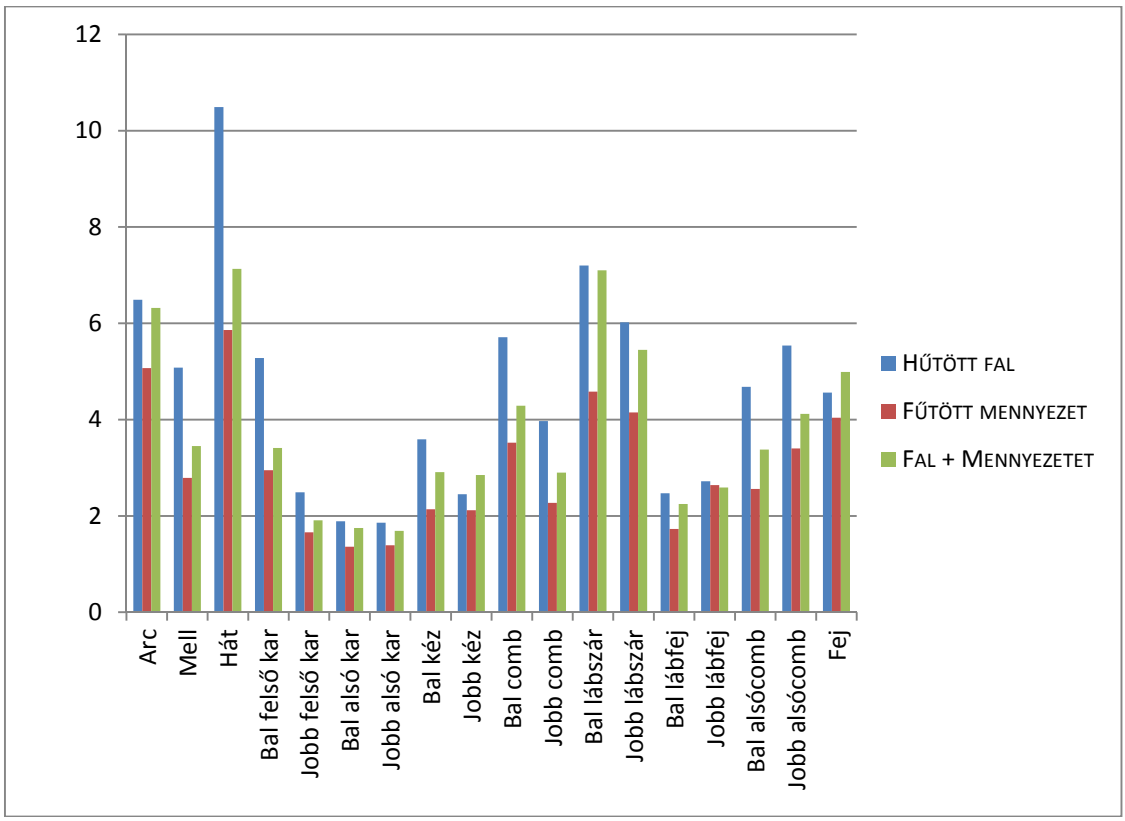
Mérési eredmények 1 clo ruházatban

Az 1 clo ruházatban a három mérési sorozat eredményeit a 3.8. ábra szemlélteti. A 3.8. ábrán látható, hogy 1 clo ruházatban a hűtött fal mellett volt a legnagyobb a hőleadás, a legkevesebb pedig fűtött mennyezetnél. Míg hűtött falnál 82.5 W, addig fűtött mennyezetnél 51.8 W volt a termikus műember hőleadása, vagyis maximálisan 30.7 W különbség figyelhető meg. Amikor mindkét rendszer egyszerre működött, a hőleadás az előző két mérés eredményei közé esett. A hőmérséklet növelésével mindhárom esetben folyamatosan csökkent a hőleadás.

Meghatároztam az egyes testrészek hőleadását is. A 3.9. ábrán látható, hogy mindhárom esetben a hátnak, a lábszáraknak, az arcnak volt a legnagyobb hőleadása.



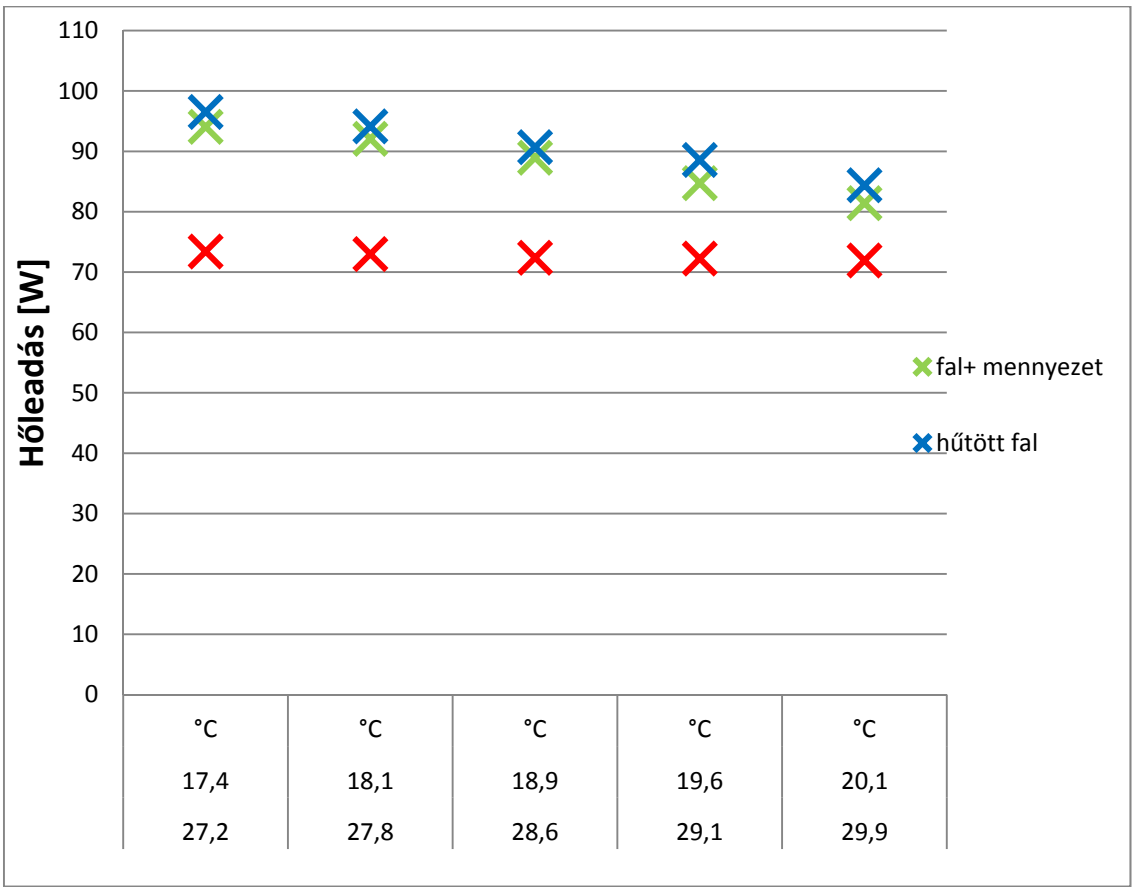
3.8. ábra
A termikus műember hőleadása [W] 1 clo ruházatban



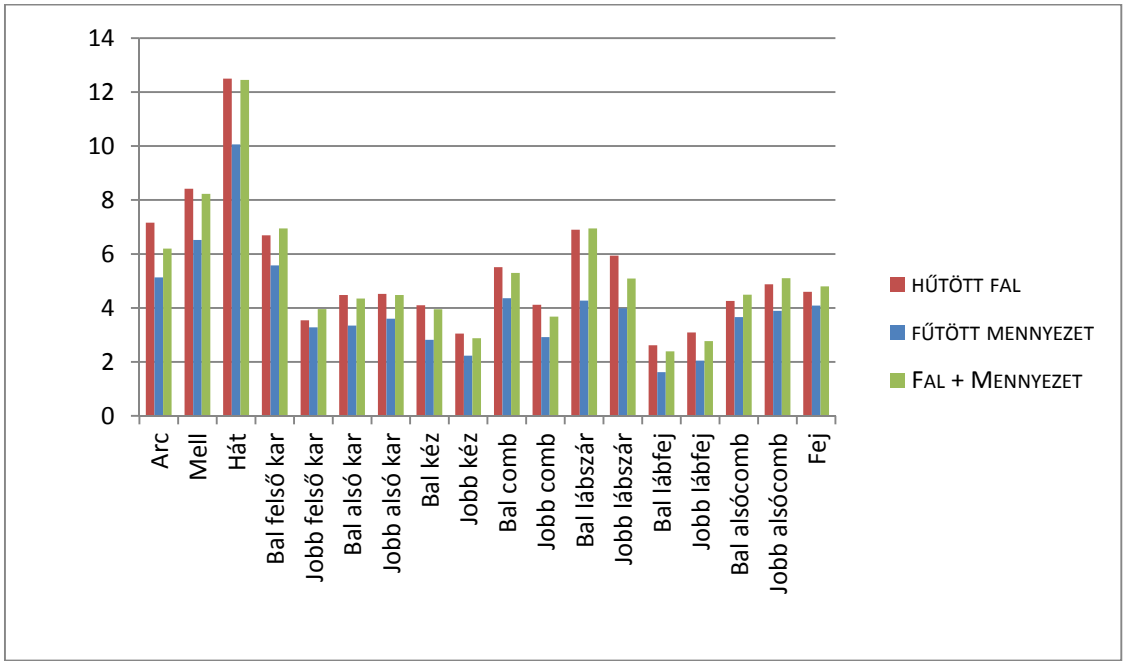
3.9. ábra
Az egyes testrészek hőleadása [W] különböző felületi hűtés-fűtés mellett 1 clo ruházatban

Mérési eredmények 0,75 clo ruházatban

A 3.10. ábrán a termikus műember hőleadása látható 0,75 clo érték mellett. Megfigyelhető, hogy ebben az esetben hűtött fal, valamint a hűtött fal és fűtött mennyezet együttes hatása esetén a termikus műember hőleadása közel van egymáshoz. Hasonló tendencia figyelhető meg az egyes testrészek hőleadásánál is (3.11. ábra).



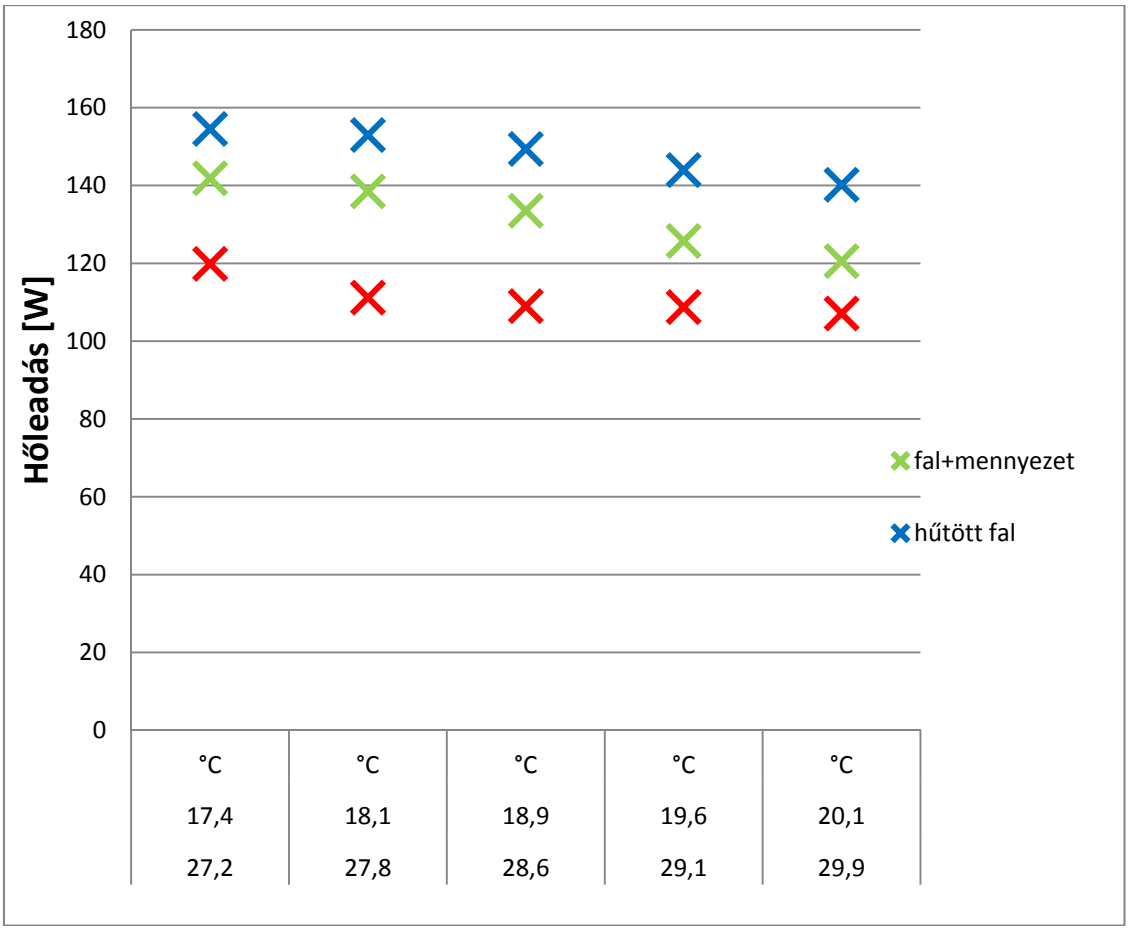
3.10. ábra
A termikus műember hőleadása [W] 0,75 clo ruházatban



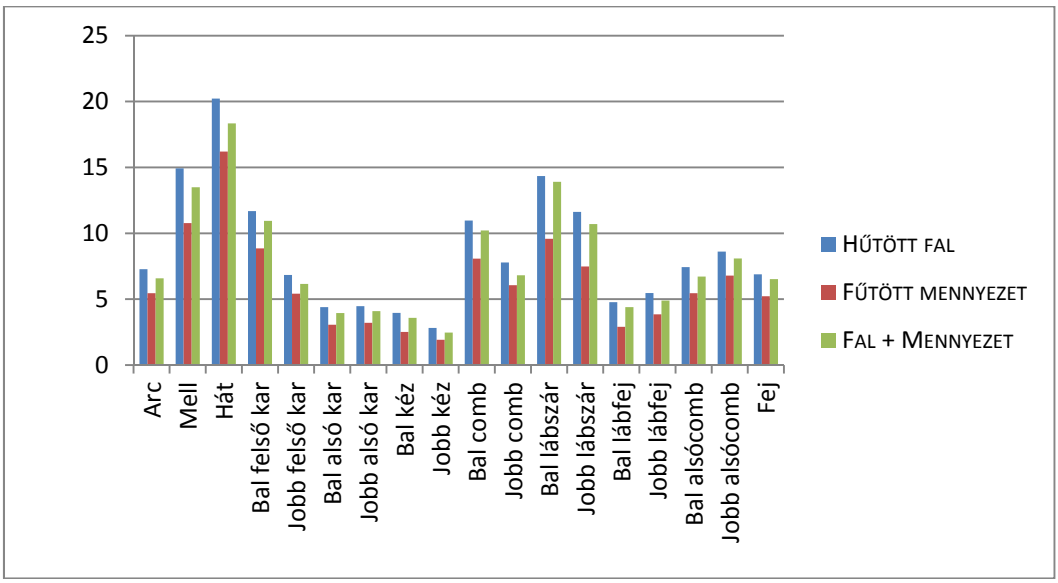
3.11. ábra
Az egyes testrészek hőleadása [W] különböző felületi hűtés-fűtés mellett 0,75 clo ruházatban

Mérési eredmények ruha nélküli esetben (0 clo)

A 3.12. ábrán a termikus műember hőleadása látható ruha nélkül, 0 clo érték mellett. Megfigyelhető, hogy ebben az esetben a változás egyenletes. A legnagyobb hőleadást a hűtött falnál, a legkisebbet fűtött mennyezetnél mértem. A hűtött fal és fűtött mennyezet együttes hatása esetén a mérési eredmények az előbbi két görbe közé estek. Hasonló tendencia figyelhető meg az egyes testrészek hőleadásánál is (3.13. ábra).



3.12. ábra
A termikus műember hőleadása [W] ruha nélkül



3.13. ábra
Az egyes testrészek hőleadása [W] különböző felületi hűtés-fűtés mellett ruha nélkül

Következtetések

A mérések során minden határoló felületet 22°C-os hőmérsékletre állítottam be, kivéve a méréskor vizsgált hűtött falat/ablakot és/vagy a fűtött mennyezetet, melyeknek a hőmérsékletét változtattam. A kapott eredményekből látható, hogy a legtöbb hőt a hűtött fal mellett adta le a termikus műember ruházat nélkül, a legkisebb hőleadást pedig fűtött mennyezet mellett 1 clo ruházatban mértem. A fűtött mennyezet és hűtött fal együttes üzemelésénél a mért értékek a kettő között helyezkedtek el. Minden esetben meghatároztam az egyes emberi testrészek (18 db) hőleadását és fajlagos hőleadását a vizsgált felületi hőmérsékleteknél mindhárom ruházatban. Az egyes testrészek fajlagos hőleadása 16,1 – 133,3 W/m^2 közé esett. A kapott eredmények kiindulásként szolgálhatnak további hőérzeti elemzésekhez, az adott testrészek hőleadásának az ismerete pedig az orvostudomány számára ad hasznos információt a különböző betegségek vizsgálatához.

3.7. Irodai munkahely modellezése termikus műemberrel

A vizsgálatot a 3.5. pontban ismertetett egyterű iroda 21x7 méteres területének ablak melletti peremzónájában, az ablaktól 1,1 m távolságban lévő ülő munkahelyre vizsgáltam meg. A vizsgálatot elvégeztem az iroda sarkában elhelyezett munkahelyre is, ahol a dolgozó bal oldala és háta is 1,1 m-re helyezkedik el a hideg ablakfelülettől, miközben a helyiség hőellátását mennyezetfűtés biztosítja. A mennyezet hőmérsékletét 22 ^{o}C-nak (nem üzemel a fűtés) és 33 ^{o}C-nak (üzemel a fűtés) vettem fel. Az egyéb paramétereket az irodákban szokásos jellemzőknek megfelelően vettem fel: levegő hőmérséklete 22°C, a ruházat hőszigetelő képessége 1,0 clo, a tevékenység 1,2 met.

Az egyes mérések eredményeit egy referenciaállapothoz viszonyítva vizsgáltam, amelynél minden felület 22°C-os, a ruházat 1,0 clo értékű, a termikus műembert pedig a mérőlabor közepén helyeztem el, ülő helyzetben. A referenciaállapotban megmértem a testrészek hőtermelését, a

levegő hőmérsékletét tarkó és boka magasságban és a fekete gömbhőmérsékletet és az egyes változatok mérési eredményeit összehasonlítottam a referenciaállapotban mért értékkel.

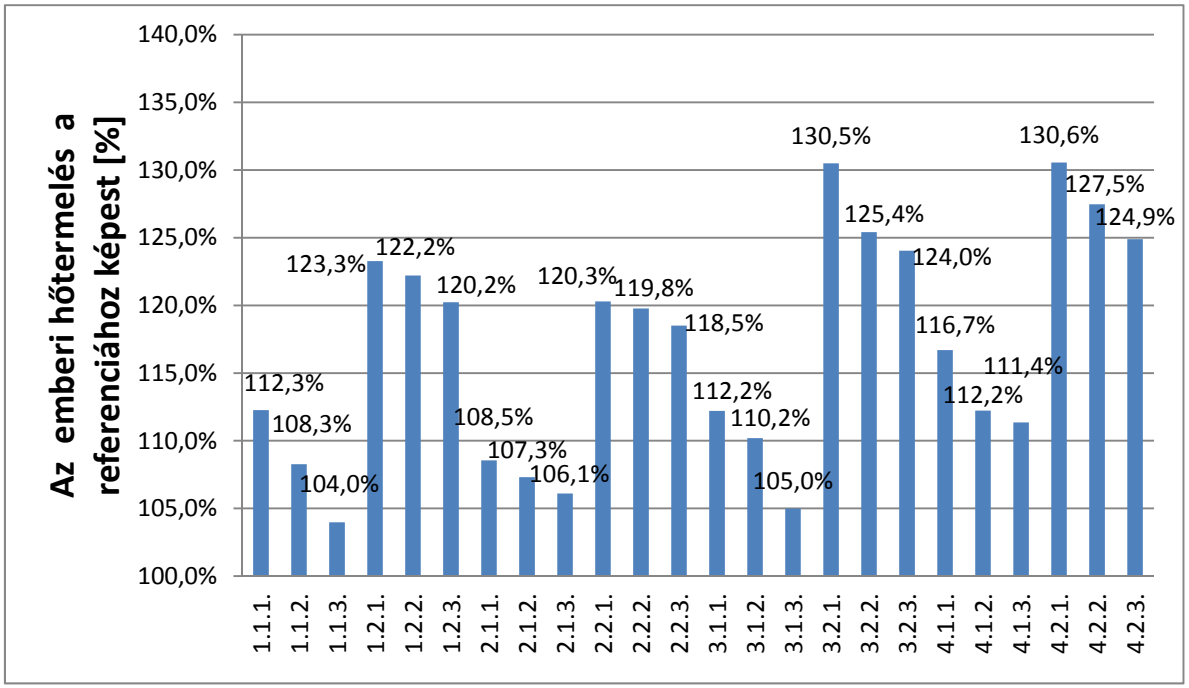
Az irodai munkahely modellezésénél az 1. és 2. mérési sorozatban a termikus műember bal oldala melletti felületet az ablak belső felületi hőmérsékletére állítottam be. A 3. és 4. mérési sorozatban a termikus műember háta mögötti felületet is az ablak belső felületi hőmérsékletére állítottam be, ezáltal a sarokban dolgozó ember hőérzete vizsgálható volt (mérési sorozat első száma).

Az 1. és a 3. mérési sorozatban megvizsgáltam a napközben jellemző üzemállapotot, amikor a belső hőterhelés miatt a mennyezetfűtés nem üzemel (22°C) és az ablak(ok) 19,8°C-os(ak). A 2. és a 4. mérési sorozatban az éjszakai, ill. hétvégi üzemállapotot vizsgáltam, amikor belső hőterhelés nincs, a mennyezet felülete 33°C-os, az ablak(ok) 16,7°C-os(ak).

A mérések során megvizsgáltam:

- a ruházat hőszigetelő képességének hatását az ember hőtermelésére (mérési azonosító második száma 1 clo és 0,75 clo);
- a termikus műember bal oldala melletti hideg felülettől való távolság hatását az ember hőtermelésére (0,6; 1,1 valamint 1,3 méter - mérési azonosító harmadik száma).

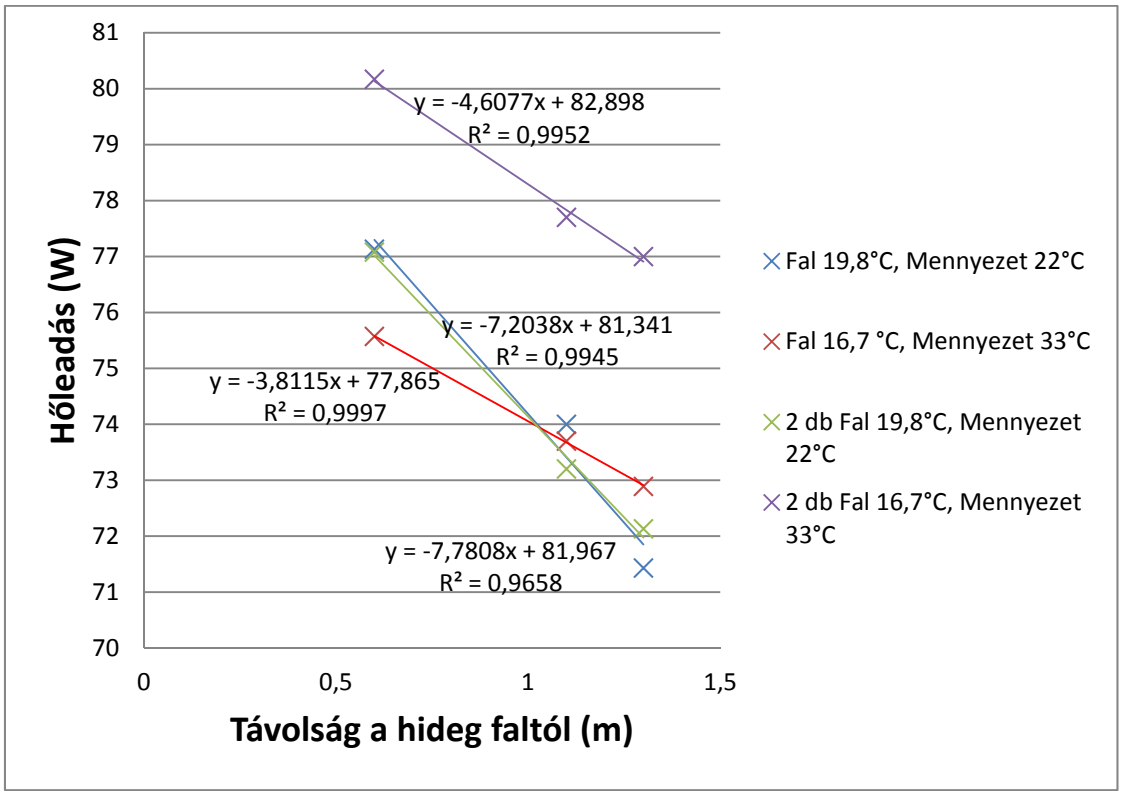
A 3.15. ábrán az emberi test hőtermelésének növekedése látható a referenciaállapothoz képest, amely a vizsgált eseteknél 4 % és 30,6 % között változott. Megállapítottam, hogy a ruházat hőszigetelő képességét 1,0 clo-ról 0,75 clo-ra csökkentve az ember hőleadása az ablaktól 0,6 m távolságban 9,8-16,3 %-kal nőtt. Egy lehűlő felület esetén mennyezetfűtés nélkül 9,8 %-os, mennyezetfűtéssel 10,8 %-os a növekedés. Sarokban lévő munkahelynél a növekedés 16,3 %-os, illetve 11,9 %-os volt.



3.15. ábra
Az emberi test hőtermelésének változása a referenciaállapothoz képest az egyes méréssel vizsgált változatokra

A 3.16. ábra az ember hőleadását mutatja a hideg faltól való távolság függvényében, 1 clo ruházatban. Megállapítottam, hogy az ablak mellett kialakított irodai munkahelynél, 1 clo ruházatban az ember hőleadása az ablaktól mért távolság növekedésének függvényében lineárisan csökken, a vizsgált esetekben a szórásnégyzet értéke 0,9658 és 0,9997 között változott. Mennyezetfűtés nélkül 0,6 m-ről 1,3 m-re növelve az ablaktól mért távolságot az ember hőleadása 6,5 % - kal csökkent (egy és két hideg felület esetén is). Mennyezetfűtés alkalmazásával a csökkenés 4 % volt, de ebben az esetben a saroknál kialakított munkahelynél (két hideg lehűlő felület) a hőleadás értéke a távolságtól függetlenül 6 %-kal magasabb volt.

A megállapításokat irodai munkavégzésre tettem. Más metabolikus terhelés esetén a termikus műember előzetes kutatásokra alkalmas.



3.16. ábra
Az ember hőleadása a hideg faltól való távolság függvényében 1 clo ruházatban

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. <u>tézis</u>

A termikus műembereket eredetileg az amerikai katonai ruházat hőszigetelő képességének a vizsgálatához fejlesztették ki. Később az alkalmazási terület a hőkomfort vizsgálatokkal bővült. Kutatásaimat az Építéstudományi Intézet által készített műemberen végeztem.

Igazoltam, hogy a termikus műember a fentieken túl alkalmazható az egészséges élő alanyok helyett az emberi hőleadás előzetes, esetenként pontos meghatározására is. A megállapítás nem csak az egész emberre, hanem az ember egyes testrészeire vonatkozó hőleadás meghatározására is érvényes. A tudományos felismerés lehetővé teszi, hogy a ruházat és a hőkomfort vizsgálatán kívül egészségügyi paramétereket is vizsgáljunk termikus műember alkalmazásával.

A megállapítást az egészséges élő alanyokkal és a műemberrel egyidejűleg végzett vizsgálat alapján teszem. Az egész alakos felvételek mellett részletesen megvizsgáltam a termikus műember és az élő alanyok különböző testrészeinél a test felületi hőmérsékletének a vonal menti változását. Megállapítottam, hogy az élő alanyok és a termikus műember különböző testrészeinél a felületi hőmérsékletek és a felületi hőmérsékletek közepes, vonal menti értéke közel azonos, a műszaki gyakorlatban szükséges követelményeknek megfelel, így a termikus műemberrel végzett mérés jó becslést szolgáltat egészséges emberekre.

2. <u>tézis</u>

Az ember hőleadását a szakirodalom csak a tevékenység függvényében adja meg, ennek széles hőmérséklet tartományban meghatározott értékei a komfortelméletben és az orvostudományban eddig nem ismertek. A termikus műemberrel végzett hőkomfort méréseknél fontos az ekvivalens hőmérséklet, amely az az elméleti hőmérséklet, amelynél a levegő hőmérséklete egyenlő a közepes sugárzási hőmérséklettel, nincs légáramlás, valamint az egyén konvekcióval és sugárzással történő hőcseréje azonos, mint a valós szituációban.

Az ekvivalens hőmérséklet függvényében meghatároztam az ember teljes hőleadását és a hőleadás testfelületre vetített fajlagos értékét különböző ruházat esetén. Megállapítottam, hogy a függvénykapcsolat lineáris, a szórásnégyzet értéke 0,9676 és 0,9908 között változott.

Az ember teljes hőleadása az ekvivalens hőmérséklet függvényében különböző ruházatnál:

0,0 clo öltözéknél	$Q = -17{,}307\ t_{eq} + 533{,}28$ [W]	$R^2 = 0{,}9676$
1,0 clo öltözéknél	$Q = -\ 7{,}3268\ t_{eq} + 238{,}34$ [W]	$R^2 = 0{,}9834$
1,3 clo öltözéknél	$Q = -\ 6{,}424\ t_{eq} + 211{,}74$ [W]	$R^2 = 0{,}9826$
1,5 clo öltözéknél	$Q = -\ 5{,}7682\ t_{eq} + 179{,}8$ [W]	$R^2 = 0{,}9908$

3. <u>tézis</u>

A komfortelmélet és az orvostudomány számára nem csak a teljes emberi test hőleadásának az ismerete a fontos, hanem az egyes testrészek hőleadása is. A méréseket ruhátlan test, majd

különböző ruházat esetén végeztem el. A vizsgálat kiterjedt a ruhával teljesen fedett (pl. hát, felkar) és a fedetlen (pl. arc) testrészek vizsgálatára.

Termikus műember segítségével meghatároztam az egészséges ülő ember egyes testrészeinek a hőleadását, valamint egységnyi testfelületre vetített fajlagos hőleadását az ekvivalens hőmérséklet függvényében különböző ruházatban (0,0; 1,0; 1,3; 1,5 clo). Megállapítottam, hogy az egyes testrészek (18 db) hőleadása az ekvivalens hőmérséklet függvényében lineárisan változik. A szórásnégyzet értéke ruházat nélkül 0,8769 és 0,9959 között (kivéve a hát, ahol 0,759 volt), 1,0 clo ruházatban 0,8356 és 0,9617 között, 1,3 clo ruházatban 0,9655 és 0,9936 között, 1,5 clo ruházatban 0,7759 és 0,9961 között változott.

A feltárt összefüggések alapján jól kitűnik a testrészek különböző hőleadása, amely fontos információt ad a komfortelmélet részére a termikus diszkomfort vizsgálatokhoz, az orvostudomány részére pedig a különböző betegségek, pl. a vesebetegség kutatásához.

4. tézis

A hőkomfort vizsgálatok egyik input paramétere az ember öltözete, a ruházatának a hőszigetelő képessége (clo). A termikus műember alkalmas a különböző ruhadarabok és ruházatok termikus ellenállásának a meghatározására. A teljes hőszigetelő képességet két ismert számítási módszerrel, soros és párhuzamos elven határoztam meg. A párhuzamos számítási mód esetén a szegmensenkénti hőszigetelő képességek felületre súlyozott átlaga adja meg a teljes hőszigetelő képességet, míg a soros összegzés esetén a szegmensenkénti, felületre súlyozott hőszigetelő képességeket (termikus ellenállásokat) adjuk össze. A szakirodalomban rendelkezésre álló különböző számítási módszerek kissé eltérő eredményt adnak, de egyik módszer sem veszi figyelembe a ruházat hőszigetelő képességének a környezeti hőmérséklettől való függését.

A termikus műembert téli ruházatba öltöztetve meghatároztam a ruházat és a levegőréteg együttes hőszigetelő képességének a környezeti hőmérséklettől való függését. Bebizonyítottam, hogy a ruházat hőszigetelő képességének meghatározásakor a környezeti levegő hőmérsékletének a változása nem hanyagolható el. A soros számítási módszernél – 2,78 °C és 20,2 °C között a ruházat teljes hőszigetelő képessége 11,5 %-kal, párhuzamos számítási módszernél 26,7 %-kal volt nagyobb.

A ruházat hőszigetelő képességének termikus műemberrel végzett mérésekor azt a környezeti hőmérsékletet kell a vizsgálat során beállítani, amelyen a vizsgált öltözet alkalmazásra kerül.

5. tézis

A helyi hőkomfortot jelentősen befolyásolja a sugárzási hőmérséklet aszimmetria, ami az embert körülvevő környezet felületi hőmérsékleteinek különbségéből adódik. A meleg mennyezet és a hideg fal/ablak együttes hatása pl. egy nagy ablakfelületekkel rendelkező irodaházban, az ablak mellett található munkahelynél mennyezetfűtés esetén jelentkezhet. Az ablak és a hűtött fal szerkezetét, hőtároló képességét tekintve nem azonos, de ugyanolyan belső felületi hőmérsékletet feltételezve az ember és a szerkezet közötti hőcsere azonos.

Számításokkal igazoltam, hogy a meleg mennyezet és a hideg fal/ablakfelület együttes hatása az eddig ismert módszerrel, azaz a meleg mennyezetre vagy a hideg fal/ablakfelületre érvényes görbével nem vizsgálható.

Jelenleg a fenti összetett hatás vizsgálatára számítási módszer nem áll rendelkezésre, az élő alanyokkal történő mérés elvégzése pedig a rengeteg változó paraméter miatt rendkívül költség- és időigényes lenne.

6. <u>tézis</u>

Megvizsgáltam a termikus műember hőleadását hideg fal/ablak (17,4 – 21,2 °C), meleg mennyezet (27,2 – 29,9 °C), illetve az eddig nem vizsgált esetre, amikor ezek együttes hatása jelentkezik. A méréseket elvégeztem tipikus üzletemberi ruházat (1 clo), nyári üzleti ruházat (0.75 clo) és ruha nélküli esetben (0 clo).

A vizsgált hőmérséklet tartományban a mérési eredmények alapján megállapítottam, hogy a termikus műember a legtöbb hőt a hideg fal/ablak mellett, a legkevesebb hőt pedig a fűtött mennyezet mellett adta le. A fűtött mennyezet és hűtött fal/ablak együttes üzemelésénél a termikus műember hőleadása a hűtött fal/ablak és a fűtött mennyezet esetén mért értékek között helyezkedik el. Meghatároztam az egyes emberi testrészek (18 db) hőleadását és fajlagos hőleadását a vizsgált felületi hőmérsékleteknél mindhárom ruházatban. Az egyes testrészek fajlagos hőleadása 16,1 – 133,3 W/m^2 közé esett.

A kapott eredmények kiindulásként szolgálhatnak további hőérzeti elemzésekhez, az adott testrészek hőleadásának az ismerete pedig az orvostudomány számára ad hasznos információt a különböző betegségek vizsgálatához.

7. <u>tézis</u>

Irodai munkahely modellezése során termikus műemberrel végzett mérésekkel megvizsgáltam a ruházat hőszigetelő képességének és az ablaktól való távolságnak a hatását az ember hőleadására. Az egyes mérések eredményeit egy referenciaállapothoz viszonyítva vizsgáltam, amelynél minden felület 22°C-os, a ruházat 1,0 clo értékű, a termikus műembert pedig a mérőlabor közepén helyeztem el, ülő helyzetben. Az emberi test hőtermelésének növekedése a vizsgált eseteknél a referenciaállapothoz képest 4 % és 30,6 % között változott.

Megállapítottam, hogy a ruházat hőszigetelő képességét 1,0 clo-ról 0,75 clo-ra csökkentve az ember hőleadása az ablaktól 0,6 m távolságban 9,8-16,3 %-kal nőtt. Egy lehűlő felület esetén mennyezetfűtés nélkül 9,8 %-os, mennyezetfűtéssel 10,8 %-os a növekedés. Sarokban lévő munkahelynél a növekedés 16,3 %-os, illetve 11,9 %-os volt.

Megállapítottam, hogy az ablak mellett kialakított irodai munkahelynél, 1 clo ruházatban az ember hőleadása az ablaktól mért távolság növekedésének függvényében lineárisan csökken, a vizsgált esetekben a szórásnégyzet értéke 0,9658 és 0,9997 között változott. Mennyezetfűtés nélkül 0,6 m-ről 1,3 m-re növelve az ablaktól mért távolságot az ember hőleadása 6,5 % - kal csökkent (egy és két hideg felület esetén is). Mennyezetfűtés alkalmazásával a csökkenés 4 % volt, de ebben az esetben a saroknál kialakított munkahelynél (két hideg lehűlő felület) a hőleadás értéke a távolságtól függetlenül 6 %-kal magasabb volt.

A megállapításokat irodai munkavégzésre tettem. Más metabolikus terhelés esetén a termikus műember előzetes kutatásokra alkalmas.

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Az ember alapvető igénye, hogy az adott épületben olyan komfort körülmények alakuljanak ki, amelyben jól érzi magát. A megfelelő komfort biztosítását azonban a lehető legkevesebb energia felhasználásával kívánjuk biztosítani.

A hőkomfort vizsgálatokat általában élő alanyok bevonásával végzik. Az értekezés egy másik lehetőség, a termikus műember alkalmazására irányul. Az értekezés bemutatja a termikus műemberek alkalmazási lehetőségeit, kitér az élő alanyok és a termikus műember összehasonlítására. Mérésekkel igazoltam, hogy a termikus műember alkalmazható a hőkomfort vizsgálatokhoz az élő alanyok helyett.

A termikus műember alkalmazását néhány tipikus, az épületgépészet szakterületén eddig nem kidolgozott esetekben vizsgáltam. Ilyen terület a ruházat hőszigetelő képességének a hőmérséklettől való függése, az ember és egyes emberi testrészek hőleadása különböző ekvivalens hőmérsékletek mellett, a sugárzási hőmérséklet aszimmetria kutatása, ahol eddig nem vizsgálták a hideg fal/ablak és a meleg mennyezet együttes hatását.

A példaként bemutatott esetek igazolják a termikus műember további alkalmazhatóságát a hőkomfort vizsgálatokhoz. A sugárzási hőmérséklet aszimmetria kutatása a termikus műember segítségével új tudományos eredményekkel szolgál. Az összetett hatások vizsgálata eddig nem történt meg, további komplex vizsgálatok (pl. meleg fal és hideg mennyezet, vagy több meleg fal,..) segítséget nyújtanak a hőérzeti méretezésekhez.

A termikus műemberes mérések az alábbi – eddig nem vizsgált, vagy más megközelítésben elemzett – területeken is alkalmazhatók:

- Az emberi test hőcseréjének modellezése az egész emberi testre, ill. a test egy részére vonatkozóan.
- Az egyes testrészek hőleadásának elemzése az orvosi diagnosztikához.
- A ruházat hőszigetelő képességének mérése régi ruházatok és új, fejlesztés alatt lévő öltözetek esetén.
- A sugárzási hőmérséklet aszimmetrián belül a komplex hatások modellezése.
- Munkahelyek hőérzeti vizsgálata és modellezése.
- A hőkomfort követelmények kielégítése és ennek biztosításához szükséges energia komplex vizsgálata.
- Nem egészséges (pl. mozgássérült) emberek és emberi testrészek hőleadásának vizsgálata.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Kutatási munkám során az áttekintett szakirodalom ismertetését követően a kitűzött célok megvalósítását végeztem el.

Áttekintettem a termikus műemberekkel végzett mérésekre és a belső terek hőkomfortjára vonatkozó hazai és nemzetközi szakirodalmat. A termikus környezet függ a levegő hőmérsékletétől, páratartalmától, sebességétől, a környező felületek átlagos sugárzási hőmérsékletétől, továbbá az adott környezetben tartózkodó ember tevékenységétől és ruházatától. A zárt terek hőtechnikai, hőérzeti méretezési módszerének alapja az emberi test hőegyensúlya, melyet az emberi hőtermelésre és hőleadásra vonatkozó komfortegyenlet fejez ki. A komfortegyenlet az egész test hőegyensúlyán alapul, mely nem egységes termikus feltételek esetén (pl. környező felületek különböző hőmérséklete) pontatlan lehet.

Kutatásomhoz hipotézist állítottam fel, hogy a termikus műember alkalmazható a hőkomfort mérésekhez az élő alanyok helyett. Termovíziós vizsgálatokkal igazoltam, hogy termikus műember és az élő alanyok testének közepes felületi hőmérséklete ± 0,5 °C-on belüli. A termikus műemberrel a test hőegyensúlya, a konvektív és a sugárzásos hőleadás az egész testfelületen mérhető. A testfelület szegmenseinek számától függően a mérésnek a „felbontása” igen nagy lehet. A műemberrel a bőr bármilyen felületi hőmérséklet eloszlását és ezzel együtt az emberi test hőállapotát modellezni lehet. Igazoltam, hogy a termikus műemberek alkalmazhatóak az élő alanyok helyett a hőkomfort vizsgálatokhoz. Az alkalmazás nem csak az egész emberre, hanem az ember egyes testrészeinek a termikus leképezésére is érvényes.

Az ember hőleadását és hőérzetét a ruházat hőszigetelő képessége nagymértékben befolyásolja. A termikus műember testrészein mért felületi hőmérséklet és a fűtőteljesítmény adatokból, a testrészek felületére súlyozott összegzéssel az egész test hőleadása, valamint a ruházat hőszigetelő képessége számítható. A termikus műemberrel végzett mérésekkel megállapítottam, hogy a ruházat hőszigetelő képessége függ a környezeti hőmérséklettől.

Az ekvivalens hőmérséklet függvényében meghatároztam az ember teljes, valamint az egyes testrészeinek a hőleadását, és az egységnyi testfelületre vetített fajlagos hőleadását. A méréseket ruhátlan test, majd különböző ruházat esetén végeztem el. Megállapítottam, hogy az egyes testrészek hőleadása az ekvivalens hőmérséklet függvényében lineárisan változik. A feltárt összefüggések fontos információt adnak a komfortelmélet részére a termikus diszkomfort vizsgálatokhoz, az orvostudomány részére pedig a különböző betegségek, pl. a vesebetegség kutatásához.

A helyi hőkomfortot jelentősen befolyásolja a sugárzási hőmérsékleti aszimmetria, ami az embert körülvevő környezet felületi hőmérsékleteinek különbségéből adódik. Számításokkal igazoltam, hogy a meleg mennyezet és a hideg ablakfelület együttesen jelentkező hatása az eddig ismert módszerrel, azaz a meleg mennyezetre és a hideg falfelületre érvényes görbével nem vizsgálható. A termikus műemberrel modelleztem az emberi szervezet belső hőtermelését, amely különböző külső körülmények között (pl. hideg fal/ablak és meleg mennyezet) változik. Megvizsgáltam a ruházat hőszigetelő képességének és az ablaktól való távolságának hatását az ember hőleadására.

7. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ FONTOSABB PUBLIKÁCIÓK

Lektorált cikk világnyelven

1. **Magyar, Z.** – Petitjean, R.(2002): Energy Saving of District Heated Flats from the Recondition of the Heating System in Hungary, *ASHRAE Transactions,* USA, (108) pp. 575-579.
2. **Magyar, Z**.(2006): Achieving Energy Saving in Europe Through the Energy Performance Directive (EPBD), *REHVA Journal*, Belgium, 2006/2. pp. 8-13.
3. **Magyar Z**.(2006): Achieving Energy Savings through the Energy Performance of Building Directive*, Instalatorul*, Romania, 2006/11. pp. 24-27.
4. **Magyar, Z**. (2010): Energy Exploitation for Low Income Housing – Result of the Ecolish Project*, The REHVA European HVAC Journal*, Belgium, 2010/5. pp. 62-68.
5. **Magyar, Z**. (2011): Measurement with Thermal Manikin. *Instalatorul,* Románia, 2011/5, pp. 28-30.
6. **Magyar, Z**., Révai, T. (2011) : Behavioral Comfort and Nutritional Problems of the Hungarian Soldiers in World War II., *Pakistan Journal of Nutrition* 10 (10). pp. 996-999.

Lektorált cikk magyar nyelven

1. Bánhidi, L., **Magyar, Z**., Révai, T. (2010): Oknyomozó történelem termikus műemberrel. *Magyar Épületgépészet*, 59 (11). pp.6-10.
2. Bánhidi, L., Yoshida, J., Polinszky, T., Kintses, G., **Magyar, Z**., Juhász, J. (1991): Mozgássérültek hőkomfort vizsgálati lehetőségei. *Épületgépészet,* 50 (2). pp.50-52.
3. **Magyar, Z**. (2004): Légtechnikai hálózatok mérése, beszabályozása I., *HKL Hűtő-, Klíma- és Légtechnikai Épületgépészeti Szaklap*, 2004/11-12. pp.2-5.
4. **Magyar, Z.** (2005): Légtechnikai hálózatok mérése, beszabályozása II. , *HKL Hűtő-, Klíma- és Légtechnikai Épületgépészeti Szaklap*, 2005/1-2. pp. 2-5.
5. **Magyar, Z**.(2005) : EU direktíva az épületek energiafelhasználásáról, *Építés Spektrum*, 2005/6. pp. 30-32.
6. **Magyar, Z**. (2006): Az Épületenergetikai irányelv és a belső környezet kapcsolata. *Magyar Épületgépészet*, 55 (1). pp.1-2.
7. **Magyar, Z**., Leitner,A., Berényi, A.(2007): Egészségügyi intézmények energetikai auditja, *Magyar Épületgépészet,* 56 (10). pp. 3-6.
8. **Magyar, Z**., Ambrus, Cs. (2011): Sugárzási hőmérséklet aszimmetria vizsgálata termikus műemberrel. *Magyar Épületgépészet*, 60 (6). pp.1-5.
9. Révai, T., Halász, M., **Magyar, Z**., Bánhidi, L., Lenkovics, L., Laborcz, Gy. (2011): A doni katonaruházat minősége és viselési komfortja – egy vizsgálat tapasztalatai. *Magyar Textil Technika*, 2011/1. pp.31-33.
10. Révai, T., **Magyar, Z**., Bánhidi, L., Lenkovics, L., Laborc, Gy. (2011): Doni frontszakaszon viselt katonaruhába öltöztetett műemberen végzett hőérzeti mérések. *Sereg Szemle*, 9 (3-4). pp. 181-186.
11. Révai, T., **Magyar, Z**., Bánhidi, L.(2012): Doni frontszakaszon viselt katonaruházat hőszigetelő képessége és az adott ruházatot viselő katonák hőleadása. *Sereg Szemle*, 10 (1). (befogadva, megjelenés alatt)