Szent István Egyetem

Termikus műember alkalmazási lehetőségei hőkomfort vizsgálatoknál

Doktori (Ph.D.) értekezés

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. BEVEZETÉS 7
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS 9
2.1. Az ember hőegyensúlya 9
2.2. A termikus környezet tulajdonságai 12
2.2.1. Operatív hőmérséklet 12
2.2.2. Általános hőkomfort tényezők 13
2.2.3. Helyi diszkomfort tényezők 15
2.3. Termikus műemberek alkalmazása hőkomfort mérésekhez 16
2.3.1. Történeti áttekintés 16
2.3.2. A termikus műember működése 20
2.3.3. A termikus műemberekkel végzett hőkomfort mérések 21
2.3.4. A termikus műemberekkel végzett mérések pontossága 23
3. ANYAG ÉS MÓDSZER 25
3.1. A termikus műember bemutatása 25
3.2. A termovíziós vizsgálatok elvi alapjai, alkalmazhatósága 29
3.3. A ruházat hőszigetelő képességének a meghatározása 32
3.3.1. A ruházat hőszigetelő képességének összefüggései 33
3.3.2. A mérés peremfeltételei 37
3.3.3. A teljes hőszigetelő képesség meghatározása 38
3.3.4. A ruha nélküli termikus műembert körülvevő levegőréteg hőszigetelő képességének meghatározása 39
3.3.5. A ruházat területi tényezőjének meghatározása 40
3.3.6. A ruházat hőszigetelő képességének meghatározása 40
4. EREDMÉNYEK 41
4.1. Élő alanyok és a termikus műember összehasonlítása 41
4.1.1. Az élő alanyok és a termikus műember ruhával fedett felületi hőmérsékletének az összehasonlítása 41
4.1.2. Az élő alanyok és a termikus műember egyes testrészeinél a felületi hőmérsékletek összehasonlítása 42
4.2. A ruházat hőszigetelő képességének változása a környezeti levegő hőmérsékletének a függvényében 48
4.3. Az ember hőleadásának meghatározása különböző ekvivalens hőmérsékletek mellett 50

4.3.1. Az ember össz-hőleadásának meghatározása különböző ekvivalens hőmérsékletek mellett 50
4.3.2. Az egyes testrészek hőleadásának meghatározása különböző ekvivalens hőmérsékletek mellett 52
4.4. Sugárzási hőmérséklet aszimmetria vizsgálata számítással 57
4.4.1. A meleg mennyezet és a hideg fal/ablak együttes hatásának elméleti vizsgálata 57
4.4.2. Az operatív hőmérséklet vizsgálata 67
4.4.2.1. Az operatív hőmérséklet a hideg fal hőmérsékletének a függvényében 68
4.4.2.2. Az operatív hőmérséklet a ruházat függvényében 69
4.4.2.3. Az operatív hőmérséklet az ablaktól való távolság függvényében 70
4.5. Sugárzási hőmérséklet aszimmetria vizsgálata termikus műember alkalmazásával 71
4.5.1. A termikus műember hőleadása hideg fal/ablak, meleg mennyezet, illetve ezek együttes hatása esetén 73
4.5.2. Irodai munkahely modellezése termikus műemberrel 77
4.6. A ruházat és az ablaktól való távolság hatásának méréses vizsgálata 85
4.7. Új tudományos eredmények 88
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK 91
6. ÖSSZEFOGLALÁS 92
SUMMARY 93
7. MELLÉKLETEK 94
M1. Irodalomjegyzék 94
M2. Az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációk 99
M3. A termikus műember és az élő alanyok termovíziós felvételei 15 °C-os környezeti hőmérsékleten 102
M4. A termikus műember és az élő alanyok termovíziós felvételei 20 °C-os környezeti hőmérsékleten 105
M5. A termikus műember és az élő alanyok termovíziós felvételei 25 °C-os környezeti hőmérsékleten 108
M6. A testrészek hőleadása és fajlagos hőleadása ruházat nélkül (0 clo) 111
M7. A testrészek hőleadása és fajlagos hőleadása 1,0 clo ruházatban 117
M8. A testrészek hőleadása és fajlagos hőleadása 1,3 clo ruházatban 123
M9. A testrészek hőleadása és fajlagos hőleadása 1,5 clo ruházatban 129

M10. A testrészek hőleadása és fajlagos hőleadása különböző felületi fűtés-hűtés mellett ruhátlan test esetén....135
M11. A testrészek hőleadása és fajlagos hőleadása különböző felületi fűtés-hűtés mellett 0,75 clo ruházatban....140
M12. A testrészek hőleadása és fajlagos hőleadása különböző felületi fűtés-hűtés mellett 1,0 clo ruházatban....145

1. BEVEZETÉS

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 professzorral 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 itt is lehetőség nyílt hőérzeti kutatásokat végezni. A kutatómunkához rendelkezésemre állt az egyetlen magyar termikus műember. A korábbi hőérzeti kutatásaim folytatásaként a termikus műember az 1943-ban, a 2. Magyar Hadsereg által a Don kanyarban használt katonaruhát kapott. A kutatás eredménye megjelent az épületgépészeti (Bánhidi et al. 2010), a haditechnikai (Révai et al. 2011a), (Révai et al. 2011b) és az orvosi (Révai et al 2011c) szakirodalomban, találkozhattunk cikkekkel a napi sajtóban, közleményt adott ki az MTI, interjút készített TV és a rádió is. A kutatómunkám során elmélyedtem a termikus műember további alkalmazhatóságának vizsgálatában. Felismertem, hogy a termikus műember alkalmazásával több olyan – jelenleg nem ismert és eddig nem vizsgált – hőérzeti jellemzők is elemezhetők, amelyek mind a komfortelmélet, mind az orvostudomány számára hasznos információkat adnak.

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 már tudományos jelleget és hátteret kaptak.

Az ember életének 85-90 %-át zárt térben tölti, ezért alapvető fontosságú, hogy a 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 (Wargocki et. al 2006).

Az energiaárak növekedésének hatására az az igény jelenik meg, hogy a belső tér előírt és elvárt paramétereit a lehető legkevesebb energia felhasználásával oldjuk meg (Magyar 2006), (Abel et al. 2007). Az energia-megtakarítást nem lehet leegyszerűsíteni arra, hogy télen a belső tér hőmérsékletét csökkentjük, vagy kevesebb szellőző levegőt vezetünk a zárt térbe. Ez a tendencia jelentkezett az első olajválság után, aminek eredményeképpen megjelent az épületszerkezeten a penész, az emberek közérzete romlott, egészségügyi panaszok is jelentkeztek. A jelenség a Sick Building Syndrom, a Beteg Épület Szindróma, amellyel ma már egy egész tudományág foglalkozik. A vizsgálatokat komplexitásuk miatt csak az ember – épület – komfort – energia kapcsolatrendszerén keresztül tudjuk elvégezni.

Az értekezés ennek megfelelően az ember – épület – komfort – energia témakörön belül a vizsgált térben szükséges hőkomfort igények kielégítését vizsgálja. A vizsgálatokat általában élő alanyok bevonásával végzik, de ez a megoldás rendkívül költség- és időigényes. A disszertáció egy másik

megoldási lehetőség, a termikus műember alkalmazására irányul. A termikus műember alkalmazását néhány tipikus, eddig az épületgépészeti szakterületen nem kidolgozott, példa jellegű esetekben vizsgáltam.

Célul tűztem ki 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 információt szolgál.

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. Ezen paraméterek közül a disszertációmban a ruházattal, levegő hőmérsékletével és a környező felületek sugárzási hőmérsékletével foglalkoztam. Vizsgálataimnál irodai munkavégzést, vagyis ülő tevékenységet tételeztem fel, ahol a komfort térben a levegő páratartalma szűk tartományban mozog. A különböző felületi hőmérsékletek hatását vizsgáltam az emberre, ezért az adott hőmérséklettartományban az ember körül kialakuló légsebességet nem vettem figyelembe.

A ruházat hőszigetelő képességének a meghatározásával már több kutató foglalkozott, különböző számítási eljárásokat dolgoztak ki, de nem vizsgáltak az eredmények hőmérséklettől való függését.

Ha a környező felületek hőmérséklete különböző, akkor sugárzási hőmérséklet aszimmetria lép fel, ami diszkomfort érzetet okozhat. Megvizsgáltam a hideg fal (ami lehet üvegfal) és a meleg mennyezet (pl. mennyezetfűtés) együttes hatását az emberre a tér különböző részén. Megállapítottam, hogy jelenlegi számítás nem veszi figyelembe egyszerre mindkét hatást (vagy csak a hideg falra, vagy csak a meleg mennyezetre vonatkozik). Feltételeztem, hogy termikus műember alkalmazásával a sugárzási hőmérséklet aszimmetria hatása vizsgálható, így pl. vizsgálható a hideg fal (vagy üvegfelület) és a meleg mennyezet (mennyezetfűtés) együttes hatása is.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

Tudományos jellegű hőkomfort vizsgálatok az utóbbi 30-40 évben történtek. A kutatók meghatározták azokat a feltételeket, amelyek teljesülése esetén az ember az adott környezetben jól érzi magát. A szubjektivitást igyekezték kizárni és olyan általánosságokat megfogalmazni, ami a gyakorlati tervezés és méretezés során is alkalmazható. A szakirodalmi áttekintés bemutatja az ember hőegyensúlyát, a komfort tér jellemzőit, az eddig vizsgált, valamint a kevésbé ismert és kutatott területeket is.

A műemberes vizsgálatok hosszú időre nyúlnak vissza. Kezdetben elsősorban biztonságtechnikai vizsgálatokat végeztek járműveken, pl. ütközésteszt gépkocsikon, majd különböző közlekedési eszközökön, pl. repülőgépeken, vonaton, hajókon vizsgálták az emberek megfelelő légellátását. Az épületgépészeti területen kutatási célra készítettek termikus, izzadó és lélegző műembert. Termikus műembert először az amerikai hadsereg részére fejlesztettek ki a hadiruházat vizsgálatára.

Disszertációmban a szakirodalom alapján vizsgálom a zárt tér termikus környezetének tulajdonságait, követelmény-értékeit. Az ember hőegyensúlyi egyenletének használatával vizsgálom az egyes paraméterek hatását, kitérek az eddig nem vizsgált esetekre is (Bánhidi 1976). Bemutatom a szakirodalomban található termikus műemberek működését, az eddig elvégzett vizsgálatokat.

2.1. Az ember hőegyensúlya

P.O. Fanger professzor először 1970-ben kiadott – azóta már klasszikusnak számító - Thermal Comfort című könyvében (Fanger 1970) a korábbi méretezési módszerekhez képest teljesen új eljárást dolgozott ki a zárt terek hőtechnikai, hőérzeti méretezésére. Módszerének alapja az emberi test hőegyensúlya, amit a következő formában felírva használt:

$$H - E_d - E_{sw} - E_{re} - L = K = R + C \tag{2.1}$$

ahol:

H	- az emberi test hőtermelése	[W]
E_d	- a bőrről elpárolgó nedvességgel távozó hő	[W]
E_{sw}	- izzadással leadott hő	[W]
E_{re}	- kilégzett nedvességgel távozó hő	[W]
L	- a légzéses hőleadás száraz része	[W]
K	- a ruházaton hővezetéssel átjutó hőáram	[W]
R	- a ruházat felületéről sugárzással távozó hő	[W]
C	- a ruházat felületéről konvekcióval távozó hő	[W]

A számítás kiindulási alapja szerint a hőegyensúly a következő tényezők függvénye:

$$f\left(\frac{H}{F_{Du}}, I_{cl}, t_a, t_{ks}, p_{vg}, v, t_b, \frac{E_{sw}}{F_{Du}}, \eta\right) = 0, \tag{2.2}$$

ahol:

$\frac{H}{F_{Du}}$	a testfelület-egységre eső belső hőtermelés	[W/m^2]
F_{Du}	az emberi testfelület Du Bois féle meghatározása	[m^2]
I_{cl}	a ruházat termikus ellenállása	[clo]
t_a	belső levegő hőmérséklete	[°C]
t_{ks}	közepes sugárzási hőmérséklet	[°C]
p_{vg}	nyugvó levegőben a vízgőz parciális nyomása	[Pa]
v	relatív légsebesség	[m/s]
t_b	közepes bőrhőmérséklet	[°C]
$\frac{E_{sw}}{F_{Du}}$	a testfelület-egység hőveszteségе izzadással	[W/m^2]
η	az emberi munkavégzés hatásfoka	[%]

Ezek azok a tényezők, amelyek állandósult környezeti állapotban huzamosabban tartózkodó és az adott tevékenységet folyamatosan végző személyre hatnak, egymáshoz való viszonyainak eredményeképpen alakul ki valamilyen hőmérsékletszinten a hőegyensúly. Mérési eredmények alapján matematikai kapcsolatot állítottak fel a közepes bőrhőmérséklet és a hőtermelés, valamint a párolgásos hőleadás és a hőtermelés között a többi tényező állandó értéken tartása mellett, így a figyelembe veendő tényezők száma kettővel csökkenthető.

Az (2.1) egyenletben szereplő egyes tagok nagyságának számítása mérésekből származó összefüggésekkel történik a következő összefüggésekkel Fanger (1970) alapján:

$$H = M(1-\eta) \tag{2.3}$$

$$E_d = 0{,}35 \cdot F_{Du}\left(1.92 t_b - 25.3 - p_{vg}\right) \tag{2.4}$$

$$E_{sw} = 0{,}49 \cdot F_{Du}\left(\frac{H}{F_{Du}} - 50\right) \tag{2.5}$$

$$E_{re} = 0{,}0023 \cdot M\left(44 - p_{vg}\right) \tag{2.6}$$

$$L = 0{,}0014 \cdot M\left(34 - t_a\right) \tag{2.7}$$

$$K = F_{Du}\frac{t_b - t_{cl}}{0{,}18 \cdot I_{cl}} \tag{2.8}$$

$$R = 3{,}4 \cdot 10^{-8} \cdot F_{Du} \cdot f_{cl}\left[\left(t_{cl} + 273\right)^4 - \left(t_{ks} + 273\right)^4\right] \tag{2.9}$$

$$C = F_{Du} \cdot f_{cl} \cdot \alpha_c\left(t_{cl} - t_a\right) \tag{2.10}$$

ahol:

M: metabolikus hő	[W]
t_{cl}: a ruházat külső felületi hőmérséklete	[°C]
f_{cl}: ruházat területi tényezője,	[-]
α_c: konvekciós hőátadási tényező	[W/m^2°C]

A (2.1) egyenlet egyes tagjainak helyére beírva a fentebb részletesen közölt mérések eredményeként kapott empirikus összefüggéseket, átrendezés után kapjuk az úgynevezett Fanger-féle komfortegyenletet:

$$\frac{M}{F_{Du}}(1-\eta)-0{,}35\left[43-0{,}061\frac{M}{F_{Du}}(1-\eta)-p_{vg}\right]-0{,}42\left[\frac{M}{F_{Du}}(1-\eta)-50\right]-$$
$$-0{,}0023\frac{M}{F_{Du}}(44-p_{vg})-0{,}0014\frac{M}{F_{Du}}(34-t_a)= \qquad (2.11)$$
$$=3{,}4\cdot 10^{-8} f_{cl}\left[(t_{cl}+273)^4-(t_{ks}+273)^4\right]+f_{cl}\alpha_c(t_{cl}-t_a).$$

A komfortegyenletet t_{cl}-re, a ruházat külső felületének közepes felületi hőmérsékletére megoldva a következő egyenlethez jutunk:

$$t_{cl}=35{,}7-0{,}032\cdot\frac{M}{F_{Du}}\cdot(1-\eta)-0{,}18\cdot I_{cl}\cdot\left\{\frac{M}{F_{Du}}\cdot(1-\eta)-0{,}35\cdot\left[43-0{,}061\cdot\frac{M}{F_{Du}}\cdot(1-\eta)-50\right]-\right.$$
$$\left.-0{,}0023\frac{M}{F_{Du}}\cdot(44-p_{vg})-0{,}0014\frac{M}{F_{Du}}\cdot(34-t_a)\right\} \qquad (2.12)$$

A komfortegyenletbe a megfelelő paramétereket helyettesítve, és azokat különböző paramétercsoportokra megoldva dolgozta ki Fanger (1970) a komfortdiagramokat, melyeket a (2.12) egyenlet alapján szerkesztett. A komfortdiagramok felhasználásuk szerint három csoportba oszthatók. Az első csoportba 12 diagram tartozik, amelyekben azonos lég- és közepes sugárzási hőmérsékletek függvényében a relatív nedvességtartalom függvényében a levegő nedves hőmérséklete van feltüntetve, különböző tevékenységű és öltözetű alanyoknál. Ezeket a diagramokat használhatjuk, ha adott paraméterek között a kellemes hőérzetet kialakító levegő-hőmérsékletet és közepes sugárzási hőmérsékletet kívánjuk meghatározni. A második csoportba sorolható négy diagram esetében - azonos levegő- és közepes sugárzási hőmérséklet függvényében - különböző relatív légsebességek mellett az aktivitási szint a paraméter. A négy diagram mindegyike eltérő öltözékű emberre vonatkozik, de azonos 50 %-os relatív nedvességtartalmú belső levegőt feltételezve. A harmadik csoportba sorolható 12 diagram a levegő hőmérséklet, valamint a közepes sugárzási hőmérséklet függvényében mutatja a relatív légsebesség értékeit. Itt diagramonként változik a ruházat hőszigetelése és a munkavégzés aktivitási szintje, de minden diagram 50%-os relatív nedvességtartalomra vonatkozik. Ez a diagramcsoport használatos a tervezői gyakorlatban, mert ezekből állapíthatók meg a kellemes hőérzetet biztosító levegő- és közepes sugárzási hőmérséklet összetartozó értékei a relatív légsebesség függvényében.

2.2. A termikus környezet tulajdonságai

Az emberi tartózkodásra szolgáló zárt tér minősége függ a termikus környezettől, a belső levegő minőségétől, a tartózkodási zóna akusztikai jellemzőitől és a vizuális komforttól, vagyis a természetes és a mesterséges világítástól. A továbbiakban, dolgozatomban a termikus környezetet vizsgálom.

A termikus környezet a környezetnek azt a tulajdonságát jelenti, amely befolyásolja az emberi test és a környezet közötti hőcserét. A termikus környezet az alábbi tényezőkkel jellemezhető:

- operatív hőmérséklet;
- általános hőkomfort jellemzők (PMV-PPD);
- helyi diszkomfort tényezők (felületi hőmérséklet, függőleges levegő-hőmérséklet különbség, sugárzási hőmérséklet aszimmetria, huzat);
- relatív nedvességtartalom.

A relatív nedvességtartalomnak közvetlen és közvetett hatása is van az emberre. Hőérzetünket a 2.1. pontban leírtak szerint közvetlenül befolyásolja a levegőben lévő vízgőz parciális nyomása, vagyis a levegő relatív nedvességtartalma. A relatív nedvességtartalomnak a nem termikus aspektusa, vagyis közvetett hatása a belső levegő minőségén keresztül jelentkezik. A magas nedvességtartalom elősegíti a gombák és egyéb baktériumok szaporodását, valamint növeli a bútorokból és egyéb berendezési tárgyakból a kémiai összetevők, pl. a formaldehid emisszióját. A továbbiakban, dolgozatomban az ember és környezete között a száraz hőcserét vizsgálom és 50 %-os relatív nedvességtartalmat tételezek fel.

2.2.1. Operatív hőmérséklet

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.

$$t_o = \frac{\alpha_s \cdot t_{ks} + \alpha_c \cdot t_a}{\alpha_s + \alpha_c} \tag{2.13.}$$

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°C]
α_s:	sugárzási hőátadási tényező	[W/m^2°C]

Az épület belső környezetének minősítésére az MSZ CR 1752:2000 angol nyelvű magyar szabvány 3 kategóriát különböztet meg:

- A kategória: magas szintű elvárás;
- B kategória: közepes szintű elvárás;
- C kategória: elfogadható, szerény szintű elvárás.

A 2.1. táblázat összefoglalja a különböző rendeltetésű épületek, illetve terek tervezési alapértékeit, megkülönböztetve az A, B, C kategória besorolást:

2.1. táblázat
Különböző rendeltetésű épületek, illetve terek tervezési alapértékei
(A táblázat alacsony szennyező faktorú építőanyagokat és bútorokat vesz figyelembe)

Épület/tér típusa	Ruházat (clo)		Aktivitási szint	Bent tartózkodó személy/ m^2 padló	Kategória	Operatív hőmérséklet, oC		* Átlagos levegő-sebesség, m/s		Hangnyomás szint	Szellőző levegő*	Szell. pótlék**
	Nyár	Tél	(met)			Nyár	Tél	Nyár	Tél	dB(A)	l/s,m2 padló	l/s,m2 padló
Kis iroda-helyiség	0,5	1,0	1,2	0,1	A	24,5 ± 0,5	22,0 ± 1,0	0,18	0,15	30	2,0	-
					B	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0	0,22	0,18	35	1,4	-
					C	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0	0,25	0,21	40	0,8	-
Nagyterű iroda-helyiség	0,5	1,0	1,2	0,07	A	24,5 ± 0,5	22,0 ± 1,0	0,18	0,15	35	1,7	0,7
					B	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0	0,22	0,18	40	1,2	0,5
					C	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0	0,25	0,21	45	0,7	0,3
Konferencia terem	0,5	1,0	1,2	0,5	A	24,5 ± 0,5	22,0 ± 1,0	0,18	0,15	30	6,0	5,0
					B	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0	0,22	0,18	35	4,3	3,6
					C	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0	0,25	0,21	40	2,4	2,0
Auditorium	0,5	1,0	1,2	1,5	A	24,5 ± 0,5	22,0 ± 1,0	0,18	0,15	30	16	-
					B	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0	0,22	0,18	33	11,0	-
					C	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0	0,25	0,21	35	6,4	-
Vendéglő	0,5	1,0	1,4	0,7	A	23,5 ± 1,0	20,0 ± 1,0	0,16	0,13	35	8,0	-
					B	23,5 ± 2,0	20,0 ± 2,0	0,20	0,16	45	5,7	5,0
					C	23,5 ± 2,5	20,0 ± 2,5	0,24	0,19	50	2,8	-
Iskola	0,5	1,0	1,2	0,5	A	24,5 ± 0,5	22,0 ± 1,0	0,18	0,15	30	6,0	-
					B	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0	0,22	0,18	35	4,3	-
					C	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0	0,25	0,21	40	2,4	-
Óvoda	0,5	1,0	1,4	0,5	A	23,5 ± 1,0	20,0 ± 1,0	0,16	0,13	30	7,0	-
					B	23,5 ± 2,0	20,0 ± 2,0	0,20	0,16	40	5,0	-
					C	23,5 ± 2,5	20,0 ± 2,5	0,24	0,19	45	2,8	-
Raktár	0,5	1,0	1,6	0,15	A	23,0 ± 1,0	19,0 ± 1,5	0,16	0,13	40	3,5	-
					B	23,0 ± 2,0	19,0 ± 3,0	0,20	0,15	45	2,5	-
					C	23,0 ± 3,0	19,0 ± 4,0	0,23	0,18	50	1,4	-

* A szellőző levegő megkívánt térfogatárama

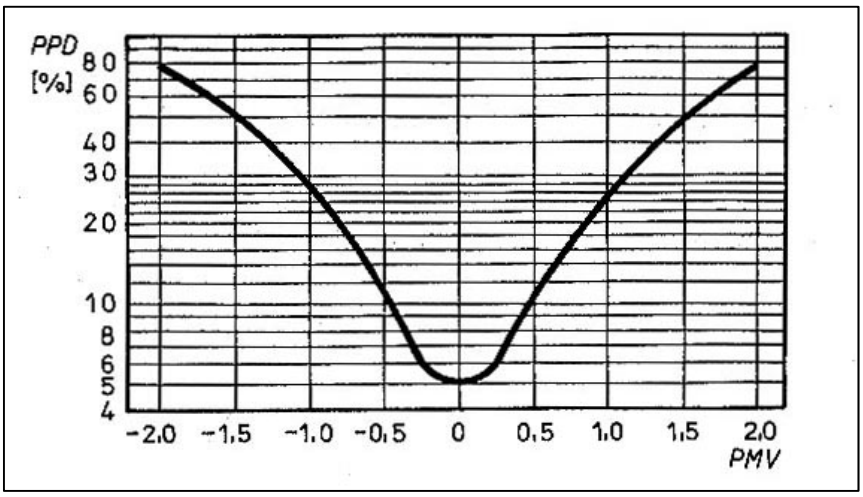
** Szellőzési pótlék, ha a dohányzás megengedett

A belső tér légállapotát az operatív hőmérséklettel jellemzi a többi szabvány is (MSZ EN 15251:2008, ASHRAE 55:2010).

2.2.2. Általános hőkomfort tényezők

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 (Fanger, 1970). 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 a PMV értékre szimmetrikus és 5 % PPD-nél minimuma van, vagyis nincs olyan légállapot, amelynél a zárt térben tartózkodók több, mint 95 %-a elégedett lenne. A szakirodalom és a szabványok (MSZ EN ISO 7730:2006, Ashrae 55:2010) tartalmazzák a PMV értékeket különböző ruházatra, aktivitási szintre, operatív hőmérsékletre és relatív légsebességre.

Az MSZ CR 1752:2000 szabvány a termikus környezet különböző kategóriájának követelményértékeit a test egészének hőállapotára, illetve a 2.2.3. pontban részletesen ismertetésre kerülő helyi diszkomfort tényezőkre vonatkoztatva a 2.2 táblázat szerint határozza meg.

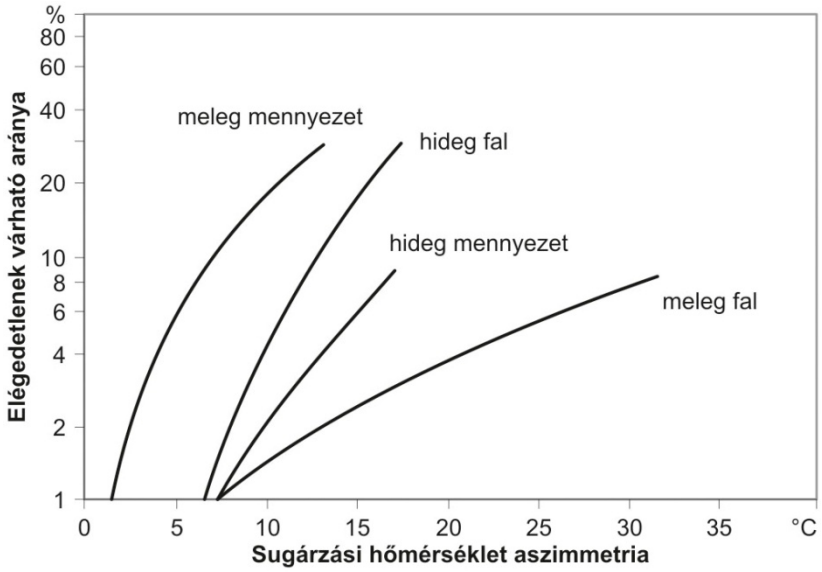
2.2. táblázat
A hőkörnyezet három kategóriájának követelményértékei

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

2.2.3. Helyi diszkomfort tényezők

Előfordulhat, hogy az adott tér összességében kielégíti az általános hőkomfortra vonatkozó kritériumokat, a PMV és a PPD értékek a megengedett határon belül vannak, mégis a tér adott pontján helyi diszkomfort érzés alakulhat ki (Fanger et al. 1980, Madsen 1980). A helyi diszkomfort tényezők közé tartozik és diszkomfort érzést okozhat a hideg- és a meleg felületek felületi hőmérséklete (Macskásy et al. 1985), a függőleges léghőmérséklet különbsége, a sugárzási hőmérséklet aszimmetria és a huzathatás. A helyi diszkomfort tényezők közül a továbbiakban a sugárzási hőmérséklet aszimmetriát vizsgálom.

A szabványok szerint (MSZ CR 1752:2000, MSZ EN ISO 7730:2006, Ashrae 55:2010) az emberek a meleg mennyezet és a hideg fal, ill. ablak okozta sugárzási hőmérséklet aszimmetriára a legérzékenyebbek (2.2. ábra).



2.2. ábra
Sugárzási hőmérséklet aszimmetria által okozott diszkomfort

A sugárzási hőmérséklet aszimmetria megengedett értéke a 2.3. táblázat alapján meleg mennyezetet figyelembe véve A és B kategória esetén <5°C, C kategória esetén <7°C. Hideg fal esetén A és B kategóriánál <10°C, C kategóriánál <13°C. A szakirodalom és a vonatkozó szabványok nem térnek ki több tényező együttes hatásának a vizsgálatára, ezekre az esetekre nem találunk követelményértékeket.

2.3. táblázat
A sugárzási hőmérséklet aszimmetria megengedett értékei (MSZ CR 1752:2000):

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

Az épület belső környezetének minősítésére az MSZ EN 15251:2008 angol nyelvű magyar szabvány 4 kategóriát különböztet meg:

- I. kategória: magas szintű elvárás (pl. kórházak);
- II. kategória: normál szintű elvárás (pl. új és felújítandó épületek);
- III. kategória: mérséklet szintű elvárás (pl. meglévő épületek);
- IV. kategória: az előző három kategórián kívül eső épületek (pl. idényjellegű használat).

A hőérzetre vonatkozó követelményértékek hasonlóak az MSZ CR 1752:2000 szabványban megadottakkal. A helyi diszkomfort tényezők vizsgálatára korábban már történtek kutatások (Candas 1999, Magyar et al. 1997, Vajdáné 2006).

2.3. Termikus műemberek alkalmazása hőkomfort mérésekhez

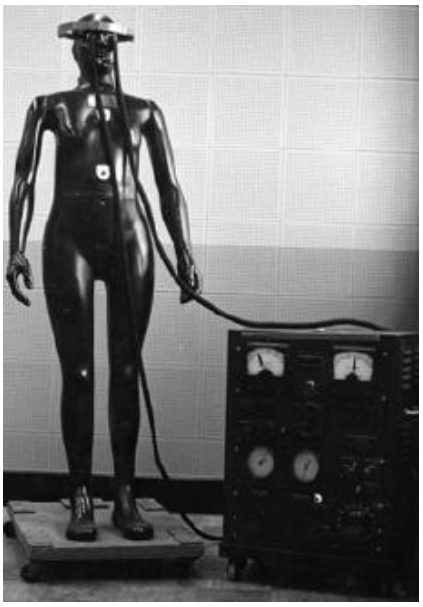
A termikus műember egy olyan modell, amellyel az ember és a környezete közötti száraz hőcsere vizsgálható. A termikus műember méreteit tekintve ember nagyságú, legjobban a kirakati próbabábukra hasonlít. A vizsgálatok során a termikus műember hőveszteségét mérjük. A mérésekhez különböző laboratóriumokban több féle termikus műembert fejlesztettek ki, melyek között vannak bizonyos szerkezeti különbségek, de a termikus műemberek fűtési rendszere, az alkalmazott anyagok és a mérési elvek hasonlóak (ENV 342:1998, ISO/DIS 15831:2001).

A következőkben a termikus műemberek fejlesztésének történetét mutatom be, összegyűjtve a „legismertebb” műemberek főbb tulajdonságait.

2.3.1. Történeti áttekintés

Az első termikus műembert dr. Harword Belding készítette az amerikai hadsereg részére 1942-ben. A műember teste fej és karok nélkül készült, réz csövekből és lemezekből. A termikus műemberben található belső fűtőelem hőjét egy ventilátorral osztották szét a testben. Belding célja a védőruházatok hatékonyságának az ellenőrzése volt.

Az 1940-es évek végén Belding és a General Electric Co. közösen egy új, élethű termikus műembert fejlesztett ki. Ez a műember elektromos áramkörökkel készült, melyekkel a réz burkolatú test felületét fűtötték. A kezek és a lábak felületi hőmérsékletét a test többi részétől függetlenül lehetett változtatni. A Belding és a General Electric Co. által kifejlesztett termikus műembert 1971-ben, majd 1995-ben korszerűsítették és a mai napig az amerikai hadsereg katonai védőruházatának vizsgálatára használják (Havenith 2008). Termikus műembereket láthatunk a 2.3, 2.4, 2.5 és 2.6. ábrákon.



2.3. ábra
Rézből készült termikus műember
Climate Research Laboratory
and Aeromedical Laboratory, 1945

2.4. ábra
Rézből készült termikus műember
University of Pittsburgh, 1951

2.5. ábra
Termikus műember alkalmazása
katonai ruházatok vizsgálatára

2.6. ábra
Mozgó műember

A második világháború során további fejlesztések követték egymást és 1945-ben a General Electric Co. az előző termikus műemberrel kapcsolatos tapasztalatai és mintegy 3000 amerikai repülőgép pilótát érintő antroprometriai tanulmány alapján újabb termikus műembert készített. A műemberrel a különböző háborús helyszínekhez tartozó katonai ruházatot vizsgálták (2.5. ábra). Az 1950-es

években a termikus műemberen végzett mérésekkel az amerikai katonai lábbeliket, hálózsákokat és a ruházatot a komfort, a tartósság és a környezetvédelmi szempontok alapján fejlesztették tovább.

Később a pontosabb eredményekhez részletesebb mérési információkra, több adatpontra volt szükség (Bischof et al. 1991), ezért olyan szerkezetet fejlesztettek ki, mellyel a testfelület különböző részei egymástól függetlenül szabályozhatóak. A napjainkban alkalmazott termikus műemberek többsége legalább 15 szegmensből áll. A digitális szabályozási technikák megjelenése még pontosabb mérést tett lehetővé. A termikus műember súlyának és költségének csökkentése érdekében már más anyagokat, alumíniumot és műanyagot használnak a műember megépítésekor. A termikus műemberes mérések során hamar felismerték, hogy az álló emberrel végzett mérések eredményei csak részben érvényesek a valós állapotokra, ezért olyan csatlakozókkal látták el a műember testét, melyek lehetővé tették a termikus műember részeinek mozgathatóságát (Olesen 1982), ülő helyzetben történő vizsgálatát (Nilsson et al. 1993). (2.6. ábra)

Az első női termikus műembert a 80-as évek közepén fejlesztették ki, ennek a fűtési és a mérési rendszere is új fejlesztés volt, mely jobb szabályozhatóságot tett lehetővé (Omori, É.n.). Fontos volt a lélegző műember megalkotása és jelentős előrelépés volt „Walter”, a verejtékező műember létrehozása. Walter „járni képes”, automata víz ellátása van és alkalmas a párolgásos vízveszteség valós idejű mérésére.

Az autóban utazó személy hőcsere folyamatainak méréséhez fejlesztették ki a TOM (Thermal Observation Manikins) nevű termikus műembert, majd később az „ADAM” nevűt, mellyel rendkívül pontos méréseket lehet végezni, mert a teste 126 részre van osztva, és mindegyik testrész hőmérséklete tetszőlegesen beállítható, valamint egy belső ventilátor segítésével az emberi légzés is szimulálható (Wyon 1989). A lélegző műembernek a szellőzés vizsgálatakor van jelentősége. (2.7. ábra)

2.7. ábra
Vizsgálatok termikus műemberrel (Havenith 2008)

A termikus műember fejlesztés legfontosabb mérföldköveit a 2.4. táblázat tartalmazza.

2.4. táblázat
Mérföldkövek a termikus műember fejlesztésében (Nilsson 2004, Goldman 2006):

Nr.	Jellemzője	A termikus műember neve	Anyaga	Szabályozása	Testtartása	Ország
1	1 szegmens	SAM	réz	analóg	álló	USA, 1942
2	11 szegmens	ALMANKIN	alumínium	analóg	álló	UK, 1964
3	sugárzásos	CEPAT400	alumínium	analóg	álló	Franciaország, 1972
4	16 szegmens	HENRIK2	műanyag	analóg	mozgatható	Dánia, 1973
5	16szegmens	CHARLIE	műanyag	analóg	mozgatható	Németország, 1978
6	16 szegmens	SIBMAN	műanyag	digitális	álló, ülő	Svédország, 1980
7	19 szegmens	VOLTMAN	műanyag	digitális	ülő	Svédország,1982
8	36 szegmens	ASSMAN	műanyag	digitális	ülő	Svédország, 1983
9	19 szegmens	TORE	műanyag	digitális	mozgatható	Svédország, 1984
10	7 szegmens	CLOUSSEAU	műanyag	analóg	álló	Svédország, 1987
11	verejtékező műember	COPELIUS	műanyag	digitális	mozgatható	Finnország, 1988
12	női műember	NILLE	műanyag	-	mozgatható	Dánia, 1989

13	33+3 szegmens	HEATMAN	műanyag	multi	ülő	Svédország, 1991
14	1 szeg-mensből álló verejtékező műember	WALTER	szövet	-	mozgatható	Hong Kong, 1991
15	36 szegmens	HEATMAN	műanyag	digitális	mozgatható	Franciaország, 1995
16	lélegző	NILLE	műanyag	digitális	mozgatható	Dánia, 1996
17	verejtékező	SAM	műanyag	digitális	mozgatható	Svájc, 2001
18	26 szegmens	TOM	réz	digitális	mozgatható	USA, 2003
19	126 szegmens	ADAM	kompozit	digitális	mozgatható	USA, 2003

Meleg környezet esetén a hőleadás nagy része az izzadság párolgásával történik, ezért fejlesztették ki a verejtékezésre képes termikus műembereket is (Nilsson 2004, Tamura 2006).

2.3.2. A termikus műember működése

A termikus műemberek különböző nagyságúak, anyagúak lehetnek, általában műanyagból, rézből vagy alumíniumból készülnek. Legtöbbször a termikus műember „bőrfelülete” többrétegű anyag, melyben fűtőszálak találhatók. A műember válaszideje – amely után a beállított hőmérséklet értékek mérhetők – és a szabályozás karakterisztikája elsősorban az érzékelők és a fűtőelemek elhelyezésétől, a rétegek vastagságától és tömegétől, valamint a szabályozó programtól függenek.
A testet különböző szegmensekre osztják, melyeknek önálló fűtési és mérési rendszere van. A szegmensek fűtési teljesítményét egy szabályozó program állítja be a mért felületi hőmérséklet érték alapján. Az egyes szegmensek hőmérséklete tetszőlegesen beállítható.
A termikus műemberes vizsgálat során – különböző komfort körülmények mellett - az előre beállított szegmensek hőmérsékletét állandó értéken tartjuk és mérjük azt a fűtési teljesítményt, amely a megadott felületi hőmérséklet tartásához szükséges. (Tanabe et al. 1994)

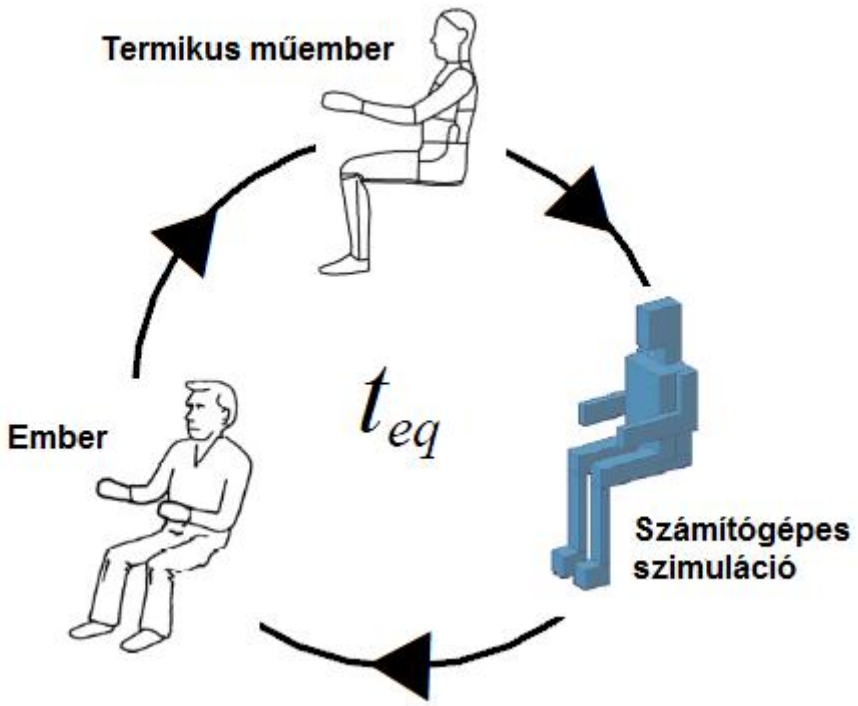
2.3.3. A termikus műemberekkel végzett hőkomfort mérések

A termikus környezet függ a levegő hőmérsékletétől, páratartalmától, sebességétől, a környező felületek átlagos sugárzási hőmérsékletétől, további az adott környezetben tartózkodó ember tevékenységétől és ruházatától.

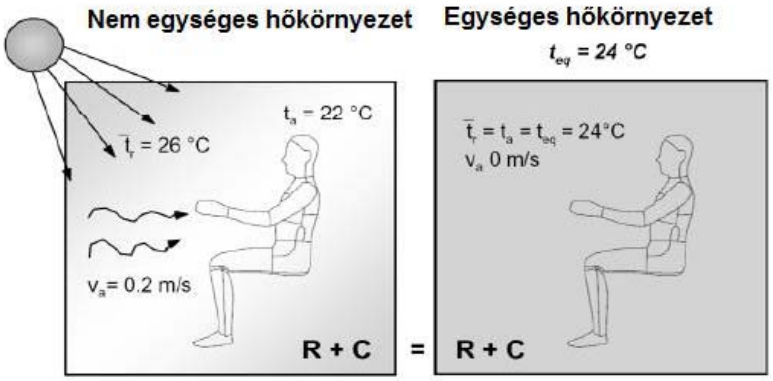
Kizárólag ezen mért értékek alapján nem lehet megállapítani az emberi hőérzetet, mert az szoros kapcsolatban van az ember és az őt körülvevő környezet közötti hőcserével is. A hőkomfort indexek, mint a PMV és PPD érték (Fanger 1970) az egész test hőegyensúlyán alapulnak.

A számítógépes szimulációk mérési eredményei (Treeck et al. 2009), az embereken végzett mérések és a termikus műemberrel végzett vizsgálatok nagyon jól kiegészítik egymást (Nilsson et al. 2000, Nilsson 2004, Tomonori et al. 2006, Gao et al. 2007).

A termikus műemberrel végzett hőkomfort méréseknél fontos az ekvivalens hőmérséklet számítása a mért adatokból. Az ekvivalens hőmérséklet az az elméleti hőmérséklet, amelynél a levegő hőmérséklete a közepes sugárzási hőmérséklettel egyenlő, nincs légáramlás, valamint az egyén konvekcióval és sugárzással történő hőcseréje azonos, mint a valós szituációban (Nilsson 2004).



2.8. ábra
Az ekvivalens hőmérséklet (t_{eq}) és a vizsgálati módszerek javasolt kapcsolata



2.9. ábra
Az ekvivalens hőmérséklet értelmezése (Nilsson 2004)

Az ekvivalens hőmérséklet a (2.14.) összefüggéssel határozható meg (Nilsson 2004).

$$t_{eq} = \frac{\alpha_s \cdot t_{ks} + \alpha_c \cdot t_a}{(\alpha_s + \alpha_c)} = t_{cl} - \frac{R + C}{F_{Du} \cdot (\alpha_s + \alpha_c)} \tag{2.14}$$

ahol:

t_a: levegő hőmérséklete	[°C]
t_{cl}: a ruházat külső felületi hőmérséklete	[°C]
t_{ks}: közepes sugárzási hőmérséklet	[°C]
α_s: sugárzási hőátadási tényező	[W/m2°C]
α_c: konvektív hőátadási tényező	[W/m2°C]
R: a ruházat felületéről sugárzással távozó hő	[W]
C: a ruházat felületéről konvekcióval távozó hő	[W]
F_{Du}:az emberi testfelület Du Bois féle meghatározása	[m^2]

A PMV képletébe az ekvivalens hőmérsékletet a levegő (t_a) és a közepes sugárzási hőmérsékletekbe (t_{ks}) behelyettesítve, 0 légsebességet figyelembe véve, kiszámítható a vizsgált állapotnak megfelelő várható hőérzeti érték (PMV).

$$\begin{aligned} PMV = & \left(0{,}303 e^{-0{,}036 M} + 0{,}028\right) \{ (M - W) - 3{,}05 \cdot 10^{-3} \cdot \left[5733 - 6{,}99(M - W) - p_{vg}\right] - 0{,}42 \\ & \cdot \left[(M - W) - 58{,}15\right] - 1{,}7 \cdot 10^{-5} M \left(5867 - p_{vg}\right) - 0{,}0014 M \left(34 - t_{eq}\right) - 3{,}96 \cdot 10^{-8} f_{cl} \\ & \cdot \left[(t_{cl} + 273)^4 - (t_{eq} + 273)^4\right] - f_{cl} \alpha_c \left(t_{cl} - t_{eq}\right) \} \end{aligned} \tag{2.15}$$

ahol:

PMV:	várható hőérzeti érték,	[-]
M:	metabolikus hő,	[W/m^2]
W:	külső mechanikai munka,	[W/m^2] (0-hoz közeli érték)
f_{cl} :	ruházat területi tényezője,	[-]
t_{eq}:	ekvivalens hőmérséklet,	[°C]
t_{cl}:	ruházat külső felületének hőmérséklete	[°C]

p_{vg}:	parciális vízgőznyomás	[Pa]
α_c:	konvektív hőátadási tényező	[W/m^2°C]

Ha figyelembe vesszük a száraz hőveszteségen kívül a légzés rejtett hőjét és a párolgással távozó hőt, akkor kis mértékben módosul az ekvivalens hőmérséklet és a PMV érték is.

A termikus műemberrel a konvektív és a sugárzásos hőleadás az egész testfelületen, minden irányban modellezhető (Holmer 1999). A testfelület szegmenseinek számától függően a mérésnek a testterületre vonatkozó „felbontása" igen nagy lehet. Sok műemberben 100-nál is több önállóan szabályozható testrész van. A felületre súlyozott értékek összegzéséből az egész test hőveszteségé számítható. A termikus műemberrel a bőr bármilyen felületi hőmérséklet eloszlását és ezzel együtt az emberi test hőállapotát modellezni és szimulálni lehet. Az egész emberi test és részeinek fajlagos hőleadása pontosan mérhető.

A termikus műemberes mérések főbb felhasználási területei napjainkban:

- épületek és épületgépészeti rendszerek értékelése;
- járművek kialakítása;
- ruházat, lábbelik értékelése, kialakítása;
- fiziológiai szimulációk.

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

- Az emberi test hőcseréjének szimulációja az egész emberi testre, ill. a test egy részére vonatkozóan.
- Az egyes testrészek hőleadásának értékelése orvosi diagnosztikához.
- A ruházat hőszigetelő képességének mérése régi ruházatok esetén.
- A ruházat hőszigetelő képességének hőmérsékletfüggősége.
- Sugárzási hőmérsékleti aszimmetria vizsgálata.

Az ember ideje nagy részét zárt terekben tölti, ezért fontos a belső termikus környezet minősége. A termikus műember az egyik lehetséges eszköz az ember és a környezete közötti hőcsere mérésének. A termikus műemberekkel végzett hőkomfort méréseknek egyre nagyobb szerepe lehet az épületen belüli munkahelyek, vagy a járműveken belüli termikus környezet vizsgálatában.

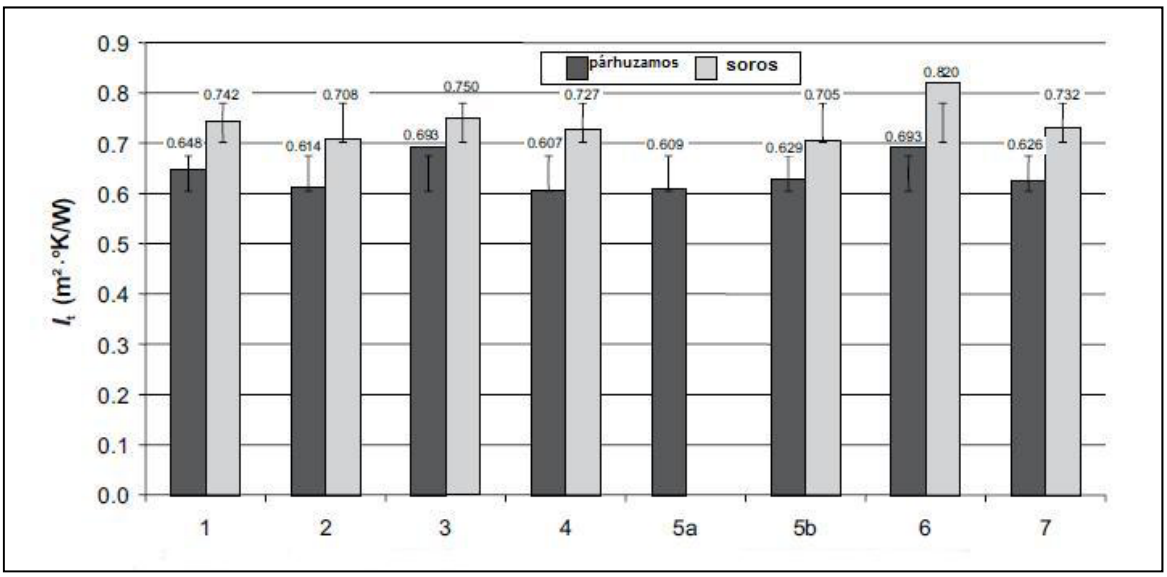
2.3.4. A termikus műemberekkel végzett mérések pontossága

A termikus műemberes mérések pontosságát és megismételhetőségét egy tanulmány (Anttonen et al. 2004) vizsgálta az Európai SUBZERO projekt részeként. A vizsgálat során különböző hideg elleni védelmet biztosító ruházatok hőszigetelő képességét vizsgálták különböző termikus műemberekkel (2.5. táblázat). Összesen 380 mérést végeztek 8 különböző európai laboratóriumban: Németországban, Franciaországban, Lengyelországban, Svédországban, Finnországban és Norvégiában.

2.5. táblázat
A vizsgált termikus műemberek jellemzői

Nr.	Burkolat	Méret	Szegmensek száma	Mozgatás	Testfelület (m^2)	Magasság (cm)	Mellkas (cm)
1	műanyag	52 (férfi)	18	-	1,72	172	100
2	fém	52 (férfi)	15	mechanikus	1,85	171	93
3	műanyag	közepes	35	mechanikus	1,67	173	84
4	műanyag	52 (férfi)	18	pneumatikus	1,77	171	99
5a,5b	fém	52	20	mechanikus	1,89	176	96
6	műanyag	38 (nő)	16	mechanikus	1,46	174	92
7	műanyag	38 (nő)	16	mechanikus	1,46	168	93

A méréseket a laboratóriumokban 0°C, -10°C, -25°C és -50°C környezeti hőmérsékleteken végezték el. A mérések megismételhetőségének tesztje jól sikerült, az egyes laboratóriumi mérési eredmények közti különbség alacsony volt (2.10. ábra). A vizsgálatok során kimutatták, hogy a ruházatnak pontosan kell illeszkednie a termikus műemberre, mert a túl laza ruházat hibát okoz az eredményekben. A teljes hőszigetelő képesség soros és párhuzamos módszer szerinti meghatározása során kimutatták, hogy a párhuzamos módszerrel számított értékek kb. 20 %-al alacsonyabbak voltak a soros módon számított értékeknél. A soros és párhuzamos módszert részletesen a 3.3.3. pontban mutatom be.



2.10. ábra
A teljes hőszigetelő képesség (I_t) vizsgálata nyolc különböző laboratóriumban mérve
1. Finnország, Technical Research Centre of Finland
2. Németország, Bekleidungsphysiolgisches Institut Hohenstein
3. Franciaország, Institut Francais du Textile et de Habillement
4. Svédország, National Insitute for Working Life
5. Finnország, Finnish Institute of Occupational Health (2 laboratórium)
6. Norvégia, Sintef Health Research
7. Lengyelország, Central Institute for Labour Protection

A relatív nedvességtartalom (20 - 80%) hatása elhanyagolható volt a mérési eredményekre vonatkozóan. (Anttonen et al. 2004)

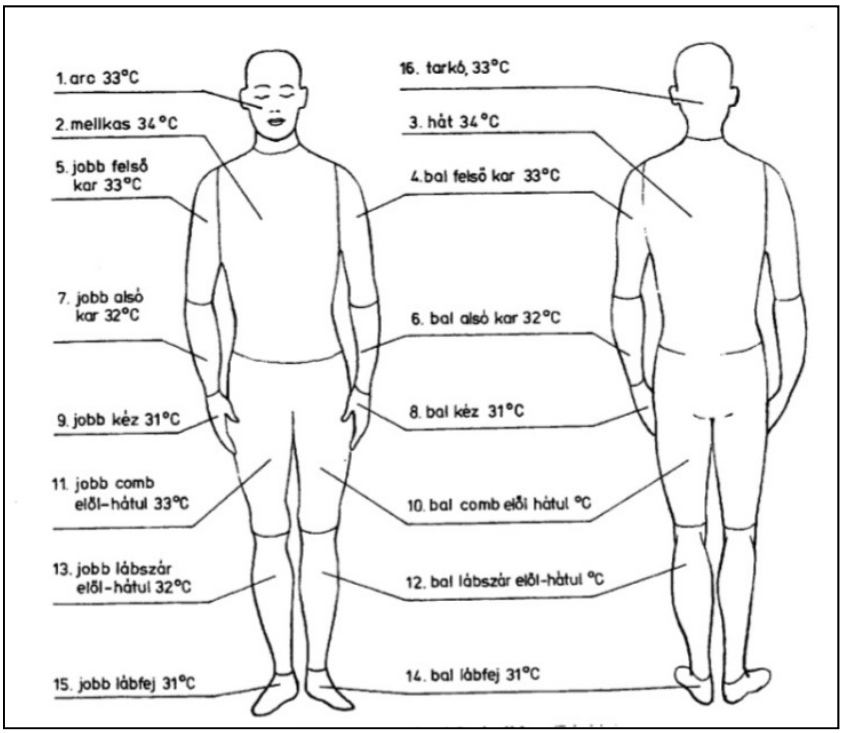
3. ANYAG ÉS MÓDSZER

A 2. pontban bemutatott szakirodalmi áttekintés alapján megvizsgáltam a termikus műember komfort vizsgálatokhoz történő alkalmazhatóságát, összehasonlítottam a műember és az élő alanyok azonos körülmények között vett felületi hőmérsékletét. A termikus műember segítségével meghatároztam az ember és az emberi testrészek hőleadását különböző hőmérsékletek mellett.

3.1. A termikus műember bemutatása

A vizsgálathoz használt termikus műembert az 1980-as években az Építéstudományi Intézetben svéd szakemberek állították össze (3.2. ábra). E műember később a BME Épületgépészeti Tanszékére, majd kutatási célokra a Pécsi Tudományegyetem Pollack Mihály Műszaki Kar Épületgépészeti Tanszékére került, ahol új, korszerű adatgyűjtőt (3.5. ábra) és feldolgozó szoftvert kapott (3.6. ábra).

A modell (termikus műember) a termikus mérőtestből, vezérlőből, adatgyűjtőből és az adatfeldolgozást, valamint megjelenítést végző számítógépből épül fel (Bánhidi 1994). A mérőtestet egy átlagos felnőtt ember testméreteivel egyező műanyag bábuból alakították ki. A bábu dán gyártmányú, üvegszál erősítésű, poliészter héjszerkezet. A test üregeibe szerelték a mechanikai tartást végző elemeket, valamint az egyes testrészeihez futó szalagkábelek rejtett vezetéséhez szükséges csöveket. Hűtőtechnikai és mechanikai megfontolásokból az összes testüreget poliuretán habbal töltötték fel. A test felszínét 18 részre osztották ülő esetben és 16 részre állónál (3.1. ábra; 3.1. táblázat).



3.1. ábra
A termikus műember felületi hőmérséklete

3.1. táblázat

Az álló termikus műember testrészfelületeinek arányai (Bánhidi 1994)

Testrész megnevezése és számjele		Testrész %-os felülete az összes testfelülethez képest	
		álló	ülő
Arc	1.	3,54	3,48
Mellkas	2.	9,85	9,72
Hát	3.	12,94	12,76
Bal felső kar	4.	4,85	4,79
Jobb felső kar	5.	4,85	4,79
Bal alsó kar	6.	3,04	3,00
Jobb alsó kar	7.	3,04	3,00
Bal kéz	8.	2,77	2,72
Jobb kéz	9.	2,77	2,72
Bal comb	10.	12,74	13,78
Jobb comb	11.	13,51	13,78
Bal lábszár	12.	8,53	7,78
Jobb lábszár	13.	7,93	7,78
Bal lábfej	14.	3,28	3,33
Jobb lábfej	15.	3,08	3,33
Tarkó	16.	3,28	3,24
Összes testfelület:		100,00%	100,00%

Minden egyes rész felületébe fűtőhuzal-hálózatot süllyesztettek, külön elektromos csatlakoztatási lehetőséggel (3.3. ábra). 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. Egy újabb műanyag rétegre kerültek felragasztásra a mérést végző ellenállás-hőmérő szálak, amelyek az egyes felületrészek független hőmérsékletének szabályozásához szükségesek. Az egész testet végül egy esztétikai és védelmi feladatot ellátó műanyag réteg borítja. Minden önállóan szabályozott hőmérsékletű felületrészhez a fűtőáramot egy-egy szalagkábel vezeti a szabályozó egységből. Ugyanezek a kábelek végzik a jelek továbbítását is (3.4. ábra).

A mérés elve az, hogy nagy pontossággal mérik az előírt felületi hőmérsékletre fűtött testrésznek (3.1. ábra; 3.1. táblázat) ezen hőmérsékleten tartásához szükséges elektromos energiát, illetve hőmennyiséget.

A 3.2. táblázat mutatja a mérés során kapható eredményeket. Az angol nyelvű feliratozást a nemzetközi gyakorlat indokolja.

3.2. táblázat
A termikus műemberes mérés számítógépes eredményei
(Bánhidi 1988b)

Part (Testrész)	DT	W/m^2	Stab	DW	Clo	EHT
Face (Arc)	,05	86,8		34	,69	23,5
Chest (Mellkas)	,06	37,0		-16	1,81	28,9
Back (Hát)	,05	43,0		-15	1,55	28,7
LU Arm (Bal f. kar)	,04	56,1		9	1,07	25,7
RU Arm (Jobb f. kar)	,05	48,7		3	1,24	26,4
RL Arm (Jobb alkar)	,04	45,6		9	1,18	25,7
L Hand (Bal kézfej)	,06	63,8		33	,74	23,1
R Hand (Jobb kézfej)	,06	52,9		22	,90	24,5
LF Thi (Jobb e. comb)	,04	38,8		-7	1,55	27,7
RF Thi (Bal e. comb)	,06	41,3		-10	1,46	28,0
LL Leg (Bal lábszár)	,05	46,0		2	1,17	26,7
RL Leg (Jobb lábszár)	,05	51,2		2	1,05	26,5
L Foot (Bal lábfej)	,04	41,1		8	1,15	25,9
R Foot (Jobb lábfej)	,03	39,4	-	7	1,20	26,1
LB Thi (Bal h. comb)	,08	20,3	-	-38	2,97	30,8
RB Thi (Jobb h.comb)	,07	17,6	-	- 34	3,44	30,7
Scalp (Fej)	,12	35,4	-	-18	1,72	28,7
Tot	32,8	43,0			1,37	27,4

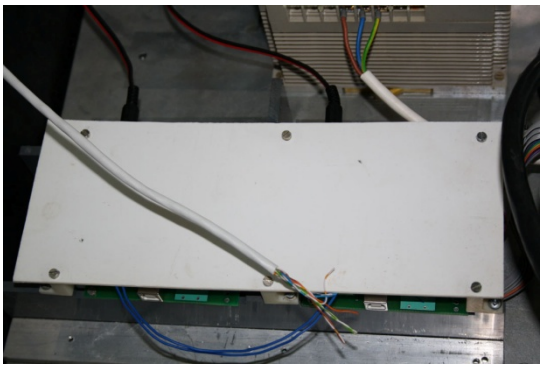
File: 3 ½ m:50
Time (idő): 12:7 Sitting (ülő helyzet)
Room T. (helyiséghőmérséklet): 23,7

A táblázat értelmezésére:

- A Part nevű oszlop a műember egyes testszekcióinak neveit tartalmazza.
- A DT nevű oszlop az egyes testszekciók átlagos hőmérsékletének a megkívánt hőmérséklettől való eltérését adja.
- A W/m^2 oszlopban a testrészek fajlagos hőleadásai láthatók.
- A Stab és DW oszlopok a mérés lebonyolításához célszerű segédinformációkat jelenítik meg.
- A clo nevű oszlop az egyes testrészek és a környező levegő közötti termikus ellenállás értékeinek a ruházati minősítéseknél használatos „clo” számítási módszerrel meghatározott értékeiből áll. Fontos megemlíteni, hogy a mezítelen test körül kialakuló határrétegnek van termikus ellenállása, amely természetesen nullától eltérő értékeket ad ebben az oszlopban, s amelyet figyelembe kell venni a ruházat clo értékének a meghatározásánál.
- Az EHT oszlopban az egyes testrészek által éppen érzékelt környezeti hőmérsékletek (a környezetbe beleértve a ruházatot és a hajat is) találhatók.

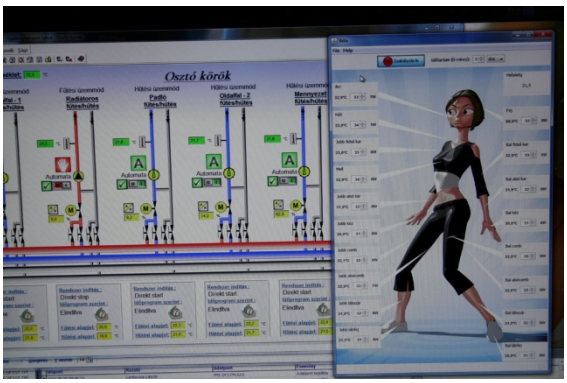
3.2. ábra
„Béla” a termikus műember

3.3. ábra
A műember egyik érzékelője



3.4. ábra
Az érzékelők jeleinek távadója

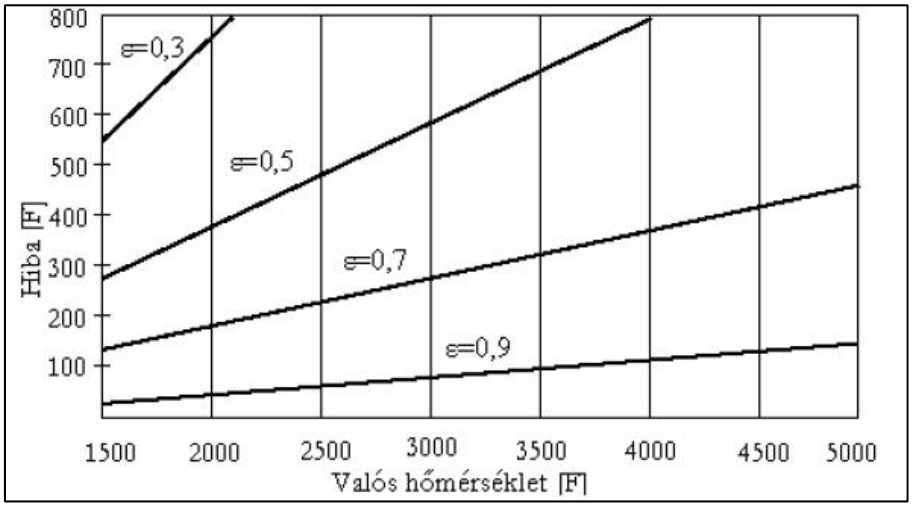
3.5. ábra
A mérés adatgyűjtője



3.6. ábra
Az adatfeldolgozó szoftver egyik ablaka

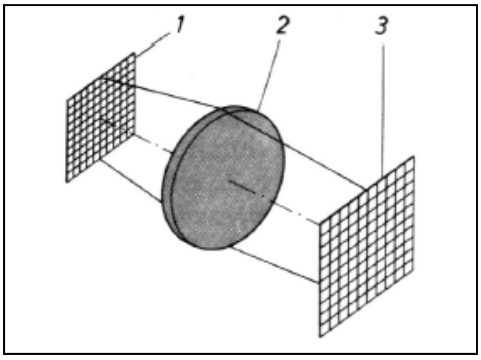
3.2. A termovíziós vizsgálatok elvi alapjai, alkalmazhatósága

Az infravörös sugárzás az atomok és molekulák rezgő és forgó mozgása következtében jön létre. Ebből következik, hogy minden test infravörös sugárzást bocsát ki magából, ha hőmérséklete nagyobb az abszolút nulla foknál. Az infravörös sugárzás olyan elektromágneses sugárzás, amely nem nagyobb az 1000 μm hullámhossztartománynál.
A sugárzásra vonatkozó első törvényszerűséget Stefan és Boltzmann találták empirikus és elméleti úton. Ez a Stefan-Boltzmann törvény: az abszolút fekete test teljes sugárzása a test abszolút hőmérsékletének negyedik hatványával arányos. Tehát például kétszer magasabb hőmérsékletű test tizenhatszor több energiát bocsát ki. Az arányossági tényező a test emisszió képessége. A testek emisszió képességét az abszolút fekete test emisszió képességéhez viszonyítják, ezt fejezi ki az emissziós tényező. Bármely test emisszió képességét megkaphatjuk, ha az abszolút fekete test emissziókképességét a test abszorpciókképességével megszorozzuk. A 3.7. ábrán látható karakterisztika azt a hibát mutatja, amely akkor lép fel, ha az abszolút fekete testtől eltérő emissziós tényezőjű anyag hőmérsékletét akarjuk megbecsülni az emittált teljesítmény alapján.



3.7. ábra
Emissziós tényezőtől függő hiba (Thermal, É.n.)

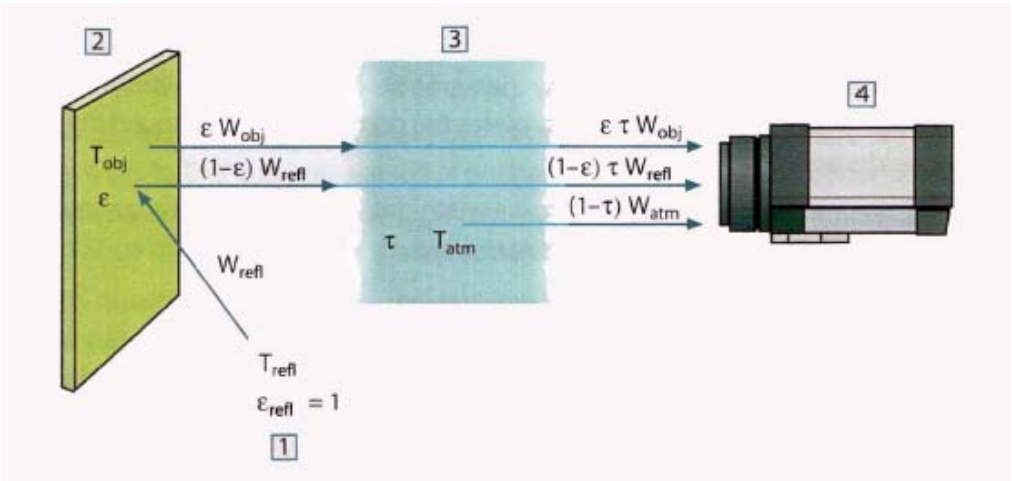
A 3.7. ábrán látható, hogy minél nagyobb egy test emissziós tényezője, azaz minél inkább közelít az abszolút fekete test ε = 1 emissziós tényezőjéhez, annál pontosabban lehet a hőmérsékletét mérni a kibocsátott sugárzás alapján. A termoviziós vizsgálatok során a hőmérséklet mérése úgy történik, hogy az infrasugárzások intenzitásához egy szabadon választott színskála alapján színeket rendelünk és ezt pozícióhelyesen jelenítjük meg. A mai korszerű hőkamerákban a detektorokon mátrixszerűen helyezkednek el az érzékelők, melyen az optika megalkotja a tárgy képét (3.8. ábra).



3.8. ábra
Mátrixdetektoros hőkamera elvi sugármenete (Rahne, É.n.)

Az érintésmentes 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 ε =1 emissziós tényezővel, akkor a környezeti hőmérsékletet is figyelembe kell venni a tárgyhőmérséklet meghatározása során.

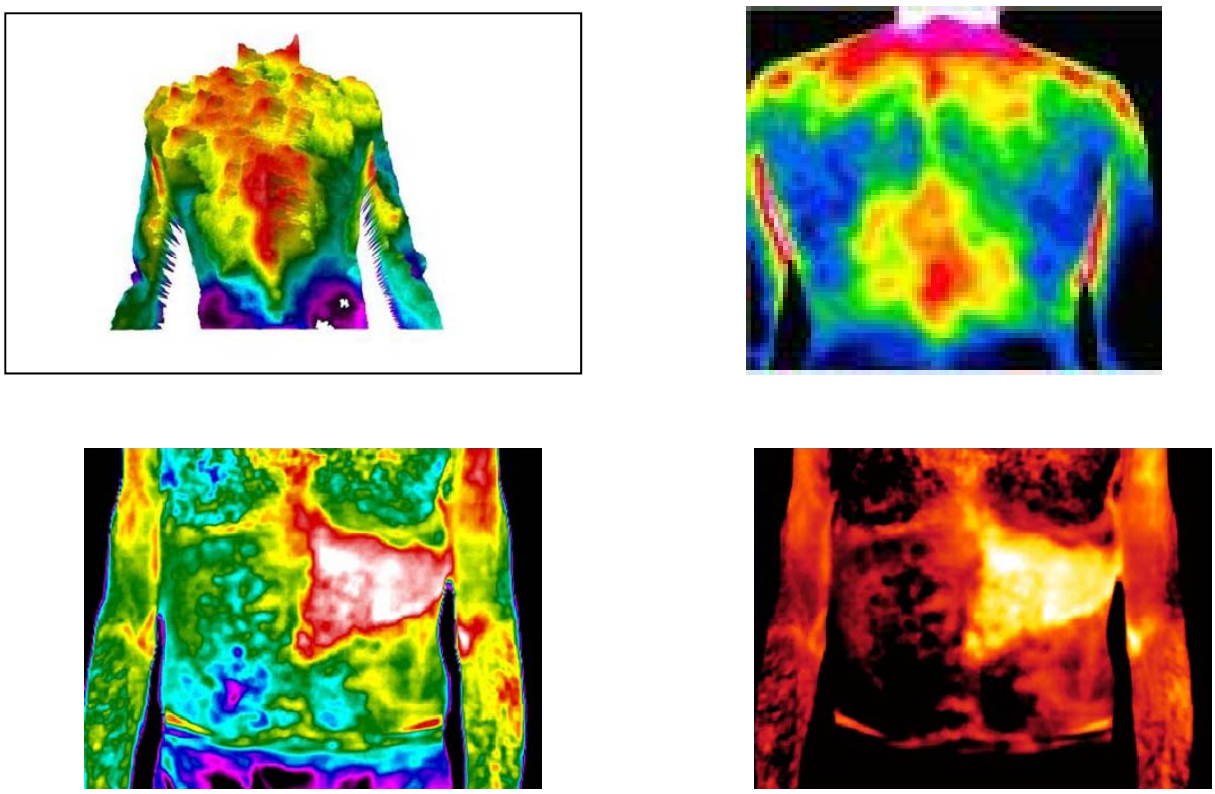
Egy tárgy vizsgálatakor a kamera a tárgyból érkező sugárzás mellett, érzékeli a környezet tárgyról visszavert sugárzását is. Mindkét sugárzásfajta gyengül valamekkora mértékben a mérés útjában levő levegőréteg jelenlététől. Ezekhez hozzáadódik még egy harmadik összetevő, ami a levegő saját sugárzásából származik. A 3.9. ábra ezt illusztálja:



3.9. ábra
Mérési elrendezés

A termovíziós hőmérsékletmérés alkalmazási területe széleskörű, ezek közül részletesen a humán infraemissziós képalkotás jellemzőit vizsgáltam meg. A képalkotó diagnosztikai eljárások célja, hogy a szervezetben fennálló rendellenességeket strukturálisan kimutassák, annak típusát, helyét kiterjedését, stb. meghatározzák. A termográfiás eljárás legnagyobb előnye, hogy a képalkotó eljárások közül szinte az egyetlen, amely semmilyen, még minimális mértékű nem kívánt hatást sem gyakorol a testre, hiszen csak a természetes módon kisugárzó hőt és elektromágneses teret jeleníti meg színes képen, milliméteres és századfokos pontossággal. Nincs besugárzás, nincs izotóp, nincs tűszúrás, nincs bejuttatott vegyi anyag, nincs kellemetlen melléktünet és mellékhatás. A termovízió a jövő vizsgálati módszere, hiszen képes nem csak az elváltozások és a különböző szövetek egymástól történő elkülönítésére, hanem 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 szabályzása 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 (Hegedűs 2008, Technom É.n.). Különböző betegségek termovíziós felvételei a 3.10. ábrán láthatók.

A humán emissziós infravörös sugárzásra jellemző, hogy a testfelület minden pontjáról az anatómiai régiókra, szervekre, szervrendszerekre jellemzően, nyugalmi helyzetben folyamatos elektromágneses infrasugárzás zajlik. Az emberi bőr számítások és mérések alapján különleges képességgel rendelkezik, közel fekete testként fogható fel, mert az emissziós tényezője $\varepsilon = 0{,}95$. (Ashrae 2009). Általános egészségi állapotfelmérés esetén 8-10 felvétel szükséges, célzott preventív szűrővizsgálat esetén 10-12, rehabilitációs és kontroll felvételezéseknél 6-8, célzott terápiás kezelések infra kontroll monitorozása esetén a képek száma meghaladhatja az 50 felvételt. A jelenlegi humán vizsgálati célra használt hőkamerák alkalmasak 0,03°C-os hőfelbontásra is. Ezzel a rendkívül érzékeny felbontással akár 1 milliméternél kisebb méretű hőgócok, ún. infrafenomének is elkülöníthetők és vizsgálhatók, szemben a hagyományos képalkotó eljárásokkal. Az új fejlesztések eredménye a kiértékelést nagyban segítő és egyszerűsítő térbeli megjelenítés lehetősége.



3.10. ábra
Különböző betegségek hőkamerás vizsgálata (Hegedűs 2008)

Alkalmazásai példák a hőkamerás vizsgálatok végzésére:

- 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.

Mivel az egészséges ember hőháztartása normális működés során kiegyenlített, az egyes testrészek hőleadásának pontos ismerete rendkívül fontos az ettől eltérő esetek elemzésékor.

3.3. A ruházat hőszigetelő képességének a meghatározása

Az ember hőérzete függ a ruházatától (McCullogh et al. 1985). A ruházat hőszigetelő képességét (I_{cl}) a szakirodalom többnyire „clo” mértékegységben határozza meg, ahol az átszámítás a (3.1.) összefüggés alapján történik.

$$I_{cl} = I_{cl}\,[m^2K/W] / 0{,}155 \qquad [clo] \qquad (3.1.)$$

Az emberi hőérzet szoros kapcsolatban van az ember és az őt körülvevő környezet közötti hőcserével (Parsons 1988, Fan et al. 1991). A termikus műemberrel a konvektív, a sugárzásos és a konduktív hőleadás az egész testfelületen mérhető. A műemberen az egyes testrészek fűtése önállóan szabályozható (Tanabe et al. 1994). A testrészenként mért felületi hőmérséklet és a fűtőteljesítmény adatokból, a testrészek felületére súlyozott összegzéssel az egész test hőveszteségе, valamint a ruházat hőszigetelő képessége számítható (Holmer 1995). A ruházat és az azt körülvevő levegőréteg együttesen eredményezi a teljes hőszigetelő képességet. Ahhoz, hogy a teljes hőszigetelő képességből kiszámítsuk a ruházat hőszigetelő képességét két mérést kell elvégezni (Nilsson 2004, ISO/FDIS 9920:2007, Anttonen et al. 2004):

1. A mérést a vizsgálni kívánt ruházattal végezzük, ezáltal a ruházat, valamint az azt körülvevő levegőréteg együttes hőszigetelő képességét – a teljes hőszigetelő képességet – tudjuk meghatározni a szegmensenként mért felületi hőmérséklet és a fűtőteljesítmény adatokból.
2. A termikus műemberen nincs ruha, ebben az esetben a testet körülvevő levegőréteg hőszigetelő képességét tudjuk meghatározni a szegmensenként mért felületi hőmérséklet és fűtőteljesítmény adatokból.

3.3.1. A ruházat hőszigetelő képességének összefüggései

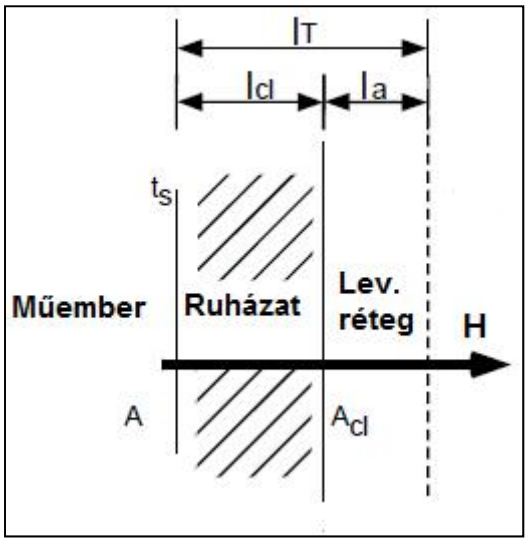
A teljes hőszigetelő képesség, a ruházat és a ruházatot körülvevő levegőréteg hőszigetelő képessége (termikus ellenállása) között az alábbi összefüggés áll fenn (Zhihua et. al 1999, Nilsson 2004, ISO/FDIS 9920:2007, Anttonen et al. 2004, Ashrae 2009):

$$I_T = I_{cl} + \frac{I_a}{f_{cl}} \qquad [m^2K/W] \qquad (3.2.)$$

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 testfelületének és a meztelen testfelületnek az aránya [-]

A ruházat és a határoló levegőréteg hőszigetelő képességének sémáját a 3.11. ábra mutatja be.



3.11. ábra
A ruházat és a határoló levegőréteg hőszigetelő képességének sémája

<u>A ruházat és a határoló levegőréteg együttes hőszigetelő képessége (I_T)</u>

A teljes hőszigetelő képesség az emberi test és a környezet közötti hőszigetelő képesség (3.11. ábra), amely tartalmazza a ruházat és az azt körülvevő levegőréteg hatását (ISO/FDIS 9920:2007):

$$I_T = \frac{\bar{t}_{sk} - t_o}{H} \qquad [m^2K/W] \qquad (3.3.)$$

ahol:

t_{sk} – a bőr közepes felületi hőmérséklete [°C]
t_o – operatív hőmérséklet (a legtöbb esetben egyenlő a levegő hőmérséklettel, t_a) [°C]
H – a test egységnyi bőrfelületének száraz hővesztesége [W/m^2]

<u>A ruházat hőszigetelő képessége (I_{cl})</u>

A ruházat hőszigetelő képessége a hőszigetelő képesség az emberi test és a ruházat külső felülete között (ISO/FDIS 9920:2007):

$$I_{cl} = \frac{\bar{t}_{sk} - t_{cl}}{H} \qquad [m^2K/W] \qquad (3.4.)$$

ahol:

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

A legtöbb ruházat olyan kialakítású, hogy bizonyos légcsere mindig létrejön a környezettel. A légcsere növekedése azonban megváltoztatja a ruházat hőszigetelő képességét. Szél esetén a levegő a ruha alá jutva növeli a légcserét az emberi mikroklíma és a külső környezet között. A szél hatása a ruházat külső rétegének légáteresztő képességétől, valamint a nyitott ruhadarabok számától és típusától függ.

A levegő és a test mozgásának hatását a teljes hőszigetelő képesség értékének korrekciójával tudjuk figyelembe venni (ISO/FDIS 9920:2007):

Normál hőszigetelő képességű ruházat esetén (0,6 clo < I_{cl} < 1,4 clo; vagy 1,2 clo < I_T < 2,0 clo):

$$I_{T,r} = corrI_T \cdot I_T = e^{[-0,281\cdot(v_{ar}-0,15)+0,044\cdot(v_{ar}-0,15)^2\cdot 0,492\cdot w+0,176\cdot w^2]} \cdot I_T \qquad (3.5.)$$

ahol:

$I_{T,r}$ – a teljes hőszigetelő képesség az aktuális állapotban	[clo]
I_T – a teljes hőszigetelő képesség a statikus állapotban	[clo]
v_{ar} – a relatív levegő sebesség (min. 0,15 m/s, max. 3,5 m/s)	[m/s]
w – a mozgás sebessége (max. 1,2 m/s)	[m/s]

Alacsony hőszigetelő képességű ruházat esetén az ISO/FDIS 9920:2007 szabvány alapján (0 clo < I_{cl} < 0,6 clo):

$$\frac{I_{T,r}}{I_T} = \frac{[(0,6-I_{cl})\cdot I_{T,r,meztelen}+I_{cl}\cdot I_{T,r,ruhával}]}{0,6} \qquad (3.6.)$$

Speciális, hőszigetelő, hideg időben használt ruházat esetén az ISO/FDIS 9920:2007 szabvány alapján (I_T > 2,0 clo):

$$I_{T,r} = e^{\{[-0,0512\cdot(v_{ar}-0,4)+0,794\cdot 10^{-3}\cdot(v_{ar}-0,4)^2-0,0639\cdot w]\cdot p^{0,144}\}} \cdot I_T \qquad (3.7.)$$

ahol:

v_{ar} – a relatív levegő sebesség (0,4 - 18 m/s)	[m/s]
w – a mozgás sebessége (max. 1,2 m/s)	[m/s]
p – a külső ruházat légáteresztő képessége (1-1000 liter/m^{2}s)	[liter/m^{2}s]

Téli ruházat esetén alacsony légsebességekre pontosabb eredményt ad az alábbi összefüggés (ISO/FDIS 9920:2007):

$$I_{T,r} = e^{\{[-0,0881\cdot(v_{ar}-0,4)+0,0779\cdot(v_{ar}-0,4)^2-0,0317\cdot w]\cdot p^{0,2648}\}} \cdot I_T \qquad (3.8.)$$

ahol:

v_{ar} – a relatív levegő sebesség (0,4 m/s < szélsebesség < 1 m/s) [m/s]
w – a mozgás sebessége (max. 1,2 m/s) [m/s]
p – a külső ruházat légáteresztő képessége (1-1000 liter/m^{2}s) [liter/m^{2}s]

A levegő hőszigetelő képessége (I_{cl})

A levegőréteg hőszigetelő képessége ruházat nélkül a meztelen testet körülvevő levegőrétegre, ruházattal borított test esetén pedig a ruházatot körülvevő levegőrétegre vonatkozik (ISO/FDIS 9920:2007):

$$I_a = \frac{\bar{t}_{cl} - t_o}{H} \tag{3.9.}$$

A levegő hőszigetelő képességének fenti összefüggése a statikus, szélmentes állapotra vonatkozik. A levegő hőszigetelő képessége megváltozik, ha a levegő sebessége megnő, vagy ha az ember mozog. A következő összefüggés kifejezi az összefüggést a statikus, szélmentes (v_{ar} < 0,15 m/s) állapothoz képest (ISO/FDIS 9920:2007):

$$I_{a,r} = e^{\left[-0{,}533\cdot(v_{ar}-0{,}15)+0{,}069\cdot(v_{ar}-0{,}15)^2\cdot 0{,}462\cdot w+0{,}201\cdot w^2\right]} \cdot I_a \tag{3.10.}$$

ahol:

$I_{a,r}$ – a levegő hőszigetelő képessége az aktuális állapotban [clo]
I_a – a levegő hőszigetelő képessége a statikus állapotban [clo]
v_{ar} – a relatív levegő sebesség (min. 0,15 m/s, max. 3,5 m/s) [m/s]
w – a mozgás sebessége (max. 1,2 m/s) [m/s]

A ruházat területi tényezője (f_{cl})

A ruházat területi tényezője a ruhába öltöztetett műember külső felületének és a meztelen testfelületnek az aránya. A ruhába öltöztetett műember külső felülete (A_{cl}) mindig nagyobb, mint a meztelen test felülete (A_{Du}), ezért a hányadosuk mindig nagyobb, mint 1 (Nilsson 2004, ISO/FDIS 9920:2007).

$$f_{cl} = \frac{A_{cl}}{A_{Du}} \tag{3.11.}$$

A levegőréteg és a ruházat hőszigetelő képességének egyszerű összegzése nem adja meg a teljes hőszigetelő képességet. Ez a meztelen test és a ruhával borított test felületének különbségéből adódik. A testet körülvevő levegőréteg hőszigetelő képességét (I_a) ezért a ruházat területi tényezőjével (f_{cl}) osztva csökkenteni kell:

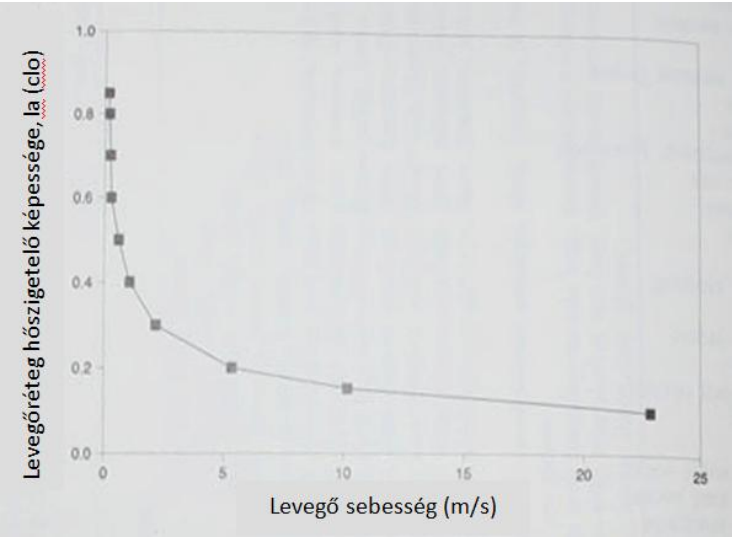
$$I_T = I_{cl} + \frac{I_a}{f_{cl}} \tag{3.12.}$$

3.3.2. A mérés peremfeltételei

A méréseket az alábbi peremfeltételek betartásával kell elvégezni (ISO/FDIS 9920:2007):

A levegő sebessége:	< 0,15 m/s
A levegő hőmérséklet és a közepes sugárzási hőmérséklet közötti különbség:	< |1|°C
Relatív nedvesség:	30-70%
A műember hővesztesége:	> 20 W/m^2 mindegyik szegmensre
Operatív hőmérséklet:	tipikusan, több mint 12°C-al a közepes bőr hőmérséklet alatt

A levegő sebessége nagymértékben befolyásolja a ruházatot körülvevő levegőréteg hőszigetelő képességét és ezzel együtt a teljes hőszigetelő képességet. A levegő sebesség növekedésével exponenciálisan csökken a ruházatot körülvevő levegőréteg hőszigetelő képessége (3.12. ábra).



3.12 ábra
A levegőréteg hőszigetelő képességének értéke a légsebesség függvényében
(Burton et al., 1955)

A ruházat hőszigetelő képességének vizsgálatakor a környezeti hőmérsékletnek akkor kiemelt a jelentősége, ha nyári ruházatot vizsgálunk és ennek megfelelően 32°C feletti környezeti hőmérsékletnél végezzük a méréseket. Ekkor ugyanis a párolgásos hőleadás és a légzés rejtett hője megnő, amit csak az erre kifejlesztett termikus műemberrel lehet pontosan mérni. A hideg elleni védelmet biztosító ruházat vizsgálata esetén csak kisebb hibát okoz, ha a párolgásos hőleadást és a légzés rejtett hőjét elhanyagoljuk.

3.3.3. A teljes hőszigetelő képesség meghatározása

A ruházat és az azt körülvevő levegőréteg együttes hőszigetelő képességének, a teljes hőszigetelő képességnek a meghatározásához a termikus műember szegmenseinek felületi hőmérsékletét, a szegmensekbe bevezetett fűtési teljesítményt és a levegő hőmérsékletét kell mérni. Szükséges továbbá a termikus műember egyes szegmenseinek és az egész test felületének ismerete m^2-ben.

A ruházat és a levegőréteg együttes hőszigetelő képessége (ISO/FDIS 9920:2007):

$$I_T = \frac{\bar{t}_{sk} - t_o}{H} \tag{3.13.}$$

ahol:

t_{sk} – a bőr közepes felületi hőmérséklete [°C]
t_o – operatív hőmérséklet (a legtöbb esetben egyenlő a levegő hőmérséklettel, t_a) [°C]
H – a test egységnyi bőrfelületének száraz hővesztesége [W/m^2]

A szegmensenként mért felületi hőmérséklet és fűtőteljesítmény adatokból, a testrészek felületére súlyozott összegzéssel a teljes hőszigetelő képesség az alábbi módokon számítható:

Az ISO/FDIS 9920:2007 szabványban található módszer

Az ISO/FDIS 9920:2007 szabványban az alábbi számítási módszer található:

$$I_T = \frac{\bar{t}_{sk} - t_o}{h} = \frac{\bar{t}_{sk} - t_a}{h} = \frac{\sum f_i \cdot t_i - t_a}{\sum (f_i \cdot h_i)} = \frac{\sum f_i \cdot (t_i - t_a)}{\sum (f_i \cdot h_i)} \tag{3.14.}$$

ahol:

f_i – területi tényező, $f_i = \frac{\text{i. szegmens területe}}{\text{teljes testfelület}}$, –
$\bar{t}_{sk}$ – a bőr közepes felületi hőmérséklete [°C]
t_o – operatív hőmérséklet [°C]
t_a – a levegő hőmérséklete a mérőlaborban [°C]
t_i – az i. szegmens felületi hőmérséklete [°C]
h_i – a termikus műember i. szegmensébe bevezetett fűtési teljesítmény egységnyi felületre fajlagosítva [W/m^2]
h – a termikus műemberbe bevezetett összes fűtési teljesítmény egységnyi felületre fajlagosítva [W/m^2]

Ez a számítási módszer teljesen megegyezik Anttonen et al. (2004) szerinti párhuzamos összegzéssel történő számítási módszerével, a különbség a számításban annyi, hogy Anttonen et al. (2004) szakirodalomban az összefüggés nevezőjében a hőleadás nincs testfelületre

fajlagosítva – nem W/m^2-ben, hanem W-ban van – ezért a termikus műember testfelülete szorzóként megjelenik a számlálóban.

A párhuzamos összegzés számítási módszere (Anttonen et al. 2004)

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

$$I_{T,\ párh} = \frac{\left[\left(\sum_i f_i \cdot T_i\right) - T_a\right] \cdot A}{\sum_i H_i} \qquad \frac{m^2 \cdot {}^\circ K}{W} \tag{3.15.}$$

A soros összegzés számítási módszere (Anttonen et al. 2004)

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

$$I_{T,\ soros} = \sum_i f_i \left[\frac{(T_i - T_a) \cdot a_i}{H_i}\right] \qquad \frac{m^2 \cdot {}^\circ K}{W} \tag{3.16.}$$

ahol,

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 kb. 20%-al kisebb, mint a soros számítással meghatározott érték. Az ISO/FDIS 9920:2007 szabványban közölt számítás is a párhuzamos számítási módszernek felel meg.

3.3.4. A ruha nélküli termikus műembert körülvevő levegőréteg hőszigetelő képességének meghatározása

A ruhába öltöztetett termikus műemberre vonatkozóan a fentiekben ismertetett teljes hőszigetelő képesség számítási módszerrel megegyezően kell kiszámítani a meztelen embert körülvevő levegőréteg hőszigetelő képességét, az I_a értékét (ISO/FDIS 9920:2007, Anttonen et al. 2004).

A ruha nélkül végzett mérés esetén a levegőréteg hőszigetelő képessége az alábbi módokon számítható:

Az ISO/FDIS 9920:2007 szabvány:

$$I_a = \frac{\bar{t}_{sk} - t_o}{H} = \frac{\bar{t}_{sk} - t_a}{H} = \frac{\sum f_i \cdot t_i - t_a}{\sum (f_i \cdot h_i)} = \frac{\sum f_i \cdot (t_i - t_a)}{\sum (f_i \cdot h_i)} \qquad (3.17.)$$

A párhuzamos összegzés számítási módszere (Anttonen et al. 2004):

$$I_{a,\ párh} = \frac{\left[\left(\sum_i f_i \cdot T_i\right) - T_a\right] \cdot A}{\sum_i H_i} \qquad \frac{m^2 \cdot K}{W} \qquad (3.18.)$$

A soros összegzés számítási módszere (Anttonen et al. 2004):

$$I_{a,\ soros} = \sum_i f_i \left[\frac{(T_i - T_a) \cdot a_i}{H_i}\right] \qquad \frac{m^2 \cdot K}{W} \qquad (3.19.)$$

3.3.5. A ruházat területi tényezőjének meghatározása

A ruházat területi tényezőjét – az f_{cl} értékét – három módon lehet méréssel meghatározni: (1) a ruházatba öltöztetett termikus műember külső felületi hőmérsékletének mérése infravörös mérőkészülékkel, (2) mérőszalagos méréssel, (3) a műember ruhával borított és meztelen testfelületéről készített fotók alapján. Az f_{cl} értékének közelítő, indirekt meghatározása is lehetséges, melyre McCullogh és Jones összefüggése használható, mely az ISO/FDIS 9920:2007 szabványban is megtalálható:

$$f_{cl} = 1 + 0{,}28 \cdot I_{cl} \qquad (3.20.)$$

ahol:

f_{cl} – a ruházat területi tényezője [-]
I_{cl} – a ruházat hőszigetelő képessége [clo]

Az f_{cl} és az I_{cl} értékét a fenti összefüggéssel iterálással tudjuk meghatározni.

3.3.6. A ruházat hőszigetelő képességének meghatározása

A ruházat hőszigetelő képességének számítása a teljes hőszigetelő képesség (I_T), a levegőréteg hőszigetelő képessége (I_a) és a ruházat területi tényezője (f_{cl}) ismeretében a következő egyenletből számítható (Nilsson 2004, ISO/FDIS 9920:2007, Anttonen et al. 2004, Ashrae 2009):

$$I_{cl} = I_T - \frac{I_a}{f_{cl}} \qquad [m^2K/W] \qquad (3.21.)$$

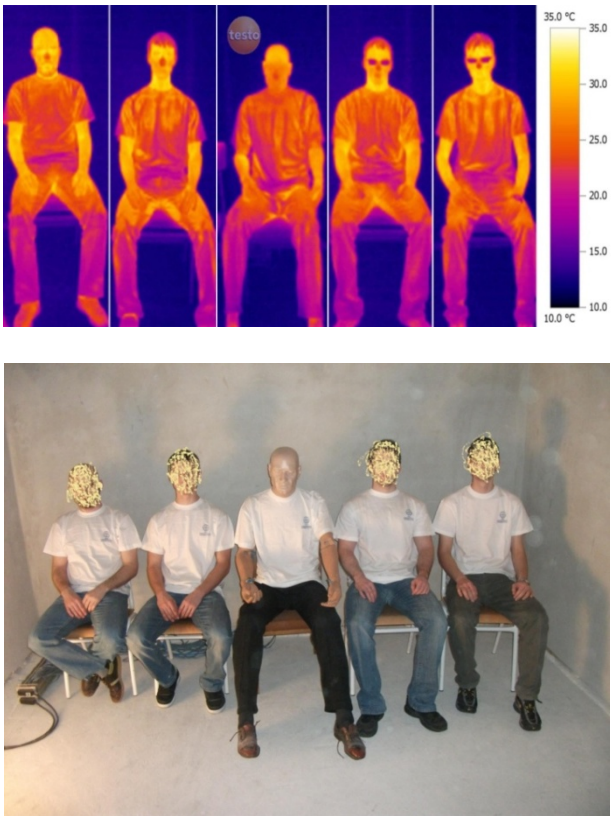
4. EREDMÉNYEK

4.1. Élő alanyok és a termikus műember összehasonlítása

A termovíziós mérésekkel megvizsgáltam, hogy a termikus műemberek alkalmazhatóak-e élő alanyok helyett az eddig ismerteken kívül a hőkomfort vizsgálatokhoz. A vizsgált alkalmazás nem csak az egész emberre, hanem az ember egyes testrészeinek a termikus leképezésére is érvényes.

4.1.1. Az élő alanyok és a termikus műember ruhával fedett felületi hőmérsékletének az összehasonlítása

Mérésekkel igazoltam, hogy a termikus műember alkalmazható az élő alanyok helyett a hőkomfort vizsgálatokhoz. Az alkalmazás nem csak az egész emberre, hanem az ember egyes testrészeinek a termikus leképezésére is érvényes (Magyar 2011 a, Magyar 2011 b). Állításom igazolására termovíziós felvételeket készítettem, amelyeknél nem a hőmérséklet abszolút értékét vizsgáltam, hanem az élő alanyok testfelületének hőmérsékletét hasonlítottam össze a termikus műember felületének hőmérsékletével. A 3.2. pontban megvizsgáltam a termovíziós vizsgálat lehetőségeit, majd megállapítottam, hogy a vizsgálati módszer alkalmazható a termikus műember és az élő alanyok termikus összehasonlítására. A méréseket 15°C, 20°C és 25°C környezeti hőmérsékleten végeztem. Környezeti hőmérséklet alatt itt egyben az ekvivalens hőmérsékletet is értem, amikor a levegő és a környező felületek közepes sugárzási hőmérséklete megegyezik és nincs légmozgás. A 4.1. ábrán a termikus műember és az élő alanyok fényképe és 15ºC környezeti hőmérsékleten készített termovíziós felvétele látható.



4.1. ábra

A termikus műember és az élő alanyok fényképe és termoviziós felvétele 15 ºC-on

A kiválasztott élő alanyok testfelülete hozzávetőlegesen megegyezett a műember testfelületével (A = 1,9 m^2 ± 5 %), öltözetük teljesen azonos volt. Az emberi testfelület (Du Bois féle) meghatározásának módja:

$$F_{Du} = 0{,}203 \cdot G^{0{,}425} \cdot L^{0{,}725} \qquad [m^2] \qquad (4.1.)$$

ahol:

G – az egyén tömege [kg]
L – az egyén magassága [m]

A vizsgált élő alanyok és a termikus műember adatait a 4.1. táblázat mutatja.

4.1. táblázat
Az élő alanyok és a termikus műember testfelülete

	Alany 1	Alany 2	**Termikus műember**	Alany 3	Alany 4
súly (kg)	69	66		74	71
testmagasság (m)	1,82	1,8		1,73	1,7
testfelület (m2)	1,89	1,84	1,9	1,88	1,83

Példaként a 4.1. ábra mutatja, hogy 15 ^oC hőmérsékleten a termovíziós felvételek alapján a termikus műember (középen) és az élő alanyok testfelületének hőmérséklete azonosnak vehető.
Az M3. mellékletben található termikus műember és az élő alanyok termovíziós felvételeit 15 ^oC-os ekvivalens hőmérsékleten, az M4. mellékletben 20 ^oC-os, az M5. mellékletben pedig 25 ^oC-os ekvivalens hőmérsékleten készítettem. A termovíziós kamera objektívjének látószöge miatt egyszerre mindig egy élő alany és a termikus műember szerepel a felvételeken. A mellékleteken látható egész alakos felvételek alapján megállapítható, hogy az élő alanyok és a termikus műember testfelületének hőmérséklete közel azonos.

4.1.2. Az élő alanyok és a termikus műember egyes testrészeinél a felületi hőmérsékletek összehasonlítása

Részletesen is megvizsgáltam a termikus műember és az élő alanyok különböző testrészeinél a hőmérséklet vonal menti változását. A 4.2. ábra 20 ^oC ekvivalens hőmérsékleten a mell magasságában egy vonal mentén, hisztogramon mutatja a hőmérséklet változását a termikus műemberen és a mellette 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: 25,9°C.

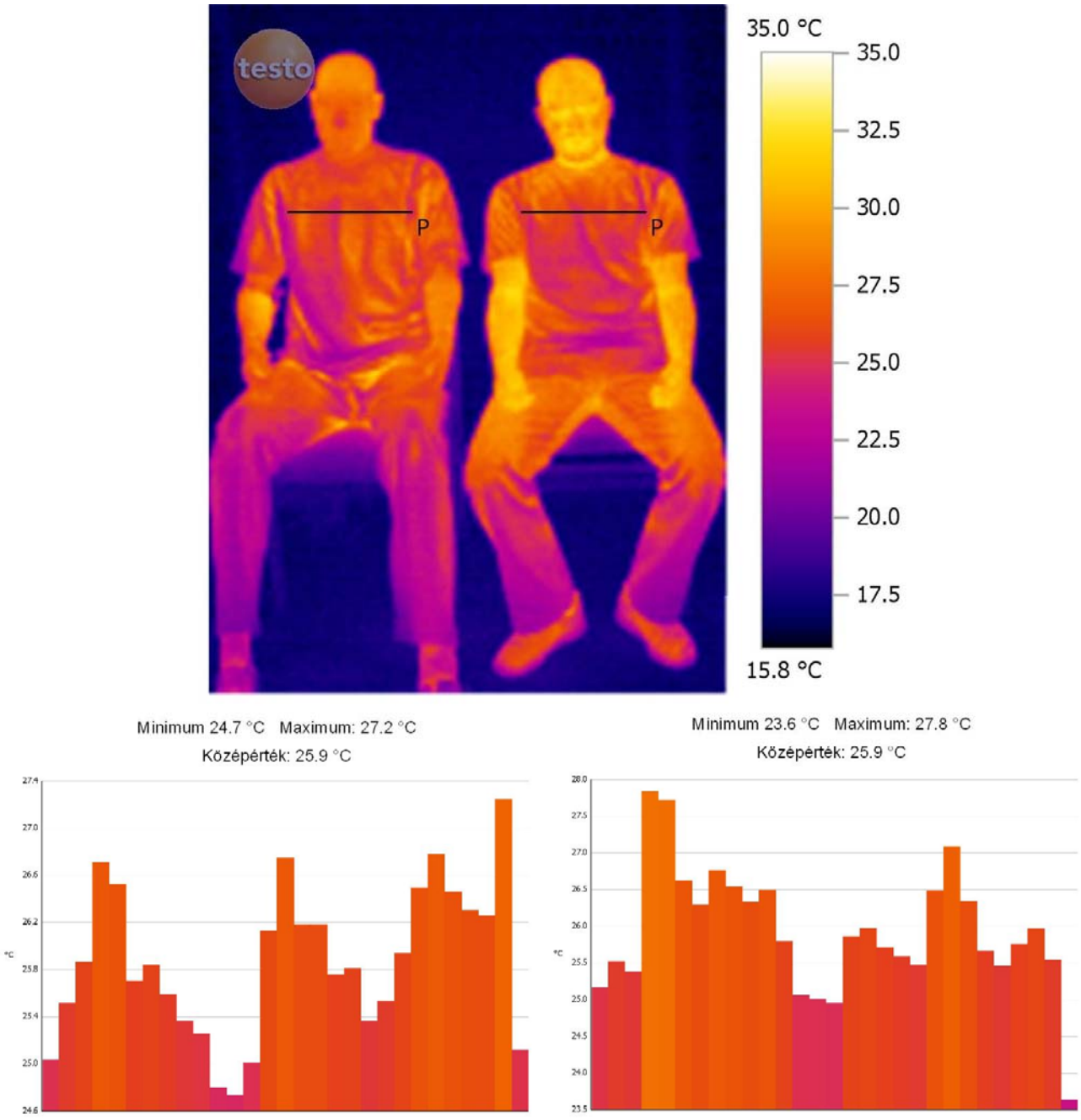
A 4.3. ábrán 20°C ekvivalens hőmérsékleten a lábszár magasságában a felületi hőmérséklet az élő alanynál 23,2°C és 23,7°C között, a termikus műembernél 21,6°C és 25,3°C között változik. A felületi hőmérséklet közepes értéke a műemberen és az élő alanyon is 23,5°C.

A 4.4. ábrán 25°C ekvivalens hőmérsékleten a mell magasságában a felületi hőmérséklet az élő alanynál 26,4°C és 29,4°C között, a termikus műembernél 27,3°C és 28,3°C között változik. A felületi hőmérséklet közepes értéke a műemberen és az élő alanyon is 27,8°C.

A 4.5. ábra 25°C ekvivalens hőmérsékleten a lábszár magasságában mért hőmérséklet értékeket mutatja a hisztogramon. A felületi hőmérséklet a vonal mentén a vizsgált élő alany esetén 25,7°C és 26,5°C között, a termikus műember esetén pedig 25,4°C és 26,4°C között változik. A felületi hőmérséklet közepes értéke a műemberen és az élő alanyon is 26,0°C.

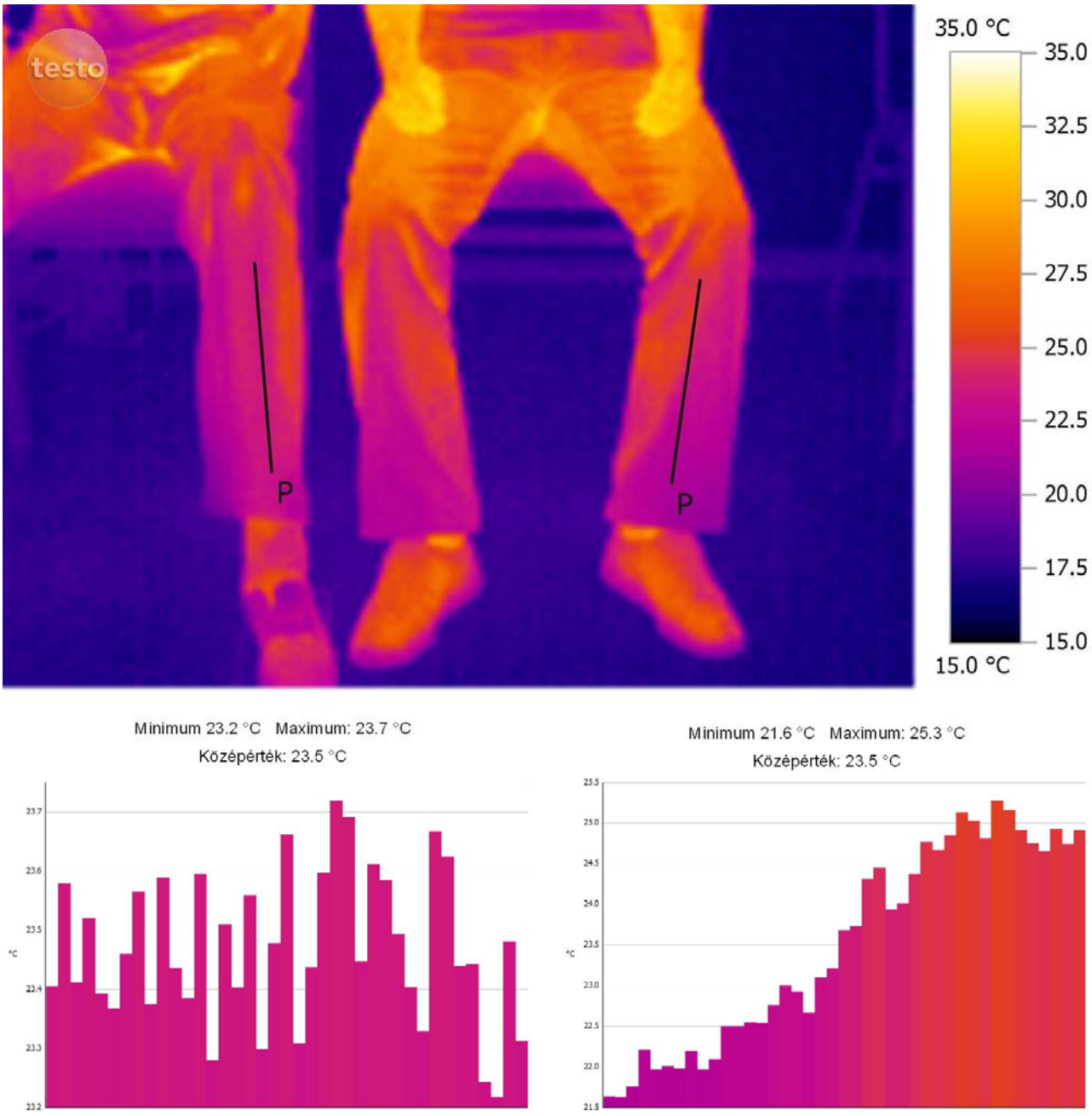
Az összehasonlítást elvégeztem különböző testrészek (mell, lábszár, kéz) esetén. A 15 °C-on mért termovíziós felvételek az M3. mellékletben, a 20 °C-on mért felvételek az M4. mellékletben és a 25 °C-on mért termovíziós felvételek az M5. mellékletben találhatók.

Eddig a termikus műembert elsősorban a ruházat hőszigetelő képességének a vizsgálatára használták. 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, ezért a termikus műember kielégíti a műszaki gyakorlat igényeit és alkalmas élő alanyok helyett a hőkomfort mérésekhez. A továbbiakban a termikus műemberen végzett hőkomfort mérések alapján az emberre vonatkozó következtetéseket állapítom meg.



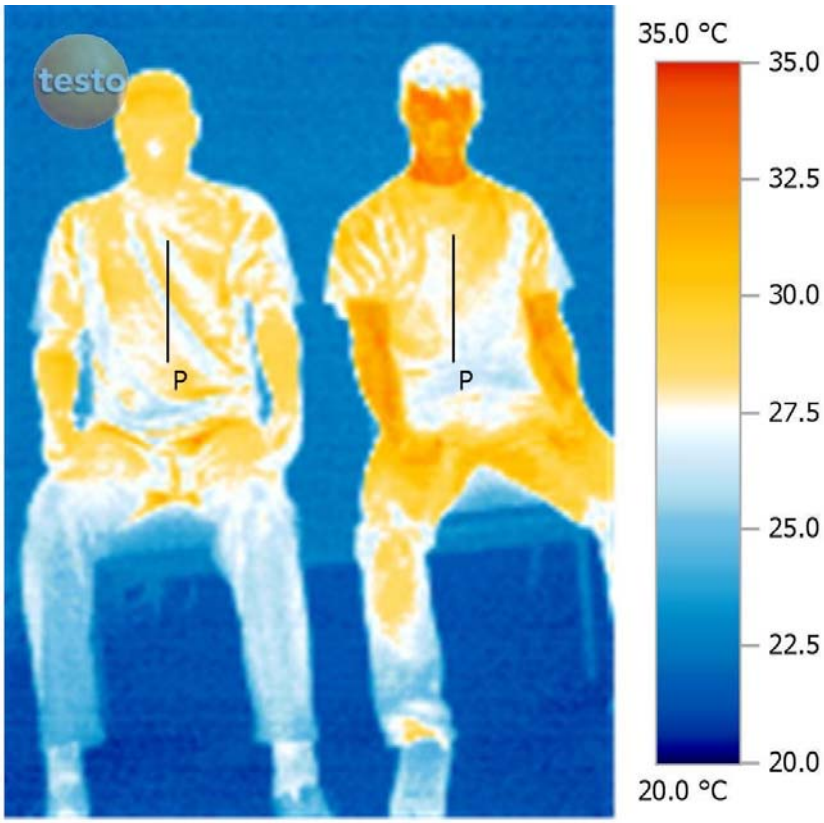
4.2. ábra

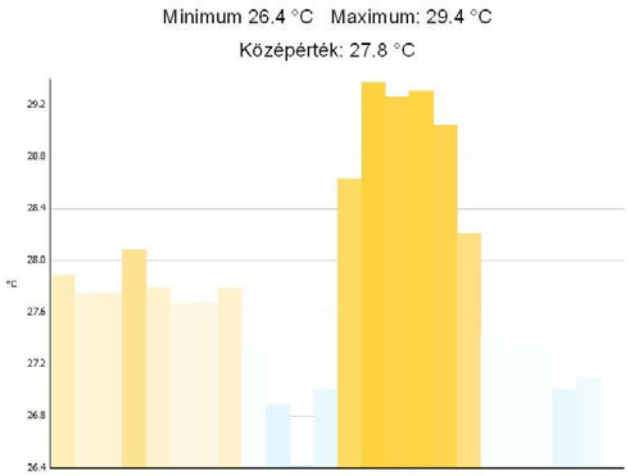
Mell magasságában a termikus műember és az élő alany testfelületének összehasonlítása 20 ^{o}C hőmérsékleten

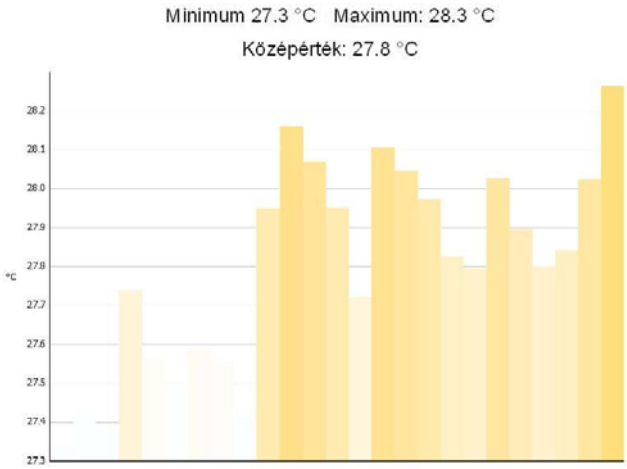


4.3. ábra

A lábszár magasságában a termikus műember és az élő alany testfelületének összehasonlítása 20 ^{o}C hőmérsékleten

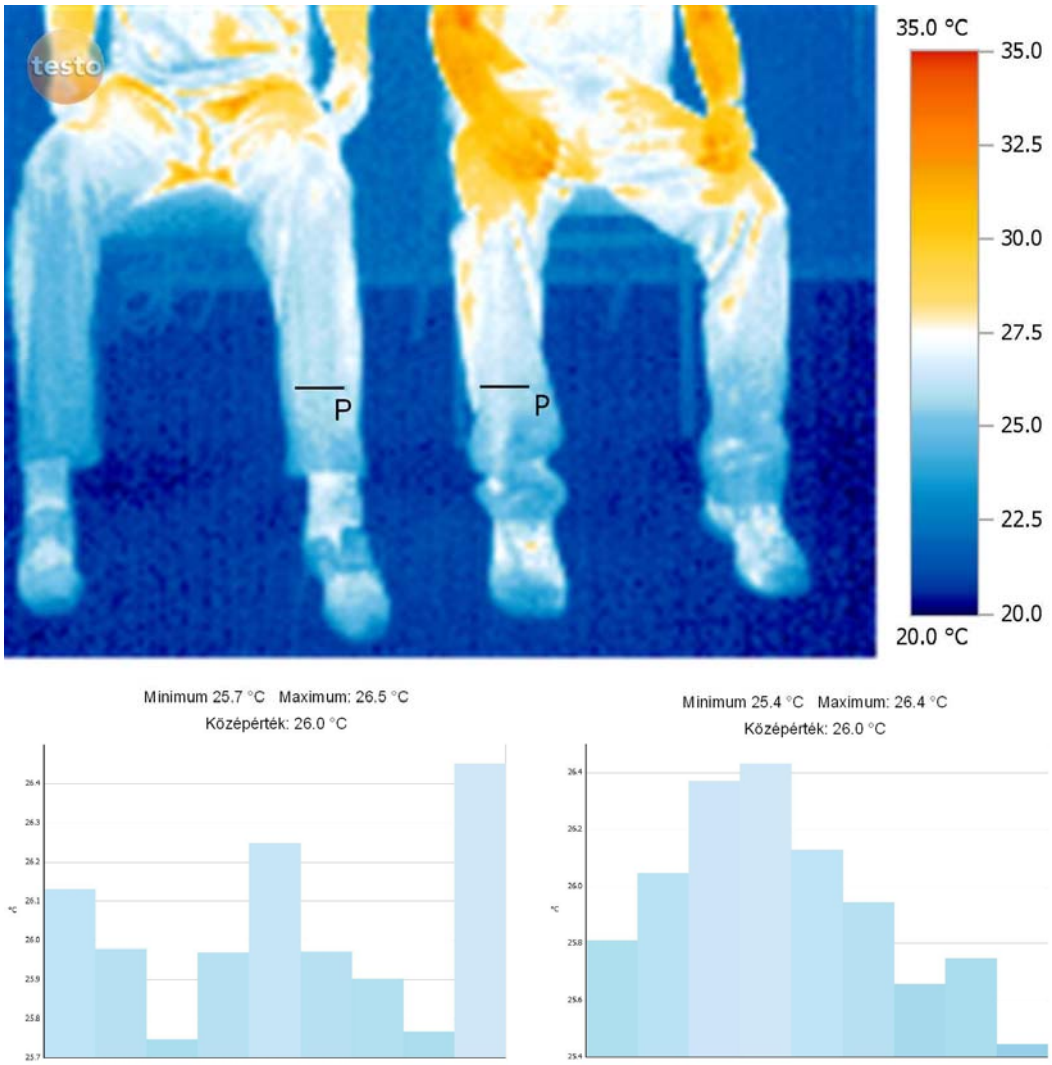






4.4. ábra

Mell magasságában a termikus műember és az élő alany testfelületének összehasonlítása 25 ^{o}C hőmérsékleten



4.5. ábra

Láb magasságában a termikus műember és az élő alany testfelületének összehasonlítása 25 ^{o}C hőmérsékleten

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

Termikus műemberrel történő mérésekkel megvizsgáltam, hogy a teljes hőszigetelő képesség, azaz a ruházat és a levegőréteg együttes hőszigetelő képessége (termikus ellenállása) hogyan függ a környezeti levegő hőmérsékletétől. A szakirodalom áttanulmányozása során korábban erre irányuló kutatásokat nem találtam.

A vizsgálatom célja a ruházat hőszigetelő képessége és a környezeti levegő hőmérséklete közötti korreláció vizsgálata. A mérések során a környező felületek közepes sugárzási hőmérséklete megegyezett a levegő hőmérsékletével, légmozgás nem volt, így az adott peremfeltételek miatt ekvivalens hőmérsékletet is mondhatunk.

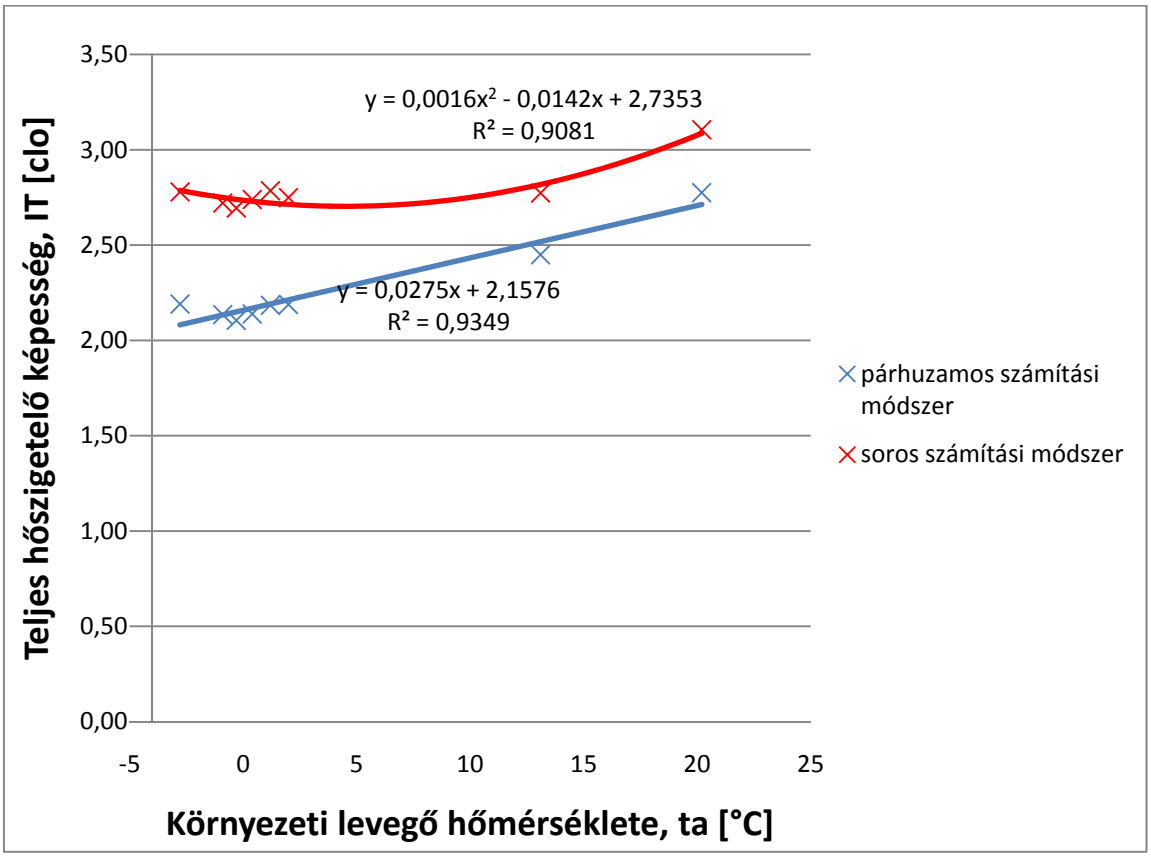
A teljes hőszigetelő képességet a 3.3. pontban ismertetett összefüggésekkel két számítási módszerrel, a soros és a párhuzamos elv alapján határoztam meg. A párhuzamos számítási mód esetén a szegmensenkénti hőszigetelő képességek felületre súlyozott átlaga adja a teljes hőszigetelő képességet, míg a soros összegzés esetén a szegmensenkénti, felületre súlyozott hőszigetelő képességeket (termikus ellenállásokat) adtam össze.

Megvizsgáltam a termikus műemberre egy adott ruházat teljes hőszigetelő képességének értékét különböző környezeti hőmérsékletek esetén. A mérőlaborban beállított környezeti hőmérséklet 13,1 °C és 20,2°C volt, míg a külső térben pedig -2,78°C, -0,9°C, -0,3°C és 0,4°C környezeti hőmérsékleteknél mértem. A teljes hőszigetelő képesség számításának eredményei a 4.2 táblázatban és a 4.6. ábrán láthatók.

4.2. táblázat

A teljes hőszigetelő képesség a környezeti hőmérséklet függvényében

Környezeti levegő hőmérséklete [°C]	**Teljes hőszigetelő képesség (ruházat+levegő), I_T, [clo]**	
	Párhuzamos számítási módszer	**Soros számítási módszer**
-2,78	2,191	2,779
-0,9	2,135	2,720
-0,3	2,105	2,694
0,4	2,139	2,739
1,2	2,184	2,785
2,0	2,188	2,749
13,1	2,449	2,773
20,2	2,775	3,105



4.6. ábra

A teljes hőszigetelő képesség a környezeti levegő hőmérsékletének a függvényében

A soros számítási módon meghatározott hőszigetelő képesség 12-27%-al nagyobb volt, mint a párhuzamos számítási módszerrel meghatározott érték. A környezeti hőmérséklet és a teljes hőszigetelő képesség függvényét a mérési pontokra regresszióval illesztett függvénnyel határoztam meg:

Soros számítási módszer: $I_T = 0{,}001*t_a^2-0{,}014*t_a +2{,}735;$ $R^2 = 0{,}908$ (4.2)

Párhuzamos számítási módszer: $I_T = 0{,}027*t_a+2{,}157;$ $R^2 = 0{,}934$ (4.3)

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 4.6. ábra mutatja. A környezeti hőmérséklet növekedésével látszólag nő a ruházat hőszigetelő képessége. 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.

4.3. 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 közelítőleg φ = 50 % volt. Mivel a komfort teret vizsgálom, ezért itt a tevékenységet az ülő munkavégzésre jellemző 1,2 met értéknek tételeztem fel.

Ezen paraméterek mellett mértem a termikus műember hőleadását különböző ruházatban. A vizsgálataim során a levegő hőmérséklete megegyezett a környező felületek közepes sugárzási hőmérsékletével, légsebesség nem volt, ezért a továbbiakban az ember hőleadását a 2.3.3. pontban ismertetett ekvivalens hőmérséklet függvényében határoztam meg különböző ruházat esetén.

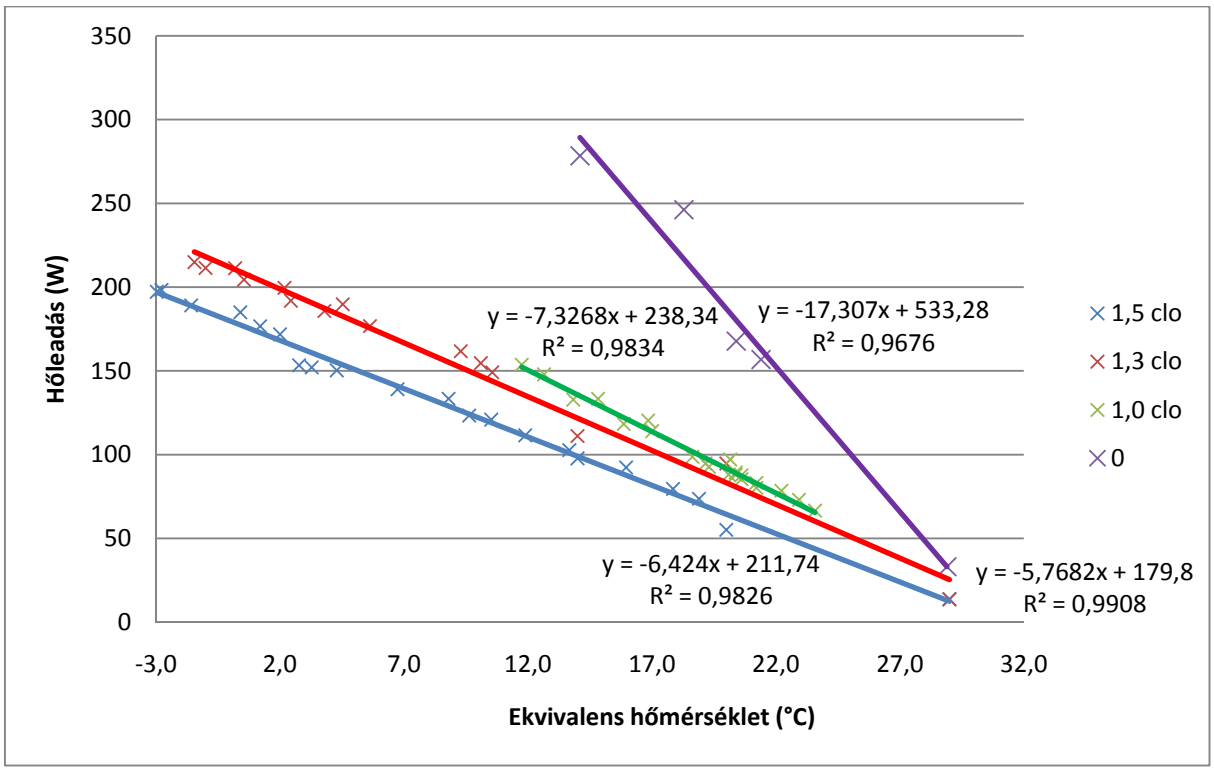
4.3.1. Az ember össz-hőleadásának meghatározása különböző ekvivalens hőmérsékletek mellett

Meghatároztam az ember teljes hőleadását (W) és a hőleadás testfelületre vetített fajlagos értékét (W/m^2) különböző ruházat esetén az ekvivalens hőmérséklet függvényében. A 4.7. és a 4.8. ábra a normál irodai munkavégzés, vagyis az 1,2 met tevékenységi szint mellett a - 3 ^oC és + 26 ^oC hőmérséklet tartományban kapott eredményeket mutatja be. Az 1,0 clo öltözék a normál üzletember öltözékének (hosszú nadrág, ing, zakó), 1,3 clo könnyű balon kabáttal kiegészített öltözéknek, az 1,5 clo pedig a szövet kabát alatt a normál üzleti öltözéket jelenti. Viszonyítási alapnak a 0 clo-t, vagyis a ruha nélküli ember hőleadását tekintjük.

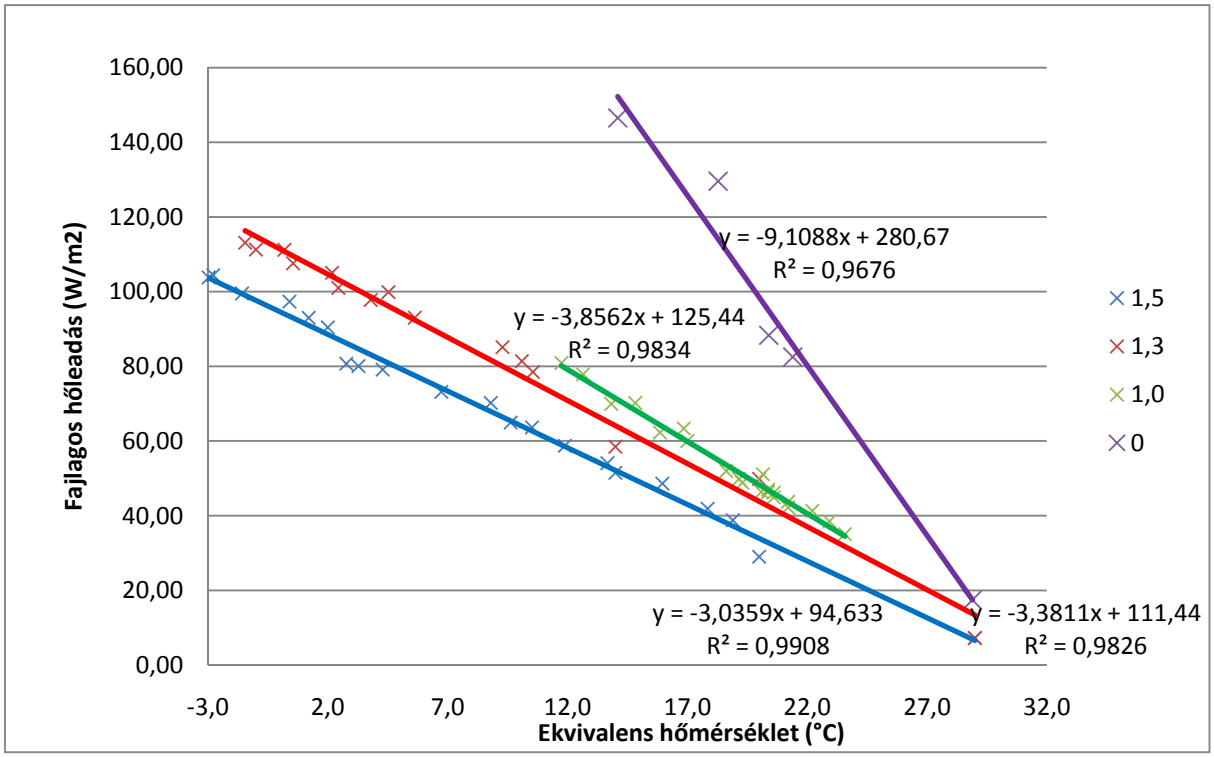
Megállapítottam, hogy a függvénykapcsolat lineáris, a szórásnégyzet értéke 0,9676 és 0,9908 között változott.

Az ember hőleadását a szakirodalom csak a tevékenység függvényében adja meg, ennek széles ekvivalens hőmérséklet tartományban meghatározott értékei a komfortelméletben eddig nem ismertek, a meghatározott összefüggések a további kutatásokhoz hasznos információt adnak.

A vizsgált tartomány a hideg (- 3 ^oC) és a komfort zóna felső határa (+ 26 ^oC), ahol a verejtékezés még nem játszik jelentős szerepet. 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 szolgál.



4.7. ábra
Az ember hőleadása különböző öltözékben

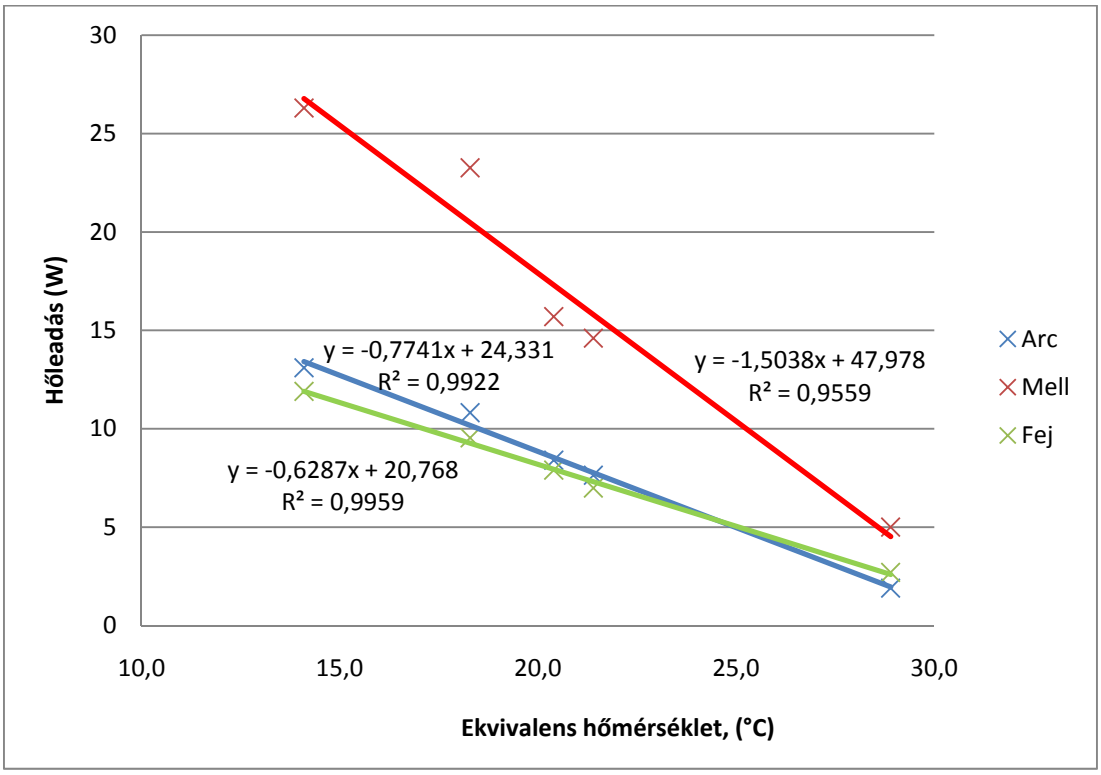


4.8. ábra
Az ember fajlagos hőleadása különböző öltözékben

4.3.2. Az egyes testrészek hőleadásának meghatározása különböző ekvivalens hőmérsékletek mellett

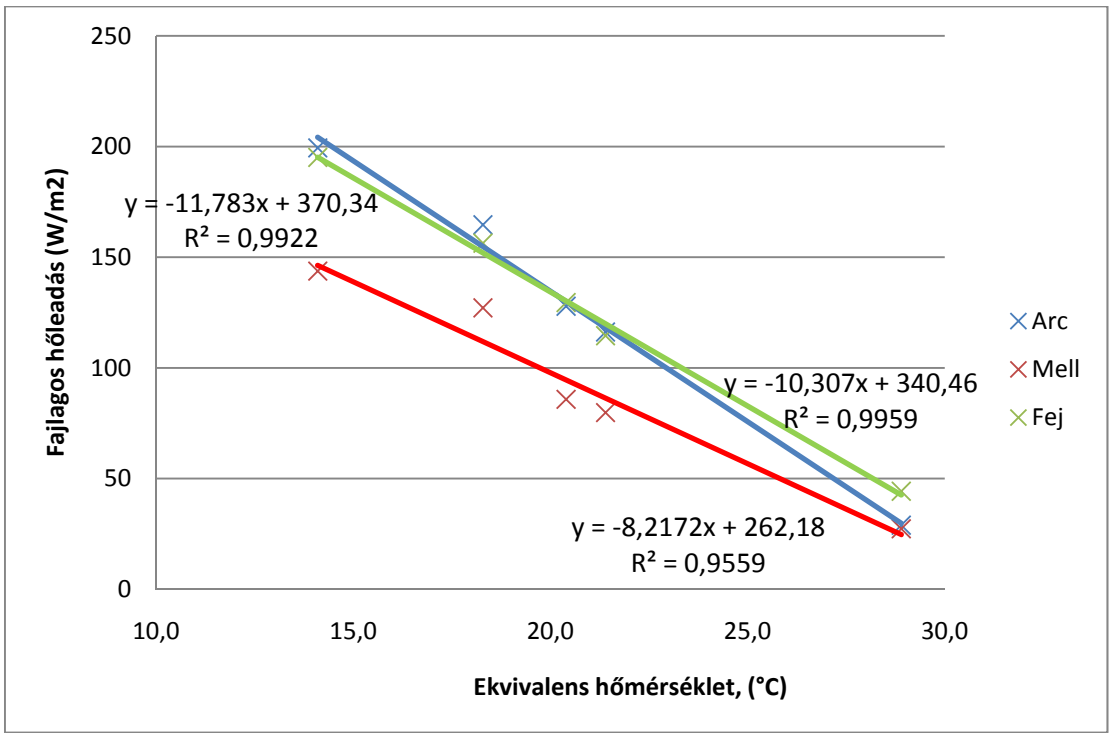
A komfortelmélet és az orvostudomány számára nem csak a teljes emberi test hőleadásának az ismerete a fontos, hanem az egyes testrészek hőleadása is. Meghatároztam az ember egyes testrészeinek a hőleadását, valamint egységnyi testfelületre vetített fajlagos hőleadását az ekvivalens hőmérséklet függvényében. A méréseket először ruhátlan test esetén, majd különböző ruházat esetén végeztem el.

Példaként a mezítelen ember 1,2 met tevékenység mellett kapott egyes testrészeinek a hőleadását a 4.9. és 4.11. ábrán a fajlagos hőleadását a 4.10. és a 4.12. ábrán mutatom be. Az egyes emberi testrészek (18 db) hőleadása és fajlagos hőleadása az M6. mellékletben található.

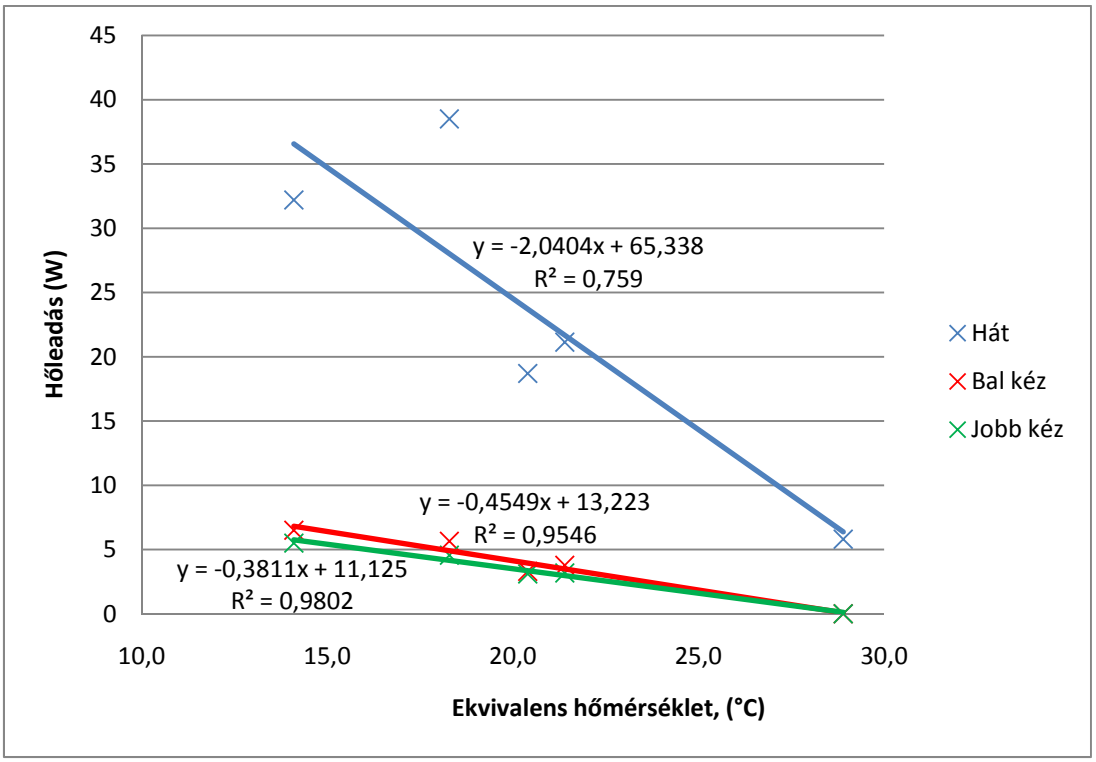


4.9. ábra
Az arc, a mell és a fej hőleadása ruhátlan test esetén

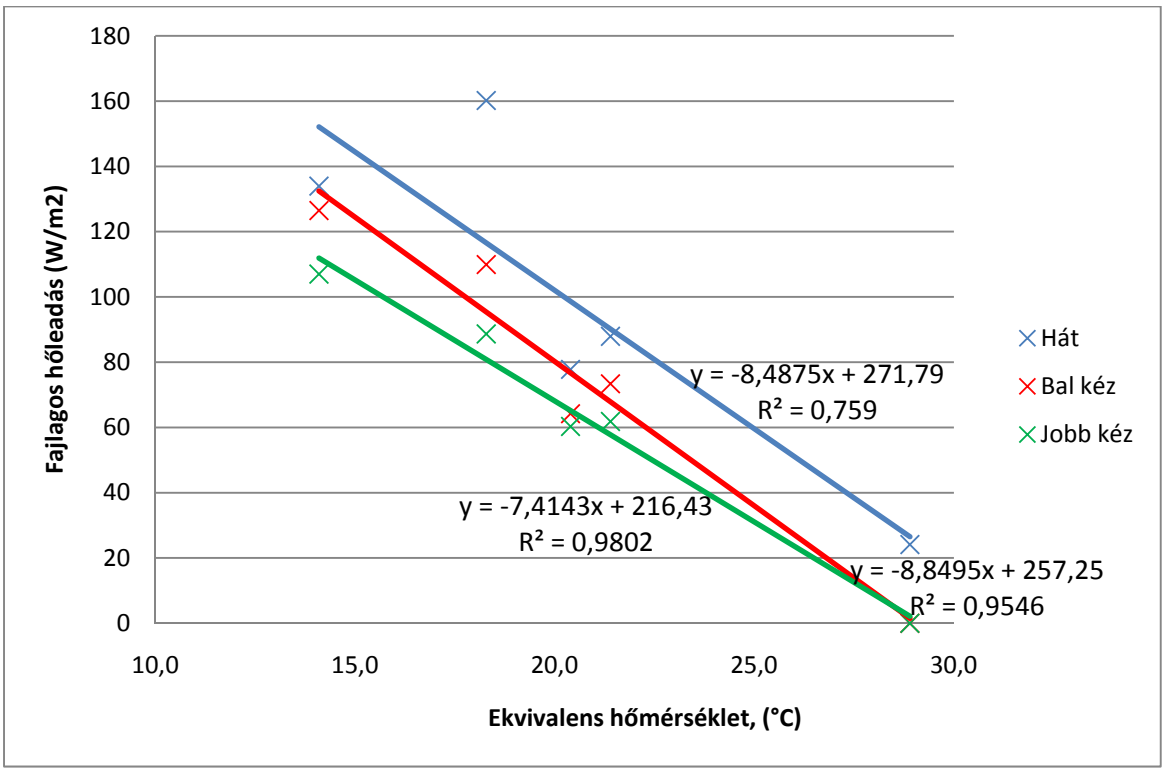
Megállapítottam, hogy mezítelen embernél a függvénykapcsolat lineáris, a szórásnégyzet értéke 0,8769 és 0,9959 között változott, kivéve a hát hőleadását, ahol a szórásnégyzet 0,759 volt.



4.10. ábra
Az arc, a mell és a fej fajlagos hőleadása ruhátlan test esetén



4.11. ábra
A hát, a bal és a jobb kéz hőleadása ruhátlan test esetén



4.12. ábra
A hát, a bal és a jobb kéz fajlagos hőleadása ruhátlan test esetén

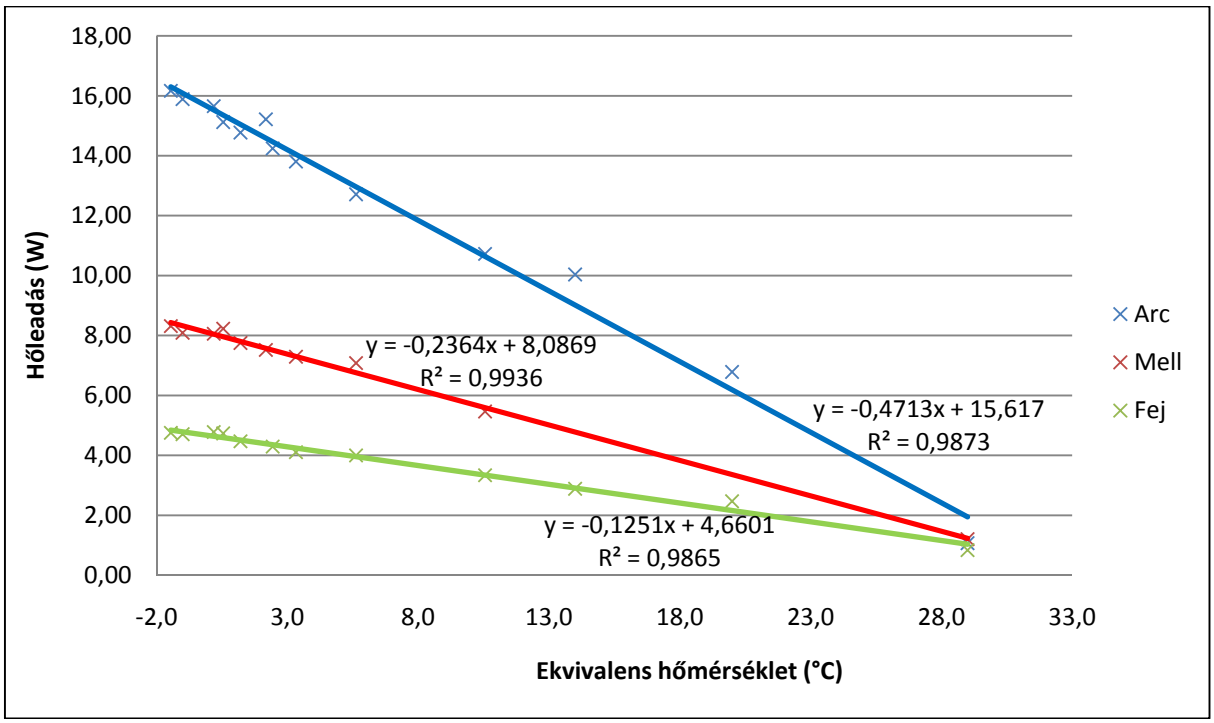
A feltárt összefüggések alapján jól kitűnik az egyes testrészek különböző hőleadása, amely fontos információt ad az orvostudomány részére a különböző betegségek kutatásához.

A további vizsgálatokat különböző ruházat esetén végeztem el. A 4.13. és a 4.14. ábra az 1,3 clo ruházat és 1,2 met tevékenység mellett kapott hőleadásokat mutatja. A vizsgálat kiterjedt a ruhával teljesen fedett (pl. hát, felkar) és a fedetlen (pl. arc) testrészek vizsgálatára is.

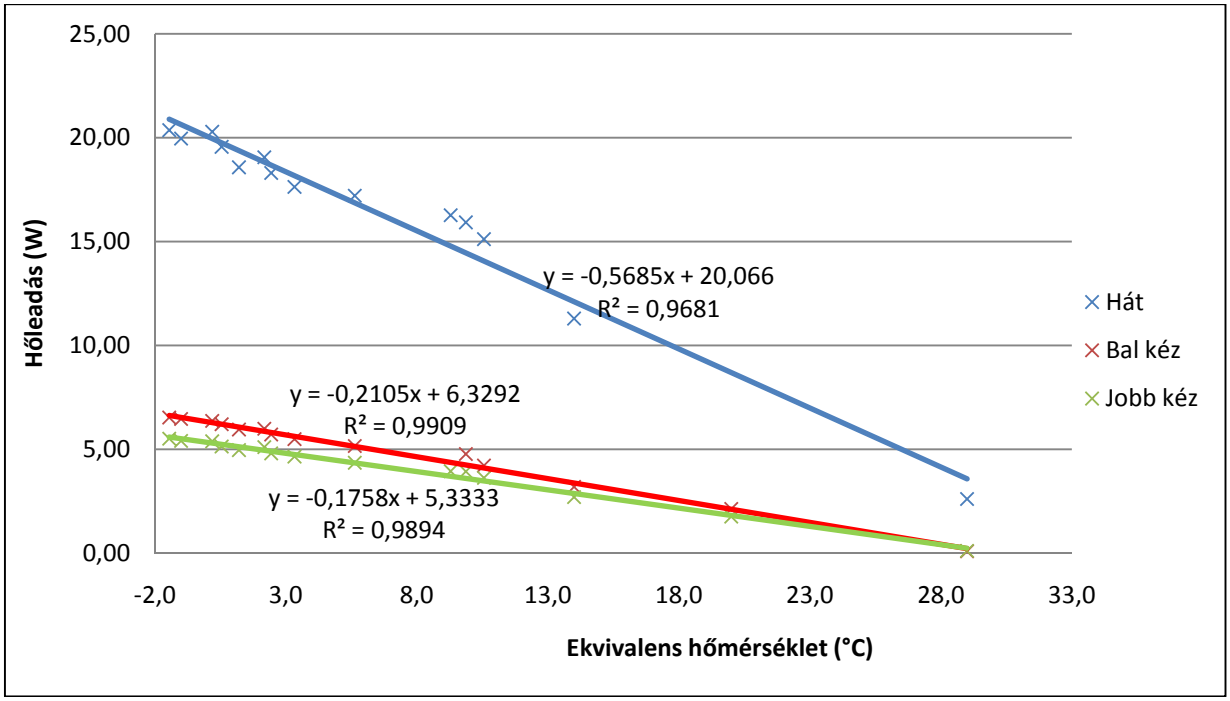
A vizsgált ekvivalens hőmérséklet tartományban (12 ^{o}C - 24 ^{o}C) meghatároztam az ember 18 különböző testrészének a fajlagos (W/m^2) hőleadását is. A 4.15. és a 4.16. ábra az 1,3 clo öltözetben és 1,2 met tevékenység mellett az ember egyes testrészeinek a fajlagos hőleadását tartalmazza.

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.

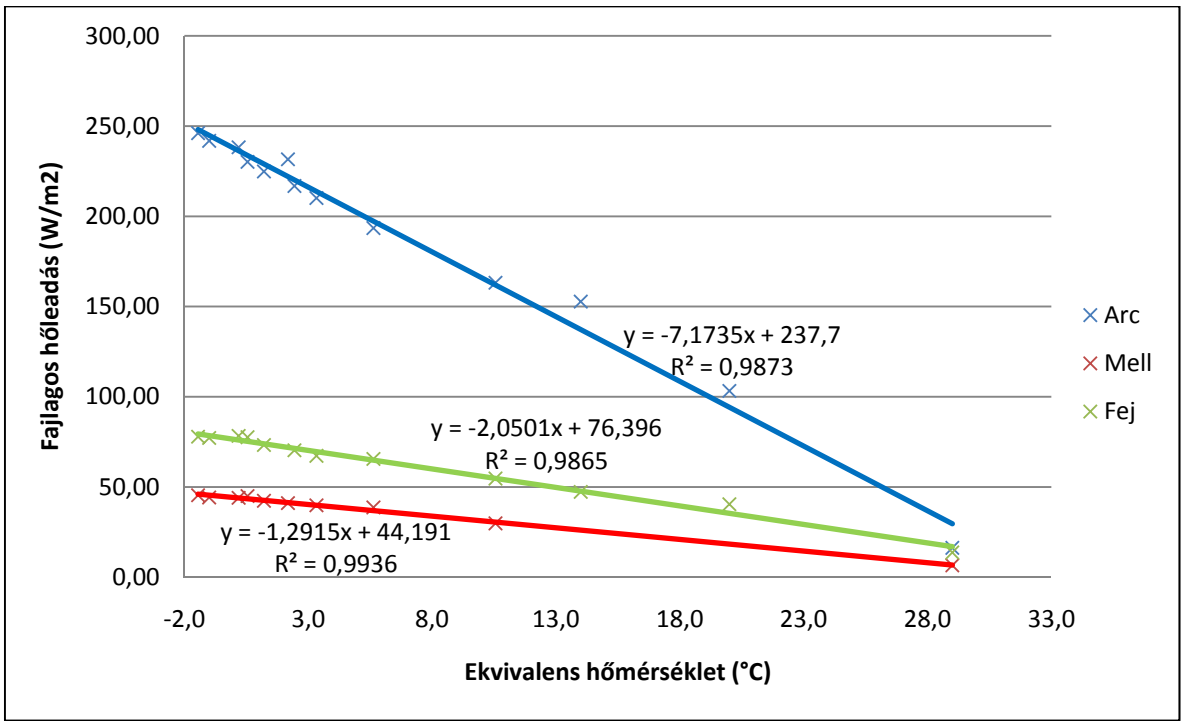
Megállapítottam, hogy az egyes testrészek (18 db) hőleadása az ekvivalens hőmérséklet függvényében lineárisan változik. A szórásnégyzet értéke ruházat nélkül 0,8769 és 0,9959 között (kivéve a hát, ahol 0,759 volt), 1,0 clo ruházatban 0,8356 és 0,9617 között, 1,3 clo ruházatban 0,9655 és 0,9936 között, 1,5 clo ruházatban 0,7759 és 0,9961 között változott.



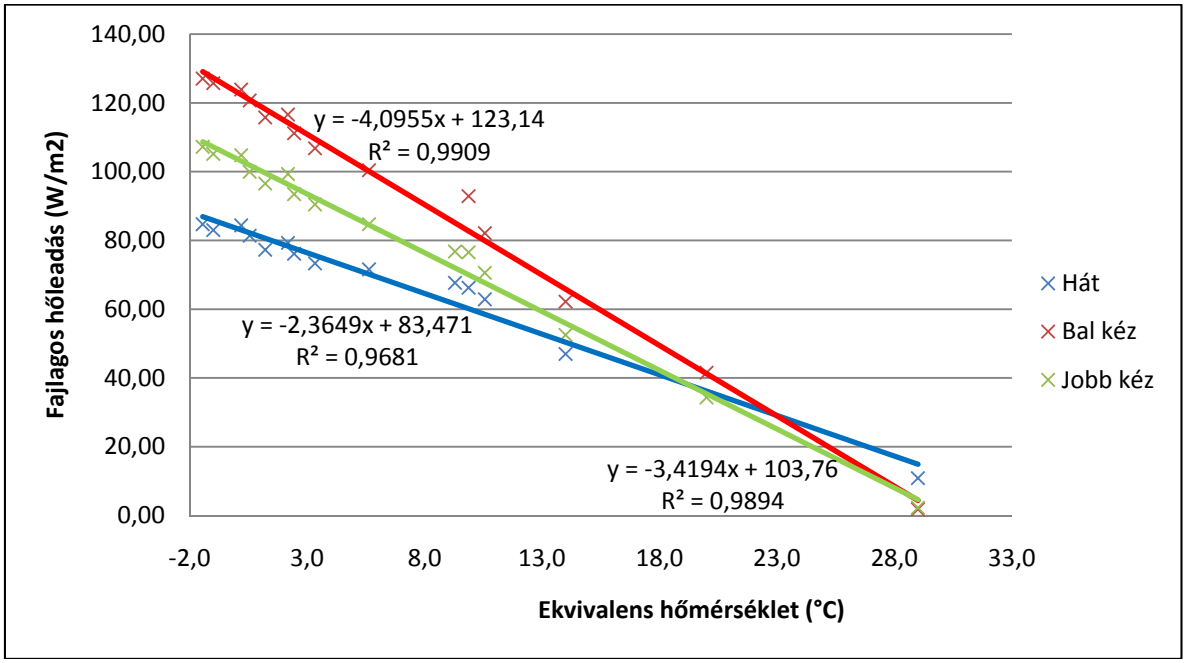
4.13. ábra
Az arc, a mell és a fej hőleadása 1,3 clo öltözetben



4.14. ábra
A hát, a bal és a jobb kéz hőleadása 1,3 clo öltözetben



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



4.16. ábra
A hát, a bal és a jobb kéz fajlagos hőleadása 1,3 clo öltözetben

A feltárt összefüggések alapján jól kitűnik a testrészek különböző hőleadása, amely fontos információt ad az orvostudomány részére a különböző betegségek kutatásához.

4.4. Sugárzási hőmérséklet aszimmetria vizsgálata számítással

Az ember komfortérzetét nem csak a tartózkodási zóna általános paraméterei, hanem a lokális fizikai jellemzők is befolyásolják. Ezek közül az egyik legfontosabb a helyi diszkomfort tényezők vizsgálata, amikor az ember szellemi vagy fizikai tevékenységét olyan környezetben végzi, ahol pl. hideg üvegfelület, falfűtéssel és/vagy falhűtéssel, vagy akár mennyezetfűtéssel és/vagy mennyezethűtéssel ellátott határoló szerkezet kerül beépítésre.

4.4.1. A meleg mennyezet és a hideg fal/ablak együttes hatásának elméleti vizsgálata

A helyi hőkomfortot jelentősen befolyásolja a sugárzási aszimmetria, ami az embert körülvevő környezet felületi hőmérsékleteinek különbségéből adódik. A szabványokban (2.2. ábra, MSZ CR 1752:2000) található diagram a hideg vagy meleg mennyezet, ill. fal/ablak hatásával elégedetlenek százalékos arányát mutatja meg a sugárzási hőmérséklet aszimmetria függvényében. A sugárzási hőmérséklet aszimmetria a vizsgált és a vele szemben lévő határoló szerkezet felületi hőmérsékletének a különbsége. A gyakorlatban sokszor 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 az egymásra merőleges 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 mennyezetfűtés esetén.

A meleg mennyezet és a hideg ablakfelület együttes hatását az alábbi peremfeltételekkel vizsgáltam egy irodaházra:

Az irodaház egyik egyterű irodáját, egy 21x7 méteres iroda területet vizsgáltam. Az operatív hőmérsékletet a peremzónában, a vizsgált terület hosszabb oldalának középső részén, az ablak melletti, ülő munkahelyre számítottam ki. A dolgozó bal oldalán, tőle 1,1 m-re ablakfelület van, mögötte 9,5 m-re és előtte 11,5 m-re szintén ablakfelület van. 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:

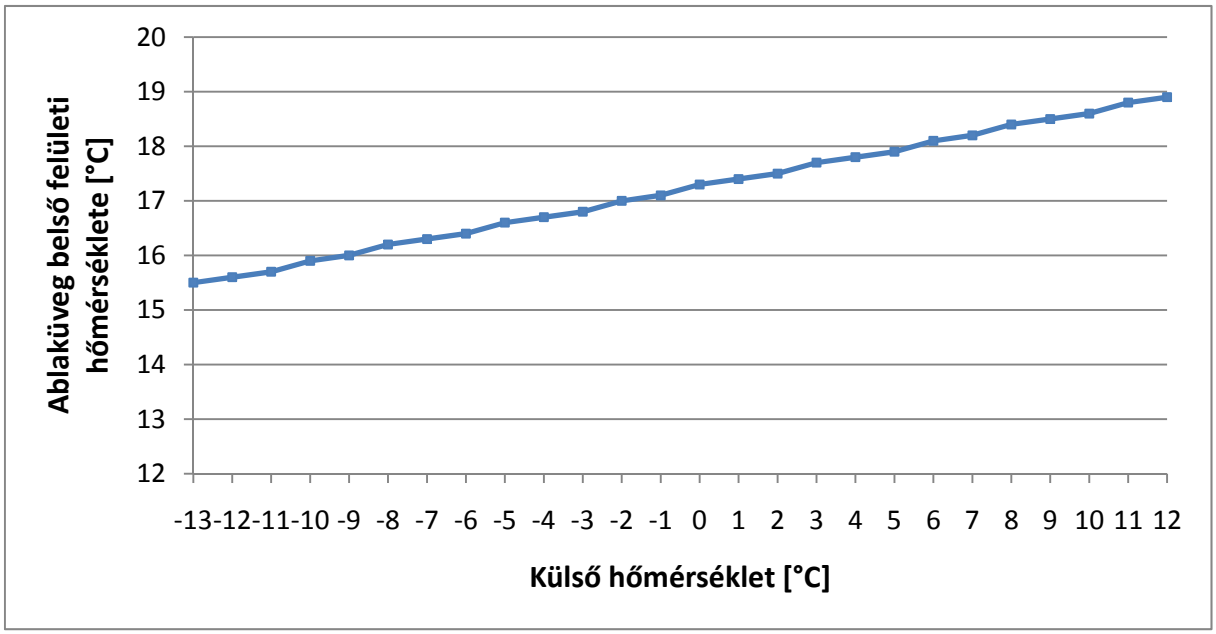
1. eset:

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

2. eset:

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

Meghatároztam az ablaküveg belső felületi hőmérsékletét különböző külső hőmérsékletek mellett (4.17. ábra).



4.17. ábra

Az ablaküveg belső felületi hőmérséklete a külső hőmérséklet függvényében

A méretezési állapotban -13°C külső hőmérséklet esetén, a feltételezett U_g = 1,1 W/m^{2}K hőátbocsátási tényezőjű ablak belső felületi hőmérséklete 15,5 °C-ra adódik, ha nem vesszük figyelembe a belső hőterhelések és a sugárzó mennyezet fűtés hatását, melyek felmelegítik az ablak belső felületét. A számításnál 1. esetben az ablak felületi hőmérsékletét 15,5 °C-ra, a 2. esetben 16,0 °C-ra vettem fel.

A vizsgált irodaterületet a 4.18. ábra mutatja.

Első lépésben a Fanger által kidolgozott számításos módszerrel meghatároztam az adott munkahelyen kialakuló operatív hőmérsékletet (t_o), mely a következő összefüggésen alapul:

$$t_o = \frac{\alpha_s \cdot t_{ks} + \alpha_c \cdot t_a}{\alpha_s + \alpha_c} \tag{4.4.}$$

ahol:

t_{ks}: közepes sugárzási hőmérséklet	[°C]
t_a: levegő hőmérséklete	[°C]
α_c: konvekciós hőátadási tényező	[W/m^2°C]
α_s: sugárzási hőátadási tényező	[W/m^2°C]

4.18. ábra
A vizsgált irodaterület

A vizsgálat során meghatároztam a sugárzási hőmérséklet aszimmetriát és attól függően, hogy a meleg mennyezetre vagy a hideg falra/ablakra határoztam meg, két különböző eredményt kaptam. A szabványokban (MSZ CR 1752:2000, MSZ EN ISO 7730:2006, Ashrae 55:2010) jelenleg nincs olyan módszer, ami a meleg mennyezet és a hideg fal hatását együttesen fejezi ki, ezért a számításokkal meghatározott PPD értékeket összehasonlítottam a szabványban a meleg mennyezetre és a hideg falra külön-külön adott görbékkel meghatározott értékekkel.

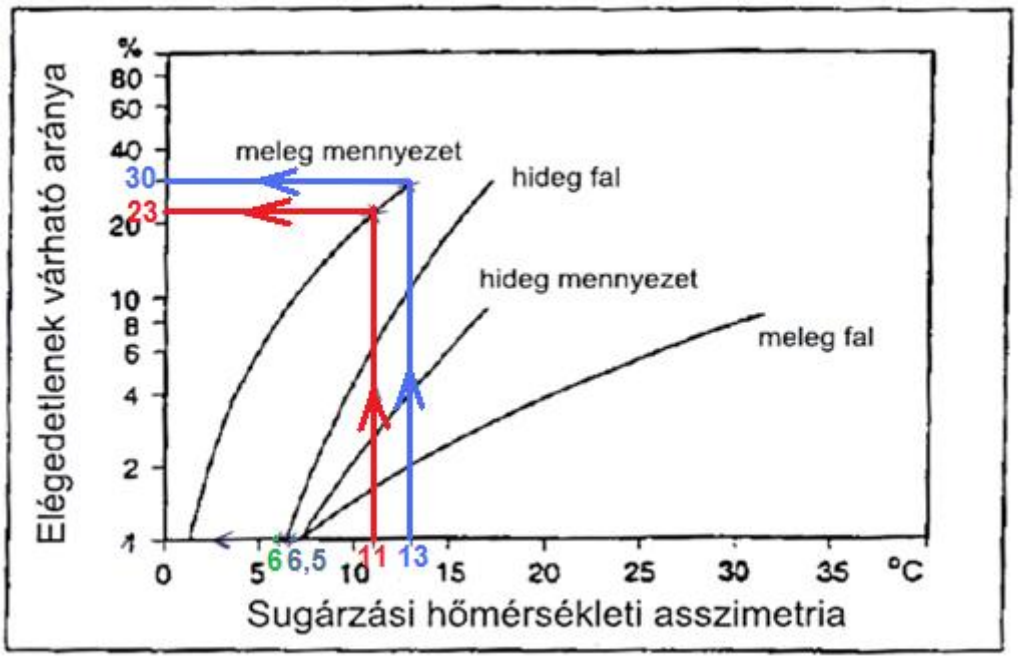
A szabványban található diagrammal a következő eredményeket kaptam az elégedetlenek várható arányára (4.19. ábra):

1. eset:
A sugárzási hőmérséklet aszimmetria a meleg mennyezetre számítva 33-22 = 11°C. A meleg mennyezetre érvényes görbével 11°C sugárzási hőmérséklet aszimmetriánál az elégedetlenek várható aránya kb. 23%.

A sugárzási hőmérséklet aszimmetria a hideg falra számítva 22-15,5 = 6,5°C. A hideg falra érvényes görbével 6,5°C sugárzási hőmérséklet aszimmetriánál az elégedetlenek várható aránya kb. 1%.

2. eset:
A sugárzási hőmérséklet aszimmetria a meleg mennyezetre számítva 35-22 = 13°C. A meleg mennyezetre érvényes görbével 13°C sugárzási hőmérséklet aszimmetriánál az elégedetlenek várható aránya kb. 30%.

A sugárzási hőmérséklet aszimmetria a hideg falra számítva 22-16 = 6°C. A hideg falra érvényes görbével 6°C sugárzási hőmérséklet aszimmetriánál az elégedetlenek várható aránya kb. 1%.



Jelmagyarázat: 1. eset, meleg mennyezet görbét alkalmazva
1. eset hideg fal görbét alkalmazva
2. eset, meleg mennyezet görbét alkalmazva
2. eset hideg fal görbét alkalmazva

4.19. ábra
Az elégedetlenek százalékos aránya a szabványban
a meleg mennyezetre és a hideg falra érvényes görbék alapján

A továbbiakban a vizsgált esetre először az operatív hőmérsékletet határoztam meg, majd az MSZ EN ISO 7730:2006 alapján számítással is meghatároztam a várható elégedetlenek százalékos arányát. Az operatív hőmérséklet meghatározásának menete a következő:

1. A helyiség méreteinek rögzítése, a besugárzási tényezők (φ_{EF}) meghatározása. A besugárzási tényező kifejezi az ember és az őt körülvevő síkok közötti sugárzásos hőcserét. A besugárzási tényező meghatározása diagramokkal történik (MSZ EN ISO 7730:2006).

2. A határoló felületek hőmérsékletének meghatározása. Az embert körülvevő felületek felületi hőmérséklete befolyásolja a közepes sugárzási hőmérsékletet. Jelen esetben a mennyezetre 33°C és 35°C hőmérsékletet, a belső határoló falakra és a padlóra 22°C felületi hőmérsékletet vettem figyelembe.

3. A közepes sugárzási hőmérséklet kiszámítása:

$$t_{ks} = \sqrt[4]{\sum \varphi_{EFi} \cdot T_{Fi}^4} - 273 \qquad [°C] \qquad (4.5.)$$

ahol

φ_{EFi}	a test és a határoló felületek közti besugárzási tényező	[-]
T_{Fi}	a határoló felületek hőmérséklete	[K]

4. Az emberi tevékenység és a hozzá tartozó metabolikus értékek meghatározása (4.3. táblázat):

$\frac{M}{F_{Du}}$ (W/m^2), $\frac{M}{F_{Du}}$ (met), a metabolikus hő egységnyi felületre kifejezve;

η, a mechanikai munka hatásfoka [-]

v_{rel} a test(végtagok) relatív sebessége [m/s]

4.3. táblázat

Az emberi tevékenységhez tartozó metabolikus hő (MSZ EN ISO 7730:2006)

Tevékenység	M/F_{Du} [W/m²]	met	η	v_{rel} [m/s]
Pihenés				
Alvás	41	0,7	0	0
Pihenés	47	0,8	0	0
Nyugodt ülés	58	1,0	0	0
Állás laza testtartással			0	0
Gépi munka				
könnyű (pl. elektromos ipar)	116–140	2,0–2,4	0–0,1	0–0,2
gépszerelő	163	2,8	0–0,1	0–0,9
nehéz (pl. festőipar)	232	4,0	0–0,1	0–0,2
Nehéz munka				
targoncatolás (57 kg, 4,5 km/h)	145	2,5	0,2	1,4
50 kg-os zsák hordása	232	4,0	0,2	0,5
kubikus munka	232–280	4,0–4,8	0,1–0,2	0,5
árokásás	350	6,0	0,2	0,5
Irodai munka				
Számítógépes	70	1,2	0	0
Különböző irodai munka (pl. ívek kitöltése, ellenőrzés)	58–70	1,0–1,2	0	0–0,1
Rajzolás	70	1,2	0	0–0,1

Irodai számítógépes munkát feltételezve a következő adatokkal számoltam:

- a metabolikus hő 70 W/m^2 = 1,2 met.
- a mechanikai munka hatásfoka $\eta = 0$.
- a végtagok relatív sebessége 0 m/s.

5. A ruházat hőszigetelő képességének meghatározása I_{cl} (clo). (4.4. táblázat)

4.4. táblázat

Ruházat hőszigetelő képessége (Bánhidi et al. 2000)

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

A figyelembe vett irodai ruházat hőszigetelő képesség 1,0 clo.

6. Levegő hőmérséklete t_a (°C):
   A figyelembe vett léghőmérséklet 22°C.

7. Parciális vízgőznyomás p_{vg} (mbar):
   A figyelembe vett vízgőznyomás 12 mbar.

8. A ruházat külső felületének a közepes hőmérséklete a komfortegyenletből t_{cl} (°C):

$$t_{cl} = 35{,}7 - 0{,}032 \cdot \frac{M}{F_{Du}} \cdot (1-\eta) - 0{,}18 \cdot I_{cl} \cdot \left\{ \frac{M}{F_{Du}} \cdot (1-\eta) - 0{,}35 \cdot \left[43 - 0{,}061 \cdot \frac{M}{F_{Du}} \cdot (1-\eta) - 50 \right] - \right.$$

$$\left. - 0{,}0023 \cdot \frac{M}{F_{Du}} \cdot (44 - p_{vg}) - 0{,}0014 \cdot \frac{M}{F_{Du}} \cdot (34 - t_a) \right\}$$

(4.6.)

9. A sugárzásos hőátadási tényező kiszámítása

$$\alpha_s = 4 \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot \frac{A_r}{A_D} \cdot \left[273 + \frac{t_{cl} + t_{ks}}{2} \right]^3 \quad \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

(4.7.)

ahol:

ε a ruházat, ill. a testfelület közepes emissziós tényezője: 0,95 (-) (Ashrae 2009)

A_r effektív sugárzó testfelület (A_D teljes testfelület)

$\frac{A_r}{A_D}$ ülő embernél 0,7 (-) ; álló embernél 0,73 (-) (Fanger 1970)

σ Stefan-Boltzmann állandó $5{,}67 \times 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 K^4} \right]$

t_{cl} A ruházat külső felületének közepes hőmérséklete (°C)

t_{ks} A közepes sugárzási hőmérséklet (°C)

Az ε emissziós tényező az emberi test esetén 0,95 az Ashrae 2009 kézikönyv alapján.

Az emberi test sugárzási felületének és a Dubois felületének az aránya ($\frac{A_r}{A_D}$) ülő ember esetén 0,7, álló ember esetén 0,73 a Fanger (1970) szerint.

10. A konvekciós hőátadási tényező meghatározása (4.5. táblázat) $\alpha_c \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$

4.5. táblázat

A konvekciós hőátadási tényező α_c és a levegő hőszigetelő képességének (I_a) változása az aktivitás (M/F_{Du}) függvényében, nyugvó levegőben (Ashrae 2009)

M/F_{Du} [met]	α_c [W/(m² K)]	I_a [clo]
0,85 (pihenés)	3,1	0,83
1,1 (nyugalmi helyzet)	3,3	0,80
2,0 (könnyű fizikai munka)	6,0	0,60
3,0 (közepes fizikai munka)	7,7	0,52

Irodai munkát feltételezve a konvekciós hőátadási tényezőt 3,3 W/m^{2}K értékkel vettem figyelembe.

11. A fenti adatok ismeretében az operatív hőmérséklet számítása:

$$t_o = \frac{\alpha_s \cdot t_{ks} + \alpha_c \cdot t_a}{\alpha_s + \alpha_c} \tag{4.8.}$$

Az operatív hőmérséklet alakulása elsősorban a peremzónában a homlokzati üvegfal mellett kialakított munkahelyek esetén érdekes, ezért számításokkal ezt a zónát vizsgáltam. Az általános hőkomfortot a PMV-PPD index fejezi ki. Az operatív hőmérséklet ismeretében, az MSZ EN ISO 7730:2006 szabvány alapján az átlagos levegősebesség, a ruházat hőszigetelő képessége és az aktivitási szint függvényében meghatározható a várható hőérzeti érték (PMV) és a várható elégedetlenek százalékos aránya (PPD).

A számítások eredményei:

<u>1. eset</u>

Alapadatok:

Ablakok belső felületi hőmérséklete:	15,5°C
Mennyezet felületi hőmérséklete:	33°C
Padló, belső fal felületi hőmérséklete:	22°C
Levegő hőmérséklete:	22°C
Ruházat:	1,0 clo
Tevékenység:	1,2 met (69,6 W/m^2)
Átlagos légsebesség:	<0,1 m/s.

Számított értékek:

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

<u>2. eset</u>

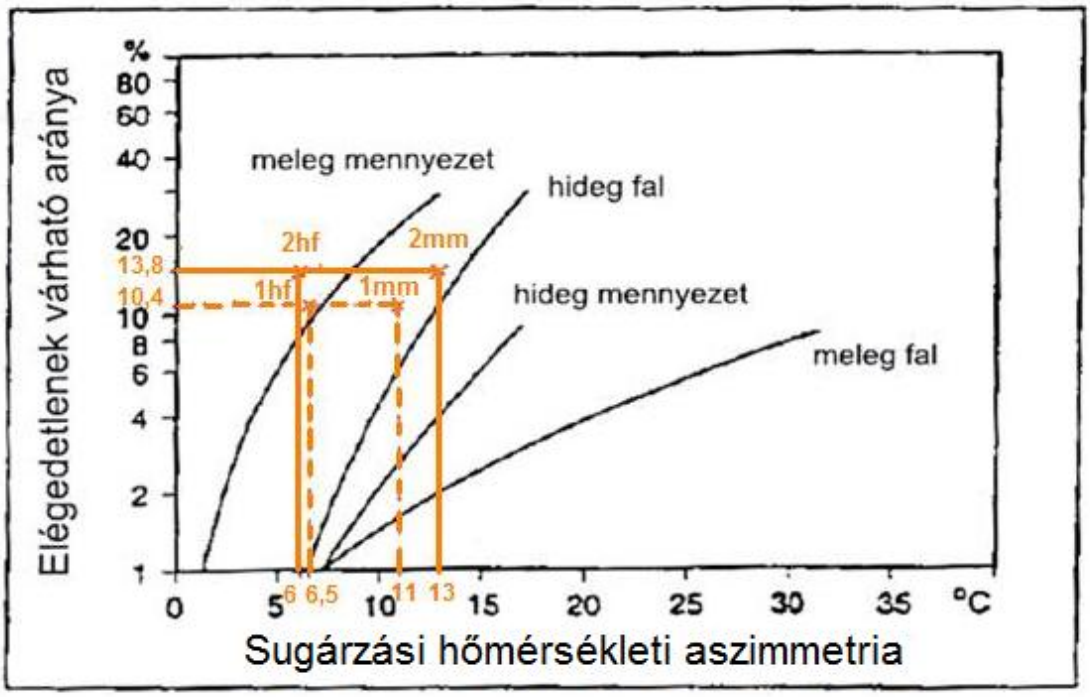
Alapadatok:

Ablakok belső felületi hőmérséklete:	16°C
Mennyezet felületi hőmérséklete:	35°C
Padló, belső fal felületi hőmérséklete:	22°C
Levegő hőmérséklete:	22°C
Ruházat:	1,0 clo
Tevékenység:	1,2 met (69,6 W/m^2)
Átlagos légsebesség:	<0,1 m/s.

Számított értékek:

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

A 4.20. ábrán a meleg mennyezetre és a hideg falra/ablakra számított sugárzási hőmérséklet aszimmetria függvényében ábrázoltam a számítással meghatározott elégedetlenek várható arányát:



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

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

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

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

4.20. ábra

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

A szabványokban (MSZ CR 1752:2000, MSZ EN ISO 7730:2006, Ashrae 55:2010) található görbékkel és az ott közölt számításokkal meghatározott elégedetlenek várható arányát a 4.6. táblázatban hasonlítom össze:

4.6. táblázat

Az elégedetlenek várható aránya a két vizsgált esetben a szabvány és a számítás szerint

Vizsgált jellemzők	1. eset	2. eset
Sugárzási hőmérséklet aszimmetria a meleg mennyezetre számítva, °C	11	13
Sugárzási hőmérséklet aszimmetria a hideg falra számítva, °C	6,5	6
Elégedetlenek várható aránya a szabványban a meleg mennyezetre érvényes diagram szerint, %	**23**	**30**
Elégedetlenek várható aránya a szabványban a hideg falra érvényes diagram szerint, %	**1**	**1**
Elégedetlenek várható aránya számítással, %	**10,4**	**13,8**

A 4.6. táblázat alapján jól látható, hogy a szabvány diagramjai alapján és a számítással meghatározott elégedetlenek várható aránya mind a két vizsgált esetben különböző. Amennyiben a szabvány szerint csak a hideg falat vesszük figyelembe a sugárzási hőmérséklet aszimmetriára, abban az esetben a hideg falra érvényes diagrammal meghatározott PPD érték (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 diagrammal meghatározott PPD érték (23% és 30%) magasabb, mint a számítással meghatározott érték (10,4% és 13,8%).

A fentiek alapján megállapítom, hogy a meleg mennyezet és a hideg fal/ablakfelület egy időben jelentkező hatása az eddig ismert módszerrel, azaz a meleg mennyezetre és a hideg fal/ablakfelületre érvényes görbével nem vizsgálható.

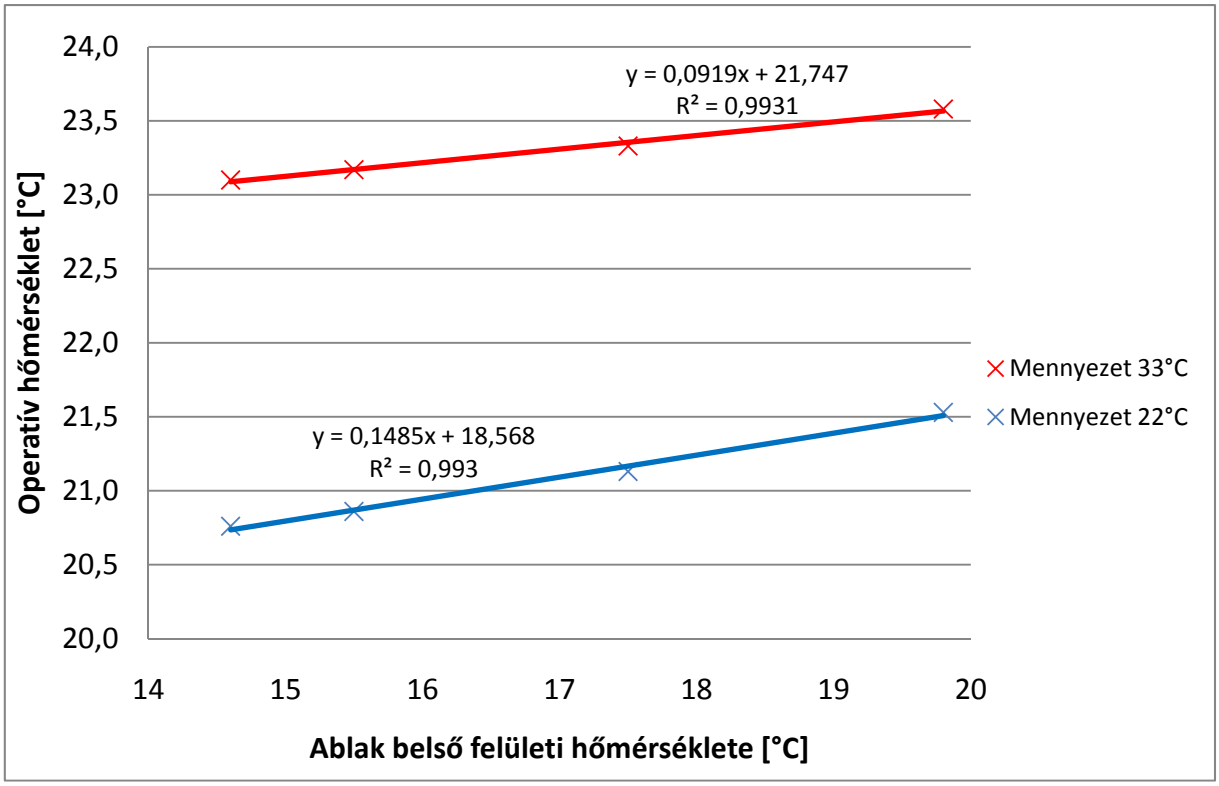
4.4.2. Az operatív hőmérséklet vizsgálata

A továbbiakban megvizsgálom az operatív hőmérséklet változását a hideg fal (ablaküveg) belső felületi hőmérséklete, a ruházat hőszigetelő képessége, valamint az ablaktól való távolság függvényében. Az operatív hőmérséklet vizsgálatát a 4.4.1. pontban bemutatott 21x7 méteres irodaterületen végeztem a peremzóna szélén lévő ülő munkahelyre, ahol két oldalról hideg felület (ablak), a mennyezetről pedig meleg (mennyezetfűtés) éri a helyiségben tartózkodó embert (4.21. ábra). A vizsgálat során a hideg falfelület (ablak) az ember jobb oldalán 1,1 m-re, mögötte pedig 1,2 m-re helyezkedik el. A mennyezet hőmérsékletét 22 ^{o}C-nak (nem üzemel a fűtés) és 33 ^{o}C-nak (üzemel a fűtés) vettem fel.

4.21. ábra
A vizsgált sarok irodaterület

4.4.2.1. Az operatív hőmérséklet a hideg fal hőmérsékletének a függvényében

A számításokat a 4.4.1. pontban leírt eljárás szerint végeztem el. Az operatív hőmérséklet változását az ablaküveg belső felületi hőmérséklete (4.7. ábra) függvényében a 4.22. ábra mutatja be.



4.22. ábra
Az operatív hőmérséklet a hideg felület hőmérsékletének a függvényében

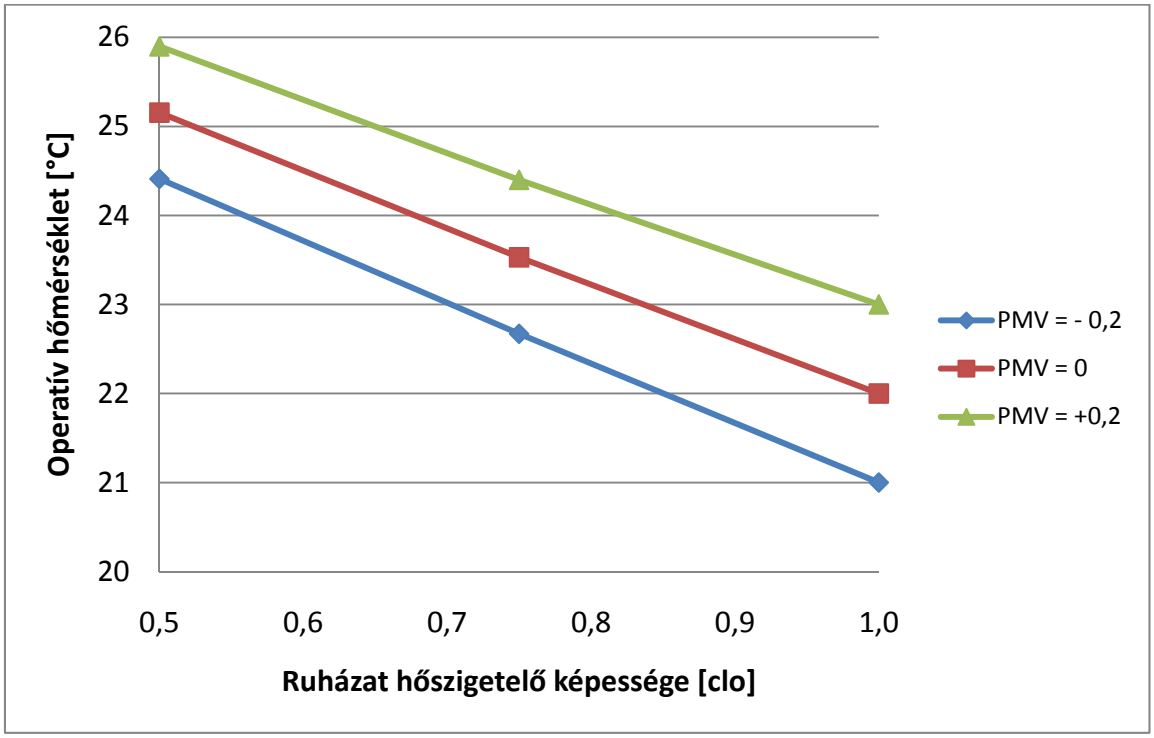
Megállapítottam, hogy a vizsgált munkahelyen az operatív hőmérséklet lineárisan függ az ablak belső felületi hőmérsékletétől.

Az MSZ CR 1752:2000 szabvány szerinti „A” kategória és az MSZ EN 15251:2008 szabvány szerinti „I.” kategória 21-23°C közötti operatív hőmérsékletet ír elő.

Ez a kritérium 22 °C-os mennyezet esetén 16,5 °C-nál magasabb ablak belső felületi hőmérsékletnél adódik, ami a vizsgált esetben -9 °C-nál magasabb külső hőmérsékletnél fordul elő. A -9 °C-nál alacsonyabb külső hőmérséklet esetén csak „B” (MSZ CR 1752:2000), illetve a „II.” (MSZ EN 15251:2008) kategória érhető el.
A 33 °C-os mennyezet esetén is csak a „B” (MSZ CR 1752:2000), illetve a „II.” (MSZ EN 15251:2008) kategória érhető el 20-24 °C-os operatív hőmérséklet biztosítása mellett.

4.4.2.2.Az operatív hőmérséklet a ruházat függvényében

A számításokat a 4.4.1. pontban leírt eljárás szerint végeztem el. Az operatív hőmérséklet változását a ruházat hőszigetelő képességének a függvényében a 4.23. ábra mutatja be.



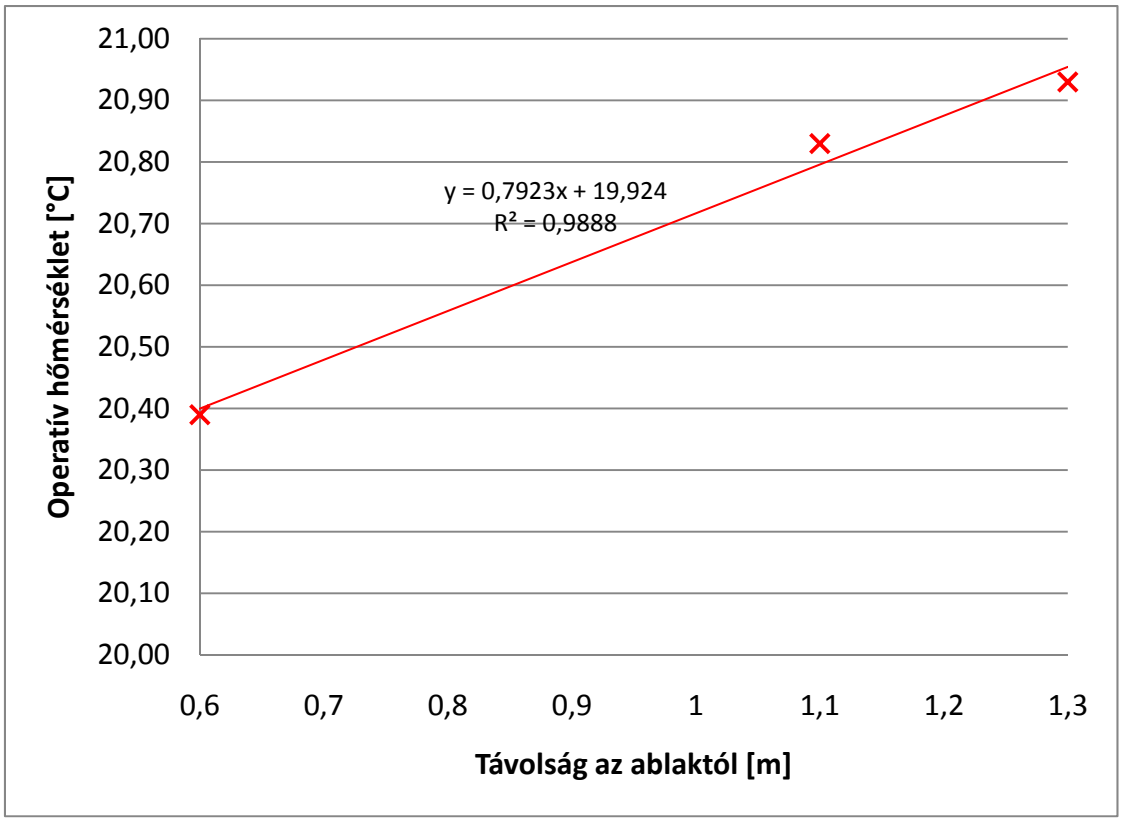
4.23. ábra
Az operatív hőmérséklet a ruházat hőszigetelő képességének a függvényében

A 4.23. ábra szemlélteti a ruházat hőszigetelő képességének a hőérzetre gyakorolt hatását. Amennyiben 1,0 clo a ruházat hőszigetelő képessége, abban az esetben 21-23°C között adódik a PMV = ± 0,2 érték vagyis az MSZ CR 1752:2000 szabvány szerinti „A”, illetve az MSZ EN 15251:2008 szabvány szerinti „II” kategória. A ruházat hőszigetelő képességének csökkenésével ugyanazt a hőérzetet magasabb operatív hőmérséklet elégíti ki: 0,75 clo érték esetén 22,7-24,4°C, míg 0,5 clo érték esetén 24,4-25,9°C. Ez azt jelenti, hogy a zárt térben tartózkodó ember évszakhoz megfelelő ruházatához (clo értékhez) az adott hőérzet biztosításához különböző operatív hőmérséklet tartozik. Kutatási eredményem szerint a függvénykapcsolat lineáris.

A 4.23. ábrán olyan függvénykapcsolatot dolgoztam ki, amely alapján megállapítható, hogy adott ruházatban, adott operatív hőmérséklet mellett milyen a belső tér általános hőkomfort minősítése, vagyis mennyi a PMV, a várható hőérzeti érték.

4.4.2.3. Az operatív hőmérséklet az ablaktól való távolság függvényében

A számításokat a 4.4.1. pontban leírt eljárás szerint végeztem el. Az operatív hőmérséklet változását az ablaktól (hideg faltól) való távolság függvényében a 4.24. ábra mutatja be.



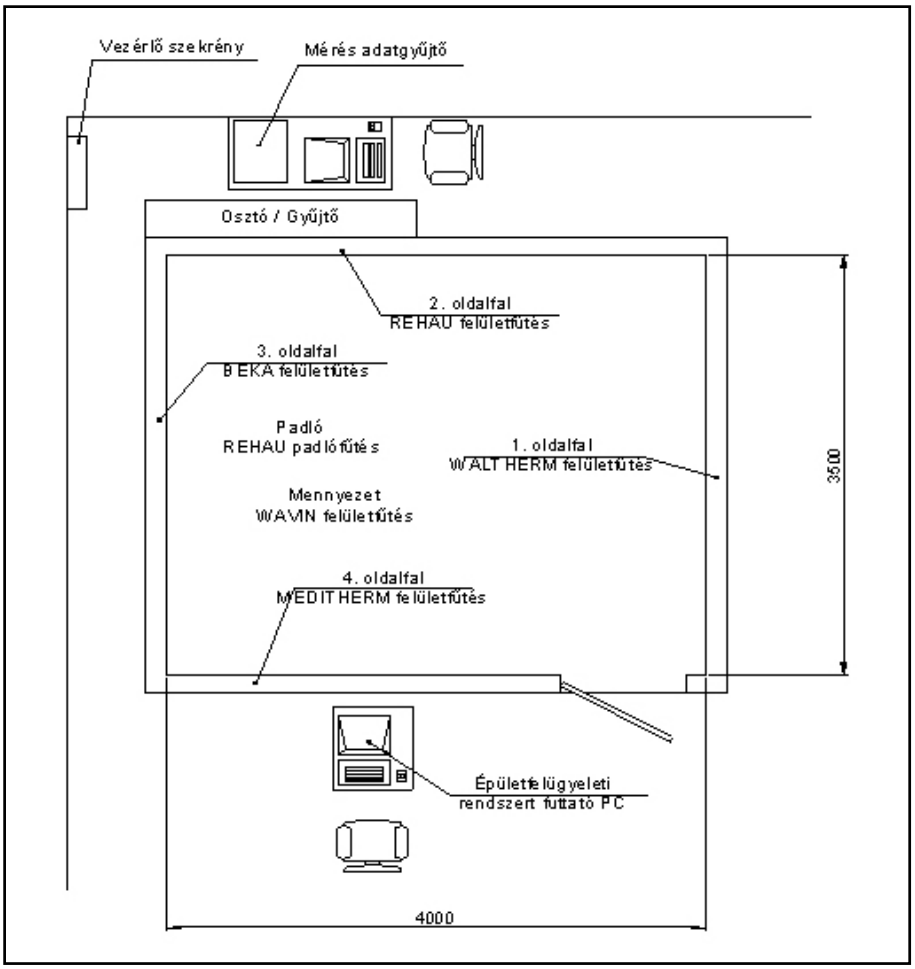
4.24. ábra
Az operatív hőmérséklet az ablaktól való távolság függvényében

Az ablaktól 1,1 méterre kialakított munkahely esetén az operatív hőmérséklet 20,8 °C, az ablaktól 0,6 méterre 20,4 °C-ra csökken, és 1,3 m-re az ablaktól 20,9 °C-ra nő, mely értékek a vizsgált távolság tartományban az irodaépület két hideg ablakfelületével határolt részén az operatív hőmérséklet szempontjából az MSZ CR 1752:2000 szabvány „B” kategória előírásait teljesítik.

4.5. Sugárzási hőmérséklet aszimmetria vizsgálata termikus műember alkalmazásával

Az elméleti számítások alátámasztására méréseket végeztem, amelyek alapján tudományos megállapításokat tettem.

A Pécsi Tudományegyetem Pollack Mihály Műszaki Karának Épületgépész Tanszékén kialakított mérőlabor alkalmas hőkomfort mérések végzésére. A mérőlabor 3 x 4 méter alapterületű, belmagassága 3 méter. A mérőlabor minden oldalának, padlójának és mennyezetének felületi hőmérséklete mérhető és tetszőlegesen beállítható. A 4.25. ábra a mérőlabor kapcsolási rajzát mutatja.



4.25. ábra
A mérőlabor kapcsolási rajza

A mérések során a termikus műember egy széken ült a hideg faltól/ablaktól 1,1 m távolságra a 4.26. ábrán látható elhelyezkedésben.

4.26. ábra
A termikus műember elhelyezkedése a klímakamrában (0,75 clo ruházatban)

A termikus műemberrel modellezhető az emberi szervezet belső hőtermelése, amely különböző külső körülmények között (pl. hideg fal/ablak és meleg mennyezet) változik. 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 5 másodperces mintavételezéssel (összes testrésznél) 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.

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

4.5.1. A termikus műember hőleadása hideg fal/ablak, meleg mennyezet, illetve ezek együttes hatása esetén

A mérés során három különböző esetben vizsgáltam a termikus műember hőleadását. Először a hűtött falnál 17.4 °C, 18.1 °C, 18.9 °C, 19.6 °C, 20.1 °C, 21.2 °C felületi hőmérsékleteket állítottam be. 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.

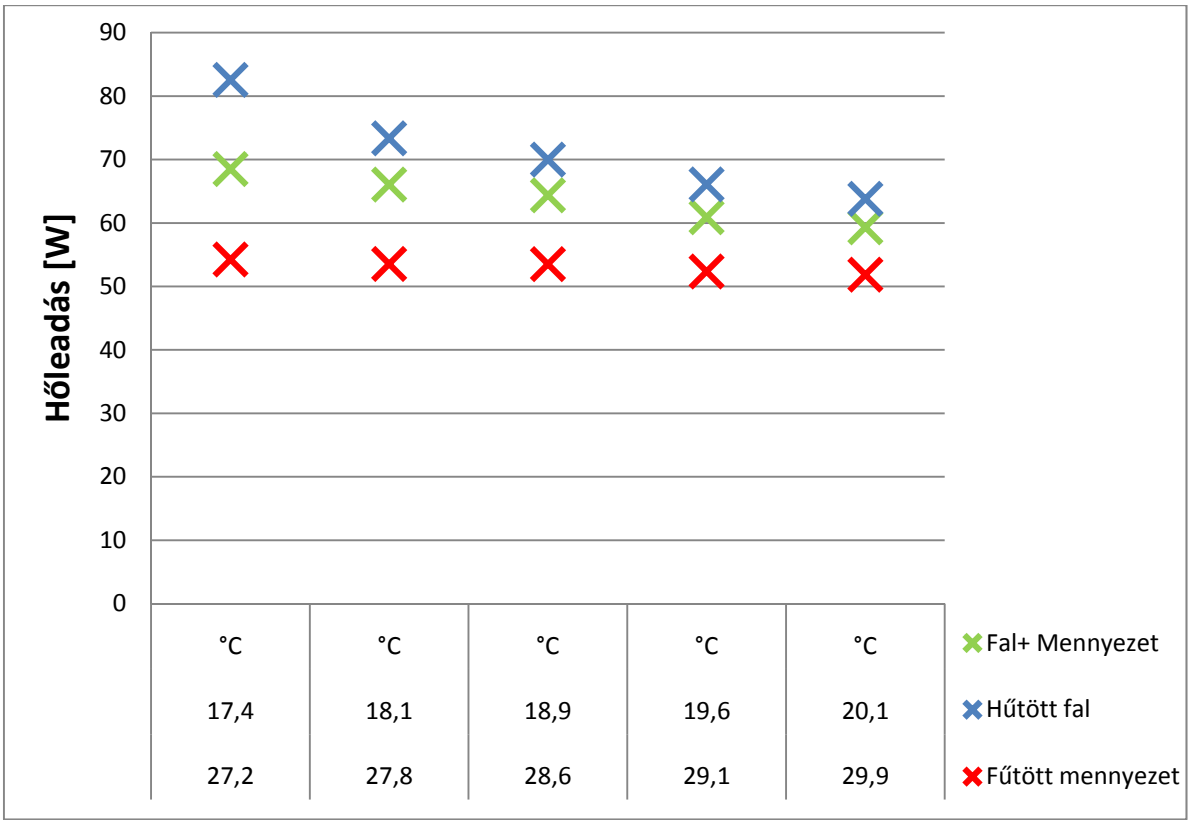
A második mérési sorozatban a termikus műember elhelyezkedése nem változott, a mennyezetet fűtöttem fel 27.2 °C, 27.8 °C, 28.6 °C, 29.1 °C és 29.9 °C-ra. A többi határoló felület hőmérsékletét 22 °C-ra állítottam be.

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) (Magyar, Ambrus 2011).

Mérési eredmények 1 clo ruházatban

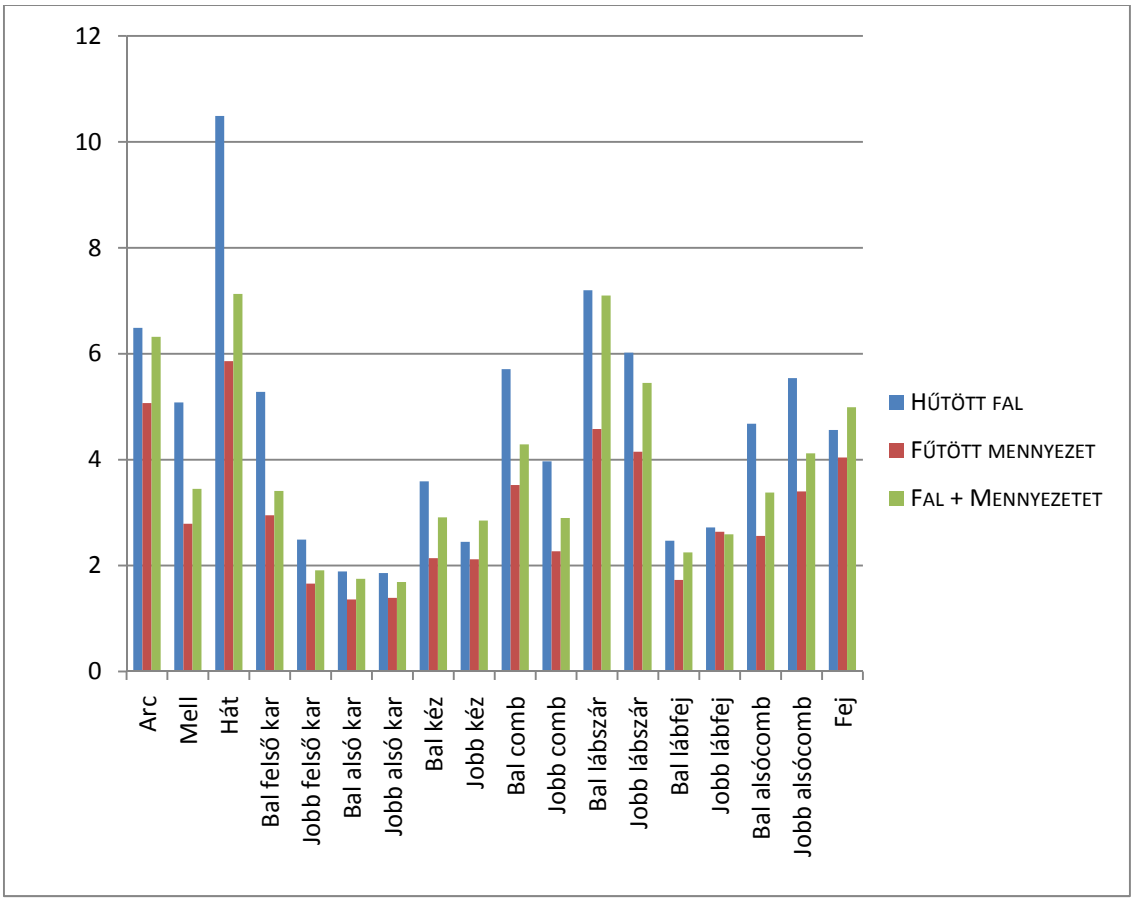
Az 1 clo ruházatban a három mérési sorozat eredményeit a 4.27. ábra szemlélteti.



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

A 4.27. ábrán látható, hogy 1 clo ruházatban a hűtött fal mellett volt a legnagyobb a hőleadás, a legkevesebb pedig fűtött mennyezetnél. Míg hűtött falnál (17.4 °C) 82.5 W, addig fűtött mennyezetnél (29.9 °C) 51.8 W volt a termikus műember hőleadása, vagyis 30,7 W különbség figyelhető meg. Amikor mindkét rendszer egyszerre működött, a hőleadás az előző két mérés eredményei közé esett. Mindhárom esetben a hőmérséklet növelésével folyamatosan csökkent a hőleadás.

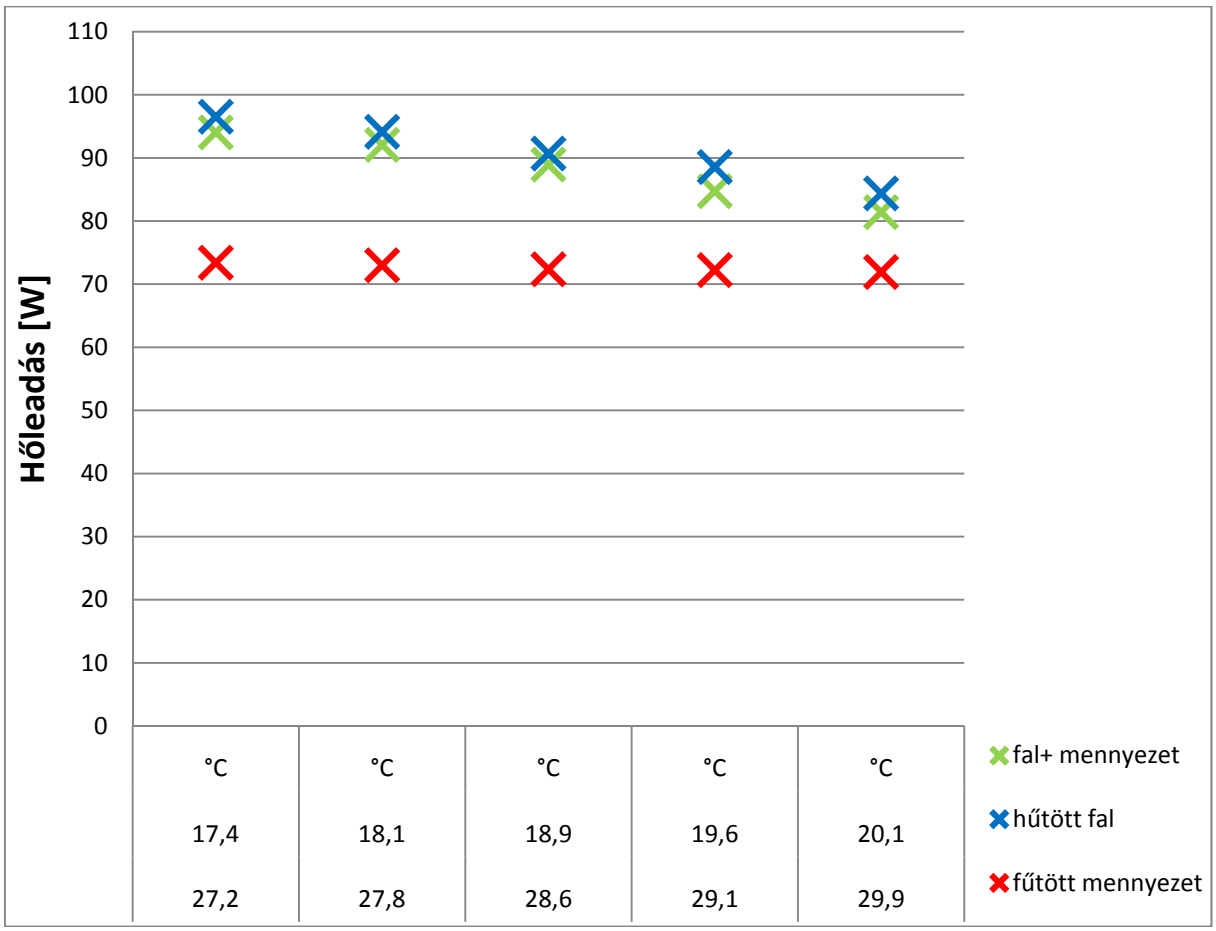
Minden mérésnél meghatároztam az egyes testrészek hőleadását is. A 4.28. ábrán példaként a 17,4 °C hideg ablak/fal és/vagy 27,2 °C meleg mennyezet esetén mutatom be az egyes testrészek hőleadását. Az ábrán látható, hogy mindhárom esetben a hátnak, a lábszáraknak, az arcnak volt a legnagyobb hőleadása. Az egyes testrészek hőleadását és fajlagos hőleadását különböző felületi fűtés-hűtés mellett az M12 melléklet tartalmazza.



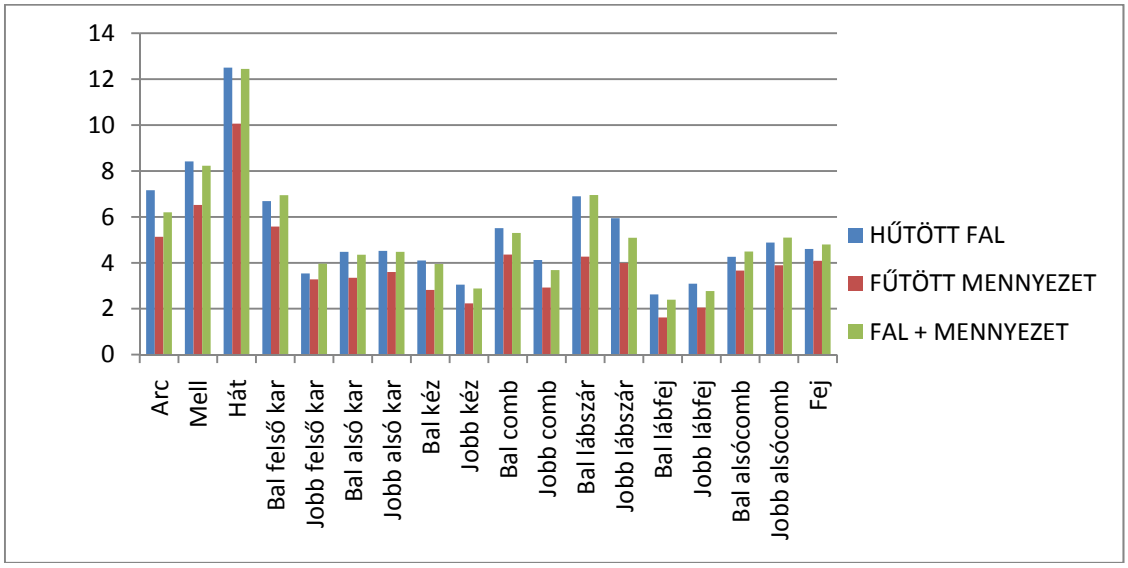
4.28. ábra
Az egyes testrészek hőleadása [W] különböző felületi hűtés-fűtés mellett 1 clo ruházatban

Mérési eredmények 0,75 clo ruházatban

A 4.29. 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 (4.30. ábra).



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

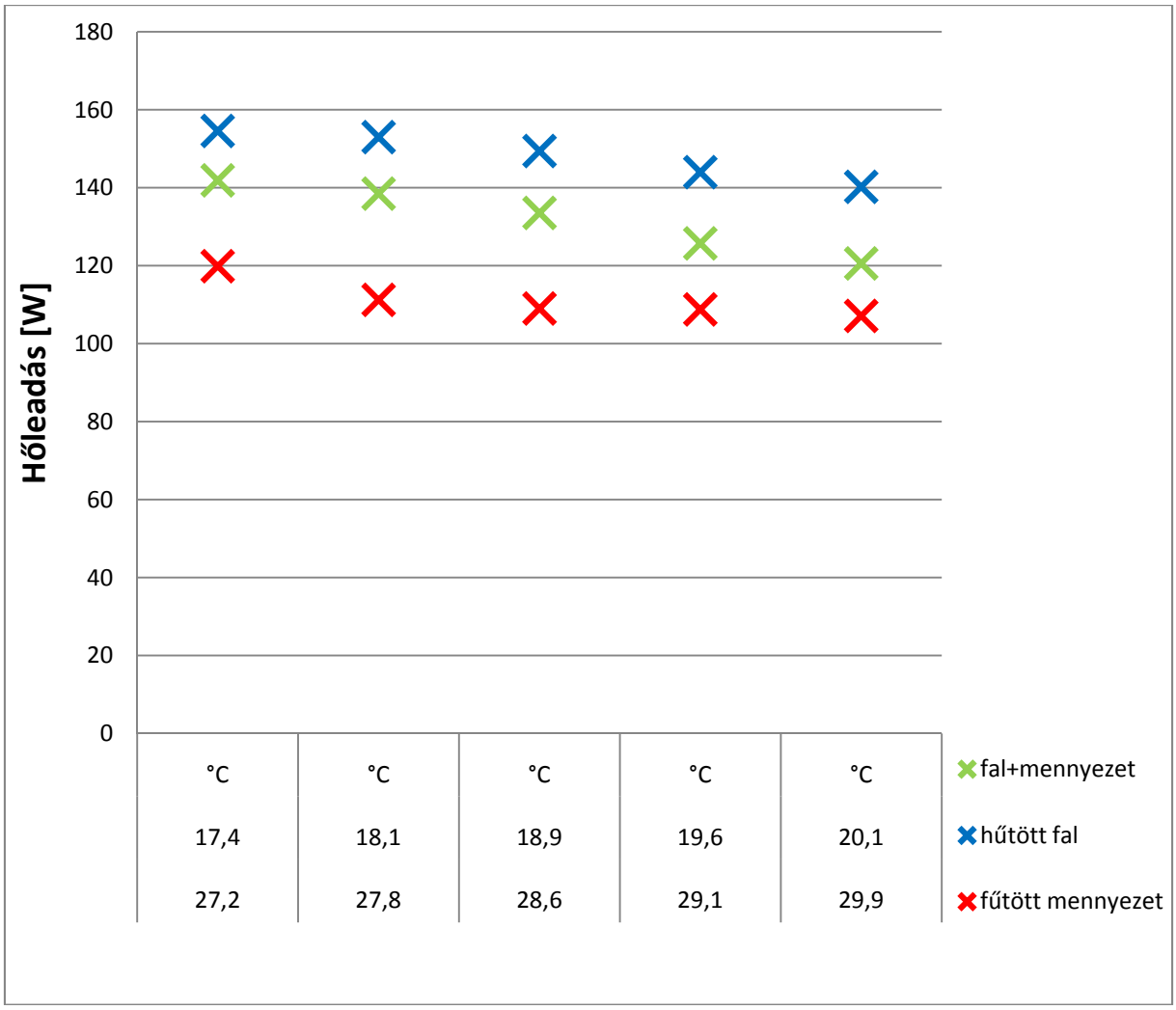


4.30. ábra
Az egyes testrészek hőleadása [W] különböző felületi hűtés-fűtés mellett 0,75 clo ruházatban

Az egyes testrészek hőleadását és fajlagos hőleadását különböző felületi fűtés-hűtés mellett az M11 melléklet tartalmazza.

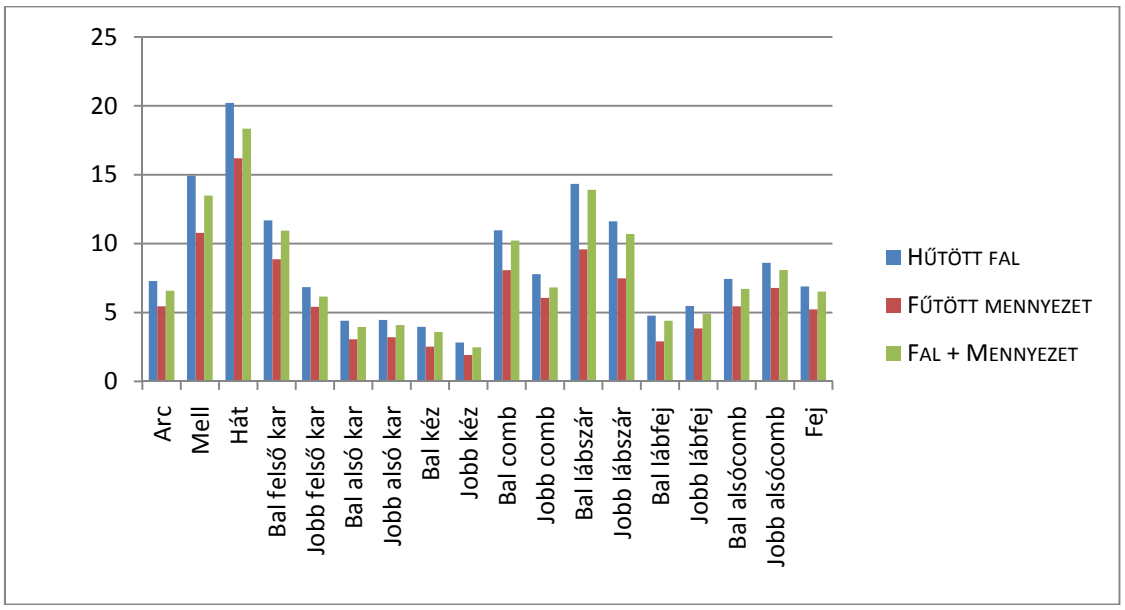
Mérési eredmények ruha nélküli esetben (0 clo)

A 4.31. 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 (4.32. ábra).



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

Az egyes testrészek hőleadását és fajlagos hőleadását különböző felületi fűtés-hűtés mellett az M10 melléklet tartalmazza.



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

Következtetések

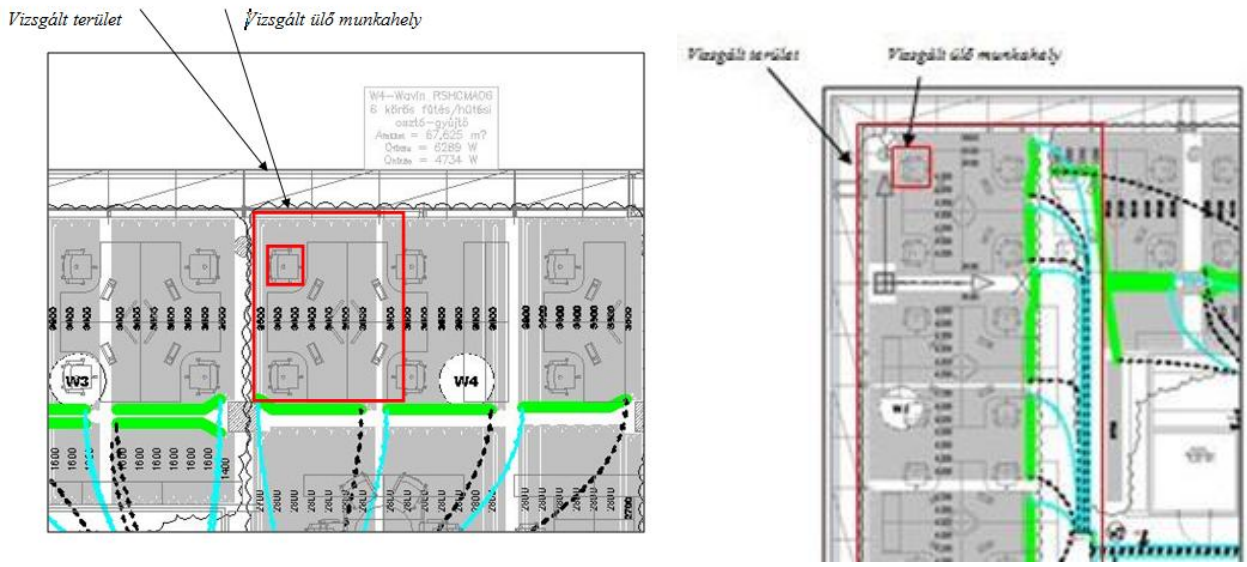
A sugárzási hőmérséklet aszimmetria összetett hatásai közül megvizsgáltam a hideg fal/ablak és a meleg mennyezet együttes hatását az emberre. A modellben bemutatott eset a gyakorlatban előfordul pl. egy üveg homlokzatú irodaháznál, ahol télen mennyezet-fűtést alkalmaznak. Kérdésként merülhet fel az irodatér bútorozása, vagyis hogy milyen távol helyezhetjük el az íróasztalokat az ablaktól, hogy a hideg ablakfelület és a meleg mennyezet együttes hatása ne okozzon diszkomfort érzetet a dolgozóknak. A jelenleg érvényes szabványok és rendeletek erre az esetre nem tartalmaznak semmilyen iránymutatást.

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, 17.4 °C-os falhőmérsékletnél, ruházat nélkül (154.57 W). A legkevesebb hőleadást pedig fűtött mennyezet mellett 1 clo ruházatban mértem 29.9 °C-os felületi hőmérsékletnél (51.85 W). 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.

4.5.2. Irodai munkahely modellezése termikus műemberrel

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 (4.33. ábra).



4.33. ábra
A vizsgált tartózkodási zóna

A mérések során a következő két alapesetet vizsgáltam:

- van belső hőterhelés, ezért a mennyezeti fűtés nem üzemel:

  Mennyezet felületi hőmérséklete: 22°C
  Ablak belső felületi hőmérséklete: 19,8°C
  Padló felületi hőmérséklete: 22°C
  Belső falak felületi hőmérséklete: 22°C

- nincs belső hőterhelés, ezért a mennyezeti fűtés üzemel:

  Mennyezet felületi hőmérséklete: 33°C
  Ablak belső felületi hőmérséklete: 16,7°C
  Padló felületi hőmérséklete: 22°C
  Belső falak felületi hőmérséklete: 22°C

A vizsgált ablak (hideg fal) belső felületi hőmérséklete -13 °C külső hőmérséklet mellett 15,5 °C (4.17. ábra). Az adott irodára készült egy numerikus szimuláció (Joó 2011), amely szerint az ablak belső felületi hőmérséklete magasabb a belső hőterhelés, illetve a mennyezetfűtés hatása miatt. További vizsgálataimnál a szimuláció végeredményét vettem figyelembe, ezért mérőkamrában a hideg fal/ablak hőmérsékletét a különböző eseteknél 16,7 °C, illetve 19,8 °C értékekre állítottam be.

A mérések során a termikus műember bal oldala melletti felülettől való távolságát változtattam: 0,6 méterre, 1,1 méterre és 1,3 méterre helyeztem el a faltól, hogy megkapjam azt, hogy a hidegebb ablakfelülettől való távolság hogyan befolyásolja az ember hőtermelését. Ezáltal választ kaptam arról, hogy a gyakorlatban pl. az ültetési rend módosítása hogyan befolyásolhatja az ember hőérzetét.

Megvizsgáltam azt is, hogy a ruházat hőszigetelő képessége hogyan befolyásolja az emberi hőtermelést. Az MSZ CR 1752:2000 szabványban szereplő követelményértékek téli időszak esetén 1,0 clo értékű ruházati hőszigetelő képesség esetén érvényesek. A 0,75 clo értékű ruházat esetén az ember bőrének felületi hőmérsékletétől alacsonyabb hőmérsékletű felületek felé történő hőleadása megnő, melynek hatása jelentős a hőérzet szempontjából. Ennek akkor van jelentősége, ha a dolgozó nem megfelelő ruházatban dolgozik (pl. nem az évszaknak megfelelő ruházatot viseli), mely hőérzeti panaszokat okozhat.

A méréseket a peremfeltételek módosításával több különböző esetre elvégeztem (ruházat hőszigetelő képessége, ablak belső felületi hőmérséklete, távolság az ablaktól). A mérések peremfeltételeit a 4.7. táblázat tartalmazza.

4.7. táblázat
A mérések peremfeltételei

Nr.	Ruházat	Léghőmér -séklet	Ablak	Falak	Mennyezet	Padló	Az ablak és az emberi középpont közti távolság
-	clo	°C	°C	°C	°C	°C	m
1.1	1,0	22	19,8	22	22	22	0,6; 1,1; 1,3
1.2	0,75	22	19,8	22	22	22	0,6; 1,1; 1,3
2.1	1,0	22	16,7	22	33	22	0,6; 1,1; 1,3
2.2	0,75	22	16,7	22	33	22	0,6; 1,1; 1,3

Nr.	Ruházat	Léghőmér -séklet	Ablak 1	Ablak 2	Falak	Mennyezet	Padló	Az ablak és az emberi középpont közti távolság
-	clo	°C	°C	°C	°C	°C	°C	m
3.1	1,0	22	19,8	19,8	22	22	22	0,6; 1,1; 1,3
3.2	0,75	22	19,8	19,8	22	22	22	0,6; 1,1; 1,3
4.1	1,0	22	16,7	16,7	22	33	22	0,6; 1,1; 1,3
4.2	0,75	22	16,7	16,7	22	33	22	0,6; 1,1; 1,3

A fenti mérési sorozatok közül az ablak melletti (4.8. táblázat) és a sarokban található munkahely (4.9. táblázat) mérési eredményeit mutatom be részletesen.

<u>Ablak melletti munkahely</u>

4.8. táblázat
Ablak melletti mérések

Nr.	Ruházat	Léghőmérséklet	Ablak	Falak	Mennyezet	Padló	Az ablak és az emberi középpont közti távolság
-	clo	°C	°C	°C	°C	°C	m
1.1.2	1,0	22	19,8	22	22	22	1,1
2.1.2	1,0	22	16,7	22	33	22	1,1

Sarokban, 2 db ablak felület melletti munkahely

4.9. táblázat
Két hideg felületre vonatkozó mérések

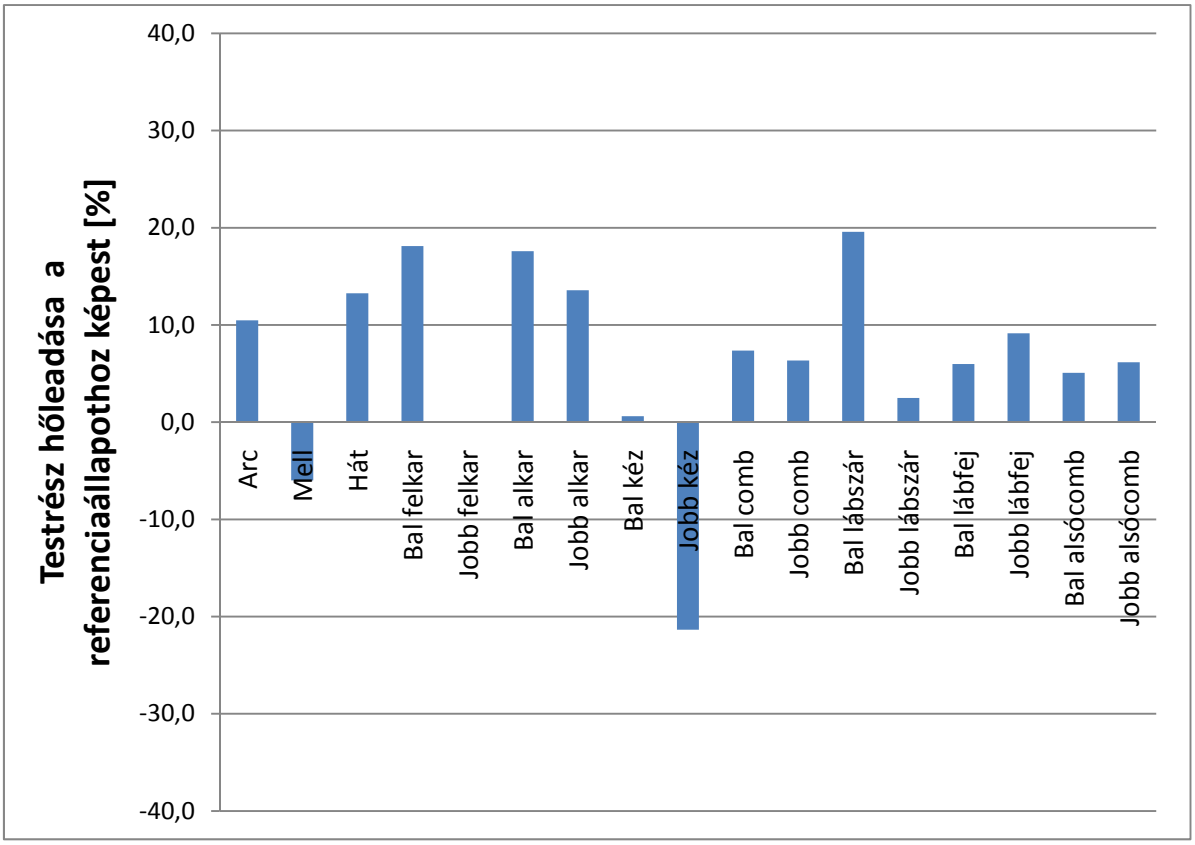
Nr.	Ruházat	Léghőmérséklet	Ablak 1	Ablak 2	Falak	Mennyezet	Padló	Az ablak és az emberi középpont közti távolság
-	clo	°C	°C	°C	°C	°C	°C	m
3.1.2	1,0	22	19,8	19,8	22	22	22	1,1
4.1.2	1,0	22	16,7	16,7	22	33	22	1,1

Mérési eredmények

Az egyes mérések eredményeit egy referenciaállapothoz viszonyítva vizsgáltam, mely a következő volt: minden felület 22°C-os, a ruházat 1,0 clo értékű, a termikus műembert pedig a mérőlabor közepén helyeztem el, ülő helyzetben. A referenciaállapotban mértem a testrészek hőtermelését, a levegő hőmérsékletét tarkó és boka magasságban és a fekete gömbhőmérsékletet és az egyes változatok mérési eredményeit összehasonlítottam a referenciaállapotban mért értékekkel. A peremfeltételeket a 4.10. - 4.13. táblázat, a mérési eredményeket a 4.34. – 4.37. ábra mutatja.

4.10. táblázat
Mérési peremfeltételek

Nr.	Ruházat	Léghőmér-séklet	Ablak	Falak	Mennyezet	Padló	Az ablak és az emberi középpont közti távolság
-	clo	°C	°C	°C	°C	°C	m
1.1.2	1,0	22	19,8	22	22	22	1,1

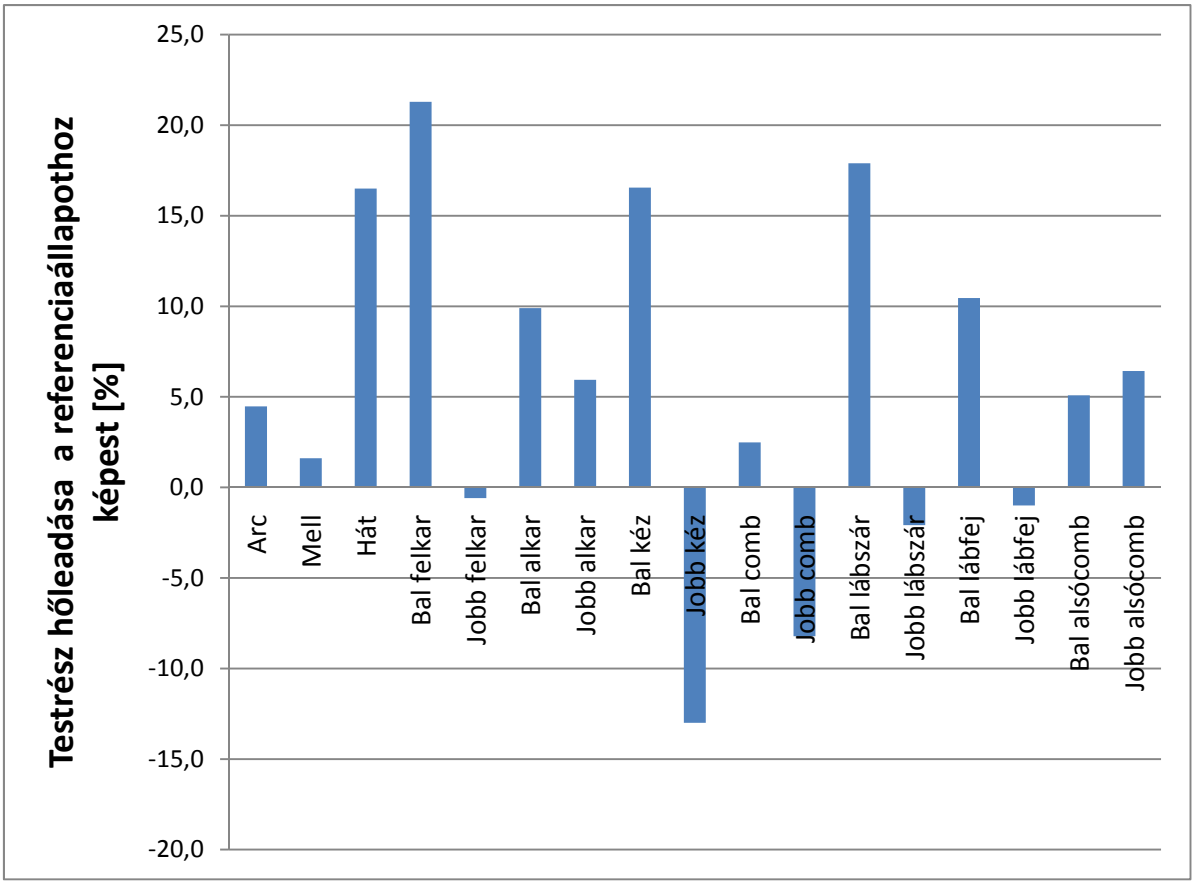


4.34. ábra
Testrészek hőleadása

A referenciaállapothoz képest a test hőtermelése összességében **8,3%**-al nőtt.
Vertikális hőmérsékletkülönbség tarkó és boka magasság között: **0,2°C**
Fekete gömb hőmérséklet: **22,1°C**

4.11. táblázat
Mérési peremfeltételek

Nr.	Ruházat	Léghőmérséklet	Ablak	Falak	Mennyezet	Padló	Az ablak és az emberi középpont közti távolság
-	clo	°C	°C	°C	°C	°C	m
2.1.2	1,0	22	16,7	22	33	22	1,1

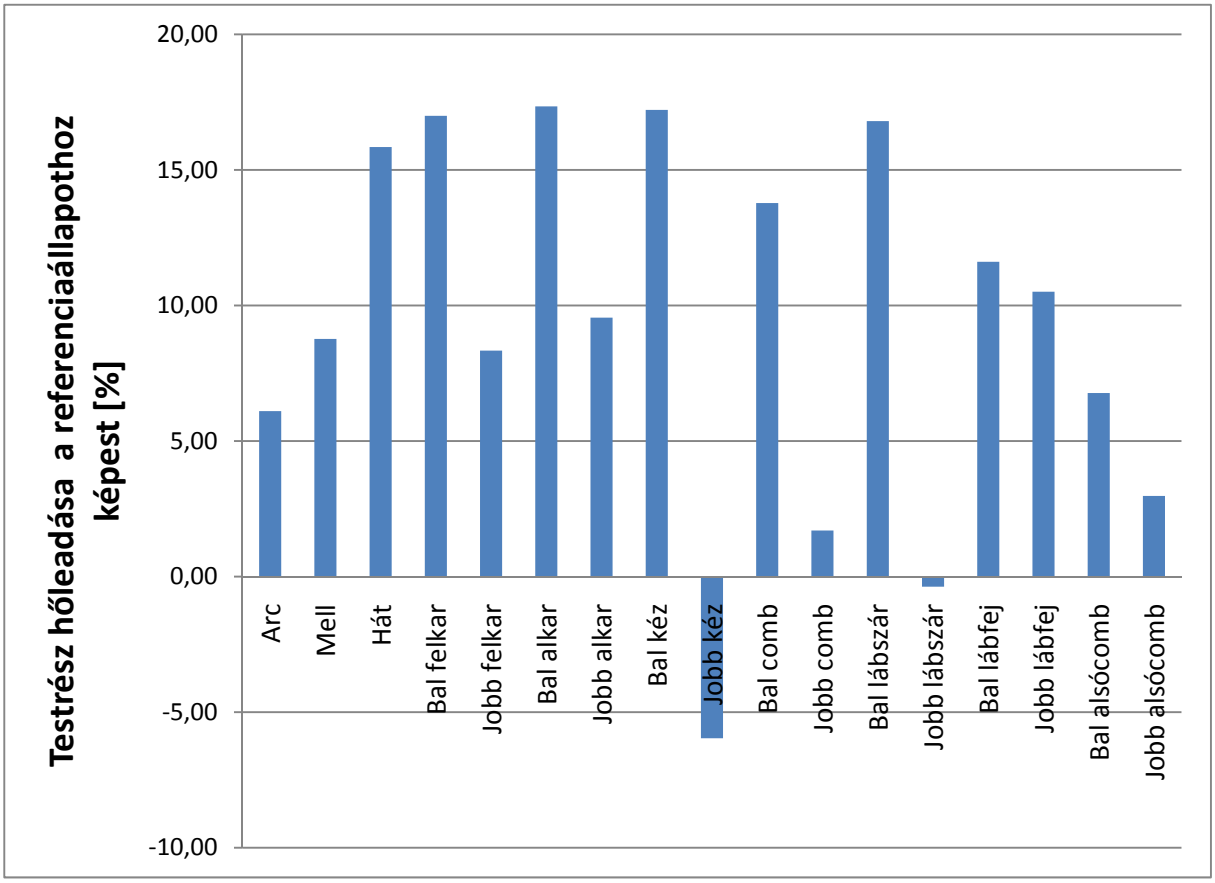


4.35. ábra
Testrészek hőleadása

A referenciaállapothoz képest a test hőtermelése összességében **7,3%**-al nőtt.
Vertikális hőmérsékletkülönbség tarkó és boka magasság között: **0,8°C**
Fekete gömb hőmérséklet: **21,9°C**

4.12. táblázat
Mérési peremfeltételek

Nr.	Ruházat	Léghőmérséklet	Ablak 1	Ablak 2	Falak	Mennyezet	Padló	Az ablak és az emberi középpont közti távolság
-	clo	°C	°C	°C	°C	°C	°C	m
3.1.2	1,0	22	19,8	19,8	22	22	22	1,1

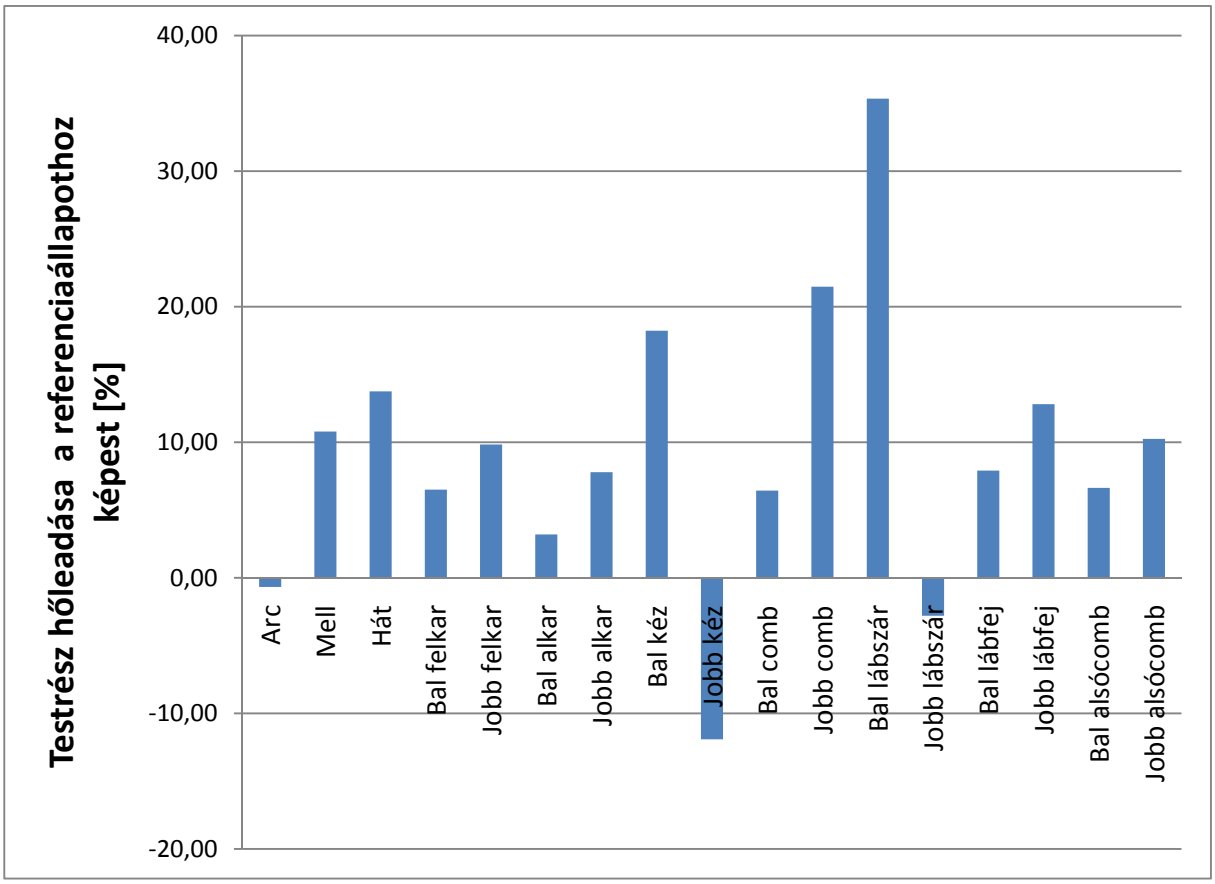


4.36. ábra
Testrészek hőleadása

A referenciaállapothoz képest a test hőtermelése összességében **10,2%-**al nőtt.
Vertikális hőmérsékletkülönbség tarkó és boka magasság között: **0,1°C**
Fekete gömb hőmérséklet: **21,9°C**

4.13. táblázat
Mérési peremfeltételek

Nr.	Ruházat	Léghőmérséklet	Ablak 1	Ablak 2	Falak	Mennyezet	Padló	Az ablak és az emberi középpont közti távolság
-	clo	°C	°C	°C	°C	°C	°C	m
4.1.2	1,0	22	16,7	16,7	22	33	22	1,1



4.37. ábra
Testrészek hőleadása

A referenciaállapothoz képest a test hőtermelése összességében **12,1%-**al nőtt.
Vertikális hőmérsékletkülönbség tarkó és boka magasság között: **0,5°C**
Fekete gömb hőmérséklet: **21,8°C**

Mérési eredmények értékelése

A mérések eredményei az egyes testrészek hőleadásának százalékos változását mutatják a referenciaállapothoz képest. Az 1.1.2. és a 2.1.2. mérések felelnek meg a számításokkal vizsgált ablak melletti munkahelynek, a 3.1.2. és a 4.1.2. mérések pedig a számításokkal vizsgált sarokban lévő, 2 db ablak közelében található munkahelynek felelnek meg.

Az 1.1.2. és a 3.1.2. méréssel vizsgáltam a napközben jellemző üzemállapotot (belső hőterhelés van, ezért a mennyezetfűtés nem üzemel, az ablak(ok) 19,8°C-os(ak)). A 2.1.2. és a 4.1.2. méréssel pedig az éjszakai, ill. hétvégi üzemállapotot (belső hőterhelés nincs, a mennyezet felülete 33°C-os, az ablak(ok) 16,7°C-os(ak)). Mind a négy mérés eredménye alátámasztja a számítások során kapott eredményeket, mivel a termikus műember hőtermelése (hőháztartása) az ablak melletti munkahely esetén összességében alig 7-8%-al, a sarokban lévő munkahely esetén összességében pedig alig 10-12%-al nőtt. Az egyes testrészek hőtermelése kis mértékben eltér attól függően, hogy működik-e a mennyezetfűtés vagy sem, de az eltérés nem jelentős, és az egész emberre vonatkozó hőháztartás változása pedig gyakorlatilag mindkét esetben azonos.

A tarkó és boka magasságában mért levegő hőmérsékletek különbsége kifejezetten alacsony: 0,1-0,8°C közötti hőmérsékletkülönbséget mértem, ami nagyon kedvező érték. Az MSZ CR 1752:2000 szabvány alapján a vertikális hőmérséklet különbséggel elégedetlenek aránya várhatóan 1-2%.

A fekete gömb hőmérséklet függ a környező felületek sugárzási hőmérsékletétől és a levegő hőmérsékletétől, ezért alkalmas a hőérzet minősítésére. A fekete gömb hőmérővel mért hőmérséklet gyakorlatilag az operatív hőmérsékletnek felel meg, mely alapján a vizsgált terek hőmérsékletét minősítjük. A fekete gömb hőmérséklet mért értéke a jellemző üzemállapotban, az ablak melletti munkahely esetén 22,1°C, a sarokban lévő munkahely esetén 21,9°C, ami hőérzeti szempontból megfelelő. A mért értékek a számítással meghatározott operatív hőmérséklet értékkel közel azonosak. A számított és a mért érték közötti eltérést okozhatja, hogy a mérőlaborban a vizsgált munkahelyet körülvevő 22°C falak kis mértékben megnövelik az operatív hőmérsékletet a valós, egyterű helyiséghez képest. A mért fekete gömb hőmérsékletet a fentiek miatt korrigáltam és kiszámítotam a PMV-PPD értéket.

A mérések alapján a jellemző üzemállapotban, a peremzónában a PMV érték -0,14, a PPD érték 5,4%, az MSZ CR 1752:2000 szabvány szerint A kategória. Fentiek alapján megállapítható, hogy a tervezett paraméterek mellett a peremzónában található munkahelyeken dolgozóknál nem alakul ki termikus diszkomfort.

4.6. A ruházat és az ablaktól való távolság hatásának méréses vizsgálata

A következőkben megvizsgáltam, hogy a ruházat hőszigetelő képessége és az ablaktól való távolság hogyan befolyásolja az ember hőháztartását, komfortérzetét. Az előző fejezetben vizsgált 2 alapesetnél a ruházat hőszigetelő képessége 1,0 clo érték volt, a dolgozó ablaktól való távolsága pedig 1,1 méter. A méréseket elvégeztem 0,75 clo értékű ruházatra is, ill. az ablaktól való távolságot 0,6 méterre és 1,3 méterre változtattam. (4.14. táblázat)

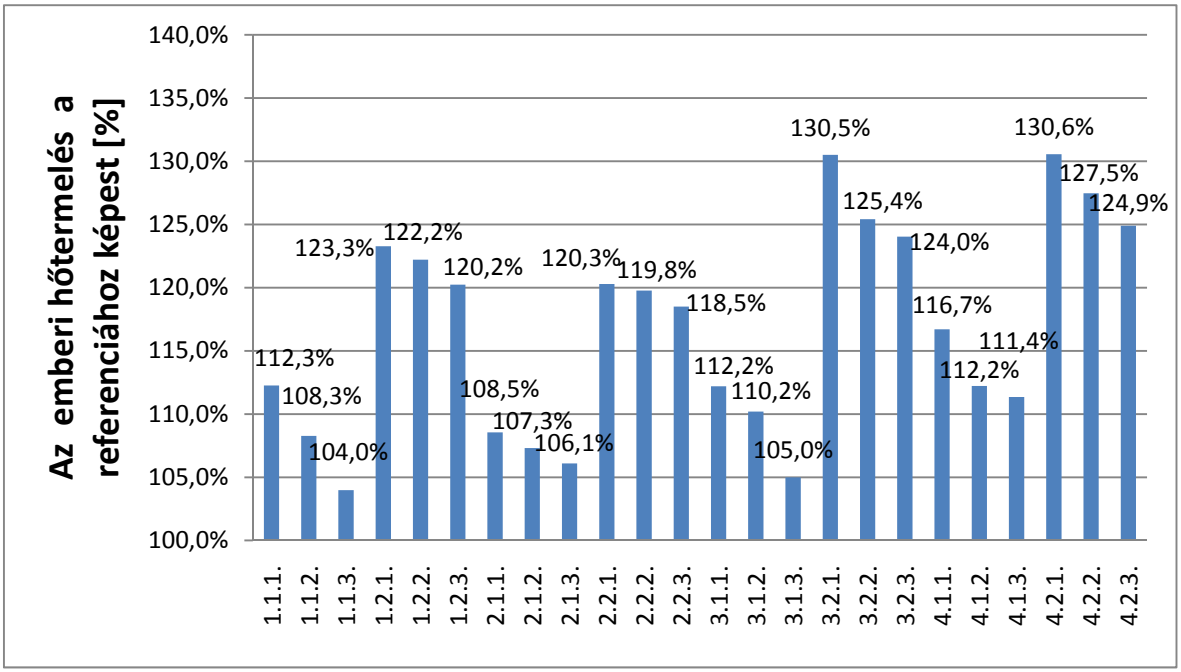
4.14. táblázat
Mérési peremfeltételek

Nr.	Ruházat	Levegő hőmér-séklet	Ablak	Falak	Mennyezet	Padló	Az ablak és az emberi középpont közti távolság
-	clo	°C	°C	°C	°C	°C	m
1.1.1 - 2-3	1,0	22	19,8	22	22	22	0,6 – 1,1 – 1,3
1.2.1 - 2-3	0,75	22	19,8	22	22	22	0,6 – 1,1 – 1,3
2.1.1 -2-3	1,0	22	16,7	22	33	22	0,6 – 1,1 – 1,3
2.2.1 -2-3	0,75	22	16,7	22	33	22	0,6 – 1,1 – 1,3

Nr.	Ruházat	Levegő hőmér-séklet	Ablak 1	Ablak 2	Falak	Mennyezet	Padló	Az ablak és az emberi középpont közti távolság
-	clo	°C	°C	°C	°C	°C	°C	m
3.1.1 -2-3	1,0	22	19,8	19,8	22	22	22	0,6 – 1,1 – 1,3
3.2.1 -2-3	0,75	22	19,8	19,8	22	22	22	0,6 – 1,1 – 1,3
4.1.1 -2-3	1,0	22	16,7	16,7	22	33	22	0,6 – 1,1 – 1,3
4.2.1 -2-3	0,75	22	16,7	16,7	22	33	22	0,6 – 1,1 – 1,3

Mérési eredmények

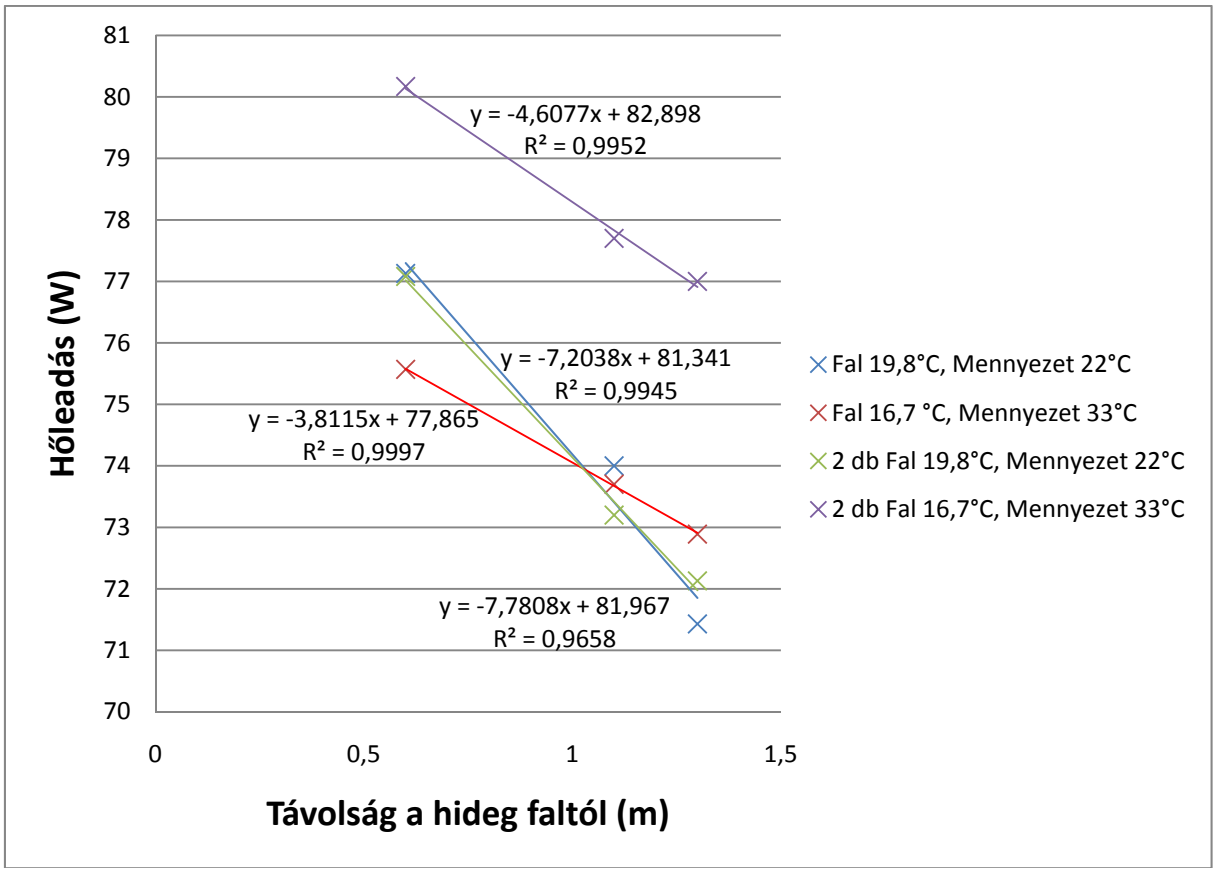
Az emberi test hőtermelésének változását a referenciaállapothoz képest az egyes méréssel vizsgált változatokra a 4.38. ábra mutatja.



4.38. ábra
Az emberi hőtermelés változása a referenciához képest

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.

Az ember hőleadása 1 clo öltözékben a hideg faltól lévő távolság függvényében a 4.39. ábrán látható.



4.39. ábra
Hőleadás változása a hideg faltól lévő 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 (kék görbe) és két (zöld görbe) hideg felület esetén is). Mennyezetfűtés alkalmazásával a csökkenés 4 % volt, de ebben az esetben a saroknál kialakított munkahelynél (két (lila görbe) 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.

4.7. Új tudományos eredmények

1. tézis

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. tézis

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. tézis

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. <u>tézis</u>

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. <u>tézis</u>

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, ezért egyre inkább a megújuló energia alkalmazásának növelésére törekszünk (Farkas et al. 2001).

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 operatív hőmérsékletek mellett, a sugárzási hőmérsékleti 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 hőmérsékleti 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 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 távolságnak a hatását az ember hőleadására.

SUMMARY

During my research work I performed the realization of the aims after the review of the technical literature.

I reviewed the technical literature concerning the measurements of the thermal manikins and indoor climate. The thermal environment is depended from the air temperature, relative humidity, velocity, average radiant temperature of surround surfaces, and activity and clothing of the occupant. The heat balance of the human body is the basic of thermal comfort calculation of occupant spaces. It is expressed by the comfort equation. Comfort equation is based on the heat balance of the all human body, which could be inaccurate in the non-uniform thermal conditions (e.g. different temperature of the surround surfaces).

I prepared a hypothesis for my research using the thermal manikin instead of panel for the comfort investigates. I justified with thermo graphic pictures, that the surface temperatures of the thermal manikin and the panel are within ± 0,5 °C. Using thermal manikin we can measure the heat balance of the human body, the convective and radiant heat transfer of the all body. Depend of number of the segment the resolution could be very high. Using thermal manikin we can model the heat condition of the human body and the distribution of the surface temperature of human skin. I justified that the thermal manikin instead of panel is suitable for thermal comfort investigates. The application is valid not only for the all body, the different part of the body, also.

The heat load and production of human being is influenced by the thermal insulation of clothing. Measuring the surface temperatures of the thermal manikin and the heat production we can calculate the thermal insulation of clothing. Using the thermal manikin I justified the correlation between the thermal insulation of clothing and the environmental temperature.

Function of the equivalent temperature I defined the heat production of the whole human body and the different part of the body. I also defined the specific heat production. I made the measurements with thermal manikin naked and dressed in different clothes. I justified linear relationship between the equivalent temperature and the heat production of the human body. It can give important information for the investigation of the radiant asymmetry and for the medical science researching the different illnesses like kidney disease.

The thermal comfort depends from the radiant asymmetry. I justified with calculation that no possible to use the existing method together for warm ceiling and cool wall. I modelled with thermal manikin the heat production of the human body when we use together the warm ceiling and cool wall. I investigated the correlation between the heat production of the human body and the distance from the cool wall/window.

The results can be use for further thermal comfort investigations and knowledge of the heat transfer of the part of the human body can use for medical science researching different illnesses.

7. MELLÉKLETEK

M1. Irodalomjegyzék

1. Abel, A., Elmroth, A. (2007): Buildings and Energy – a systematic approach. Stockholm: Formas. p. 285.

2. Anttonen, H., Niskanen, J., Meinander, H., Bartels, V., Kuklane, K., Reinertsen, R. E., Varieras, S., Soltynski, K. (2004): Thermal Manikin Measurements – Exact or Not? *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE)*, 10 (3) pp. 291-300.

3. ASHRAE [2009]: ASHRAE Handbook – Fundamentals. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc. p. 996.

4. ASHRAE Standard 55:2010: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, USA.

5. Bánhidi, L. (1976): Zárt terek hőérzeti méretezése. Budapest: Műszaki Könyvkiadó. p. 274.

6. Bánhidi, L. (1994): Ember, épület energia. Budapest: Akadémiai Kiadó. p. 517.

7. Bánhidi, L., Kajtár L. (2000): Komfortelmélet. Budapest: Műegyetemi kiadó. p. 437.

8. Bánhidi, L., Magyar Z., Révai T. (2010): Oknyomozó történelem termikus műemberrel. *Magyar Épületgépészet*, 59 (11) pp. 6-10.

9. Bischof, W., Madsen, T.L., Bánhidi, L. (1991): Physiological adaptation of thermal manikins. Oxford: Pergamon Press. pp. 147-150.

10. Burton, A.C., Edholm, O.G. (1955): Man in cold environment. London: Edward Arnold, London. p. 333

11. Candas, V. (1999): Use of a thermal manikin for prediction of local effects of thermal asymmetry and consequent discomfort risks. Proceedings of the Third International Meeting on Thermal Manikin (3IMM). National Institute for working life, Stockholm, Sweden, October 12-13, 1999. pp. 29-33.

12. ENV 342:1998. Protective clothing – ensembles for protection against cold. Brussels, Belgium: CEN.

13. Fan, J., Keighley, J. (1991): An investigation on the effects of body motion, clothing design and environmental conditions on the clothing thermal insulation by using a fabric manikin. *International Journal of clothing sciences and technology*, 3 (5) pp. 6-13.

14. Fanger, P.O. (1970): Thermal Comfort: analysis and applications in environmental engineering. Copenhagen: Danish Technical Press. p. 244.

15. Fanger, P.O., Bánhidi, L., Olesen, B.W., Langkilde, G. (1980): Comfort limits for heated ceilings. *ASHRAE Transactions,* 86 (2) pp. 141-156.

16. Farkas, I., Lágymányosi, A., Buzás, J.(2001): Tetőbe integrált napkollektoros rendszer családi ház melegvíz-ellátására. *Magyar Energetika,* 9 (4) pp. 40-44.

17. Gao, N.P., Zhang, H., Niu, J.L. (2007): Investigating indoor air quality and thermal comfort using a numerical thermal manikin. *Indoor and built environment*, 16 (1) pp. 7-17.

18. Goldman, R. F. (2006): Thermal manikins, Their origins and role. Fan, J. (szerk.): Thermal manikins and modelling. Sixth International Thermal Manikin and Modelling Meeting. Hong Kong, 16-18 October, 2006. pp. 3-18.

19. Havenith, G. (2008): Experimental heated, breathing and sweating manikins. http://www.cibse.org/content/Groups/Natural_Ventilation/Thermal_Comfort_18_Nov_2008/George%20Havenith.pdf

20. Hegedűs, L. (2008): Humán infraemissziós képalkotás lehetőségei. Budapest: BME, Egészségügyi Mérnökképzés, előadás tananyag.

21. Holmer, I. (1995): Heated manikins as a tool for evaluating clothing. *Annals of Occupational Hygiene*, 3 (6) pp. 809-818.

22. Holmer, I. (1999): Thermal manikins in research and standards. Proceedings of the Third International Meeting on Thermal Manikin (3IMM). National Institute for working life, Stockholm, Sweden, October 12-13, 1999. pp. 1-7.

23. ISO/DIS 15831:2001. Measurement of thermal insulation by means of a thermal manikin.

24. ISO/FDIS 9920:2007. Ergonomics of the thermal environment – Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble.

25. Joó, R.: Mennyezeti sugárzó fűtés hőkomfortra gyakorolt hatása nagy felületű nyílászárók közelében, *Magyar Installateur,* 21 (6) pp. 34-35.

26. Macskásy, Á., Bánhidi, L. (1985): Sugárzó fűtések. Budapest: Akadémiai Könyvkiadó. p. 94.

27. Madsen, T.L. (1980): Definition and measurement of local thermal discomfort parameters. *ASHRAE Transactions*, 86 (1) pp. 23-33.

28. Magyar, Z., Mottl, G., Nyitrai, Gy. (1997): Thermal Comfort Investigation for Wall and Ceiling Heating. Healthy Building/IAQ'97 Conference. Washington DC, USA, September 28-October 2, 1997 (3) pp. 185-190.

29. Magyar, Z. (2006): Az Épületenergetikai irányelv és a belső környezet kapcsolata. *Magyar Épületgépészet*, 55 (1) pp. 1-2.

30. Magyar, Z. (2011 a): Termikus műember alkalmazása hőkomfort vizsgálatokhoz. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia - ÉPKO 2011. Csíksomlyó, 2011. június 2-5. pp. 347-352.

31. Magyar, Z. (2011 b): Measurements with Thermal Manikin. *Instalatorul*, Romania. 2011 (8). (befogadva, megjelenés alatt)

32. Magyar, Z., Ambrus, Cs. (2011): Sugárzási hőmérséklet aszimmetria vizsgálata termikus műemberrel. *Magyar Épületgépészet*, 60 (6) pp. 1-5.

33. McCullough, E., Jones, B., Huck, J. (1985): A comprehensive data base for estimating clothing insulation. *ASHRAE Transactions*, 91 (2) pp. 29-47.

34. MSZ CR 1752:2000. Épületek szellőztetése. Épületek belső környezetének tervezési alapjai. Budapest: Magyar Szabványügyi Testület.

35. MSZ EN ISO 7730:2006. A hőmérsékleti környezet ergonómiája. A hőkomfort analitikus meghatározása és megadása a PMV- és a PPD-index kiszámításával, valamint a helyi hőkomfort kritériumai. Budapest: Magyar Szabványügyi Testület.

36. MSZ EN 15251:2008. Épületek energia-teljesítőképességének tervezésére és becslésére, levegőminőségére, hőmérsékletére, fény- és akusztikai viszonyaira vonatkozó beltéri bemeneti paraméterei. Budapest: Magyar Szabványügyi Testület.

37. Nilsson, H., Holmer, I. (1993): Impact of seat on thermal comfort. Proceedings Of Indoor Air 93: The 6th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Helsinki, Finland, July 4 - 8. 1993. pp. 127-132.

38. Nilsson, H., Holmer, I., Holmberg, S., Sandberg, S. (2000): Thermal climate assessment in office environment – CFD calculations and thermal manikin measurements. Roomvent 2000 Conference. Reading, UK, 9-12 July 2000. pp. 107-112.

39. Nilsson, H. (2004): Comfort Climate Evaluation with Thermal Manikin Methods and Computer Simulation Models. Doktori tézis. Arbete och Hälsa 2004:2. p. 202.

40. Olesen, B. (1982): Effect of body posture and activity on the thermal insulation of clothing: Measurements by a movable thermal manikin. *ASHRAE Transactions*, 88 (2) pp. 791-805.

41. Omori, T., Yang, J.H., Kato, S., Murakami, S. (É.n.): Coupled simulation of convection and radiation on thermal environment around an accurately shaped human body. http://venus.iis.u-tokyo.ac.jp/doc_happyo/database_pdf/2004/0409k07.pdf

42. Parsons, C. K., (1988): Protective clothing: heat exchange and physiological objectives. *Ergonomics*, 31 (7) pp. 991-1007.

43. Rahne, E. (É.n.): Hőképfelvételek készítése szakmai szemmel. http://www.pim-kft.hu/5szakmai_anyagok/15_hokepfelvetel_2.pdf

44. Révai, T., Halász, M., Magyar, Z., Bánhidi, L., Lenkovics, L., Laborcz, Gy. (2011a): A doni katonaruházat minősége és viselési komfortja – egy vizsgálat tapasztalatai. *Magyar Textil Technika*, 2011 (1) pp. 31-33.

45. Révai, T., Magyar, Z., Bánhidi, L. (2011b): Don kanyarban viselt katonaruházat hőszigetelő képessége és az adott ruházatot viselő katonák hőleadása. *Sereg Szemle*, 2011 (4). (befogadva, megjelenés alatt)

46. Révai, T., Magyar, Z. (2011c): Behavioral Comfort and Nutritional Problems of the Hungarian Soldiers in World War II. *Pakistan Journal of Nutrition,* 2011 (10). (befogadva, megjelenés alatt)

47. Tamura, T. (2006): Development of a two-layer movable sweating thermal manikin. http://www.jniosh.go.jp/en/indu_hel/pdf/indhealth_44_3_441.pdf

48. Tanabe, S., Arens Edward, A., Bauman, F., Zhang, H., Madsen, T. (1994): Evaluating thermal environments by using a thermal manikin with controlled skin surface temperature. *ASHRAE Transactions,* 100 (1), pp. 18-22.

49. Technom Kft. (É.n.): Izotermás mérések http://www.technom.hu/tevekenyseg.php#anchor3

50. Thermal Infrared Remote Sensing (É.n.) http://www.omega.com

51. Treeck, V.C., Frisch, J., Egger, M., Rank, E. (2009): Model adaptive analysis of indoor thermal comfort. Eleventh International IBPSA Conference. Glasgow, Scotland, 27-30 July, 2009. pp. 8-9.

52. Tomonori, Sakoi, T., Tsuzuki, K., Kato, S., Ooka, R., Song, D., Zhu, S. (2006): A three-dimensional human thermal model for non-uniform thermal environments. Fan, J. (szerk.): Thermal Manikins and Modelling. Sixth International Thermal Manikin and Modelling Meeting. Hong Kong, 16-18 October, 2006. pp. 77-88.

53. Vajdáné, F. I. (2006): A sugárzási hőmérséklet aszimmetria emberre gyakorolt hatásának vizsgálata. Doktori értekezés. Budapest: BME Épületgépészeti Tanszék.

54. Wargocki, P., Seppanen, O. (2006): Indoor Climate and Productivity in Offices. Brussels: REHVA. p. 76.

55. Wyon, D.P. (1989): Use of thermal manikins in environmental ergonomics. *Scand J Work Environ Health*; 15 (1), pp. 84-94.

56. Zhihua, J., Yuhang, S (1999): Standardisation of measuring clothing thermal resistance with thermal manikin. Proceedings of the Third International Meeting on Thermal Manikin (3IMM). National Institute for working life, Stockholm, Sweden, October 12-13, 1999. pp. 12-17.

M2. Az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációk

Lektorált cikk világnyelven

1. **Magyar, Z**. (2011): Measurements with Thermal Manikin. *Instalatorul*, Romania. 2011 (8). (befogadva, megjelenés alatt)

2. **Magyar, Z**., Révai, T. (2011): Behavioral Comfort and Nutritional Problems of the Hungarian Soldiers in World War II. *Pakistan Journal of Nutrition*, Pakisztán. (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**. (2006): Az Épületenergetikai irányelv és a belső környezet kapcsolata. *Magyar Épületgépészet*, 55 (1) pp. 1-2.

4. **Magyar, Z**., Ambrus, Cs. (2011): Sugárzási hőmérséklet aszimmetria vizsgálata termikus műemberrel. *Magyar Épületgépészet*, 60 (6) pp. 1-5.

5. 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.

6. Révai, T., **Magyar, Z**., Bánhidi, L. (2011): Don kanyarban viselt katonaruházat hőszigetelő képessége és az adott ruházatot viselő katonák hőleadása. *Sereg Szemle*, 2011 (4). (befogadva, megjelenés alatt)

7. Révai, T., **Magyar, Z**., Bánhidi L., Lenkovics, L., Laborc, Gy. (2011): Don kanyarban viselt katonaruhába öltöztetett műemberen végzett hőérzeti mérések. *Sereg Szemle*, 2011 (3). (befogadva, megjelenés alatt)

Nemzetközi konferencia proceedings

1. Antalovits, M., Bánhidi, L., Dombi, I., Izsó, L., Láng, E., **Magyar, Z**., Majoros, A. (1995): New Measuring Method of Combined Effects. Healthy Building Conference'95: Proceedings of the 4th International Conference. Milano, Italy, 10-14 September, 1995. 1995 (3) pp. 1425 – 1431.

2. Bánhidi, L., Antalovits, M., Dombi, I., Izsó, L., Láng, E., **Magyar, Z.**, Majoros, A. (1996): A New Psychological, Ergonomic Measurement Method of the Combineed Effects of Heat, Noise and Lighting on Mental Performance. Indoor Air '96: Proceedings of the 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate. Nagoya, Japan, 21-26 July, 1996. pp. 1013-1018.

3. Bánhidi, L., Antalovits, M., Izsó, L., **Magyar, Z**., Molnár, L. (1993): Some New View Points of Laboratory Measurements with Subjects. Indoor Air'93: Proceedings of the 6th International Conference on Indoor Air Quality and Climate. Helsinki, 4-8 July 1993. pp. 749 – 754.

4. Bánhidi, L.,, Erdősi, I, Csoknyai, I, **Magyar, Z**, Haller, L (1992): The new climate chamber of the department of building service engineering I. of the Technical University Budapest. Slovak Society of Environmental Technology Indoor Air International. Prága: Academia. pp. 81-90.

5. Bánhidi, L., Láng, E., Antalovits, M., Izsó, L., Mitsányi, A., Zsuffa, A., **Magyar, Z.**, Dombi, I. (1994): A Complex Psycho-physiological Method to Assess Environmental Effects. Healthy Buildings'94: Proceedings of the 3rd International Conference. Budapest, Hungary, 22-25 August, 1994. 1994 (3) pp. 799 - 803.

6. Bánhidi, L, **Magyar, Z**., Molnár, L. (1994): Results and Finding of the Thermal Sub-project of the Pilot Study of Combined Effects. Healthy Buildings'94: Proceedings of the 3rd International Conference. Budapest, Hungary, 22-25 August, 1994. 1994 (1) pp. 115 - 120.

7. Izsó, L., Láng, E., Bánhidi, L., **Magyar, Z**. (1995): Ambulatory Assessment of Mental Effort by a Computer Supported System. Seventh European Congress on Work and Organizational Psychology. Győr, Hungary, 19-22 April, 1995. pp. 92-93.

8. Kovács, L., **Magyar, Z**., Bánhidi, L. (1994): Knowledge-based Computer Support to Thermal Environment Design. Roomvent'94 Conference. Krakow, Poland, 15-17 June, 1994. 1994 (1) pp. 639 – 652.

9. **Magyar, Z**., Kovács, L. (1994): Knowledge-based Computer Support to Indoor Air Quality Engineering with Special Respect to Office Buildings. Healthy Buildings'94: Proceedings of the 3rd International Conference. Budapest, Hungary, 22-25 August, 1994. 1994 (2) pp. 419-425.

10. **Magyar, Z**., Mottl, G., Nyitrai, Gy. (1997): Thermal Comfort Investigation for Wall and Ceiling Heating. Healthy Building/IAQ'97 Conference. Washington DC, USA, September 28-October 2, 1997 (3) pp. 185-190.

Magyar nyelvű konferencia proceedings

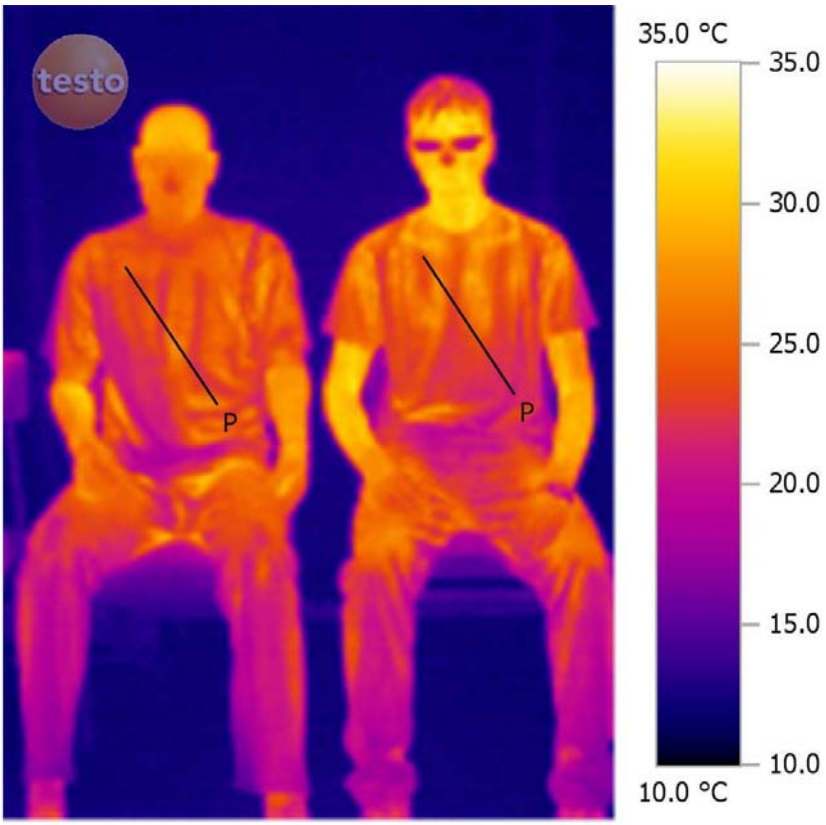
1. **Magyar, Z**. (2011): Termikus műember alkalmazása hőkomfort vizsgálatokhoz. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia - ÉPKO 2011. Csíksomlyó, 2011. június 2-5. pp. 347-352.

Egyéb

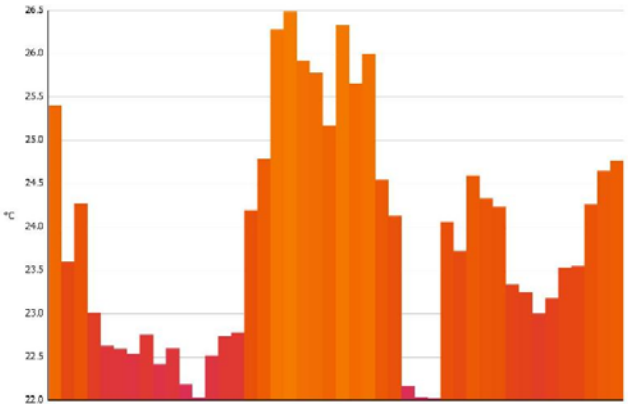
1. Révai, T., **Magyar, Z.,** Bánhidi, L., Lenkovics, L., Laborc, Gy. (2010): Don kanyarban viselt katonaruhába öltöztetett műemberen végzett hőérzeti mérések. Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Egyetemi Központi Könyvtár. http://portal.zmne.hu/portal/page?_pageid=34,146684,34_146722&_dad=portal&_schema=PORTAL

2. Révai, T., **Magyar, Z.,** Bánhidi, L. (2011): Don kanyarban viselt katonaruházat hőszigetelő képessége és az adott ruházatot viselő katonák hőleadása. Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Egyetemi Központi Könyvtár. http://portal.zmne.hu/portal/page?_pageid=34,146684,34_146722&_dad=portal&_schema=PORTAL

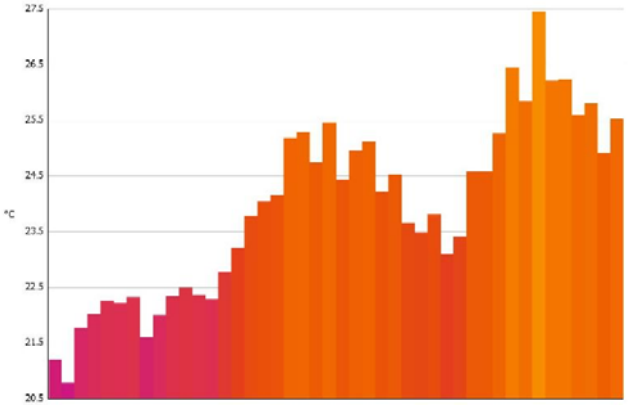
M3. A termikus műember és az élő alanyok termovíziós felvételei 15 °C-os környezeti hőmérsékleten

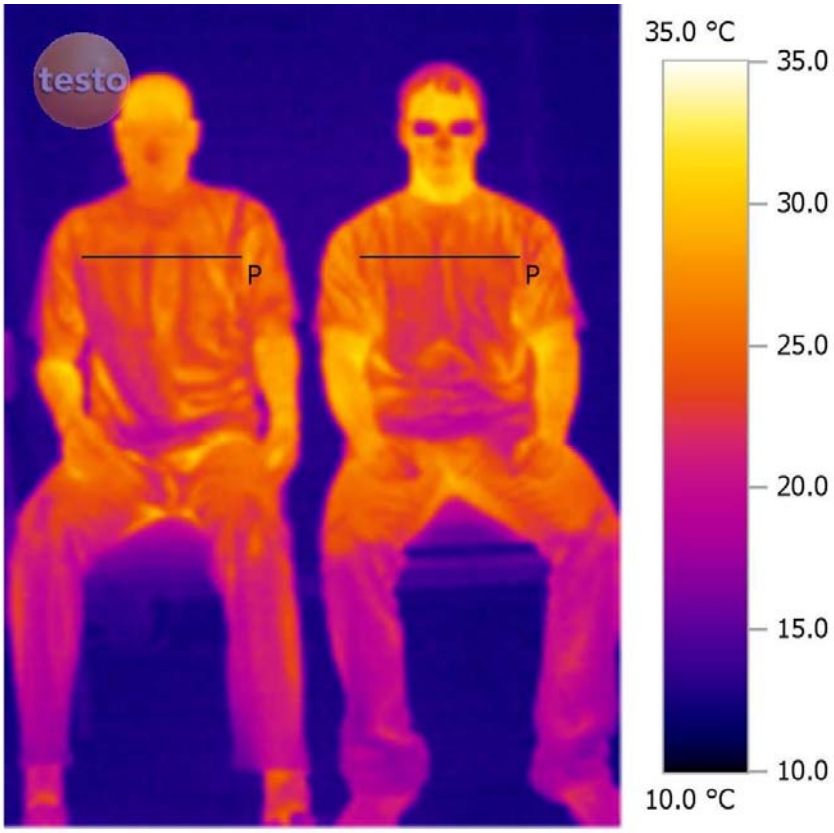


Minimum: 22.0 °C Maximum: 26.5 °C
Középérték: 23.9 °C



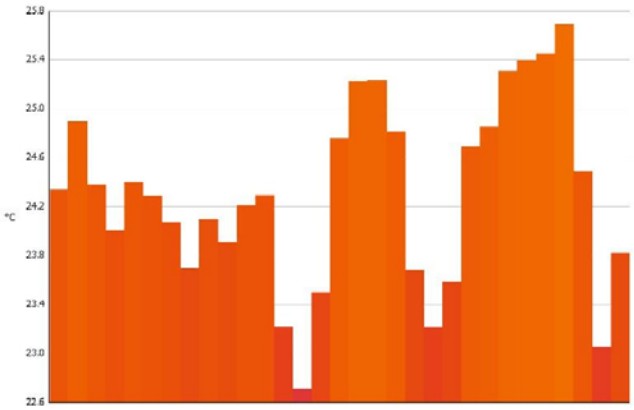
Minimum: 20.8 °C Maximum: 27.5 °C
Középérték: 23.9 °C





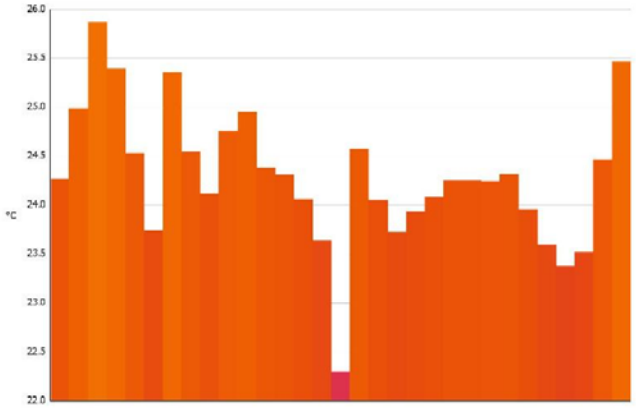
Minimum: 22.7 °C Maximum: 25.7 °C

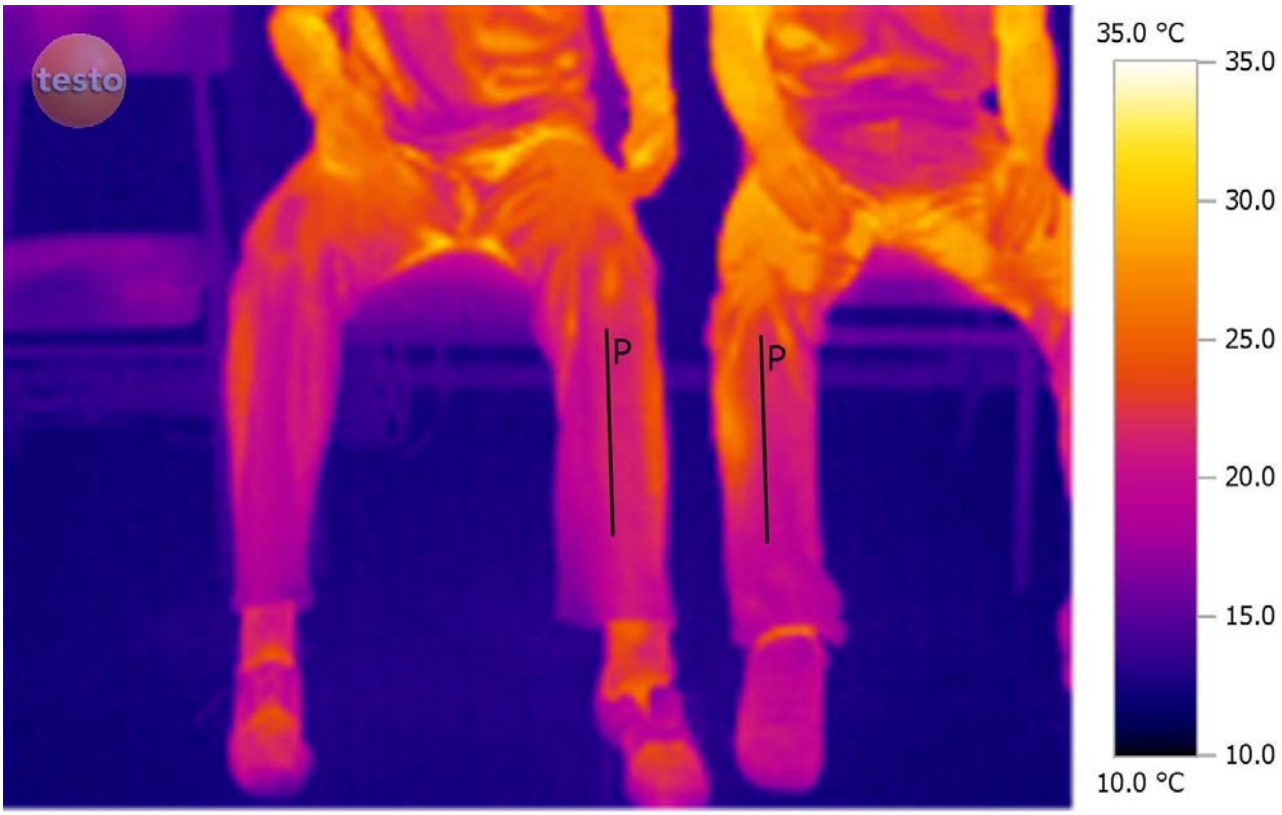
Középérték: 24.3 °C

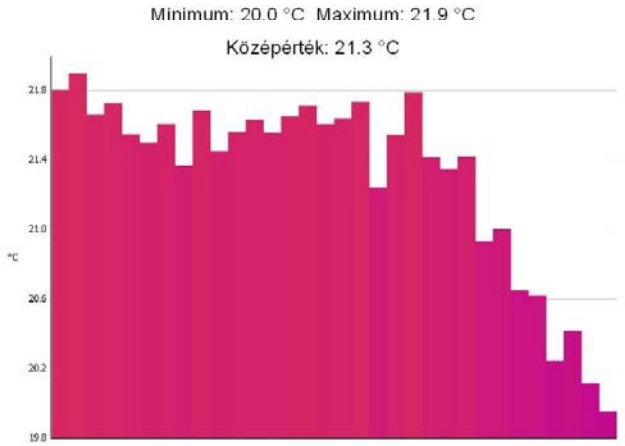


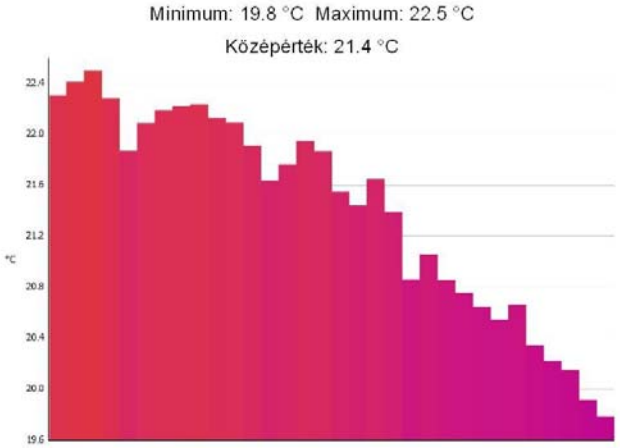
Minimum: 22.3 °C Maximum: 25.9 °C

Középérték: 24.3 °C

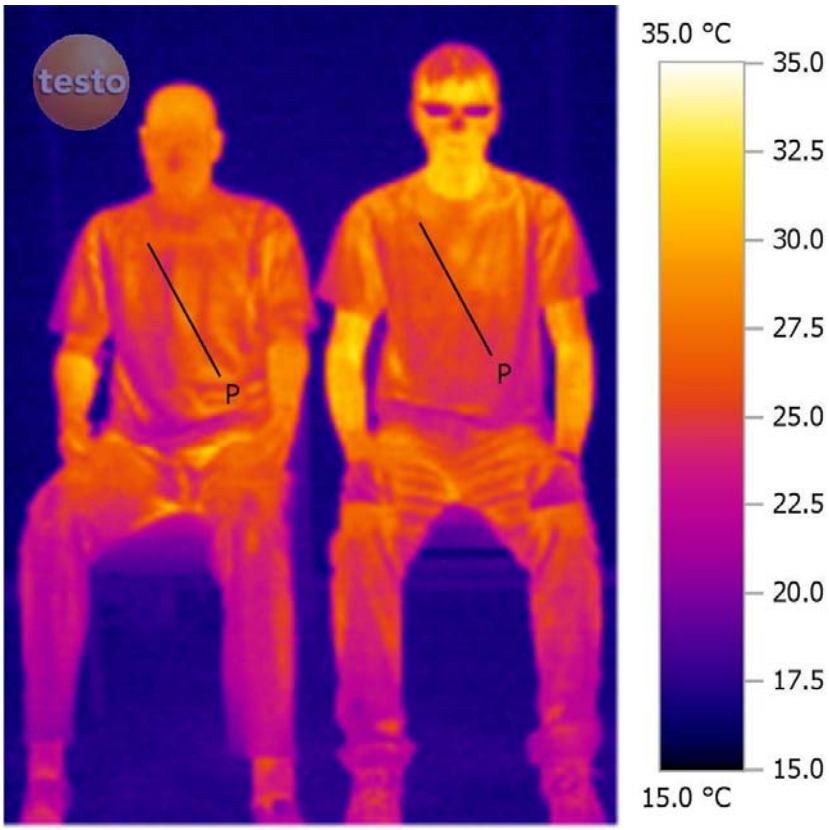


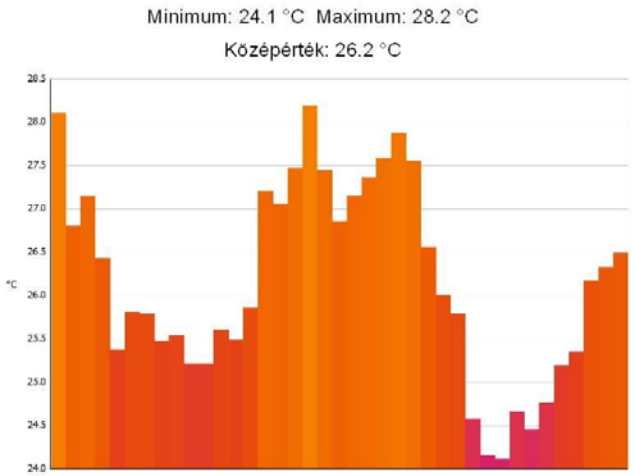

testo
P
P
35.0 °C
35.0
30.0
25.0
20.0
15.0
10.0
10.0 °C

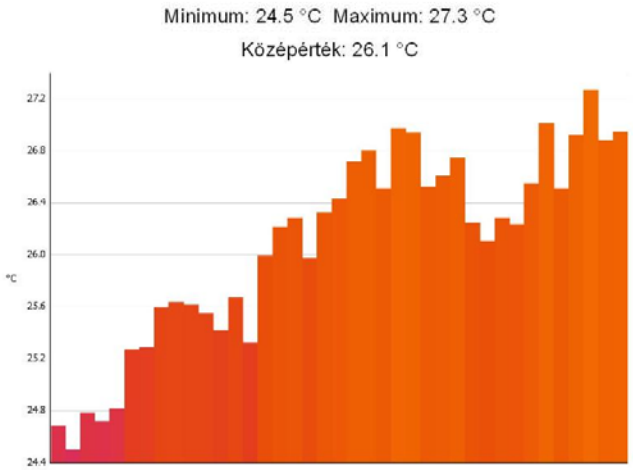

Minimum: 20.0 °C Maximum: 21.9 °C
Középérték: 21.3 °C
21.8
21.4
21.0
20.6
20.2
19.8
°C

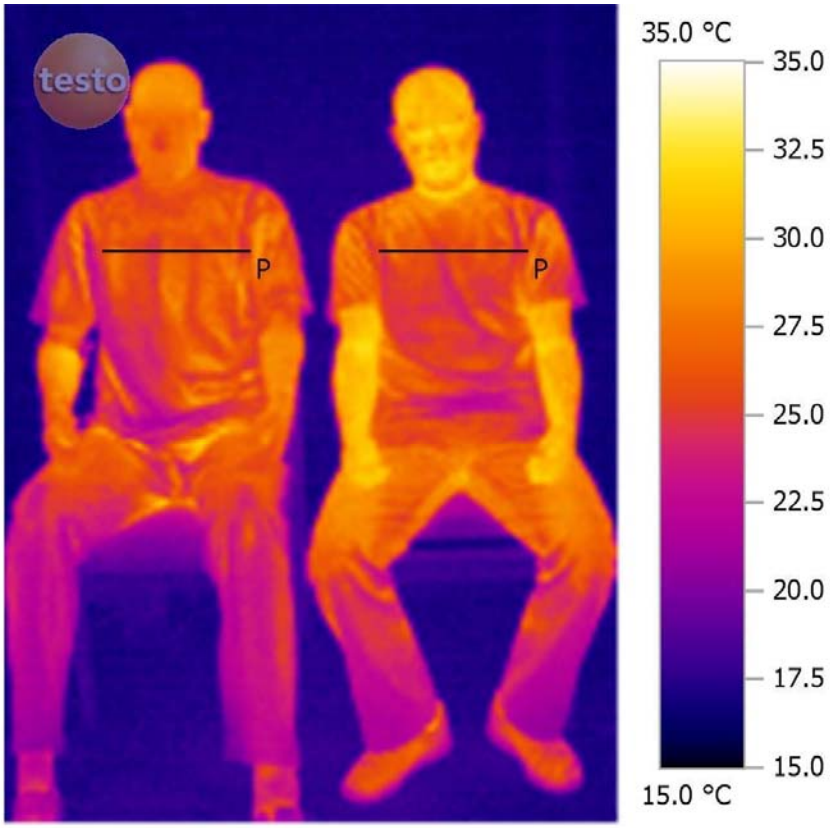

Minimum: 19.8 °C Maximum: 22.5 °C
Középérték: 21.4 °C
22.4
22.0
21.6
21.2
20.8
20.4
20.0
19.6
°C

M4. A termikus műember és az élő alanyok termovíziós felvételei 20 °C-os környezeti hőmérsékleten



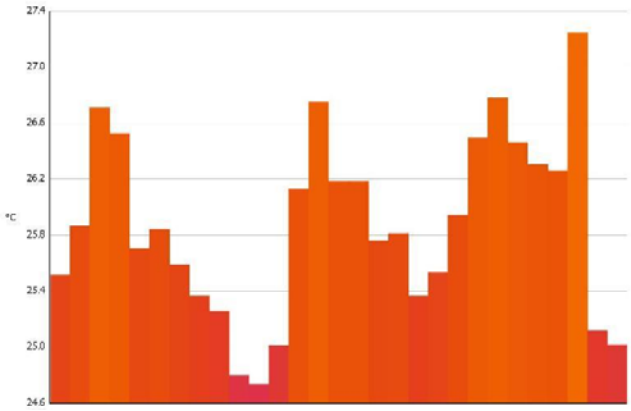






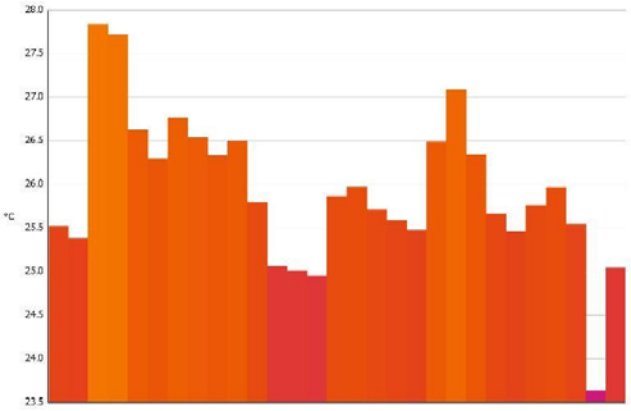
Minimum: 24.4°C Maximum: 27.2 °C

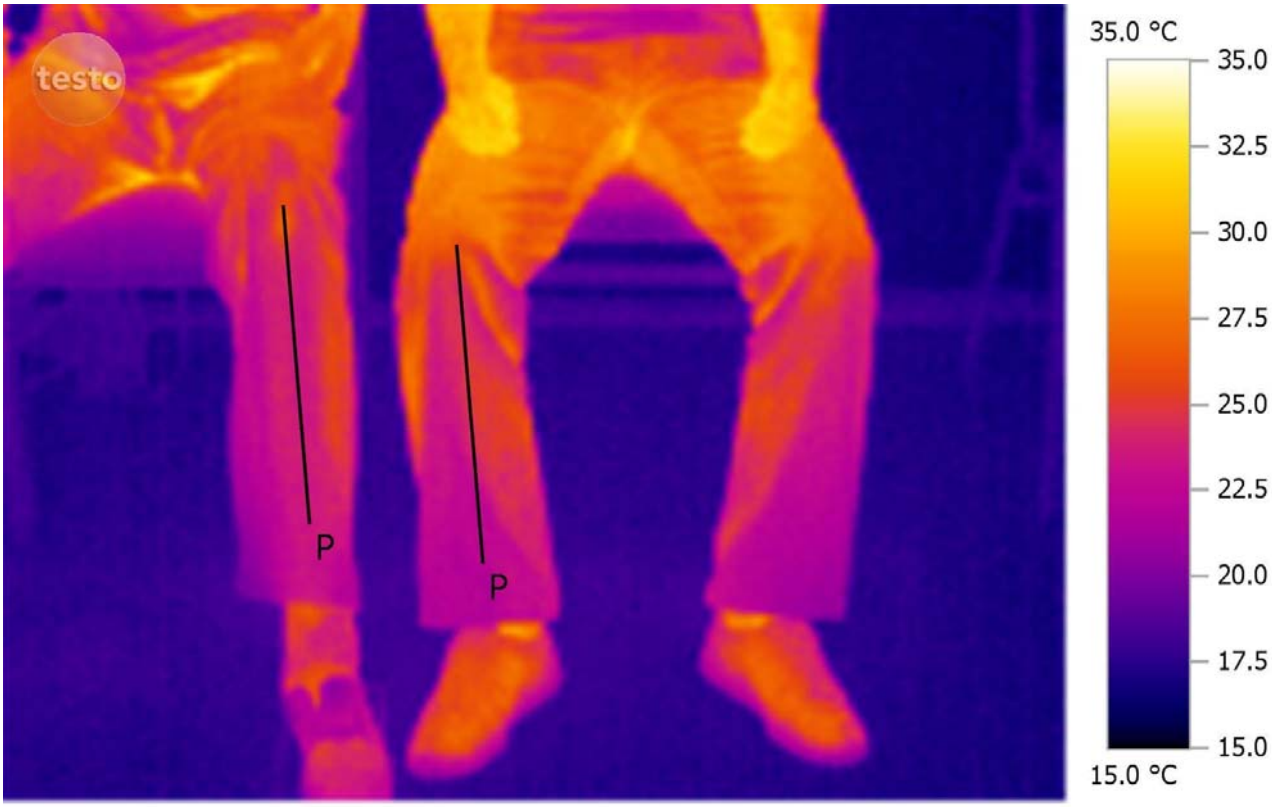
Középérték: 25.9 °C



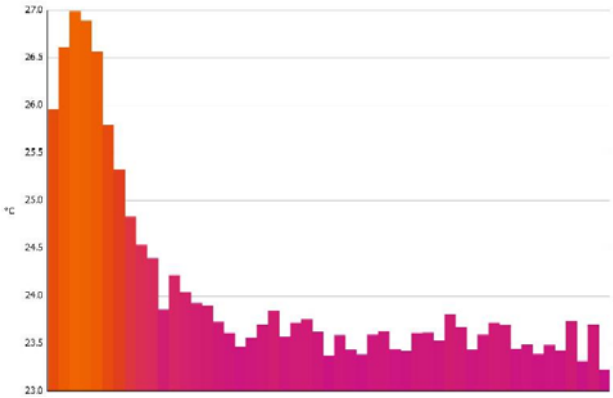
Minimum: 23.6°C Maximum: 27.8 °C

Középérték: 25.9 °C

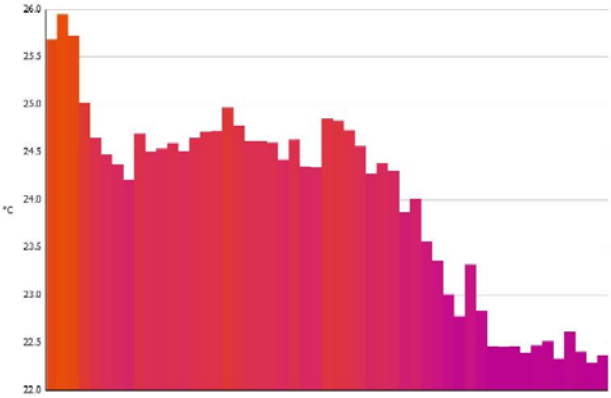




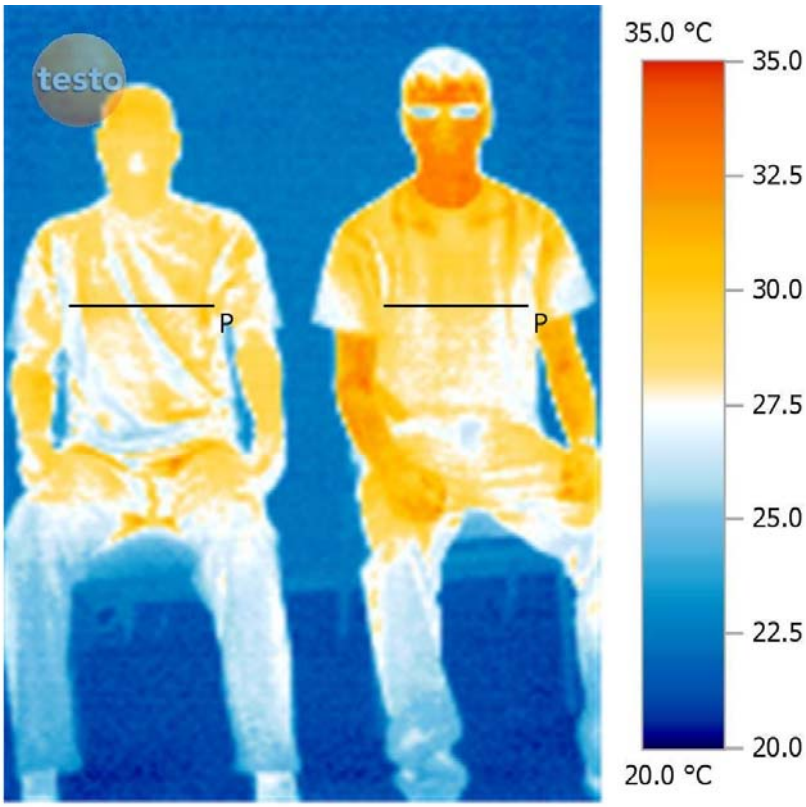
Minimum: 23.2°C Maximum: 27.0 °C
Középérték: 24.0 °C

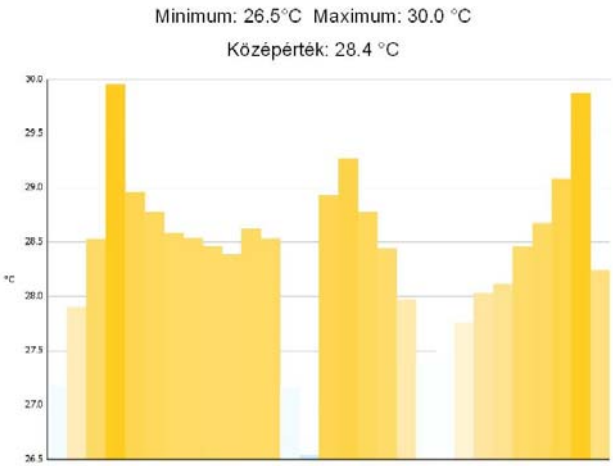


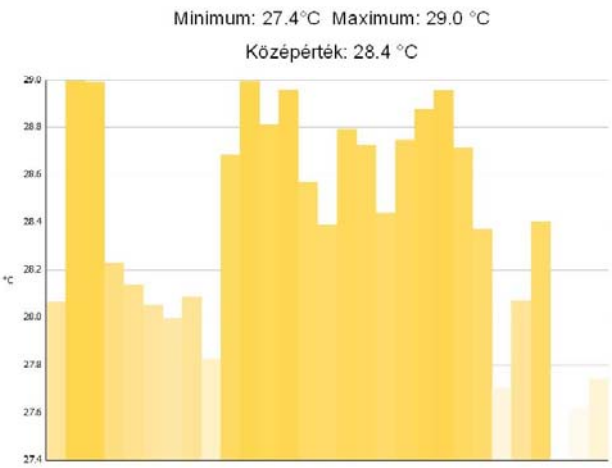
Minimum: 22.3°C Maximum: 26.0 °C
Középérték: 24.0 °C

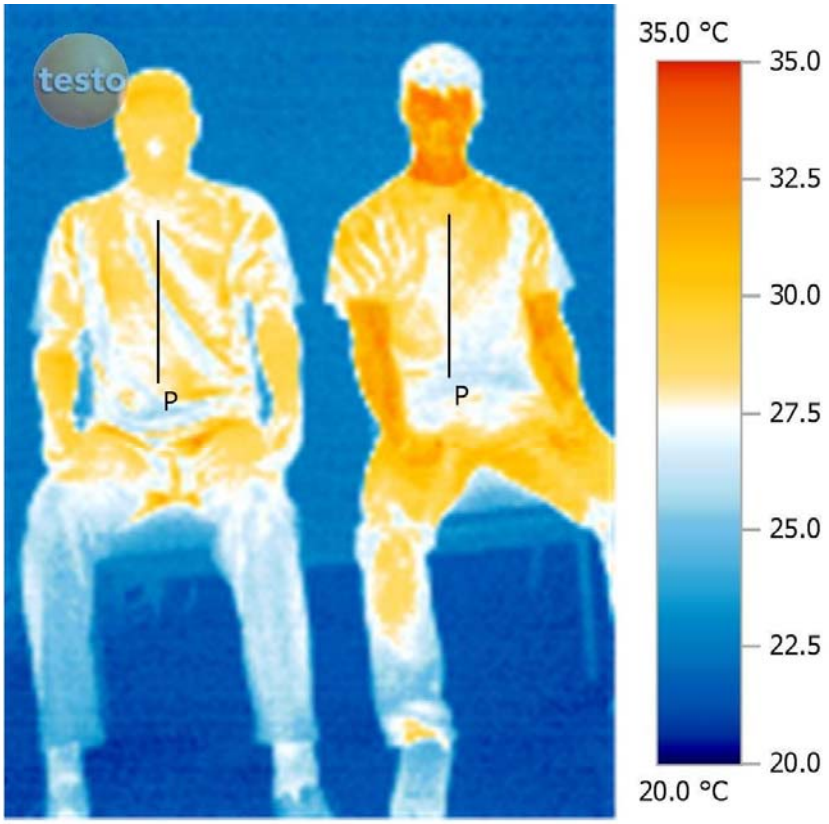


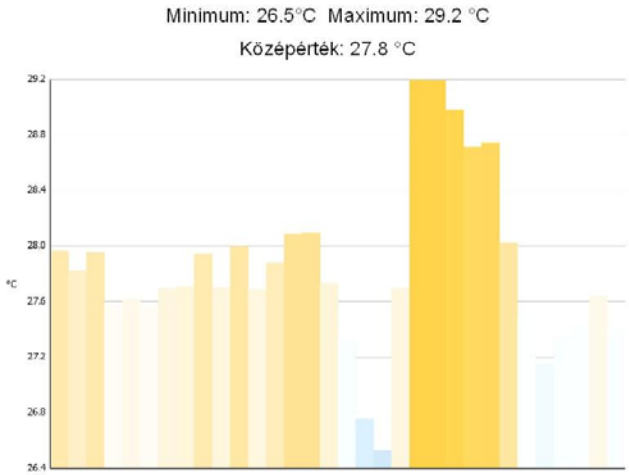
M5. A termikus műember és az élő alanyok termovíziós felvételei 25 °C-os környezeti hőmérsékleten

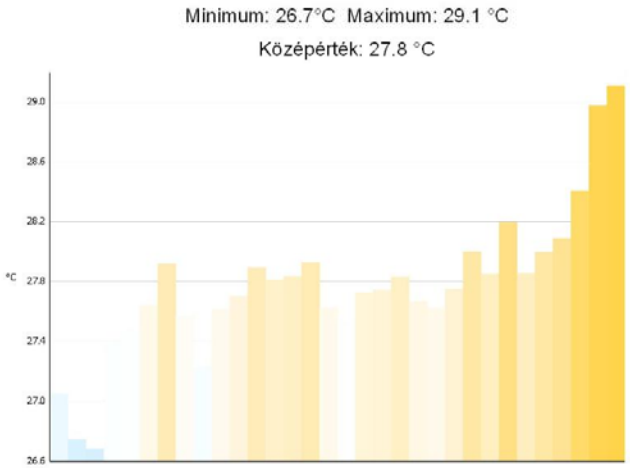


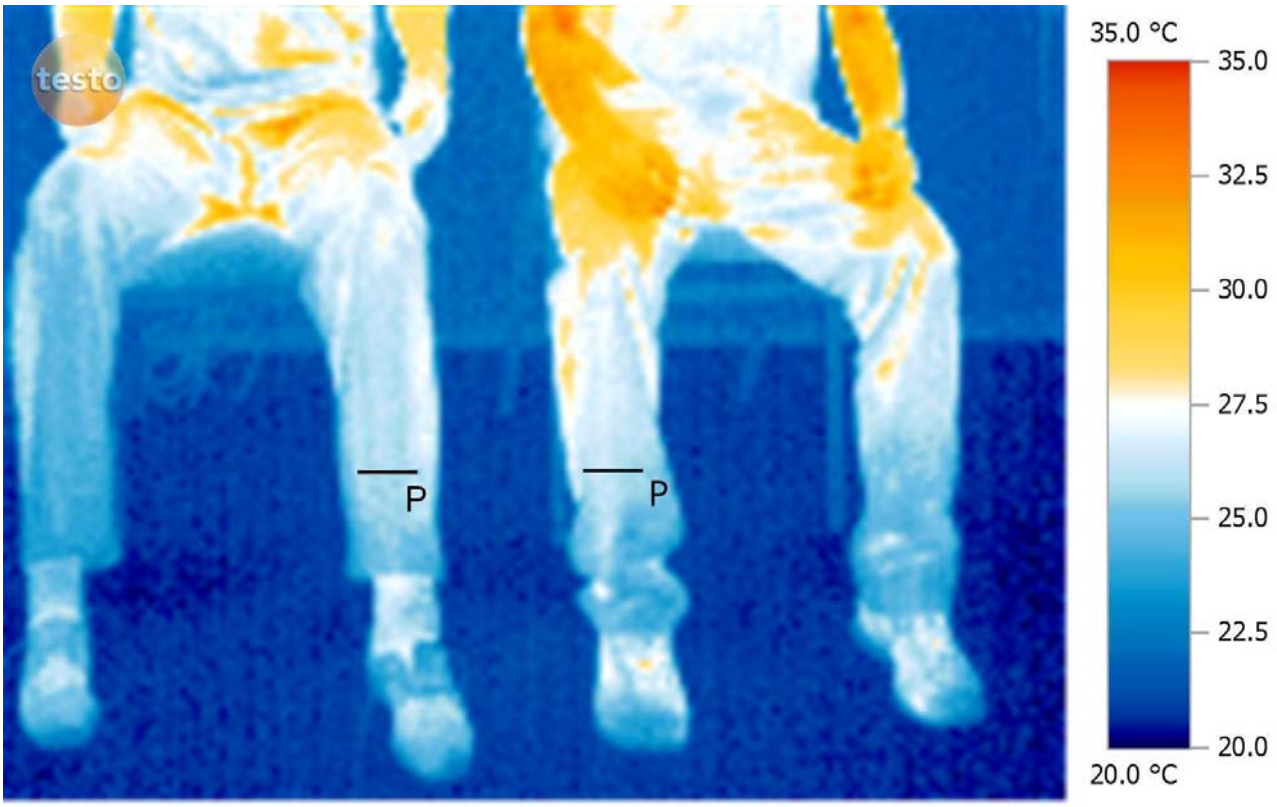


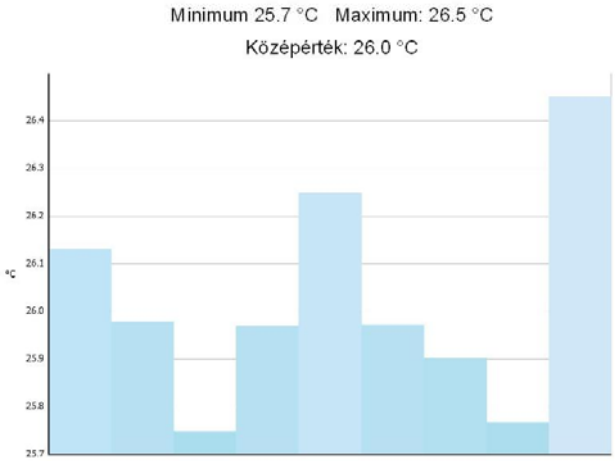


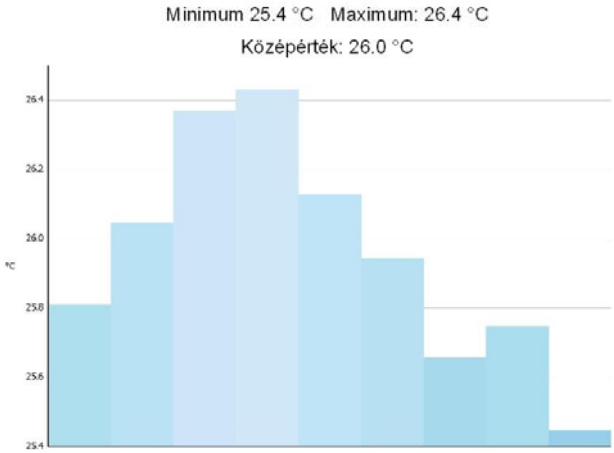

testo
P
P
35.0 °C
35.0
32.5
30.0
27.5
25.0
22.5
20.0
20.0 °C


Minimum: 26.5°C Maximum: 29.2 °C
Középérték: 27.8 °C
29.2
28.8
28.4
28.0
27.6
27.2
26.8
26.4
°C

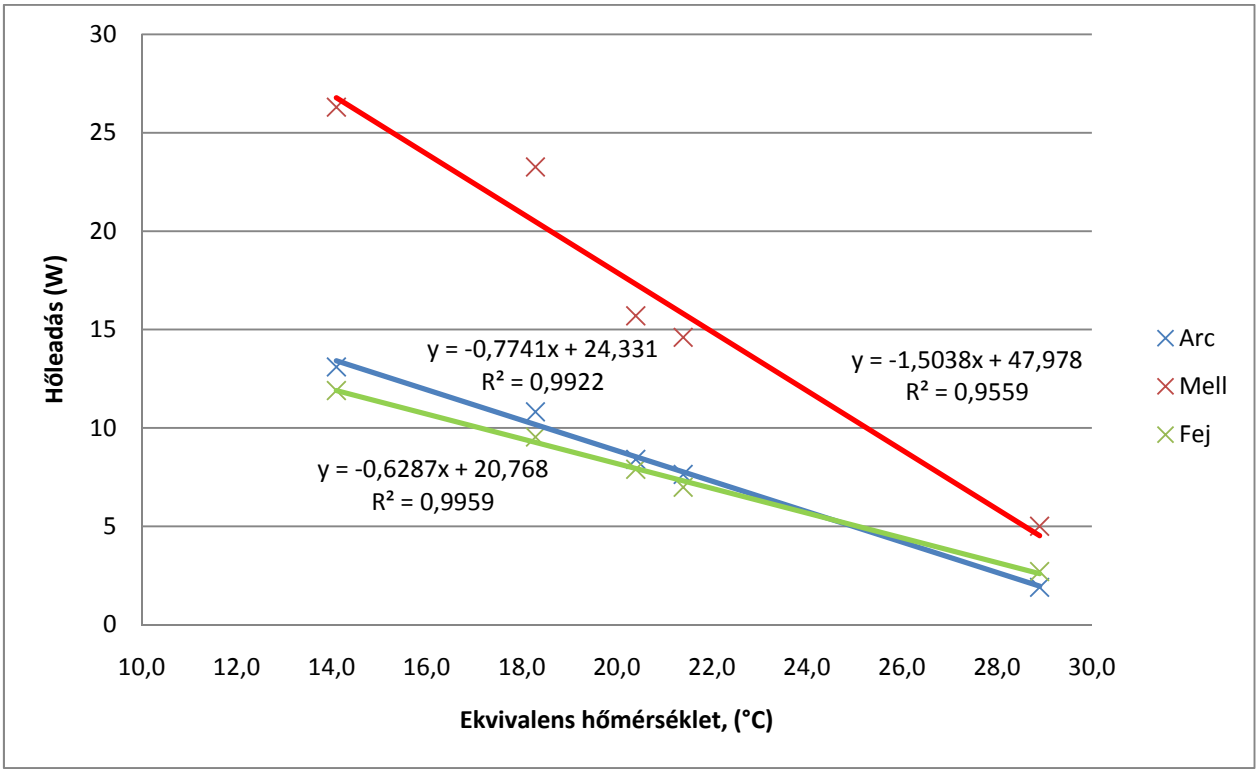

Minimum: 26.7°C Maximum: 29.1 °C
Középérték: 27.8 °C
29.0
28.6
28.2
27.8
27.4
27.0
26.6
°C


testo
P
P
35.0 °C
35.0
32.5
30.0
27.5
25.0
22.5
20.0
20.0 °C

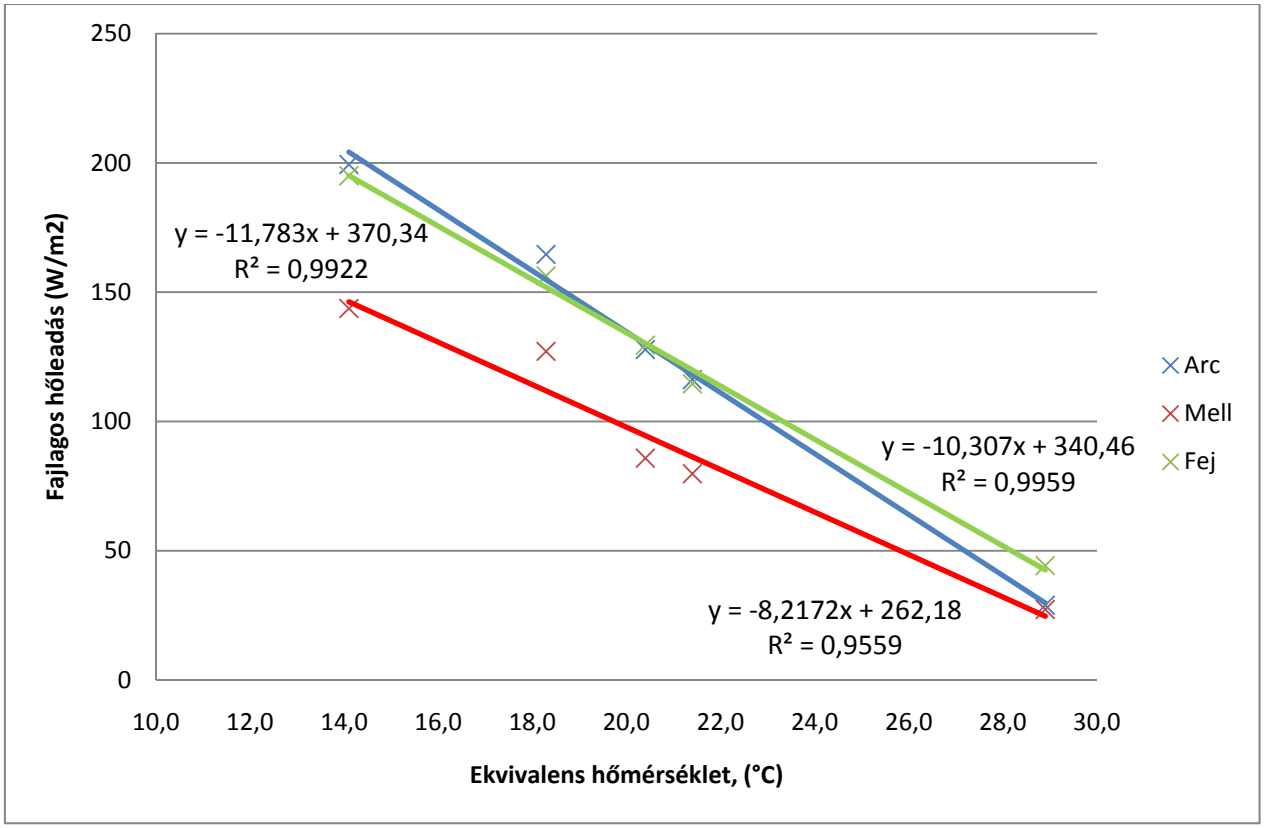

Minimum 25.7 °C Maximum: 26.5 °C
Középérték: 26.0 °C
26.4
26.3
26.2
26.1
26.0
25.9
25.8
25.7
°C


Minimum 25.4 °C Maximum: 26.4 °C
Középérték: 26.0 °C
26.4
26.2
26.0
25.8
25.6
25.4
°C

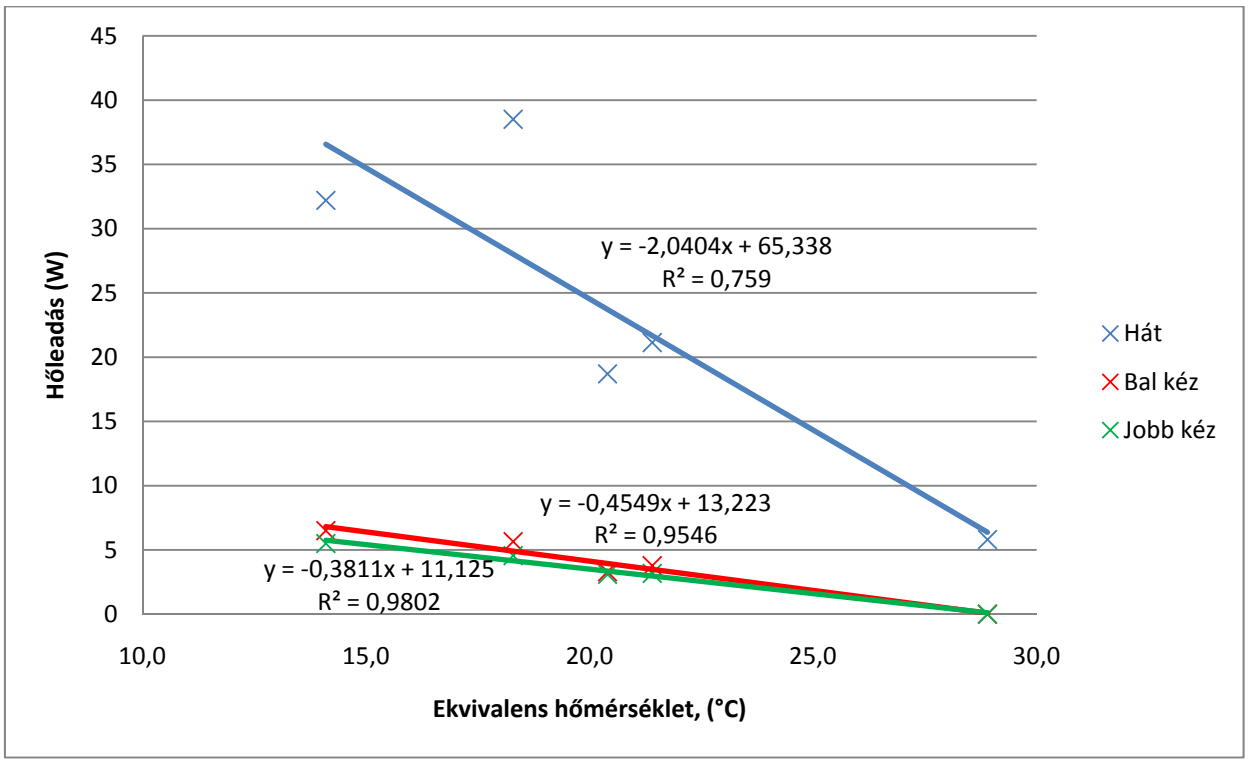
M6. A testrészek hőleadása és fajlagos hőleadása ruházat nélkül (0 clo)



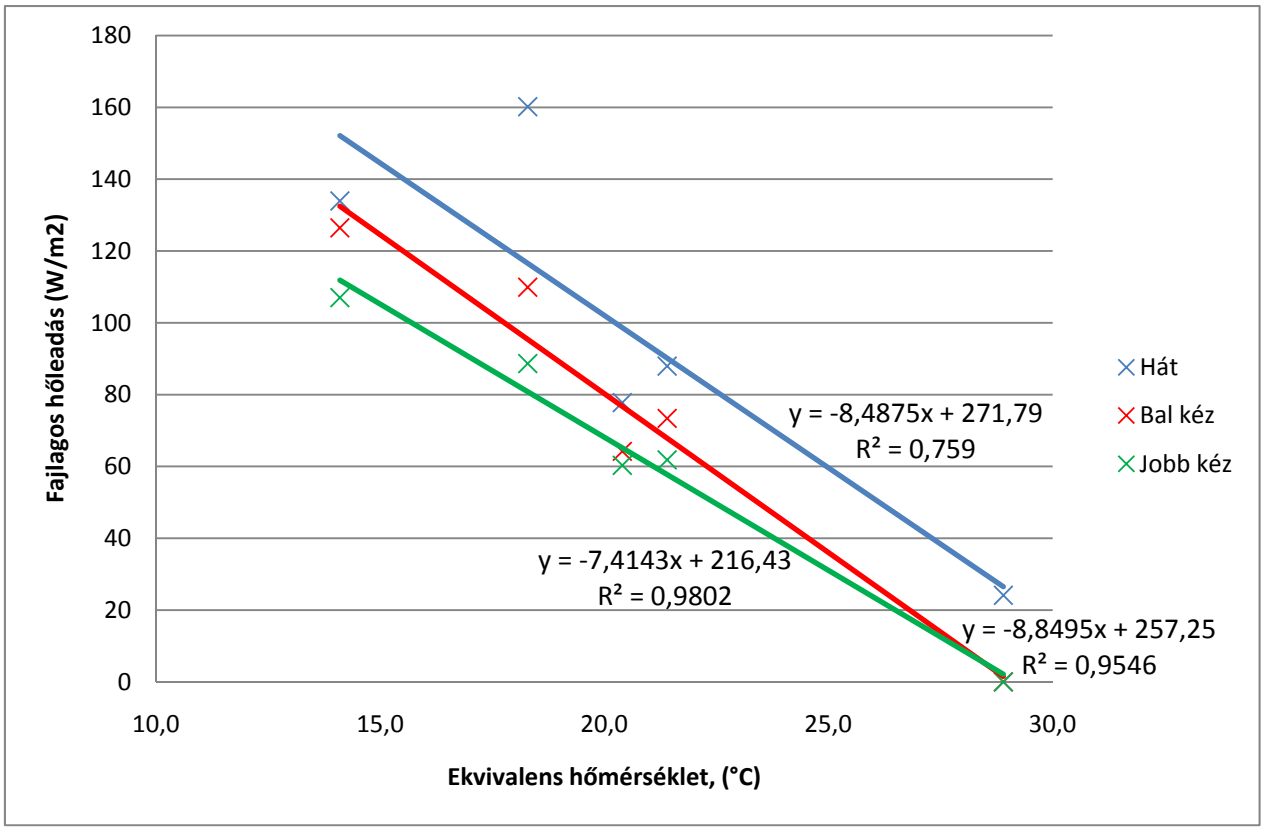
Az arc, a mell és a fej hőleadása ruhátlan test esetén



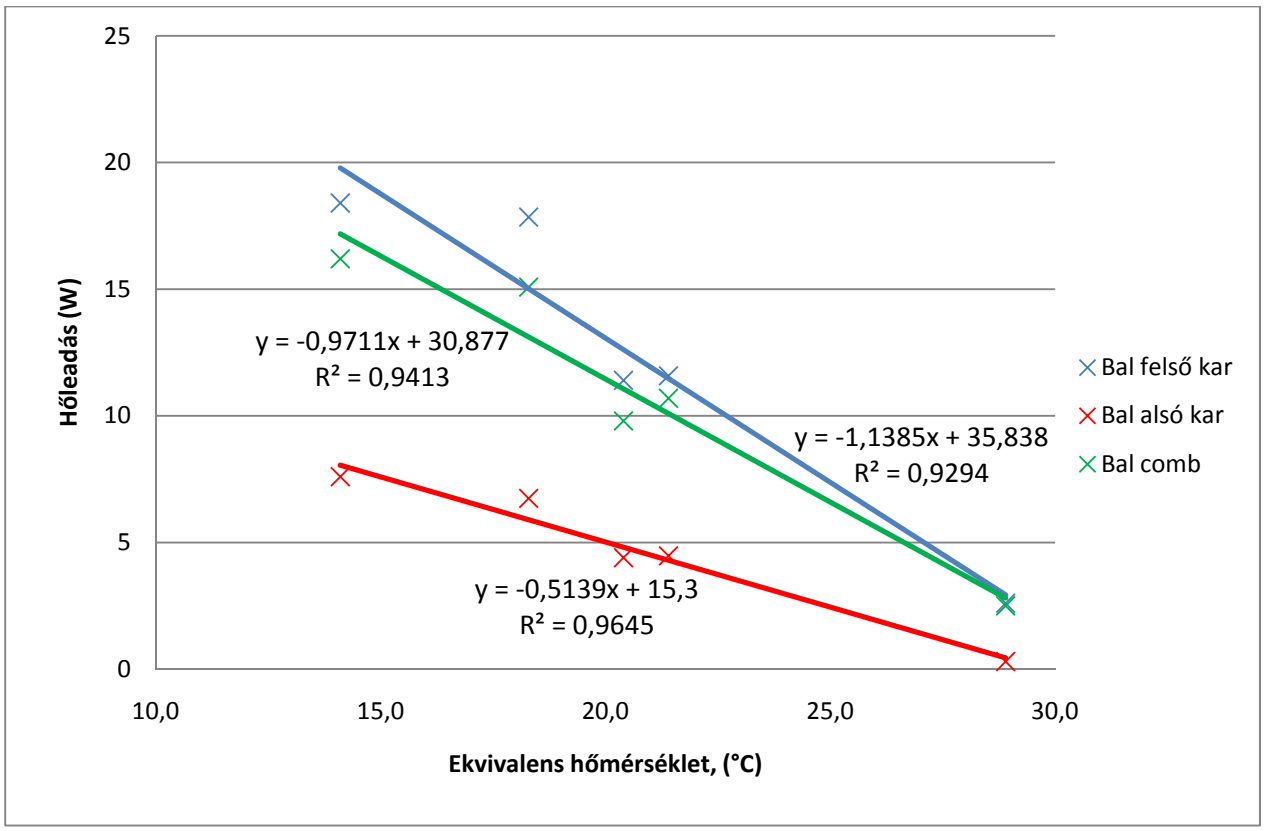
Az arc, a mell és a fej fajlagos hőleadása ruhátlan test esetén



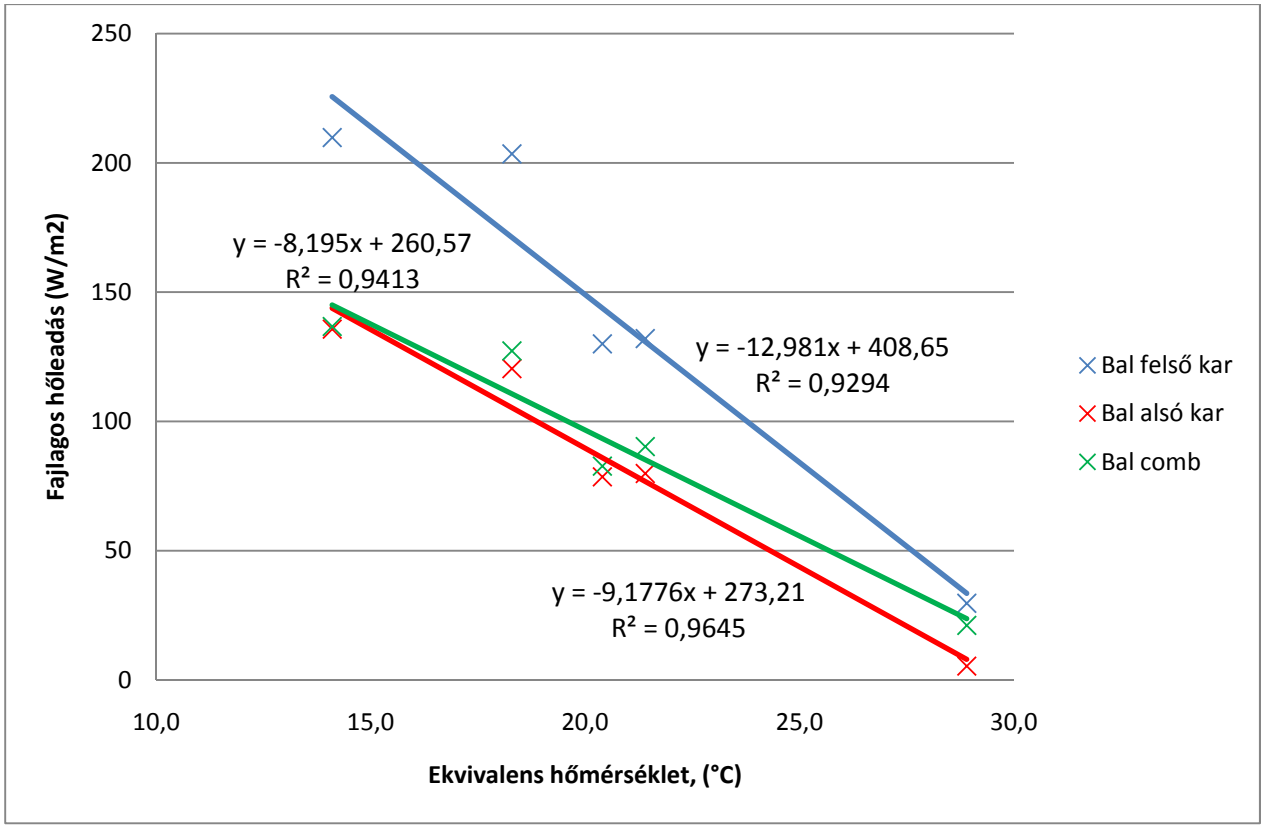
A hát, a bal és a jobb kéz hőleadása ruhátlan test esetén



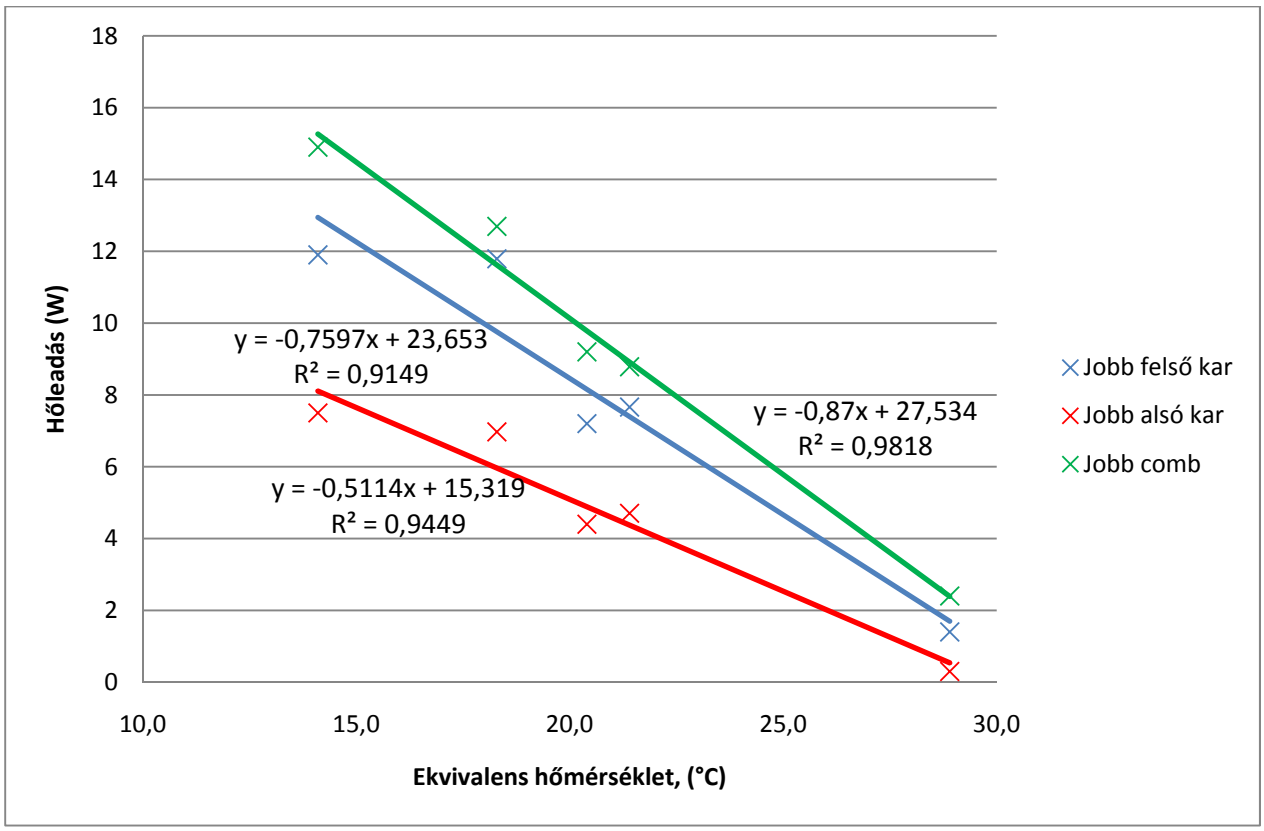
A hát, a bal és a jobb kéz fajlagos hőleadása ruhátlan test esetén



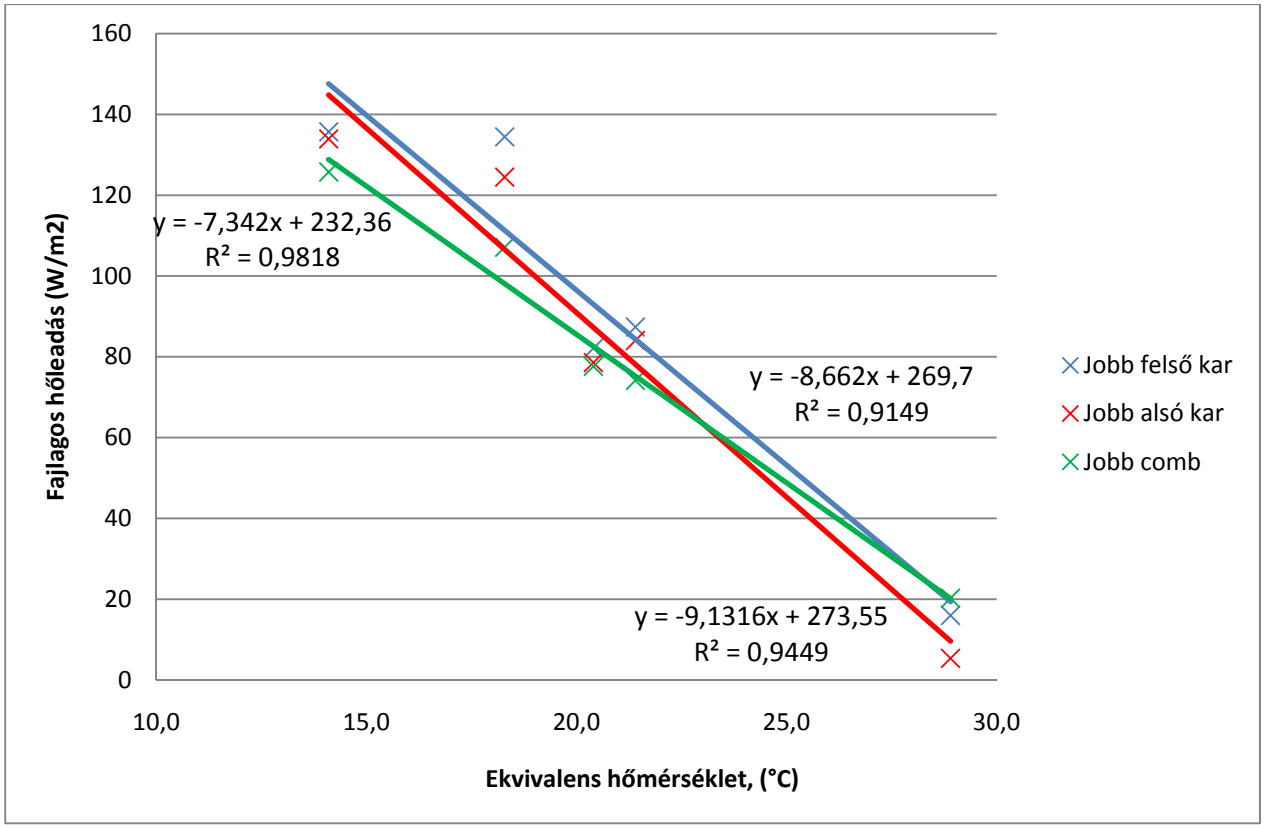
A bal felső kar, a bal alsó kar és a bal comb hőleadása ruhátlan test esetén



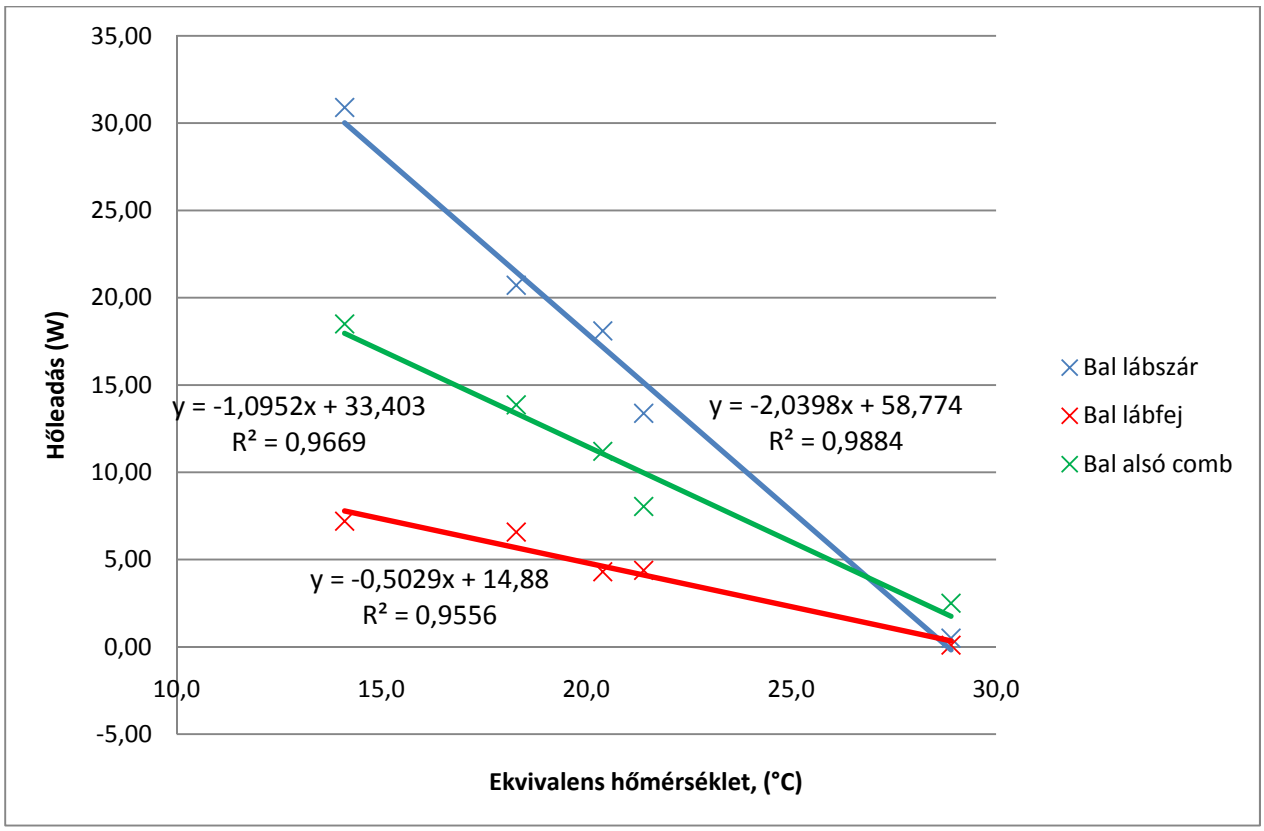
A bal felső kar, a bal alsó kar és a bal comb fajlagos hőleadása ruhátlan test esetén



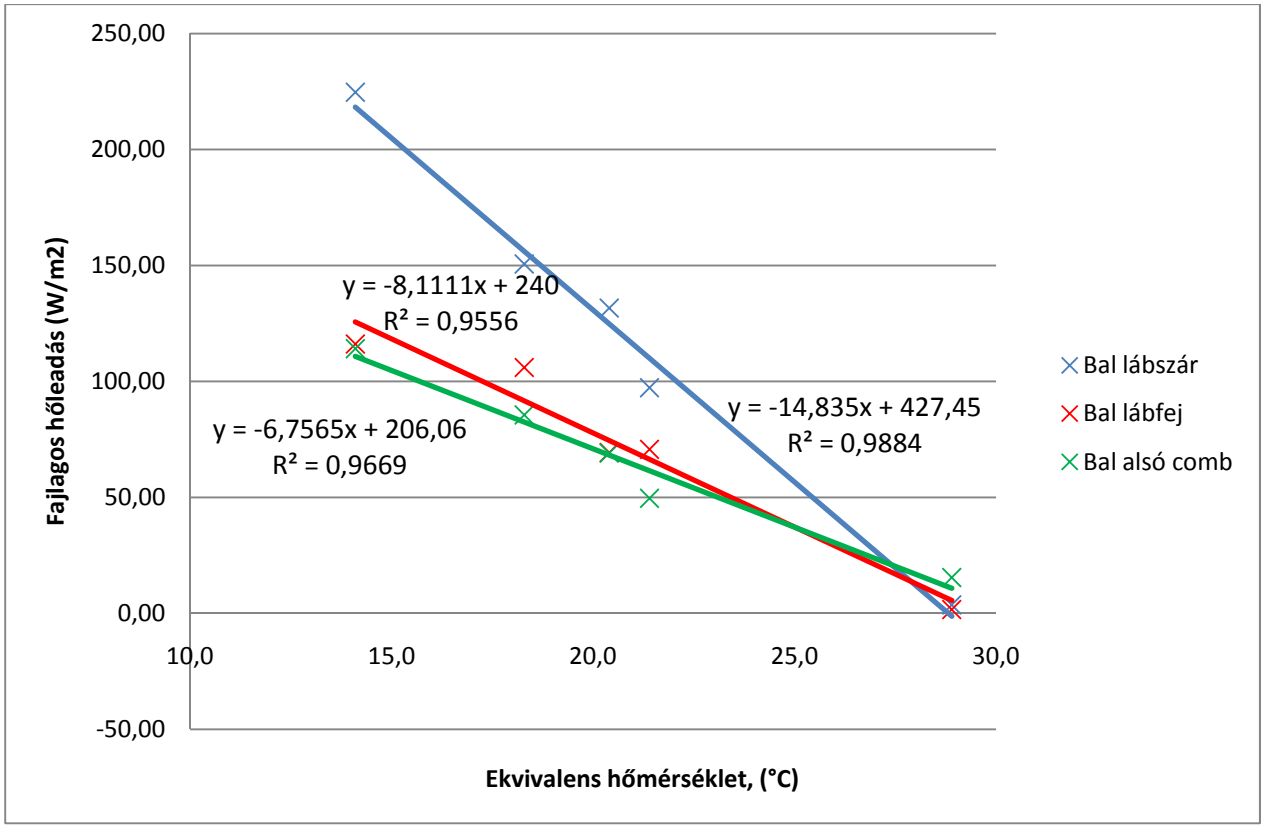
A jobb felső kar, a jobb alsó kar és a jobb comb hőleadása



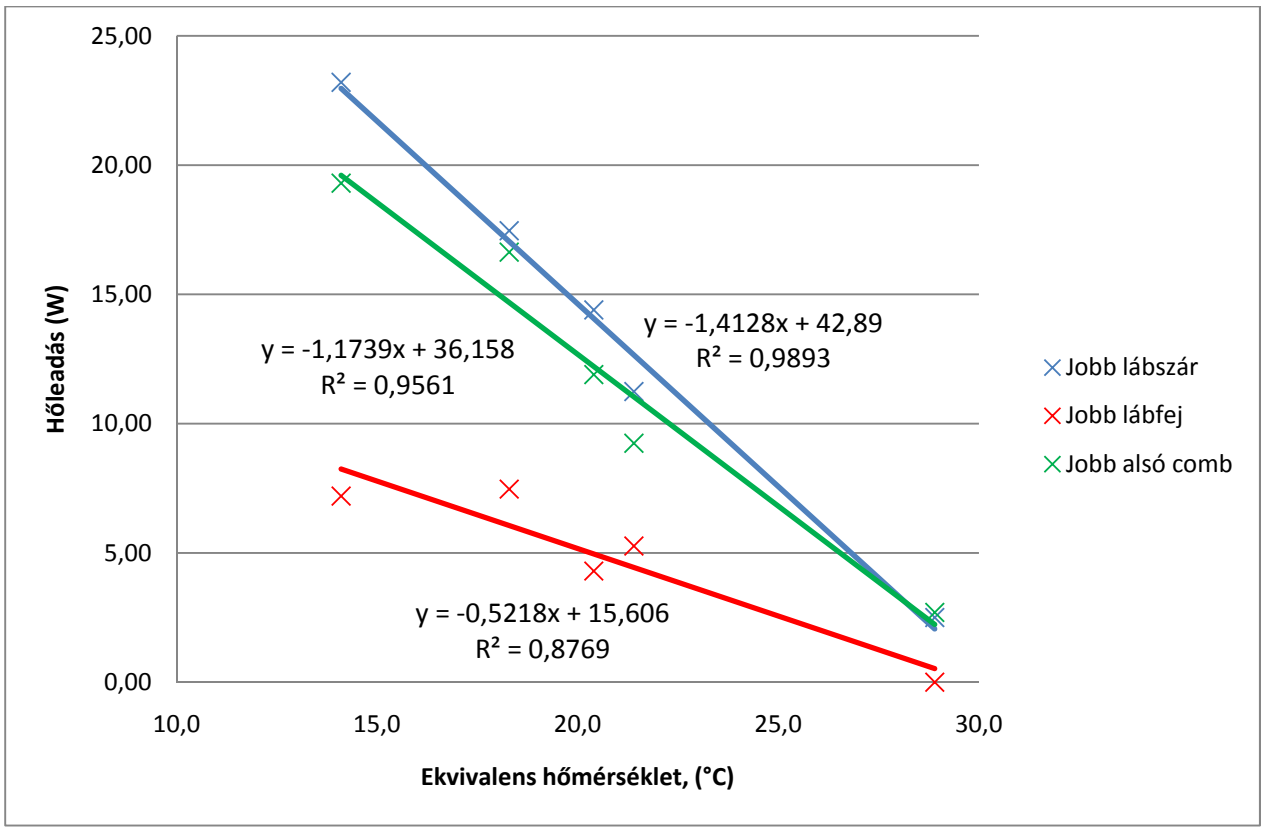
A jobb felső kar, a jobb alsó kar és a jobb comb fajlagos hőleadása



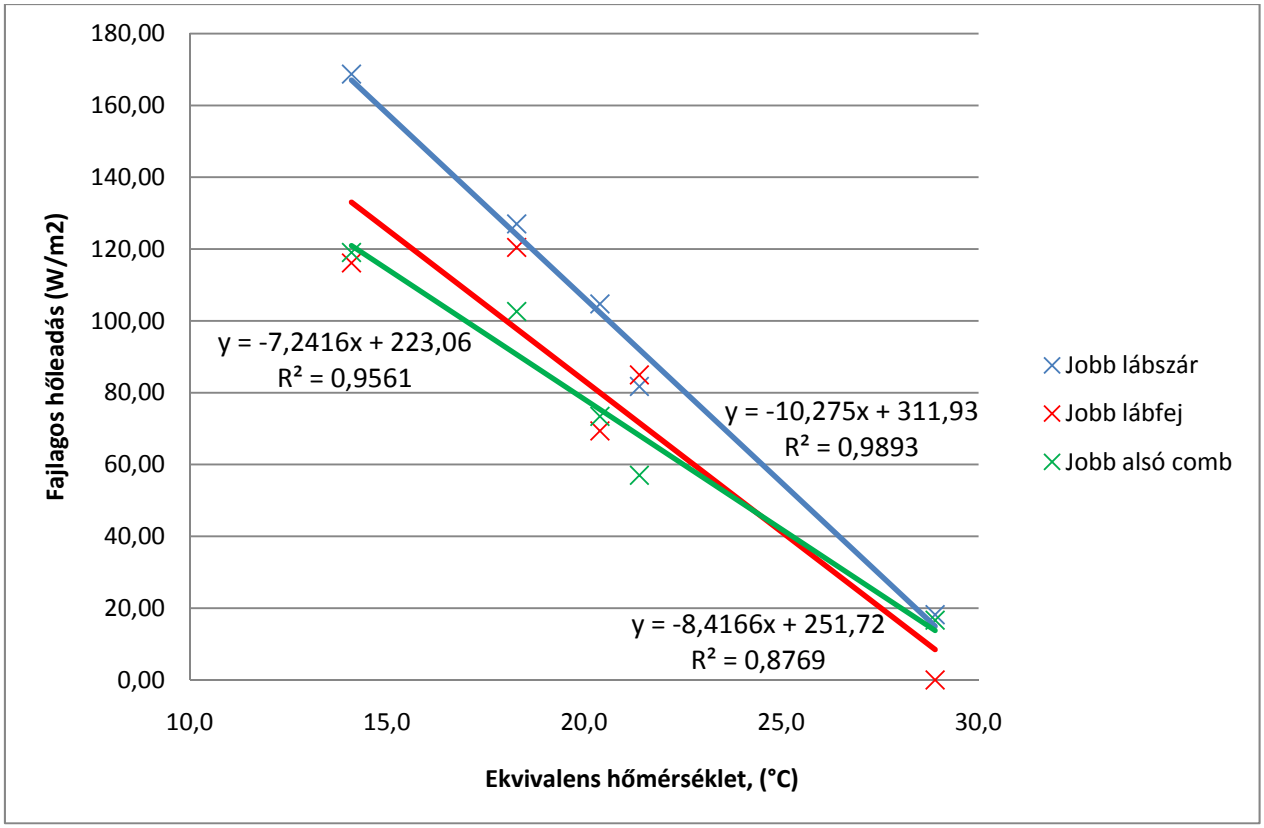
A bal lábszár, a bal lábfej és a bal alsó comb hőleadása ruhátlan test esetén



A bal lábszár, a bal lábfej és a bal alsó comb fajlagos hőleadása ruhátlan test esetén

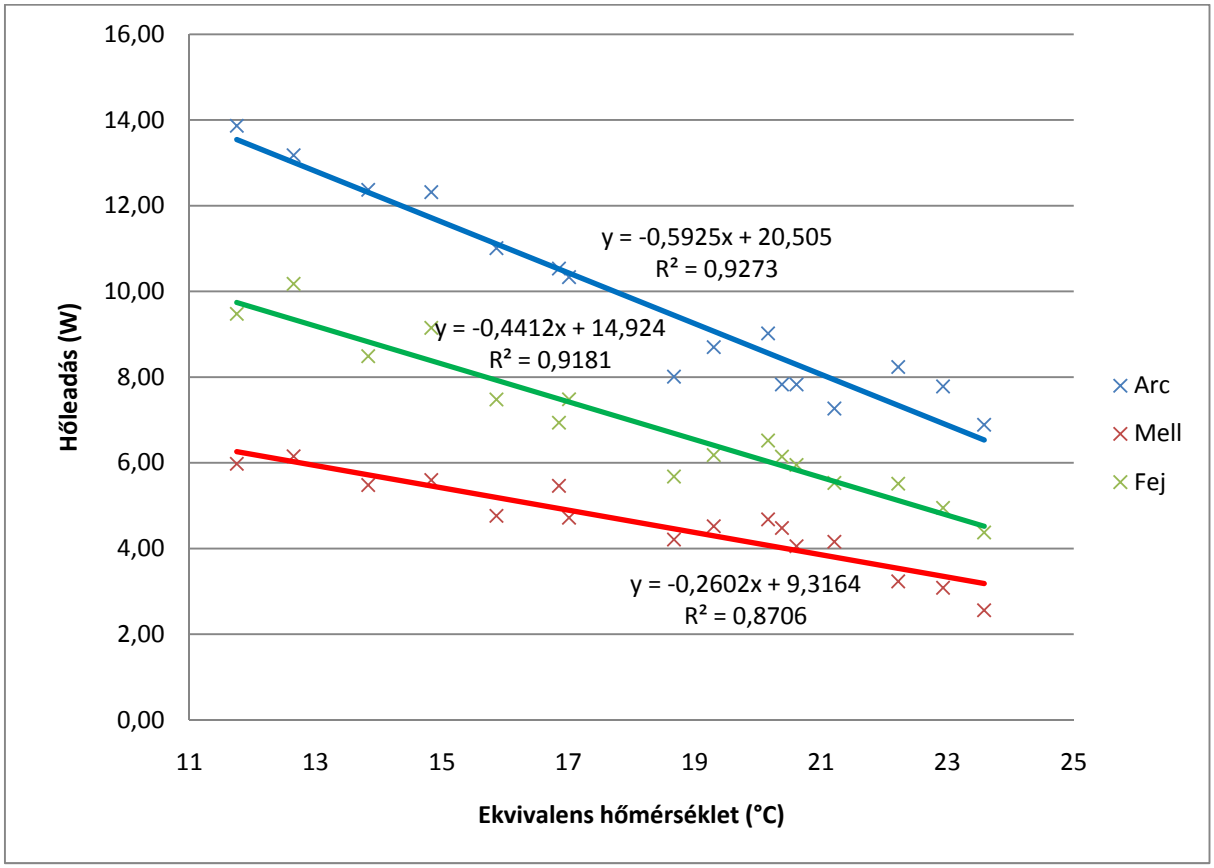


A jobb lábszár, a jobb lábfej és a jobb alsó comb hőleadása ruhátlan test esetén

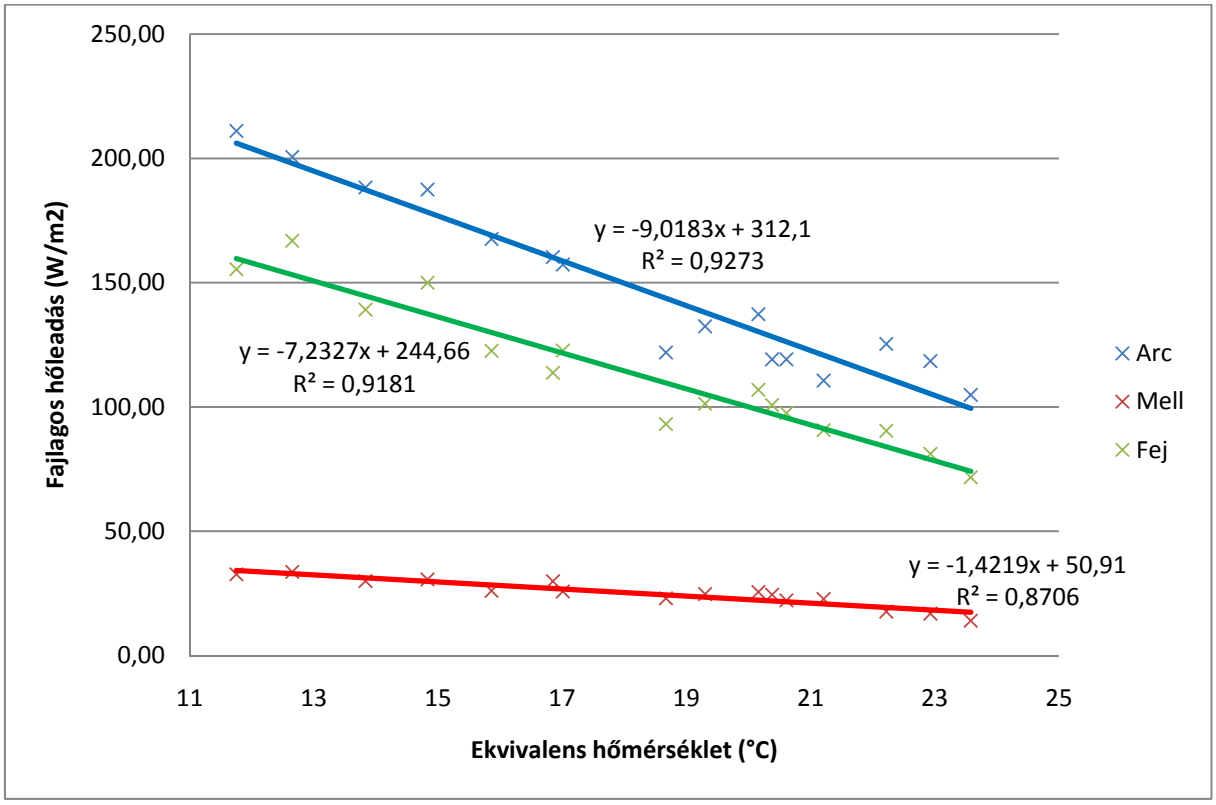


A jobb lábszár, a jobb lábfej és a jobb alsó comb fajlagos hőleadása ruhátlan test esetén

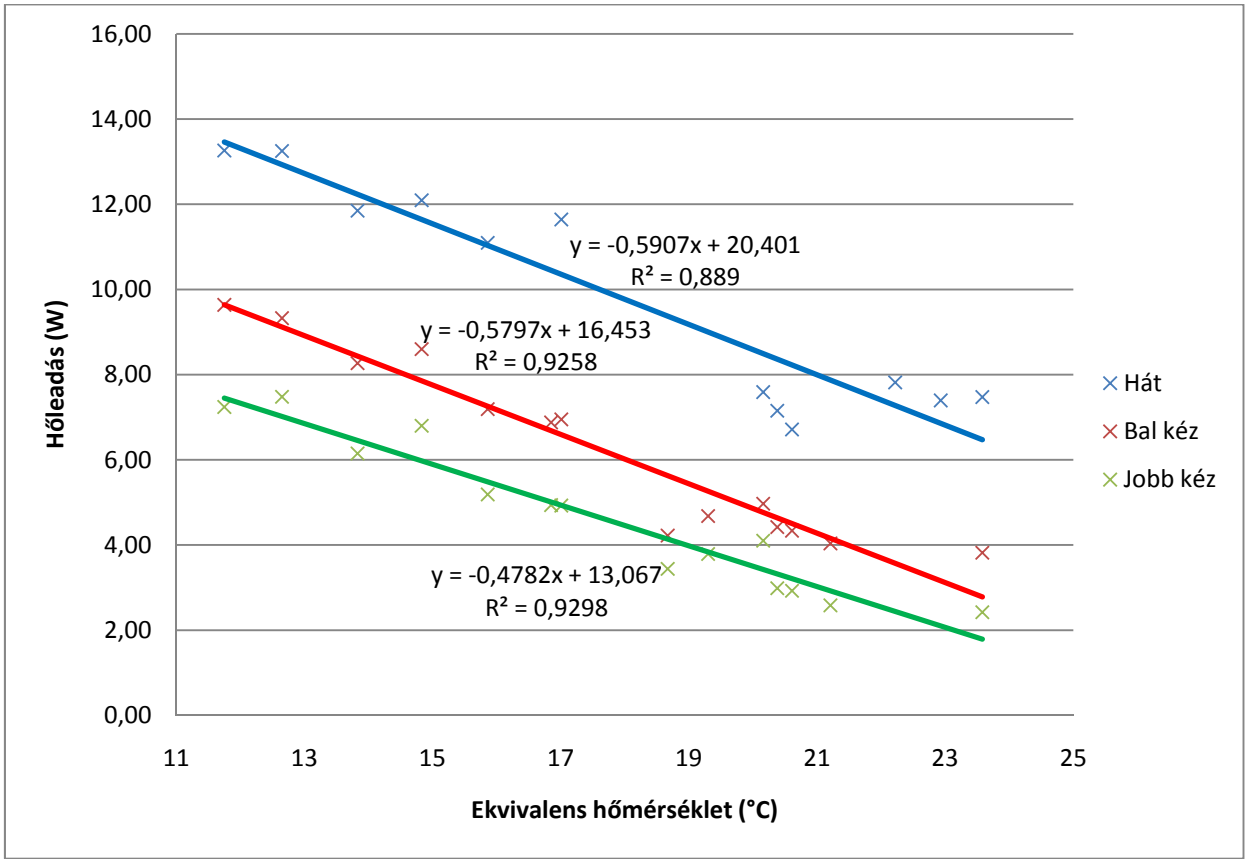
M7. A testrészek hőleadása és fajlagos hőleadása 1,0 clo ruházatban



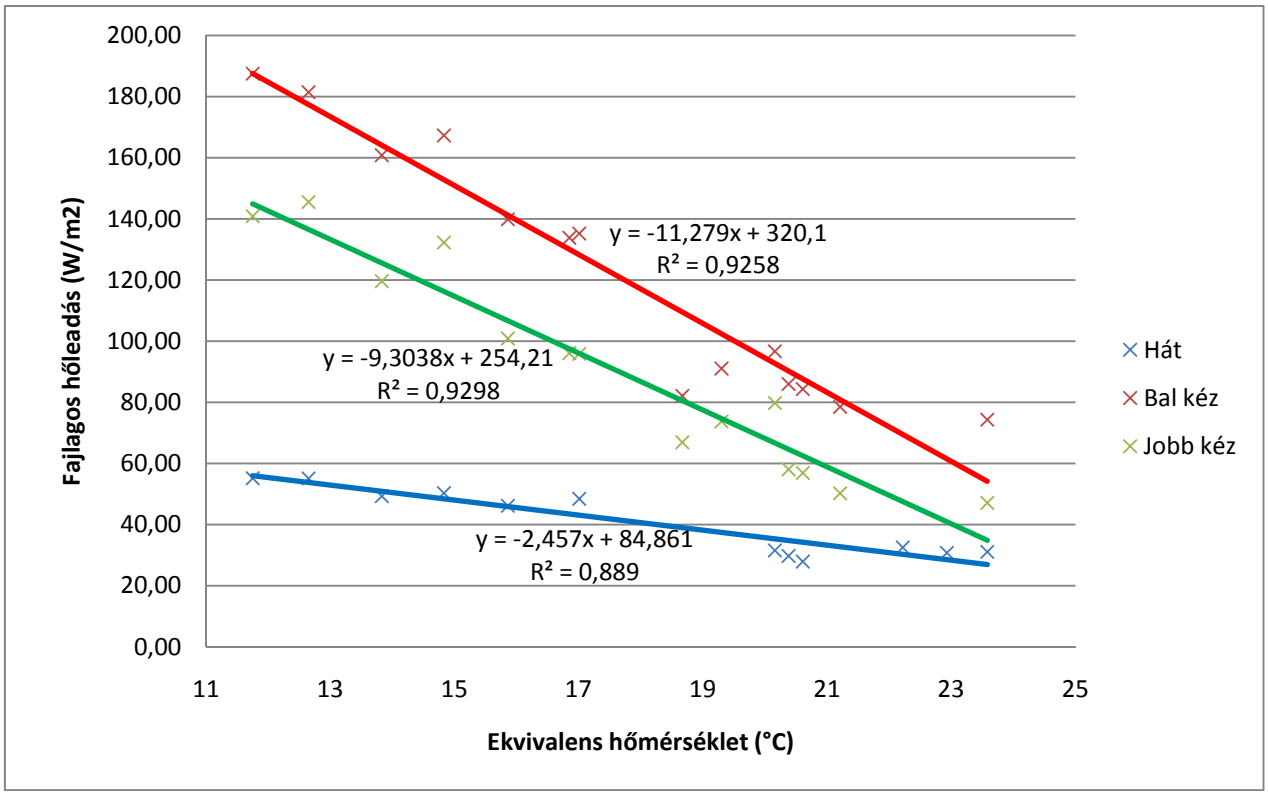
Az arc, a mell és a fej hőleadása 1,0 clo ruházat esetén



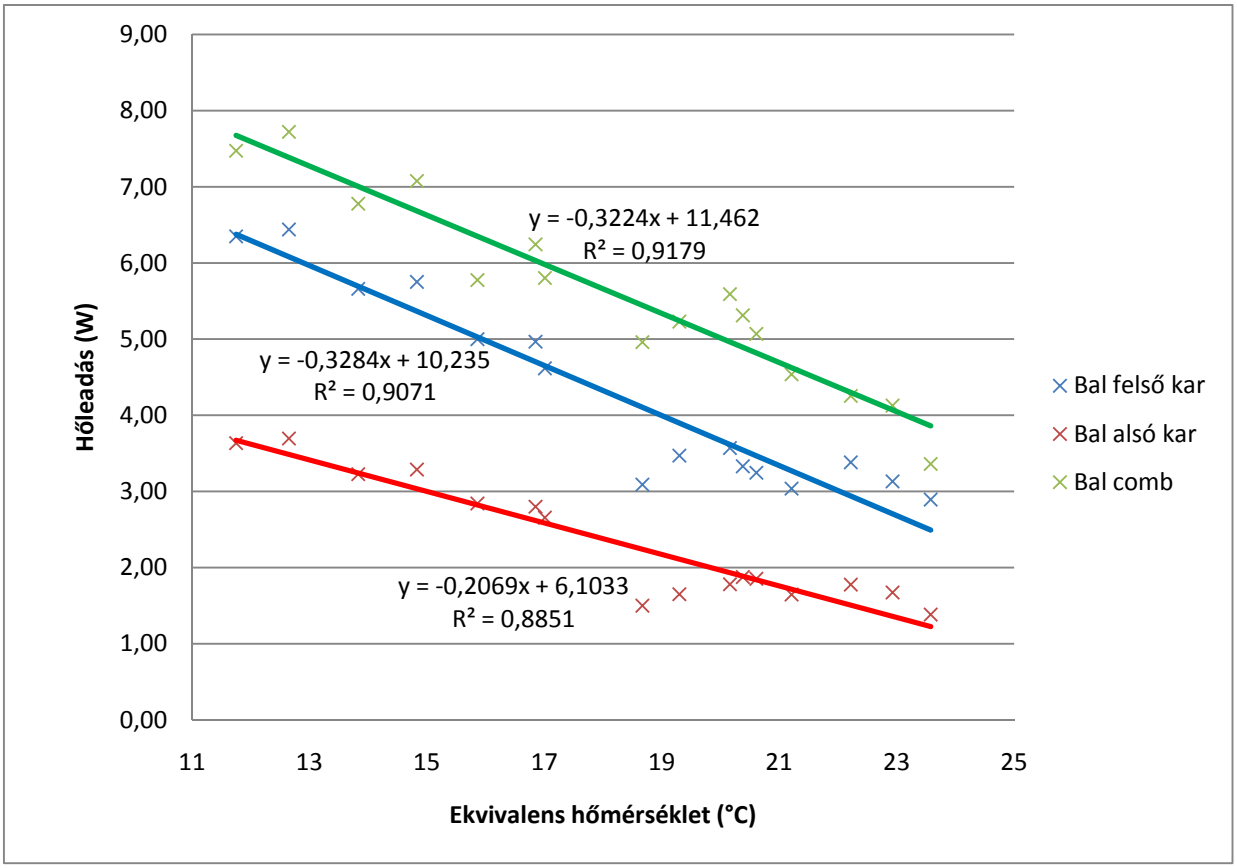
Az arc, a mell és a fej fajlagos hőleadása 1,0 clo ruházat esetén



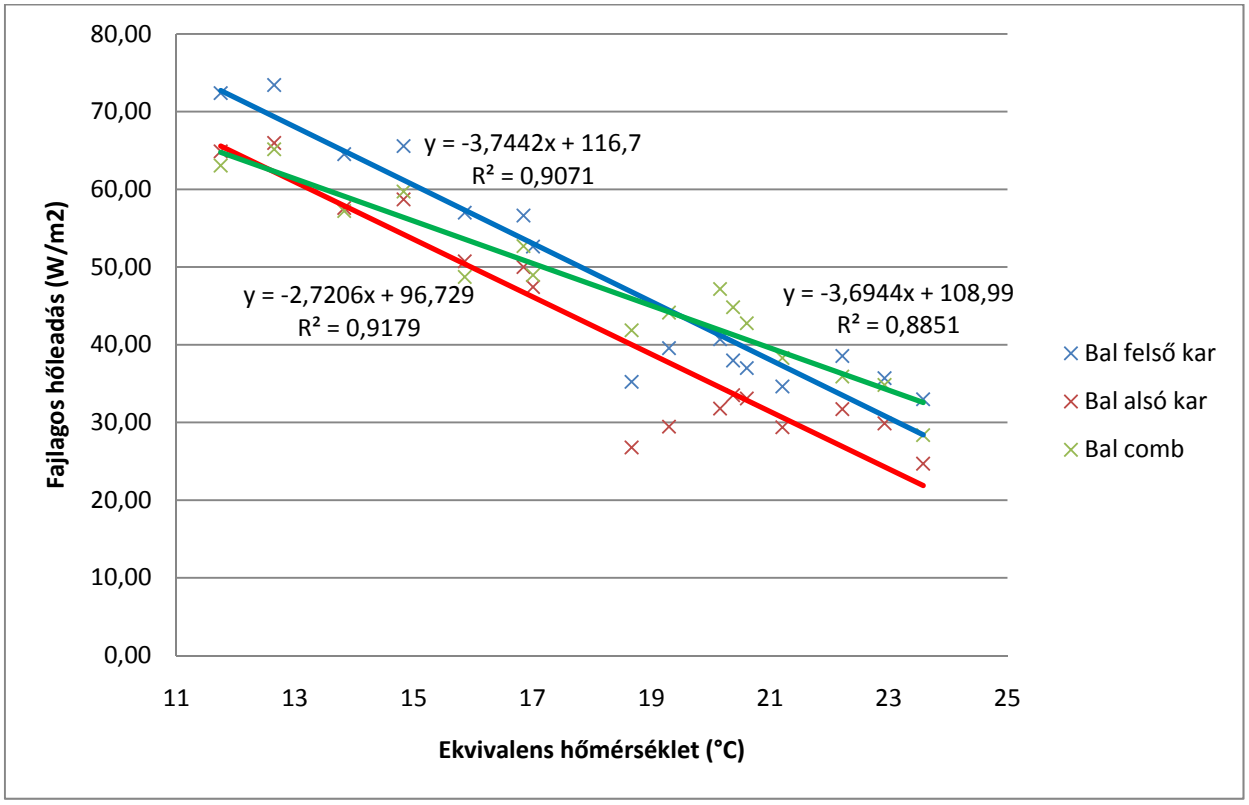
A hát, a bal kéz és a jobb kéz hőleadása 1,0 clo ruházat esetén



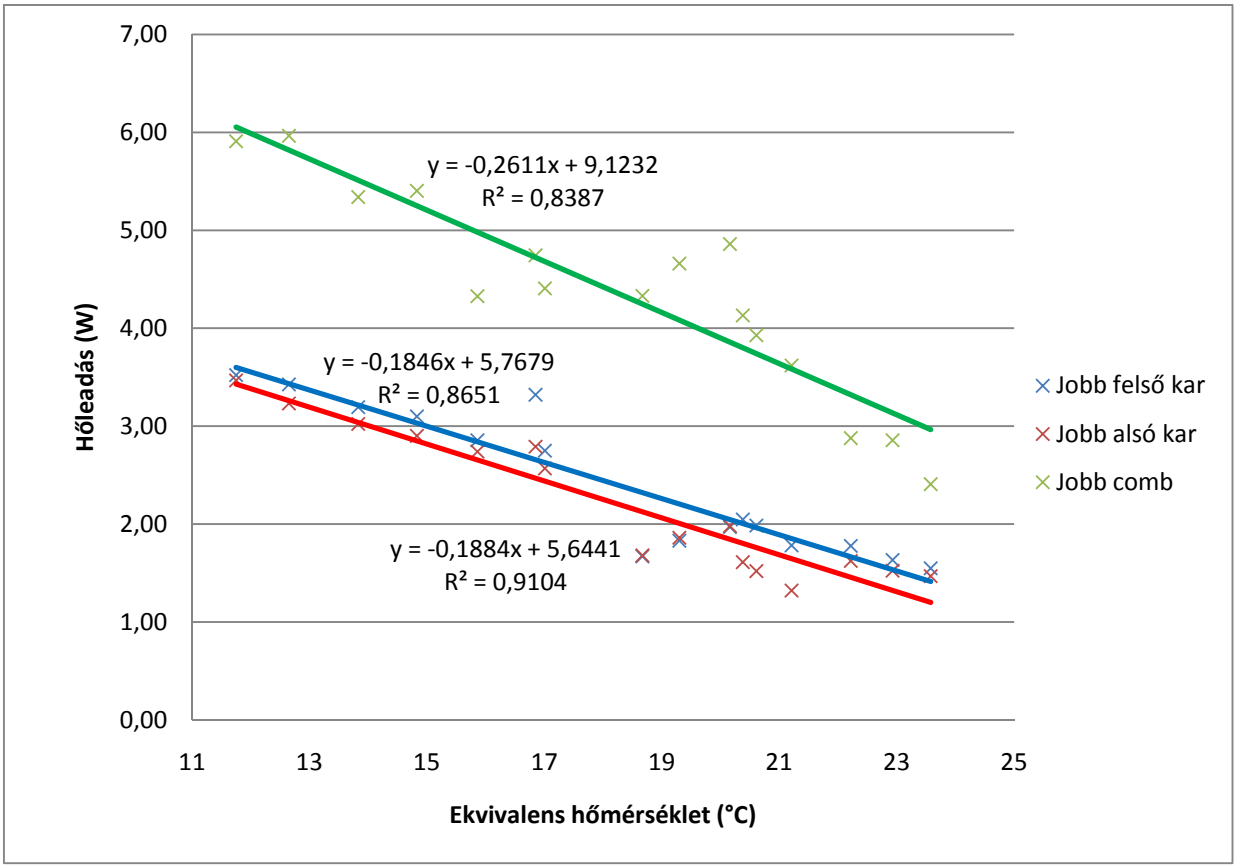
A hát, a bal kéz és a jobb kéz fajlagos hőleadása 1,0 clo ruházat esetén



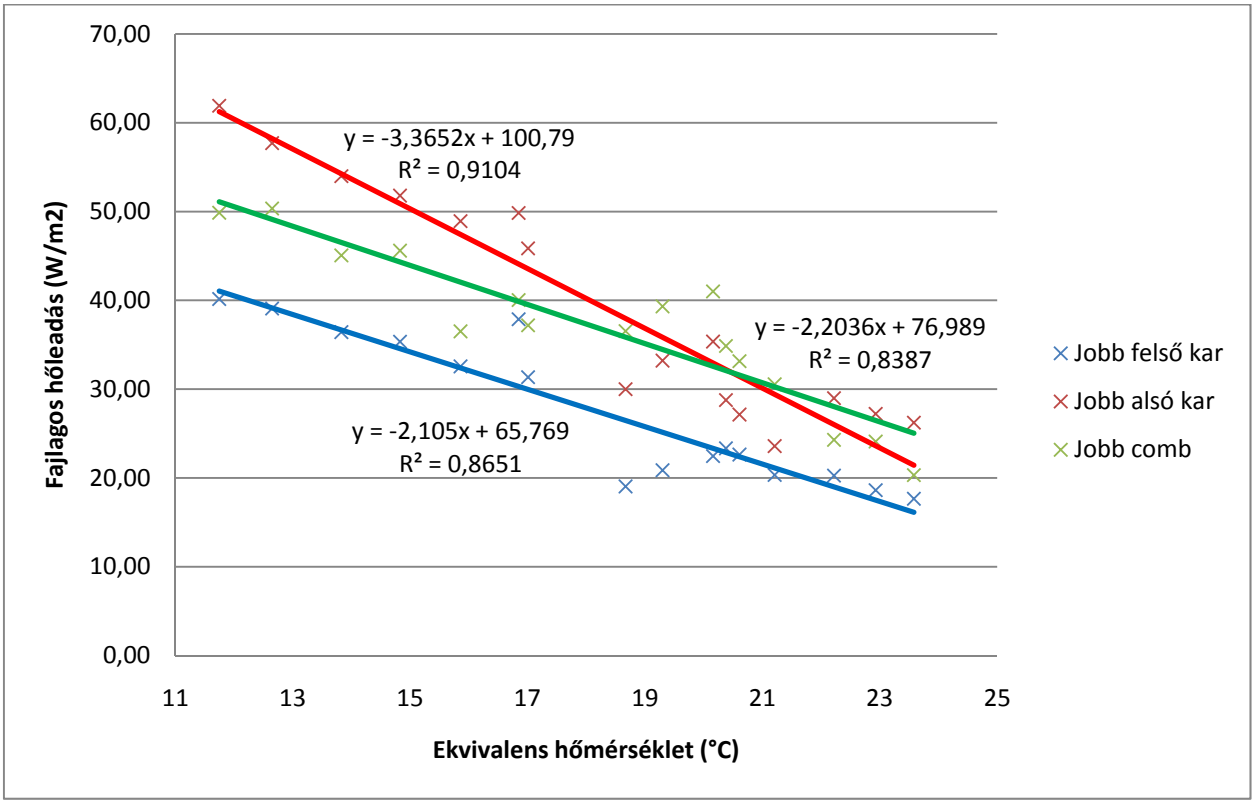
A bal felső kar, a bal alsó kar és a bal comb hőleadása 1,0 clo ruházat esetén



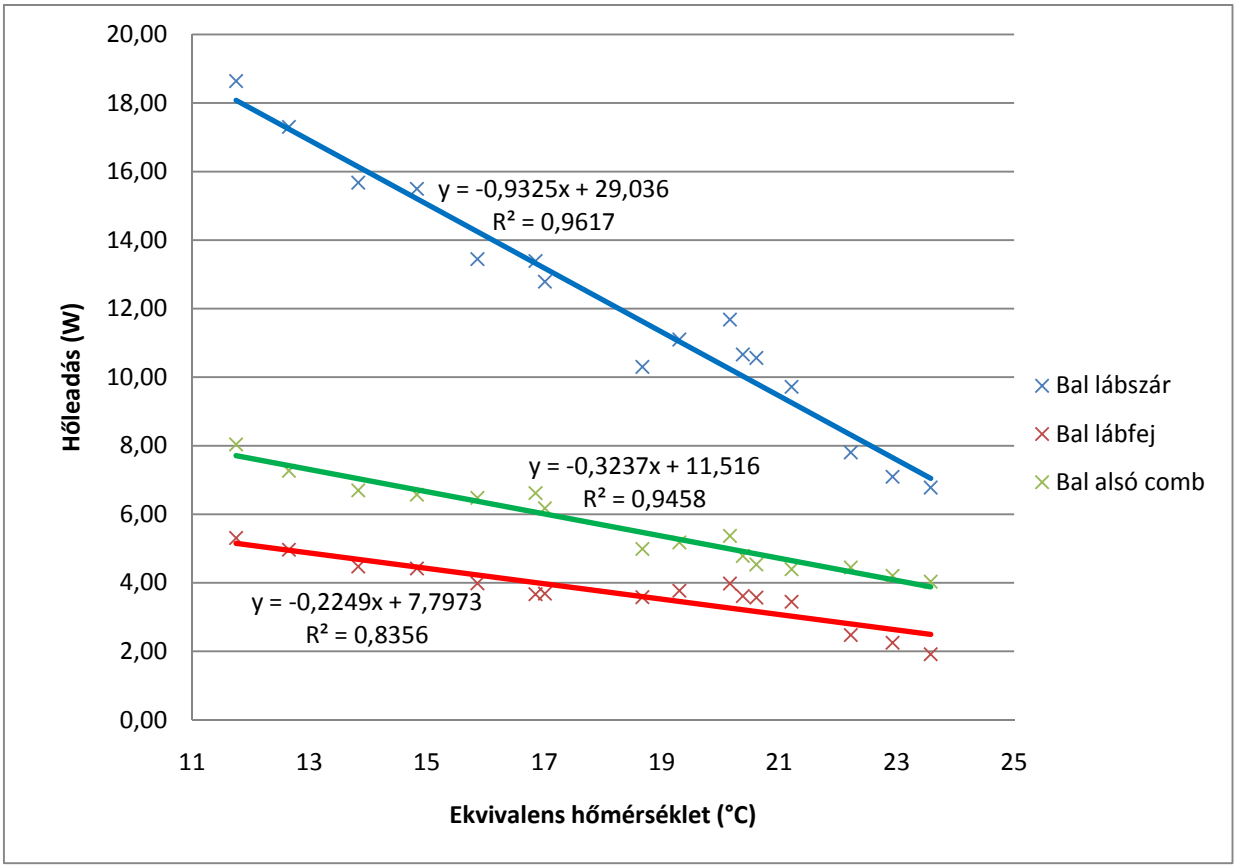
A bal felső kar, a bal alsó kar és a bal comb fajlagos hőleadása 1,0 clo ruházat esetén



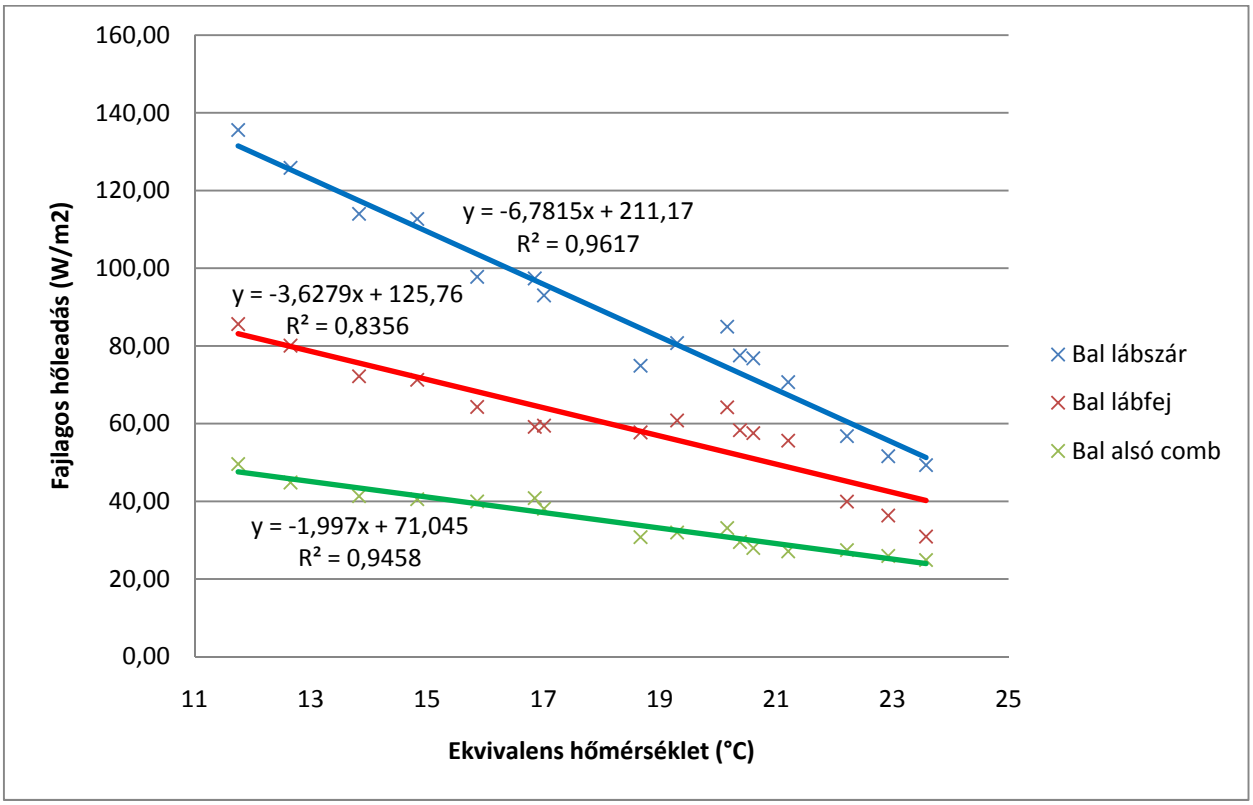
A jobb felső kar, a jobb alsó kar és a jobb comb hőleadása 1,0 clo ruházat esetén



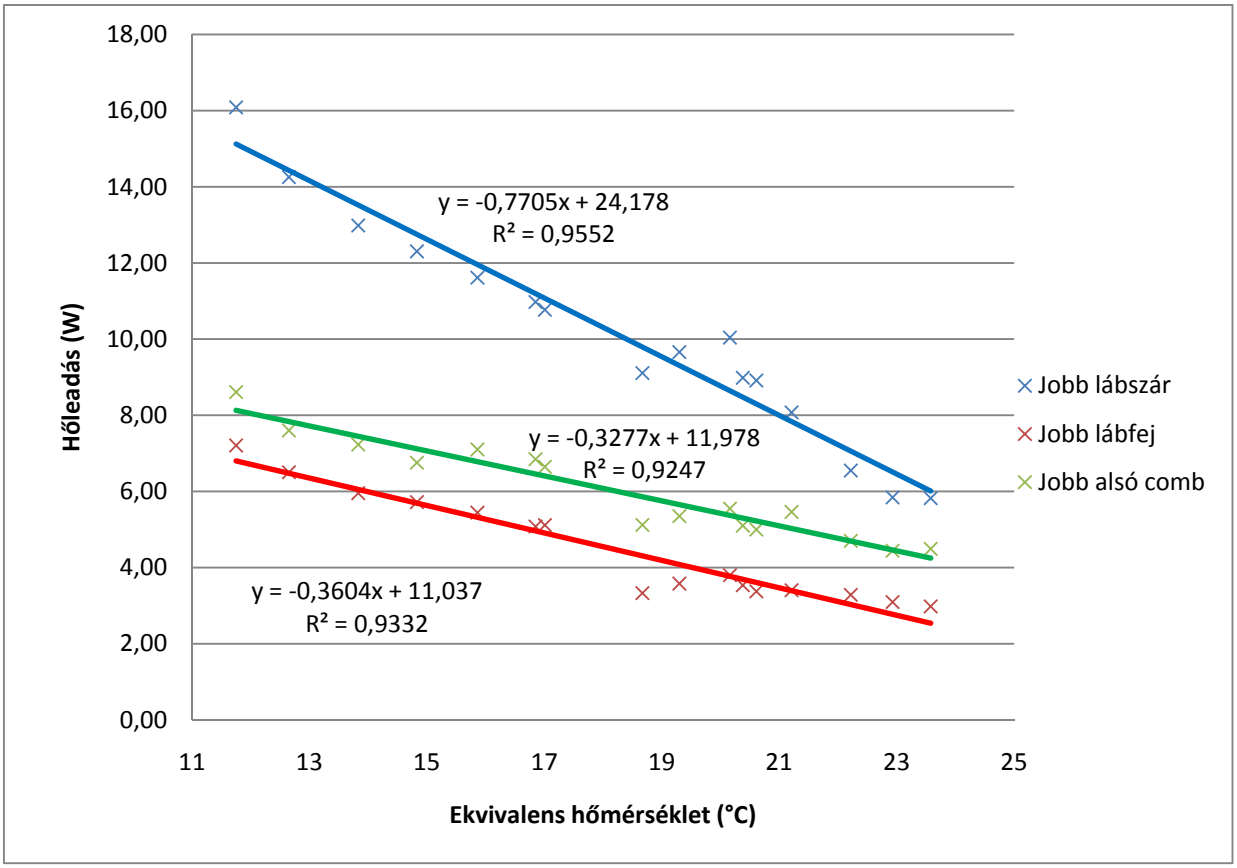
A jobb felső kar, a jobb alsó kar és a jobb comb fajlagos hőleadása 1,0 clo ruházat esetén



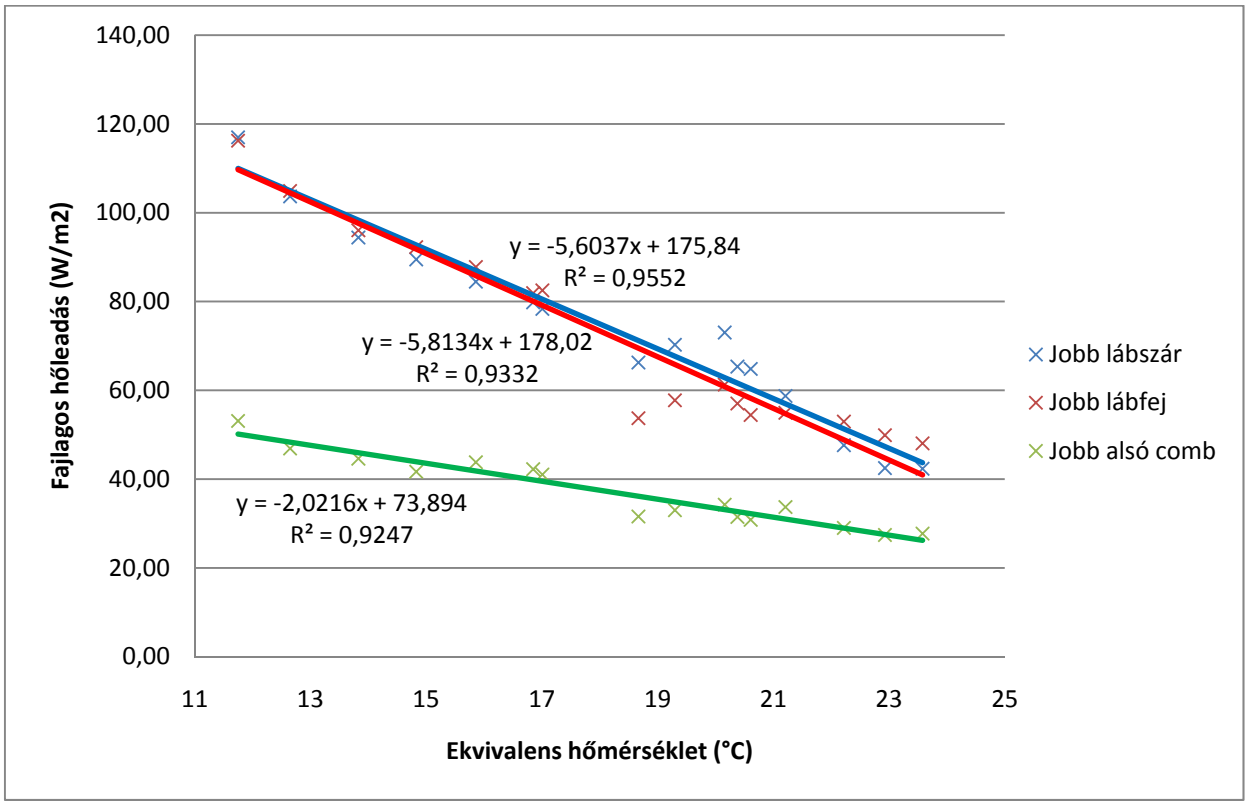
A bal lábszár, a bal lábfej és a bal alsócomb hőleadása 1,0 clo ruházat esetén



A bal lábszár, a bal lábfej és a bal alsócomb fajlagos hőleadása 1,0 clo ruházat esetén

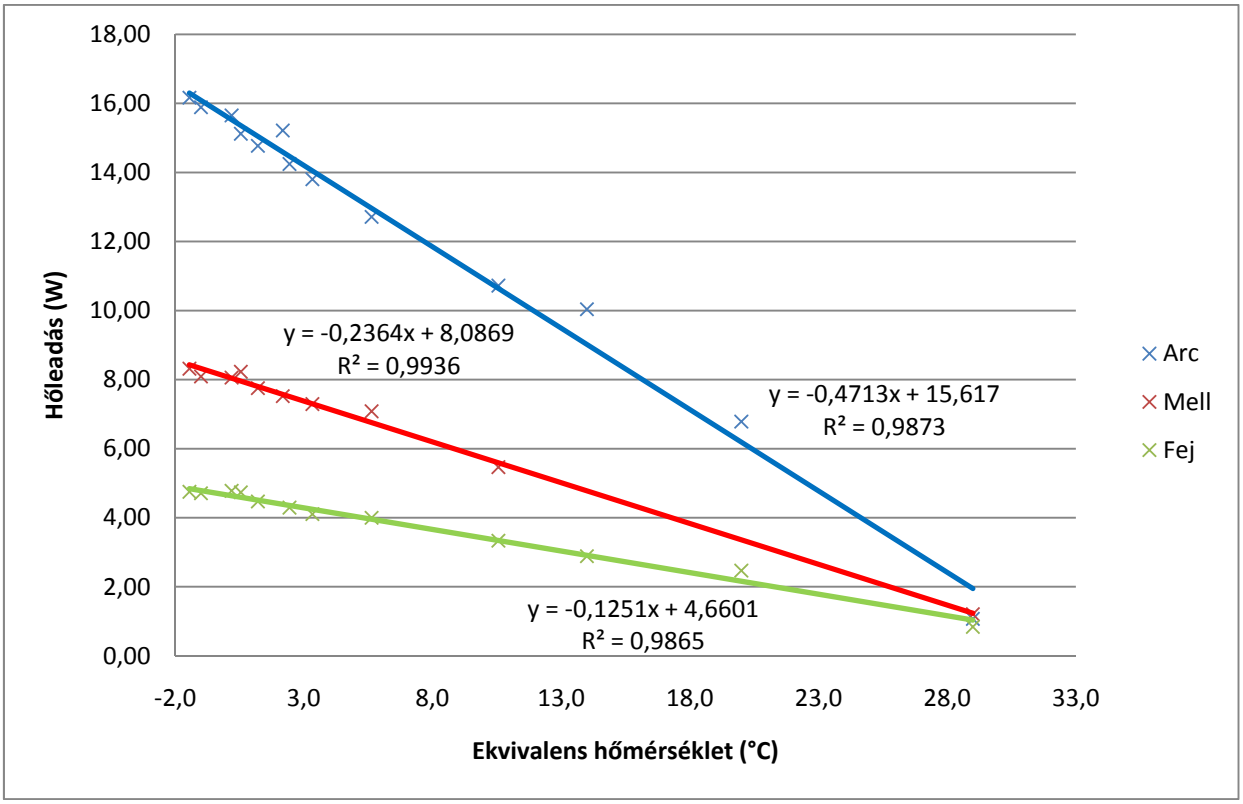


A jobb lábszár, a jobb lábfej és a jobb alsócomb hőleadása 1,0 clo ruházat esetén

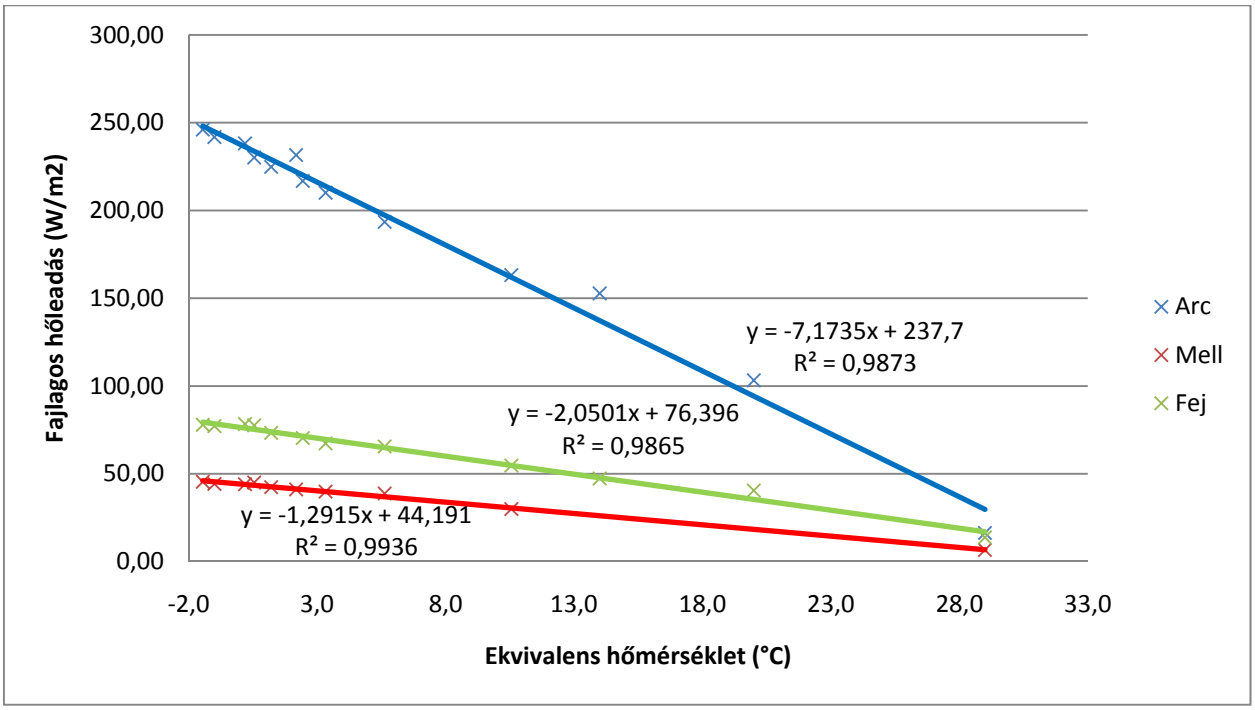


A jobb lábszár, a jobb lábfej és a jobb alsócomb fajlagos hőleadása 1,0 clo ruházat esetén

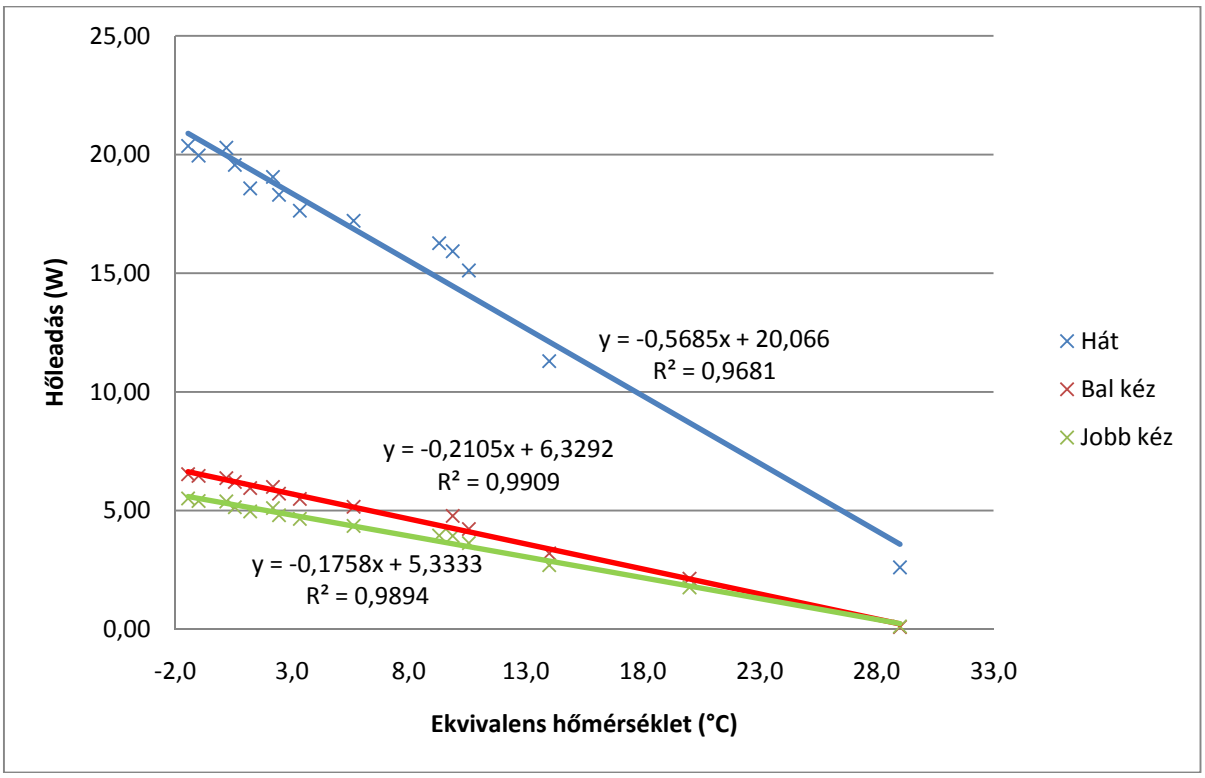
M8. A testrészek hőleadása és fajlagos hőleadása 1,3 clo ruházatban



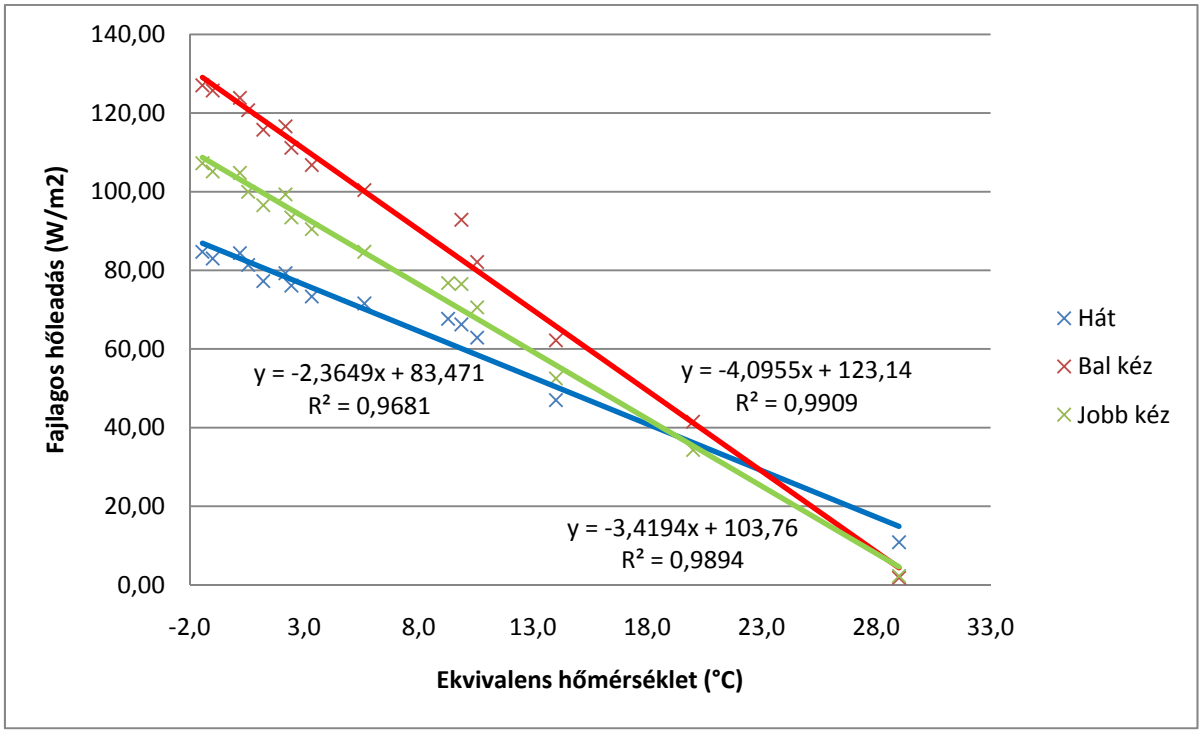
Az arc, a mell és a fej hőleadása 1,3 clo ruházat esetén



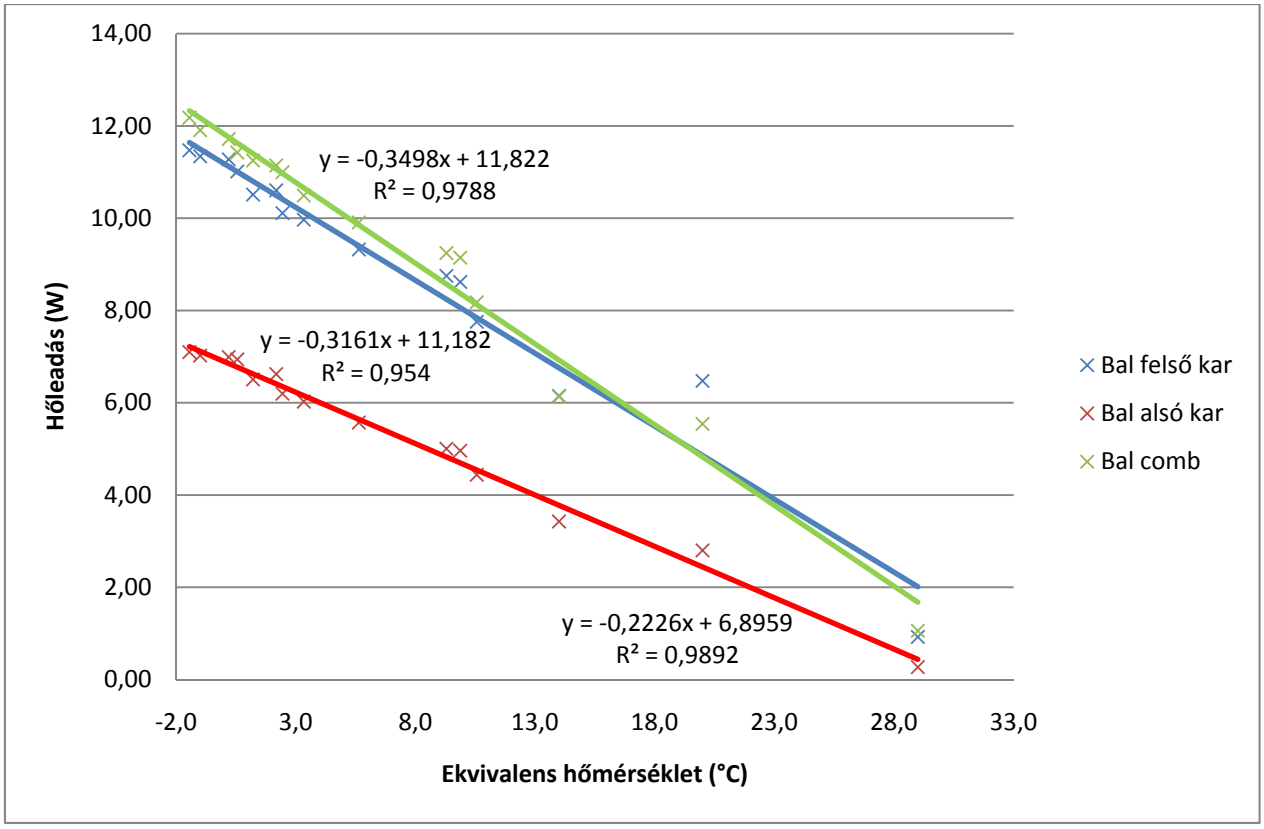
Az arc, a mell és a fej fajlagos hőleadása 1,3 clo ruházat esetén



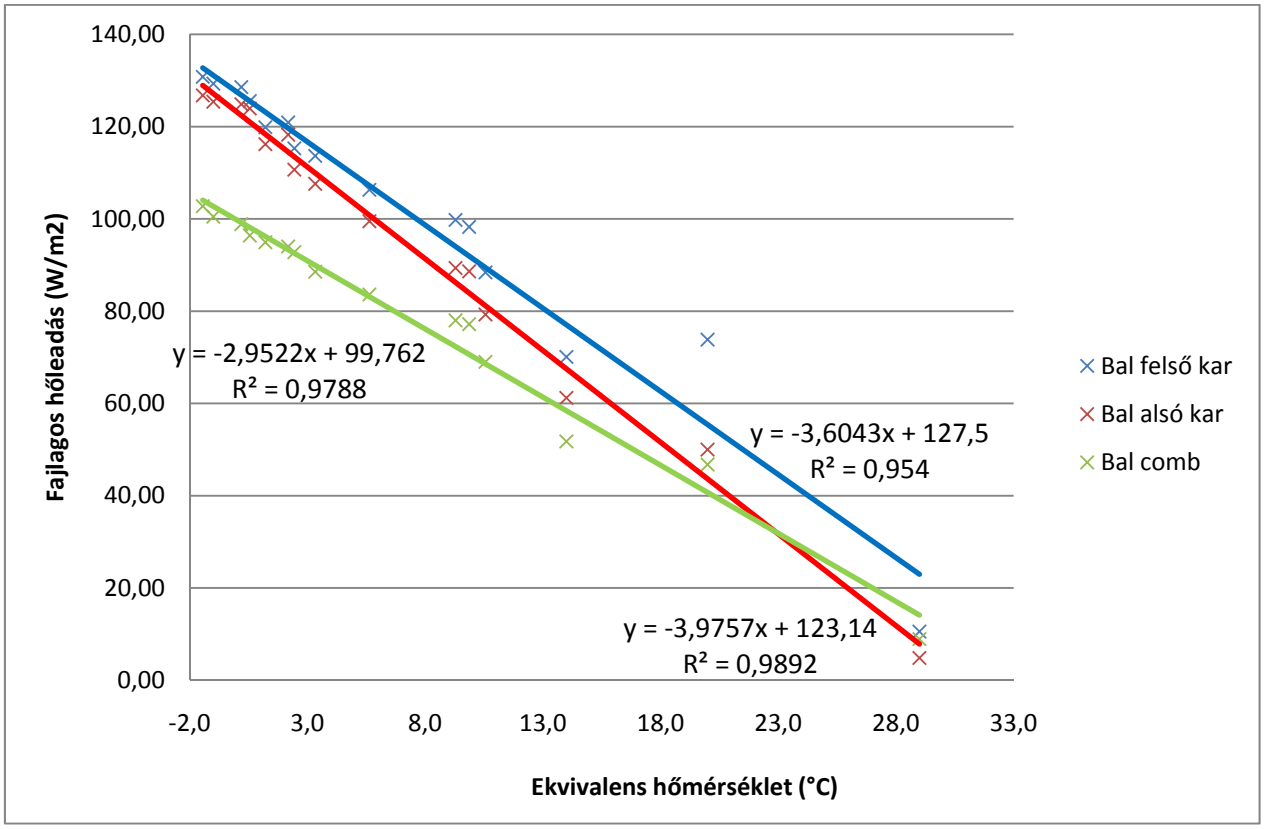
A hát, a jobb és a bal kéz hőleadása 1,3 clo ruházat esetén



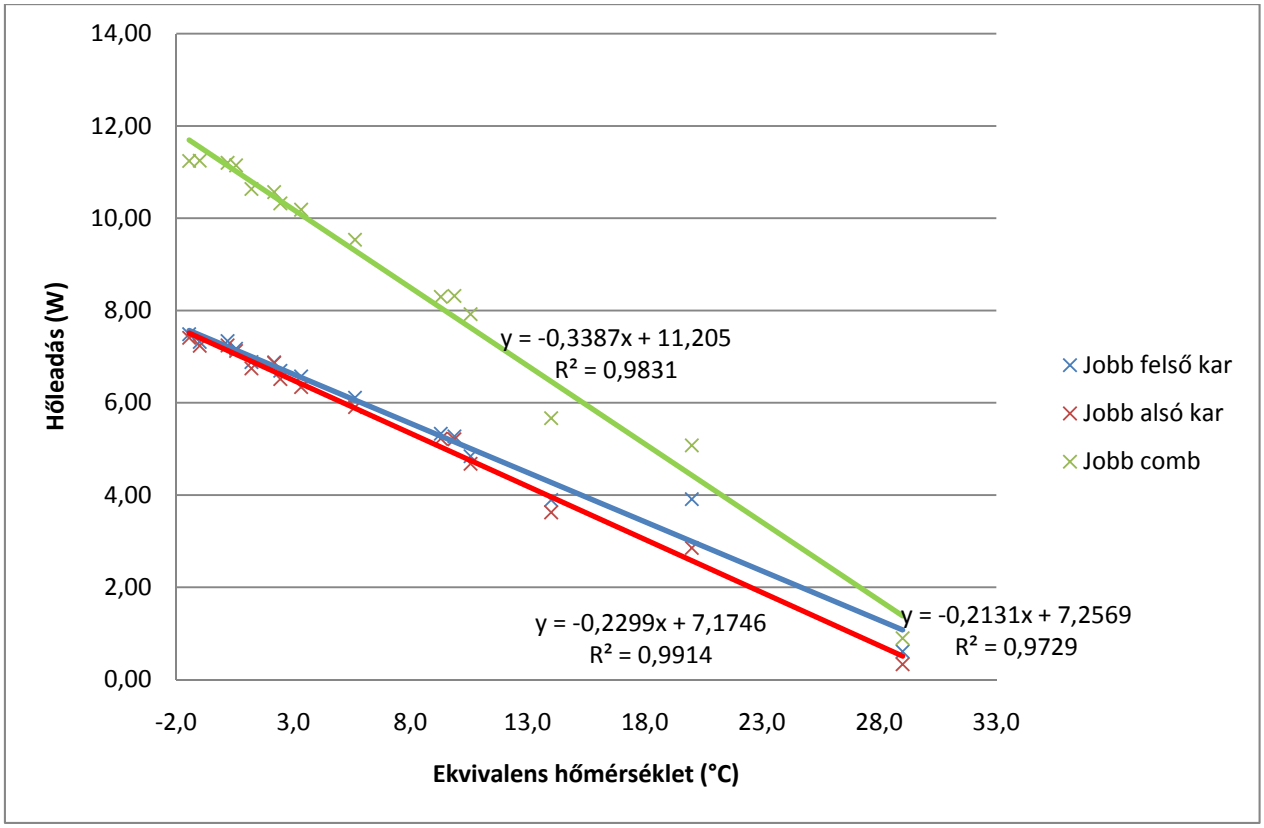
A hát, a jobb és a bal kéz fajlagos hőleadása 1,3 clo ruházat esetén



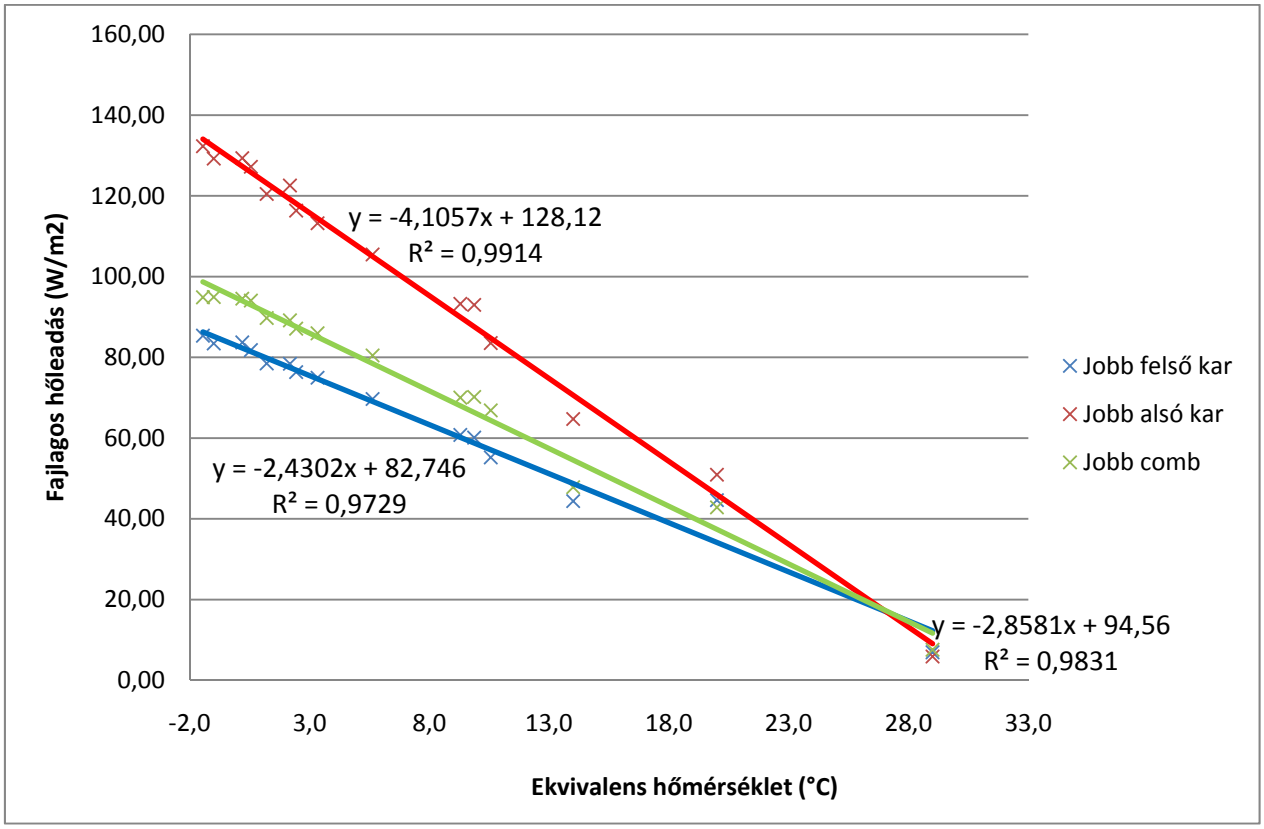
A bal felső kar, a bal alsó kar és a bal comb hőleadása 1,3 clo ruházat esetén



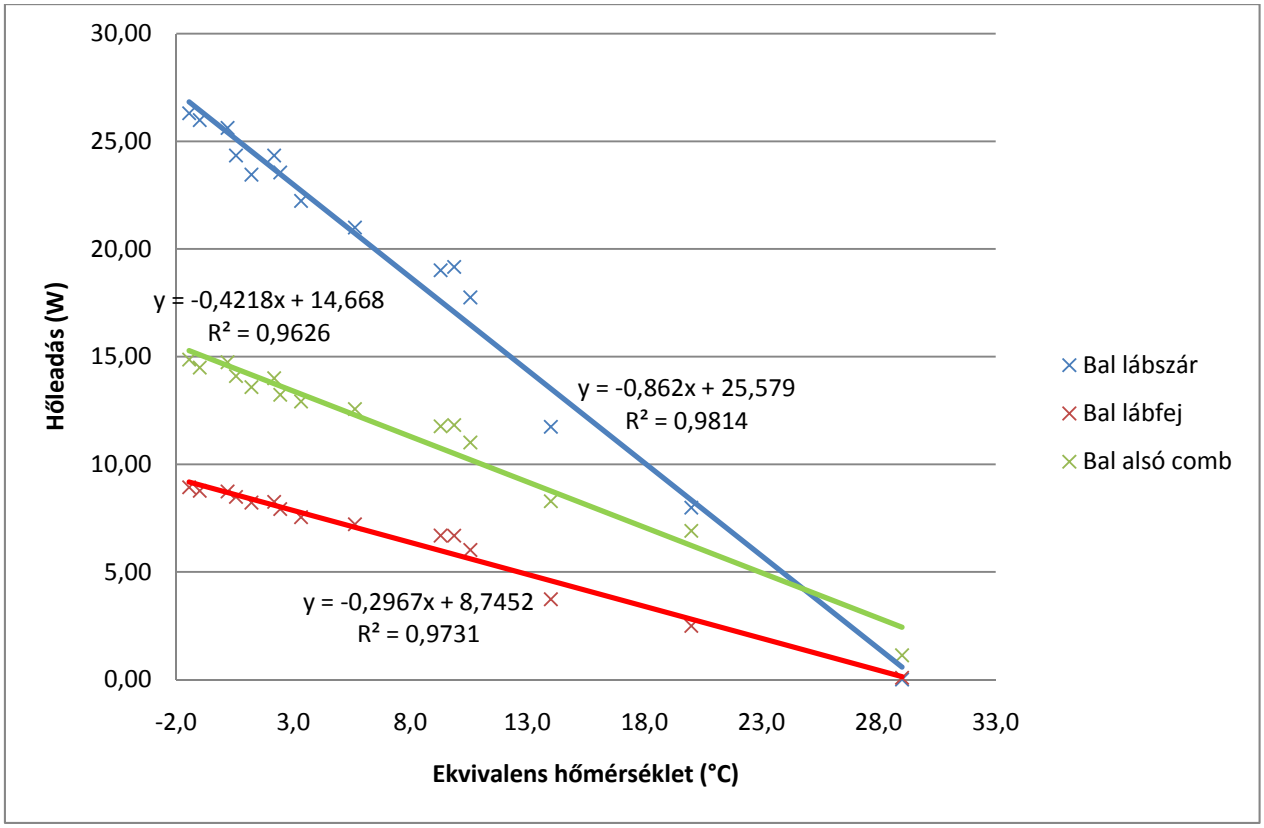
A bal felső kar, a bal alsó kar és a bal comb fajlagos hőleadása 1,3 clo ruházat esetén



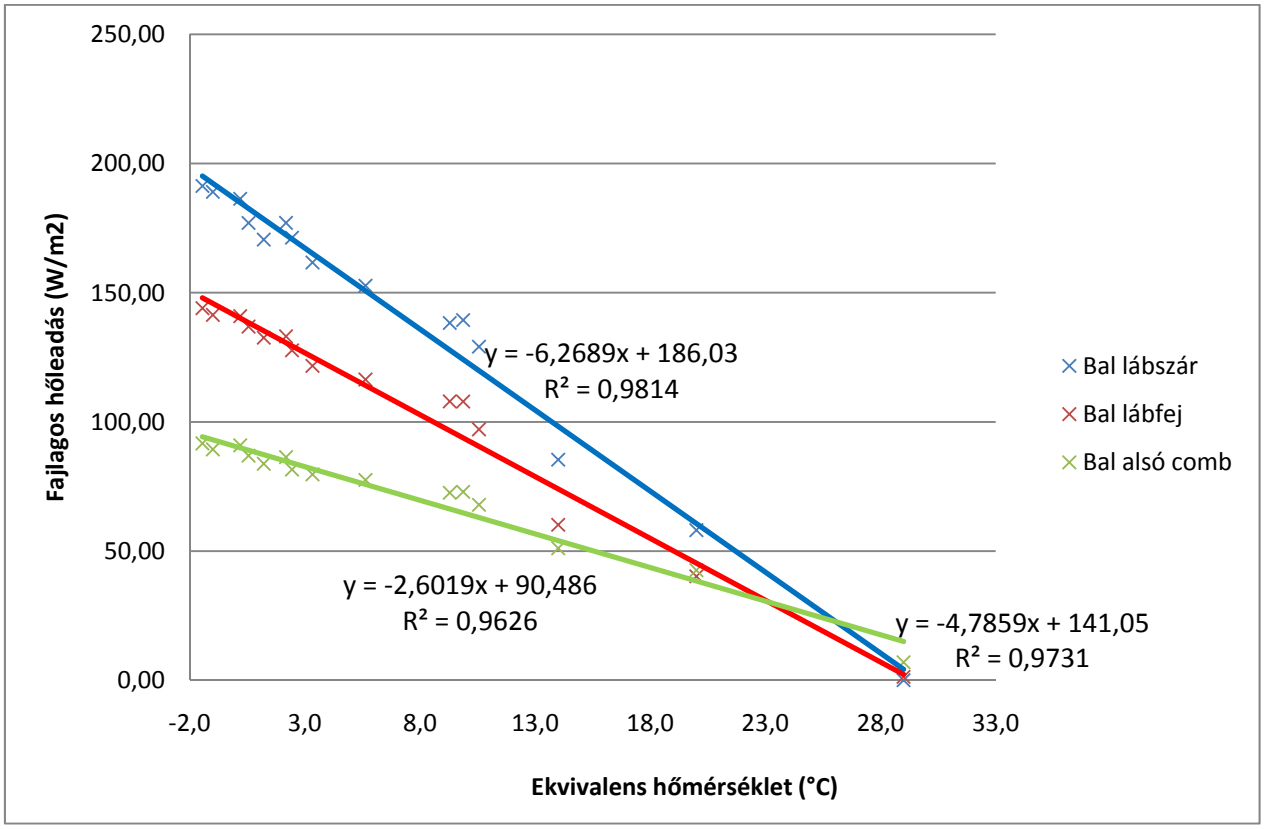
A jobb felső kar, a jobb alsó kar és a jobb alsó comb hőleadása 1,3 clo ruházat esetén



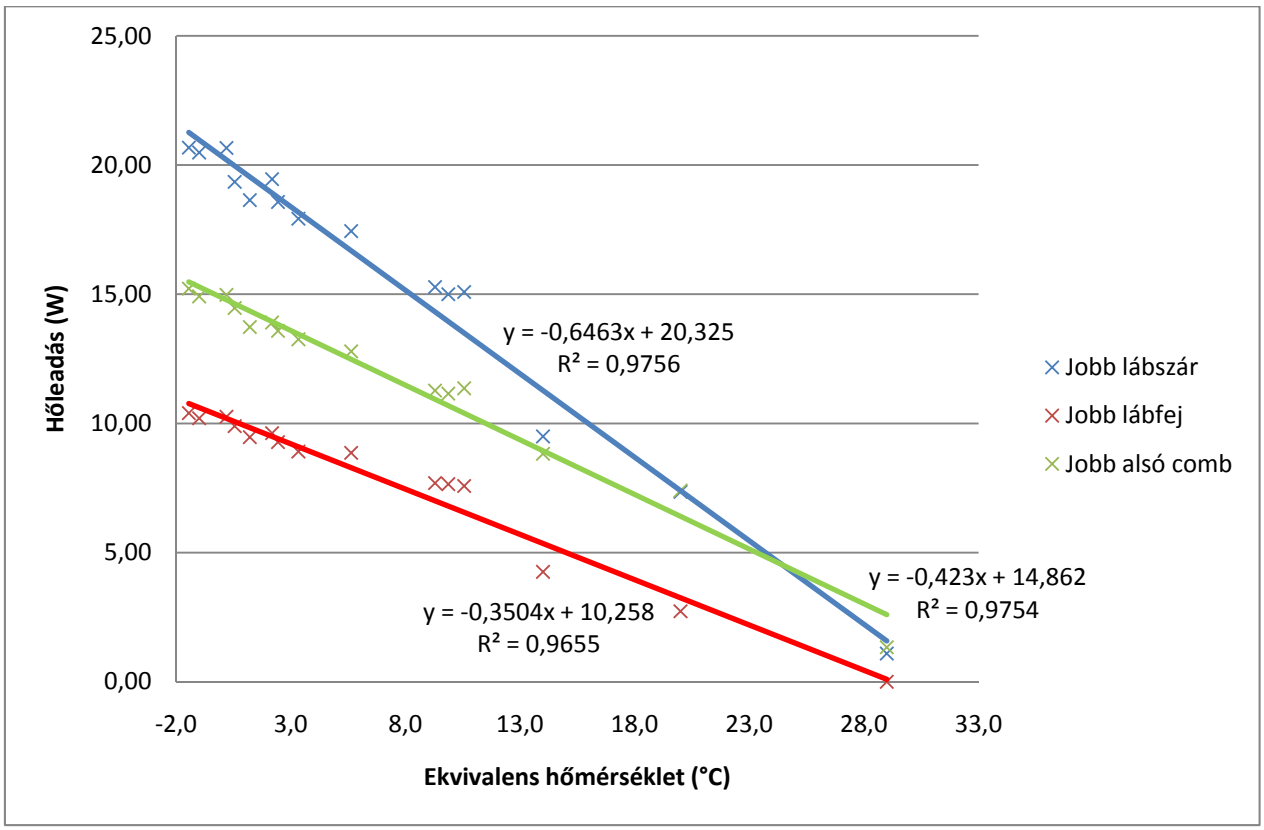
A jobb felső kar, a jobb alsó kar és a jobb alsó comb fajlagos hőleadása 1,3 clo ruházat esetén



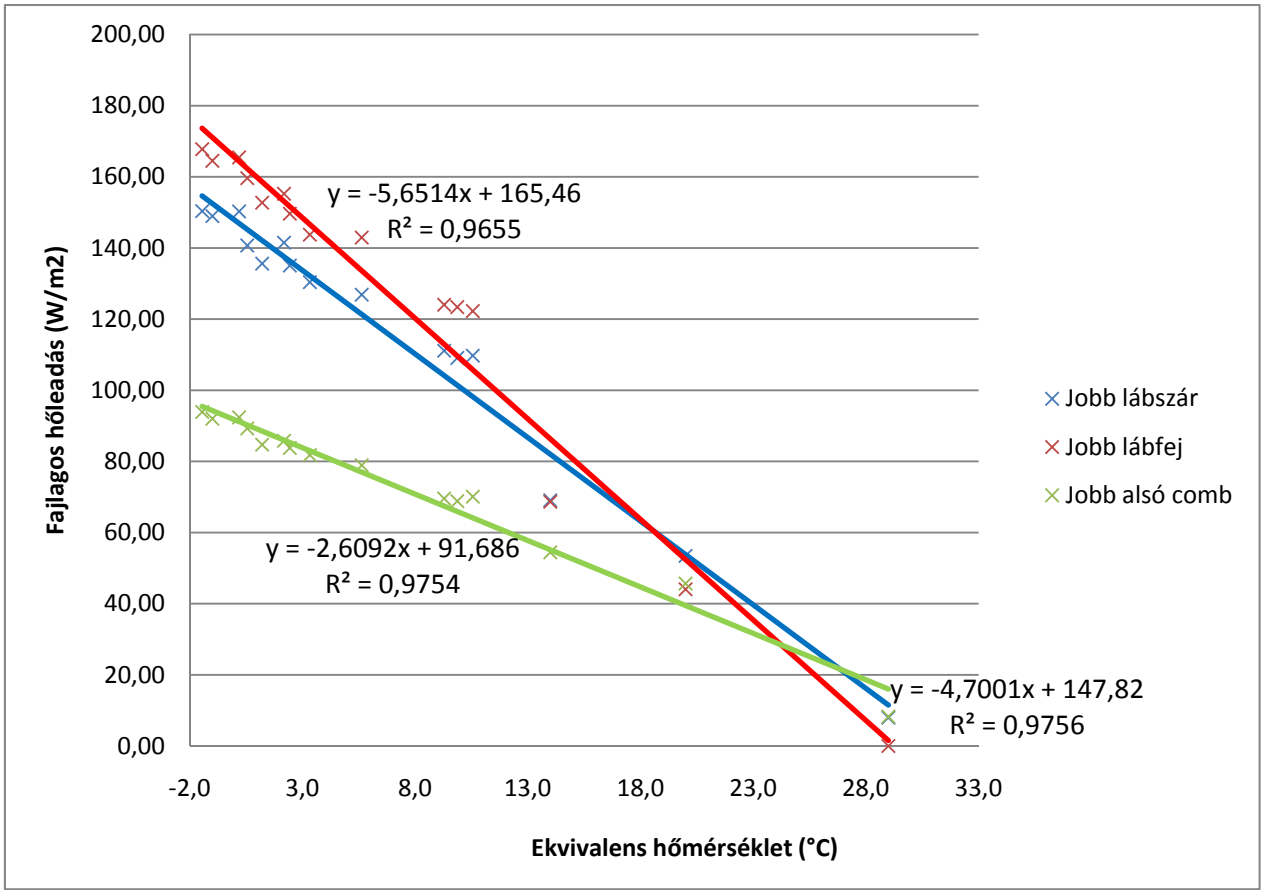
A bal lábszár, a bal lábfej és a bal alsó comb hőleadása 1,3 clo ruházat esetén



A bal lábszár, a bal lábfej és a bal alsó comb fajlagos hőleadása 1,3 clo ruházat esetén

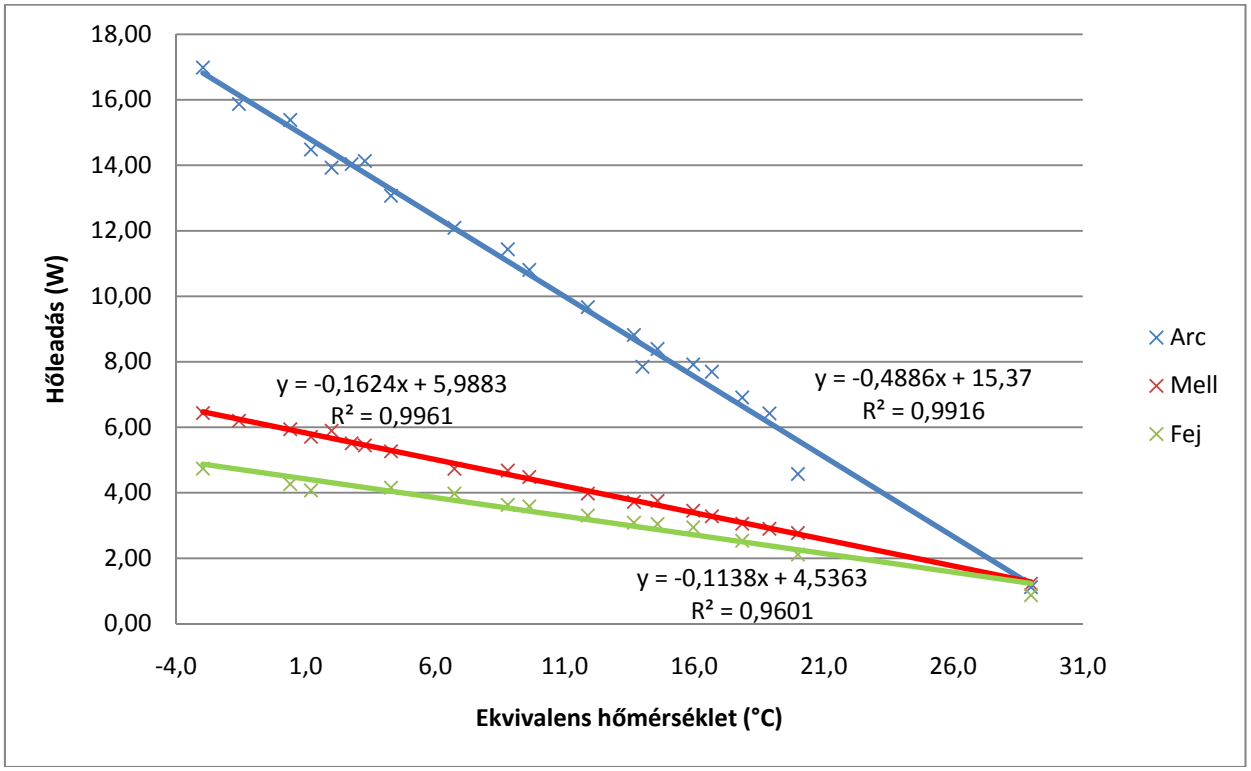


A jobb lábszár, a jobb lábfej és a jobb alsó comb hőleadása 1,3 clo ruházat esetén

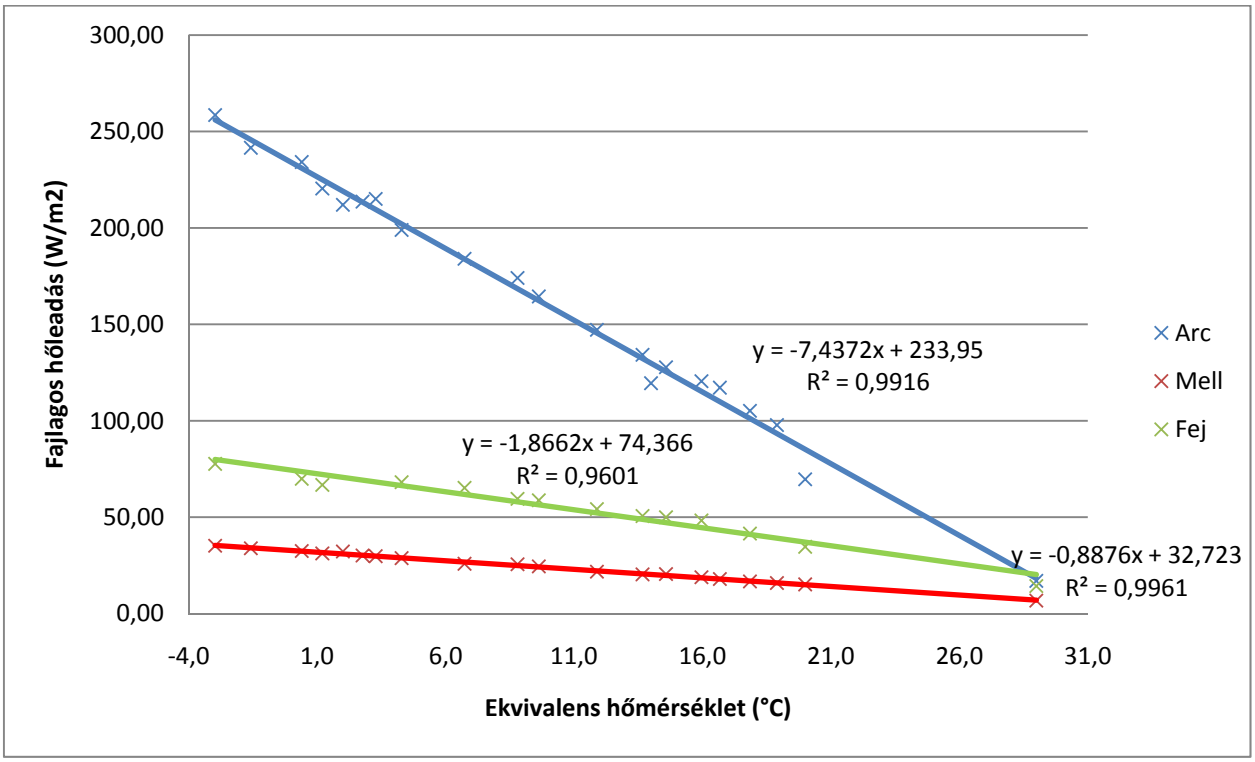


A jobb lábszár, a jobb lábfej és a jobb alsó comb fajlagos hőleadása 1,3 clo ruházat esetén

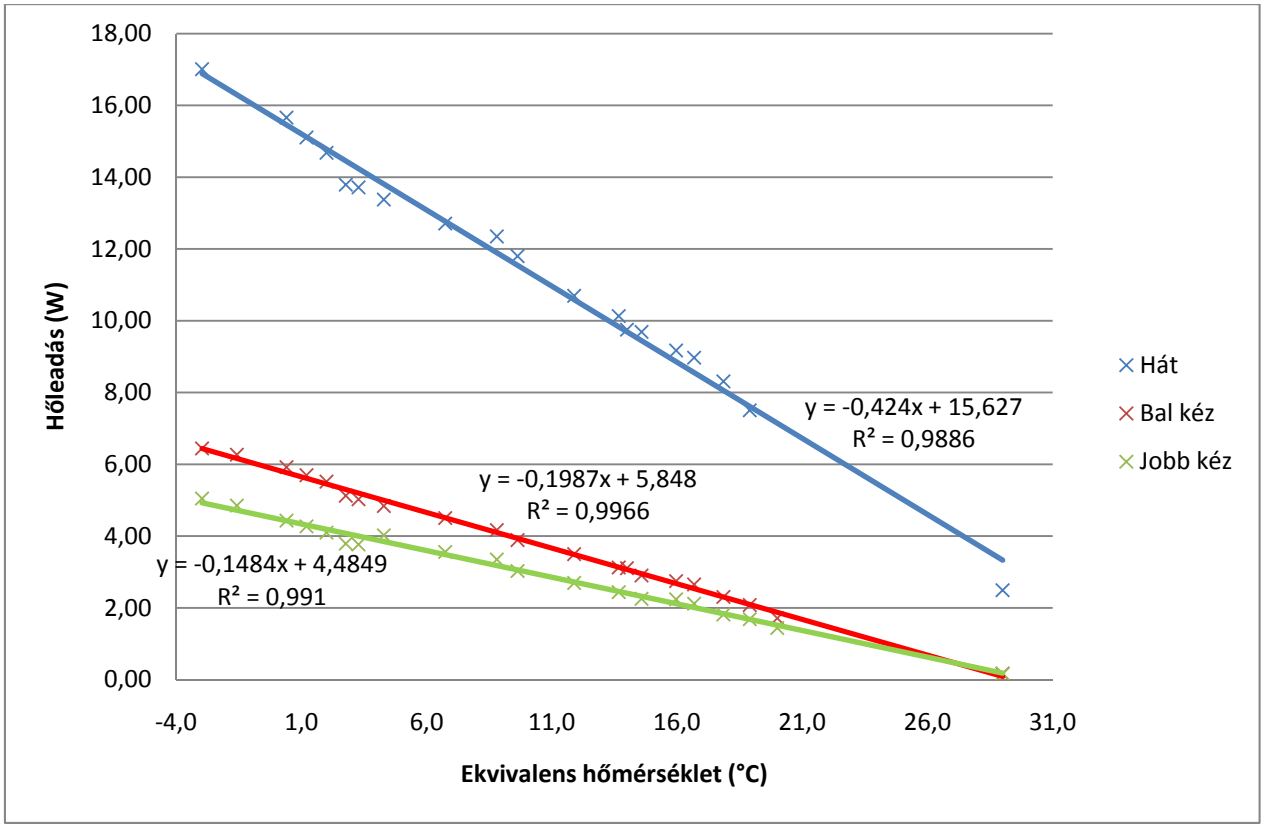
M9. A testrészek hőleadása és fajlagos hőleadása 1,5 clo ruházatban



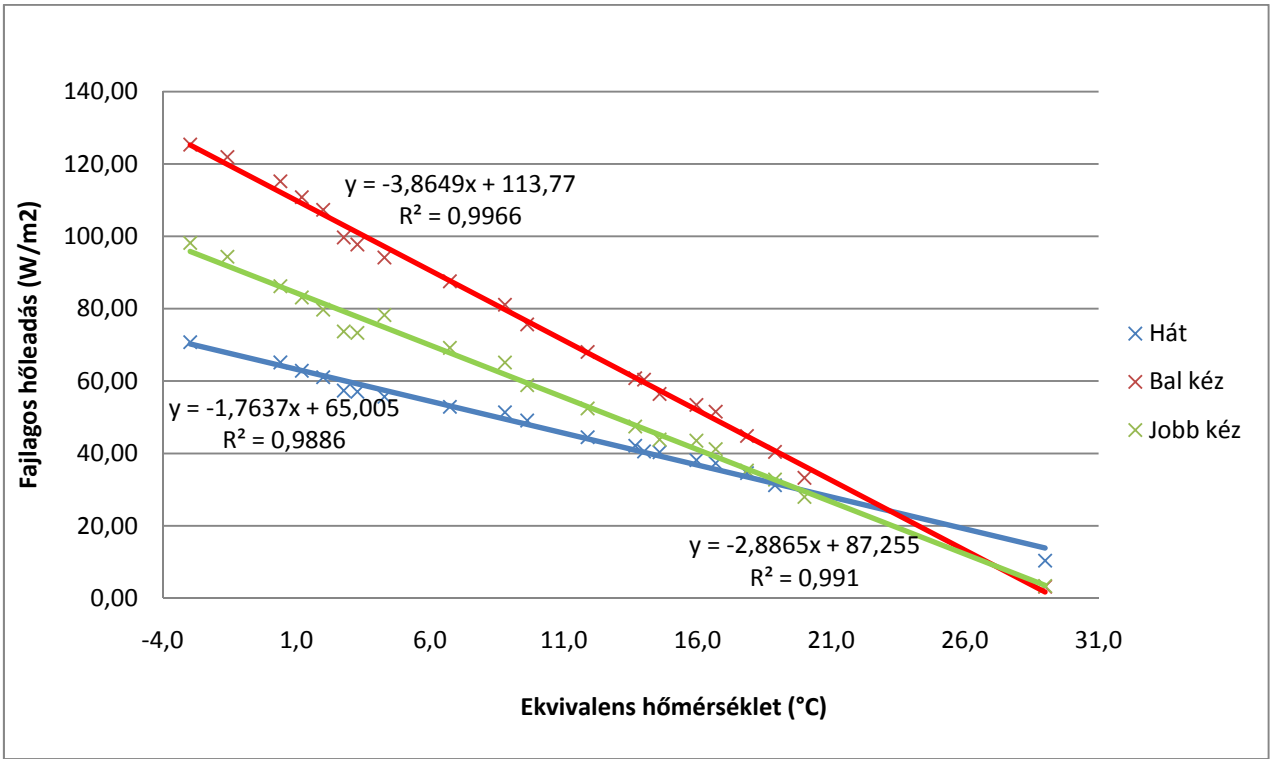
Az arc, a mell és a fej hőleadása 1,5 clo ruházat esetén



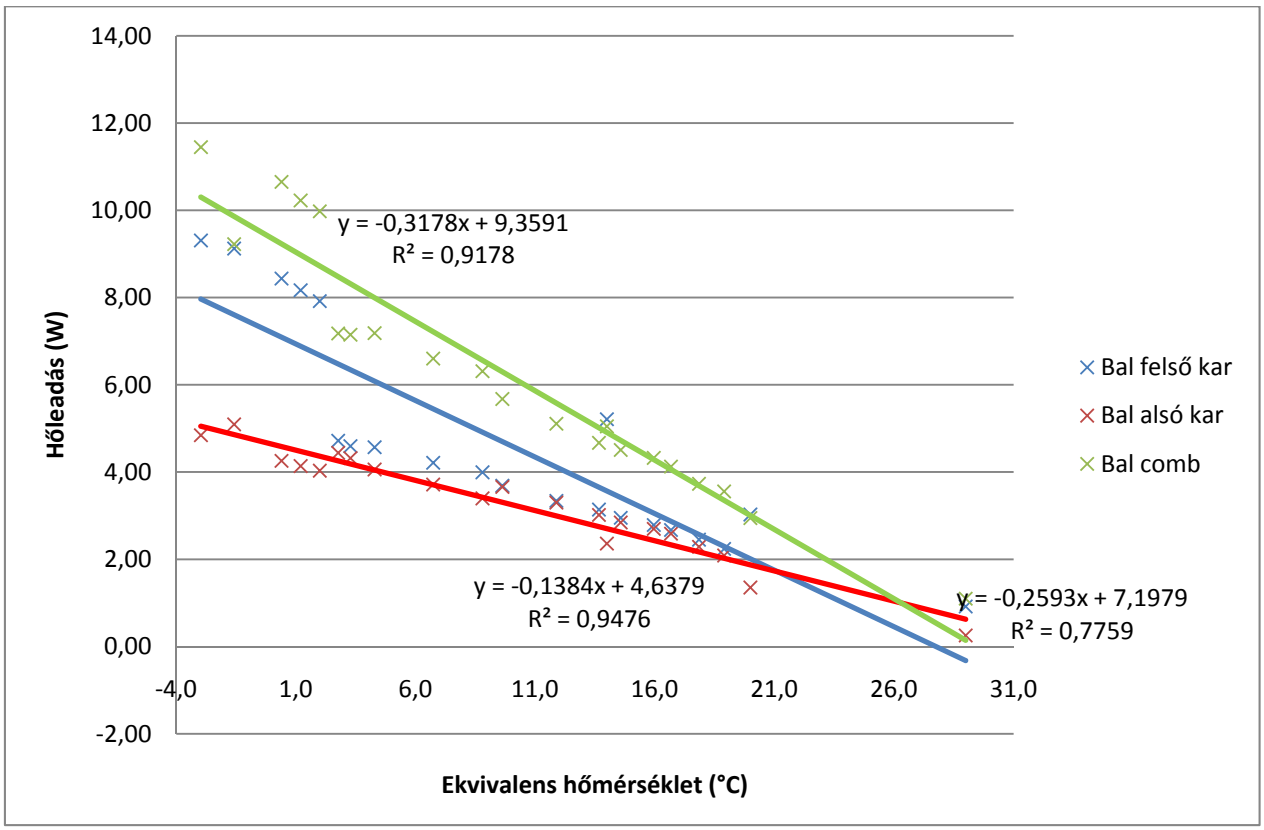
Az arc, a mell és a fej fajlagos hőleadása 1,5 clo ruházat esetén



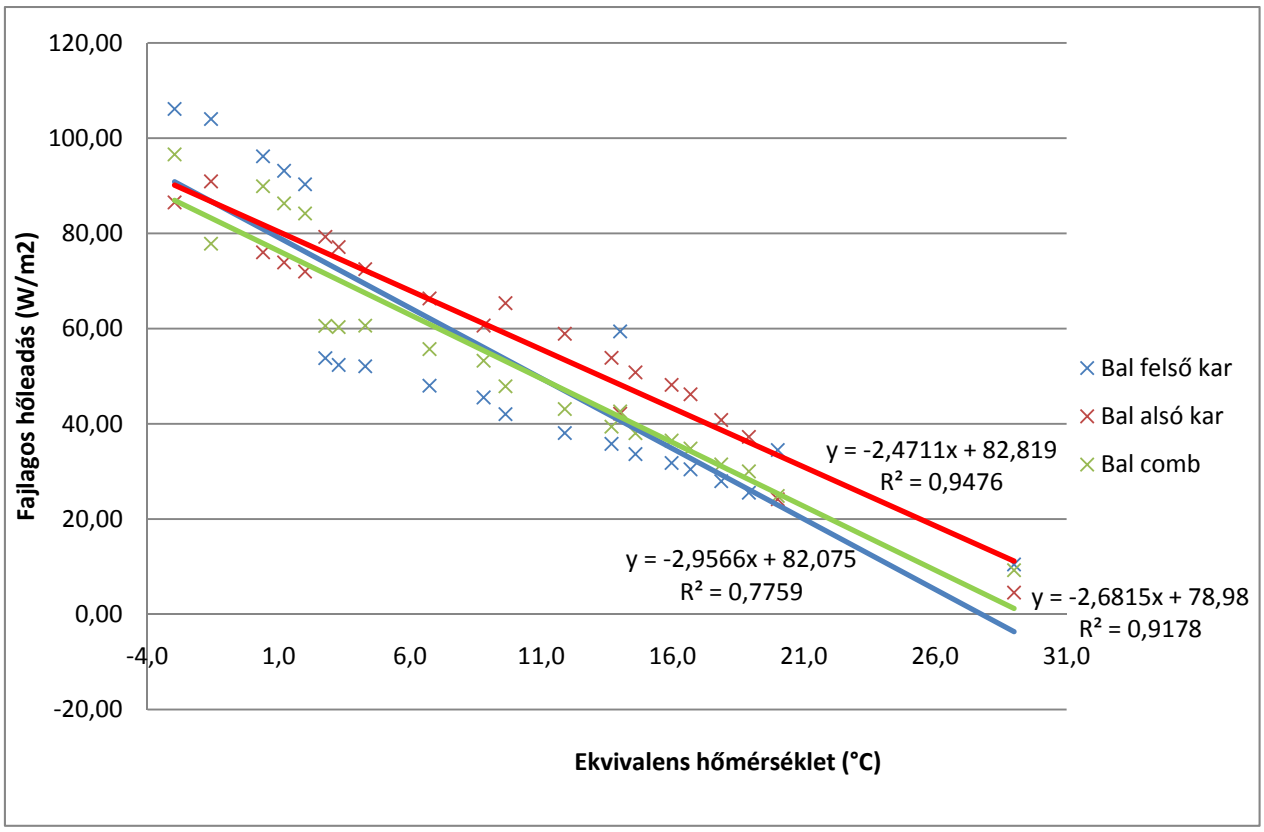
A hát, a bal kéz és a jobb kéz hőleadása 1,5 clo ruházat esetén



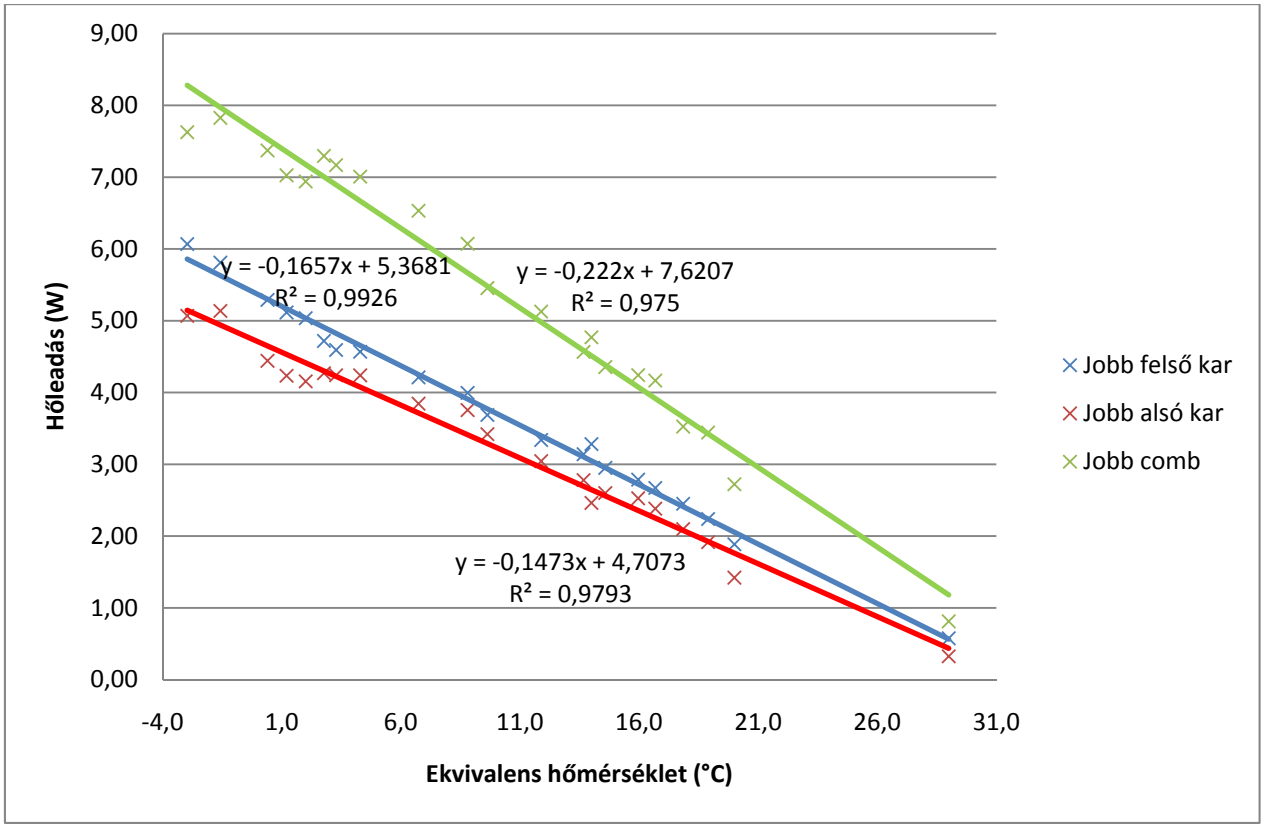
A hát, a bal kéz és a jobb kéz fajlagos hőleadása 1,5 clo ruházat esetén



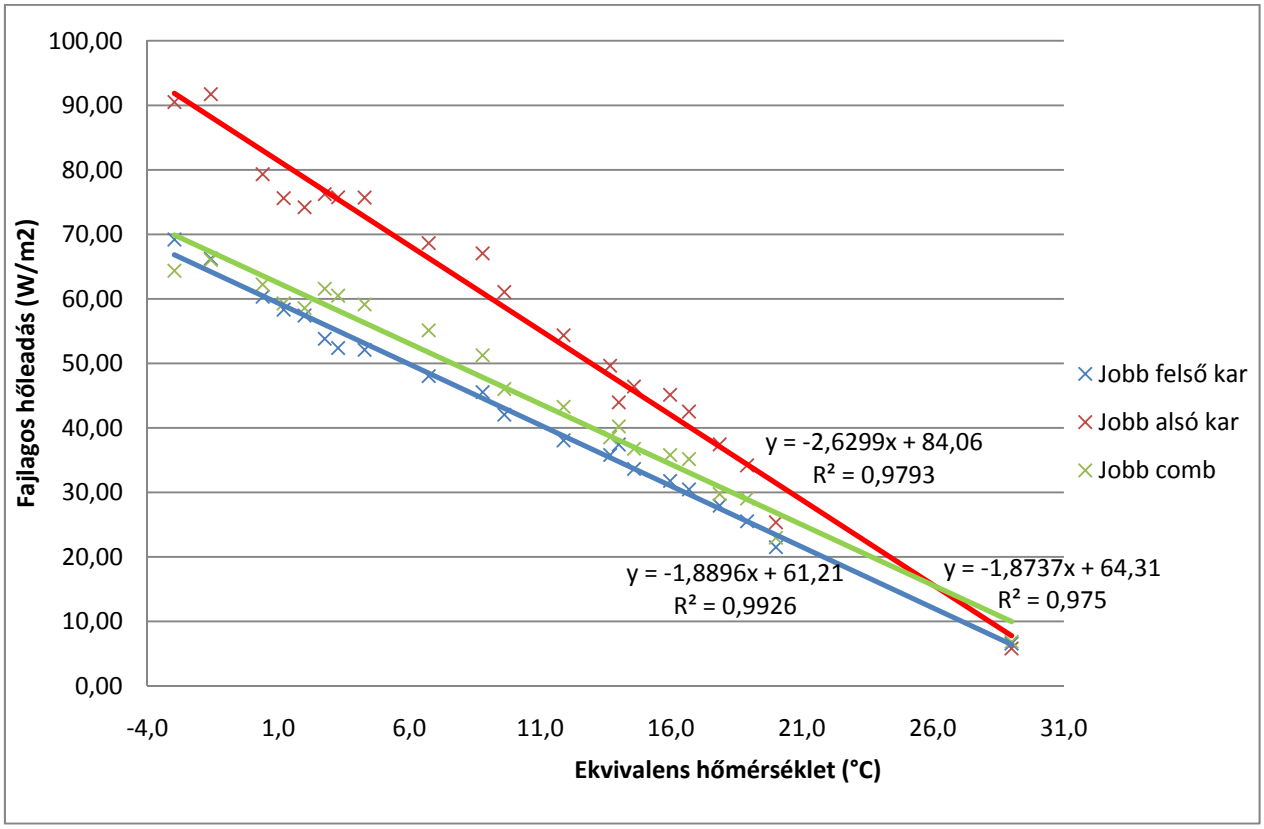
A bal felső kar, a bal alsó kar és a bal comb hőleadása 1,5 clo ruházat esetén



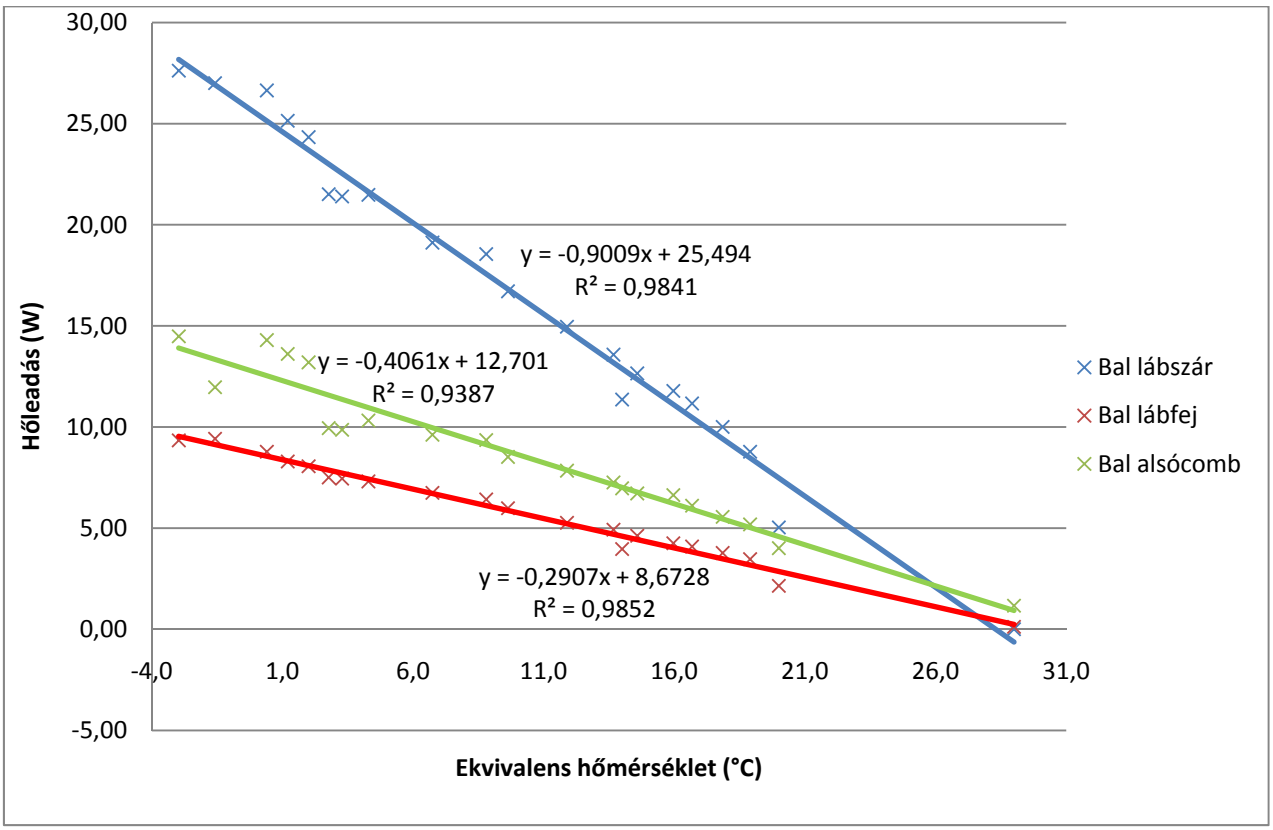
A bal felső kar, a bal alsó kar és a bal comb fajlagos hőleadása 1,5 clo ruházat esetén



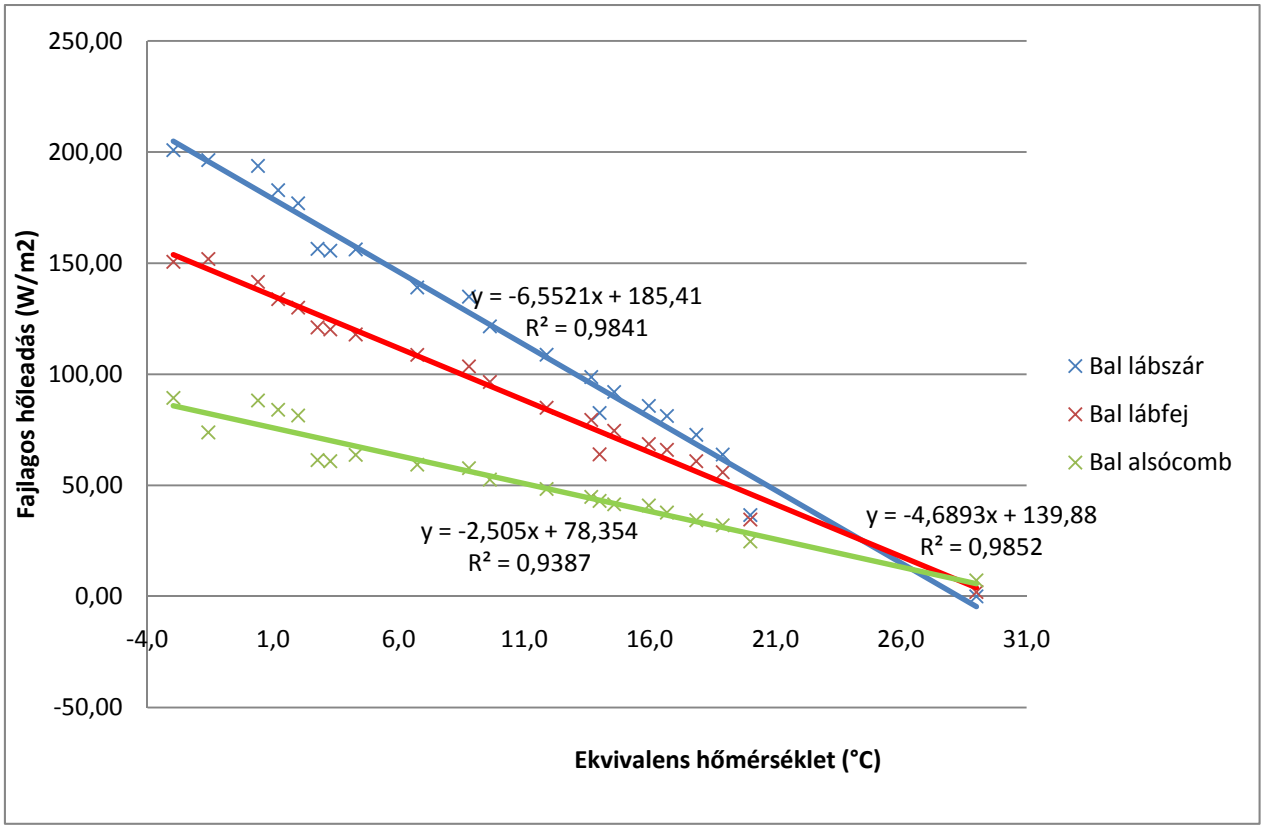
A jobb felső kar, a jobb alsó kar és a jobb comb hőleadása 1,5 clo ruházat esetén



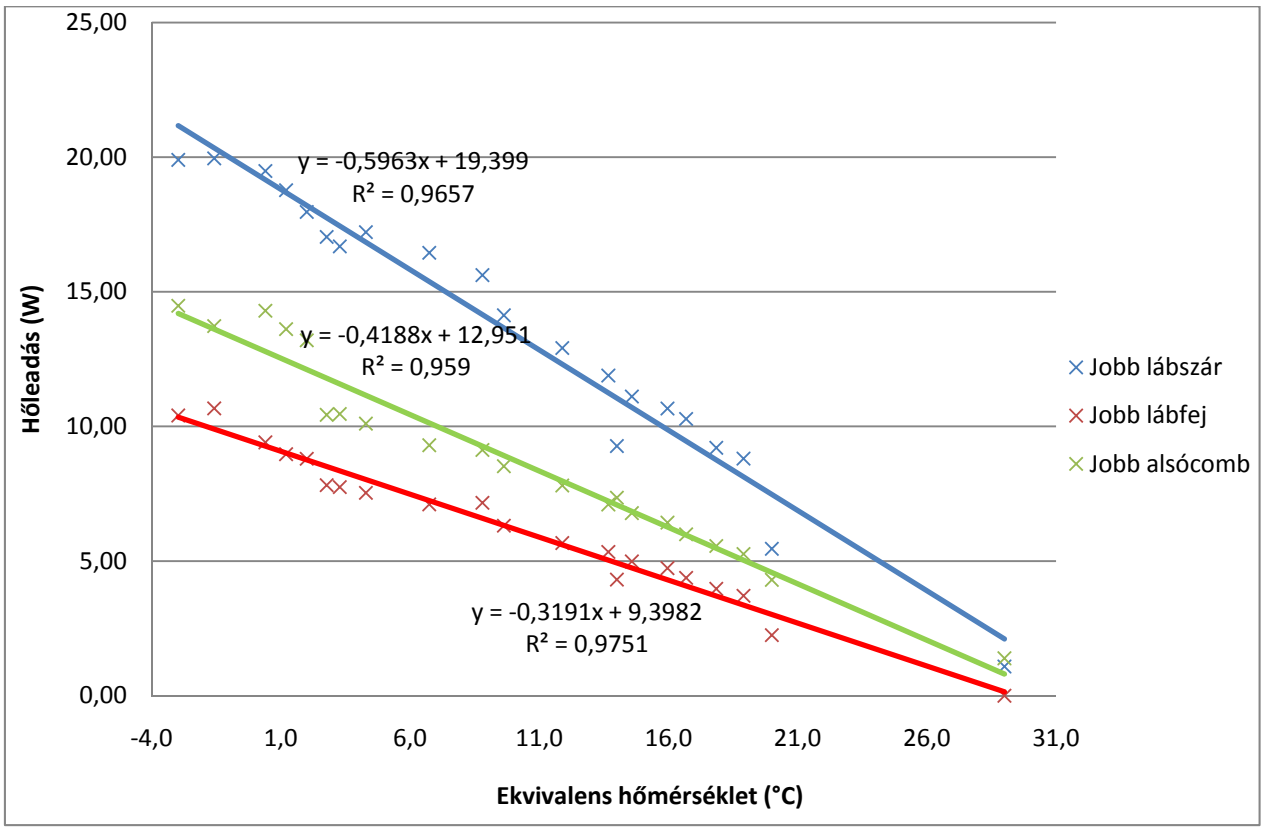
A jobb felső kar, a jobb alsó kar és a jobb comb fajlagos hőleadása 1,5 clo ruházat esetén



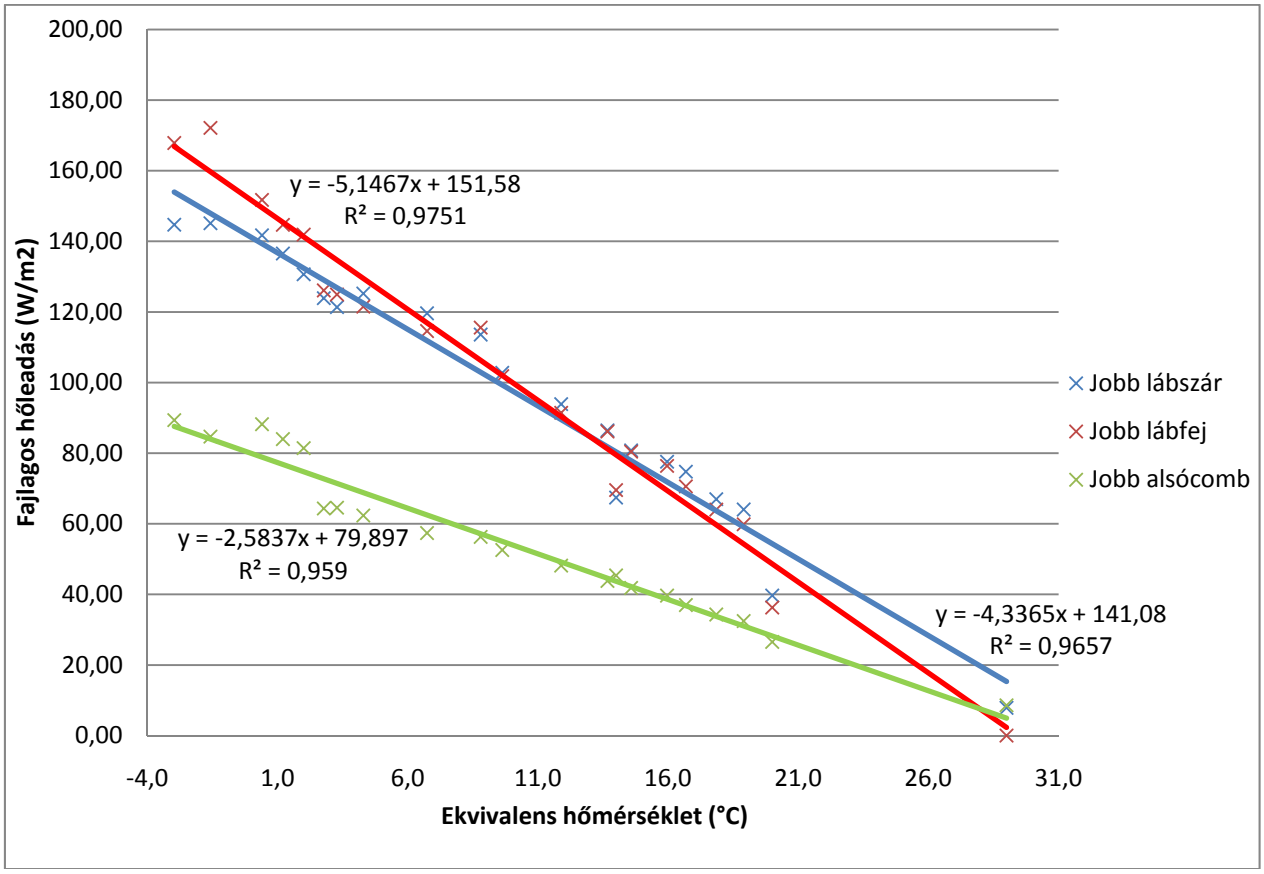
A bal lábszár, a bal lábfej és a bal alsócomb hőleadása 1,5 clo ruházat esetén



A bal lábszár, a bal lábfej és a bal alsócomb fajlagos hőleadása 1,5 clo ruházat esetén

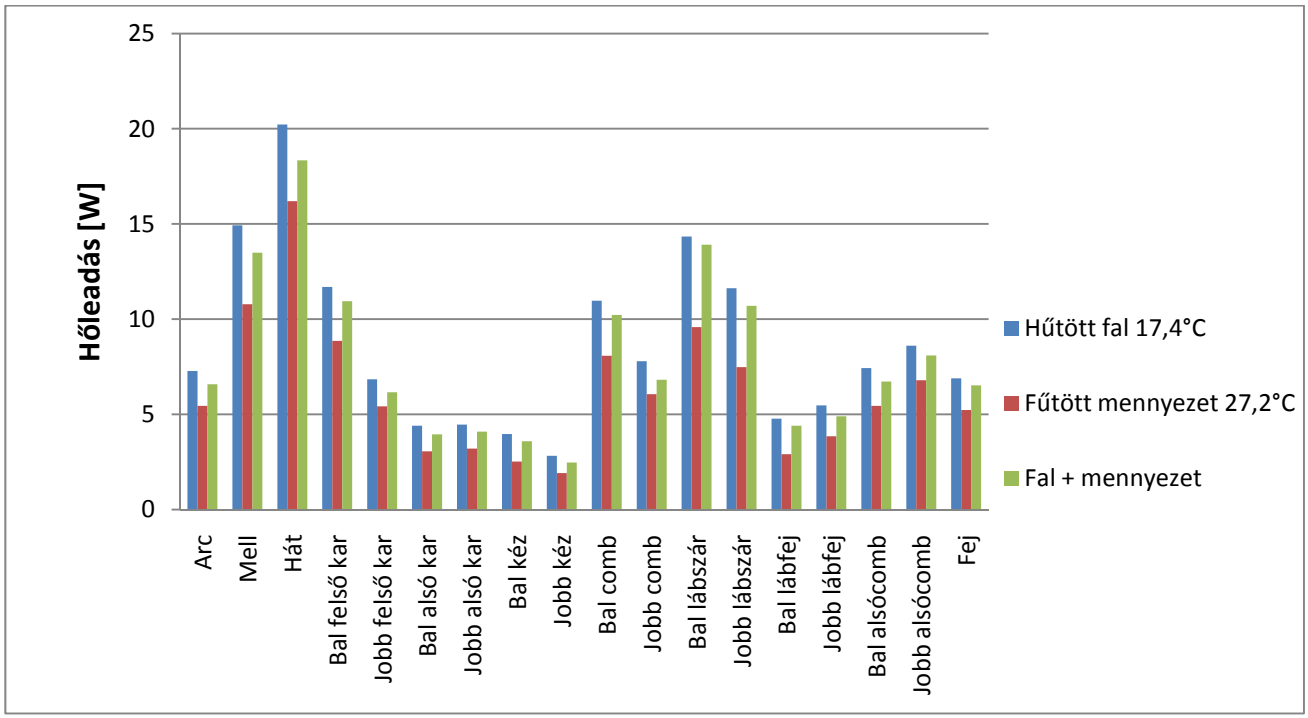


A jobb lábszár, a jobb lábfej és a jobb alsócomb hőleadása 1,5 clo ruházat esetén

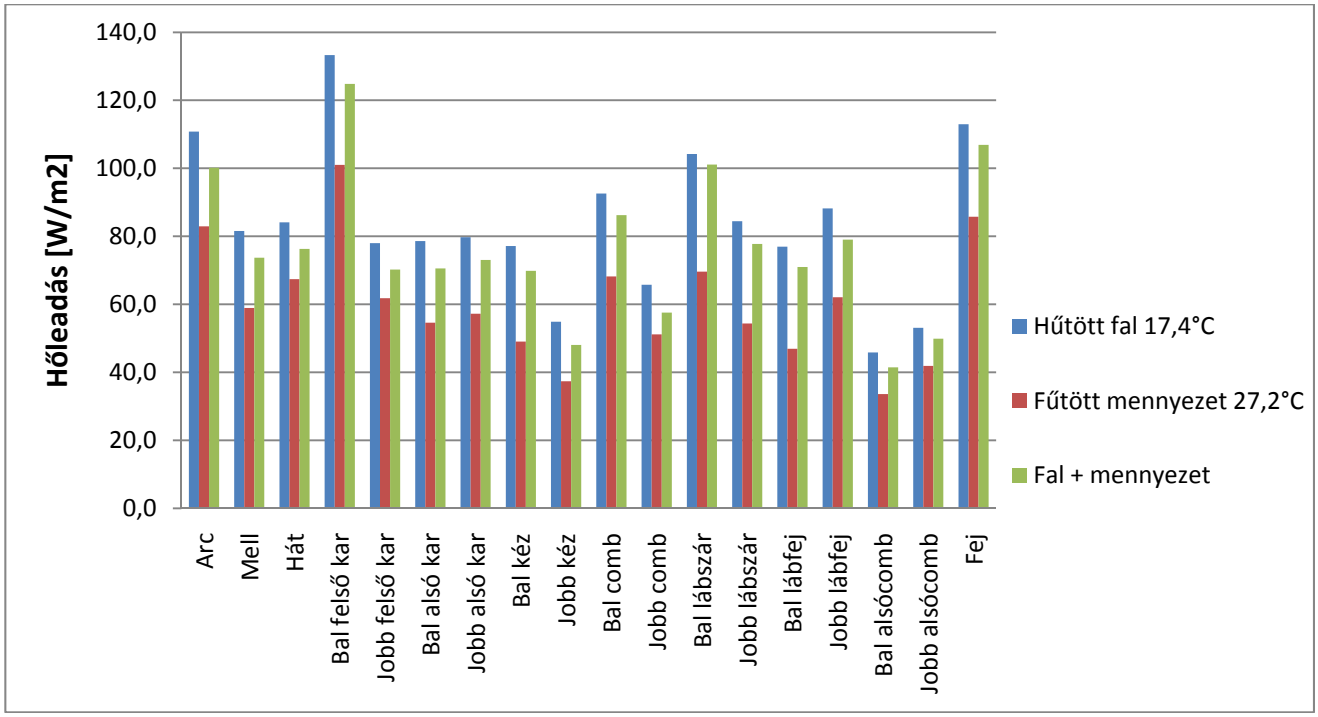


A jobb lábszár, a jobb lábfej és a jobb alsócomb fajlagos hőleadása 1,5 clo ruházat esetén

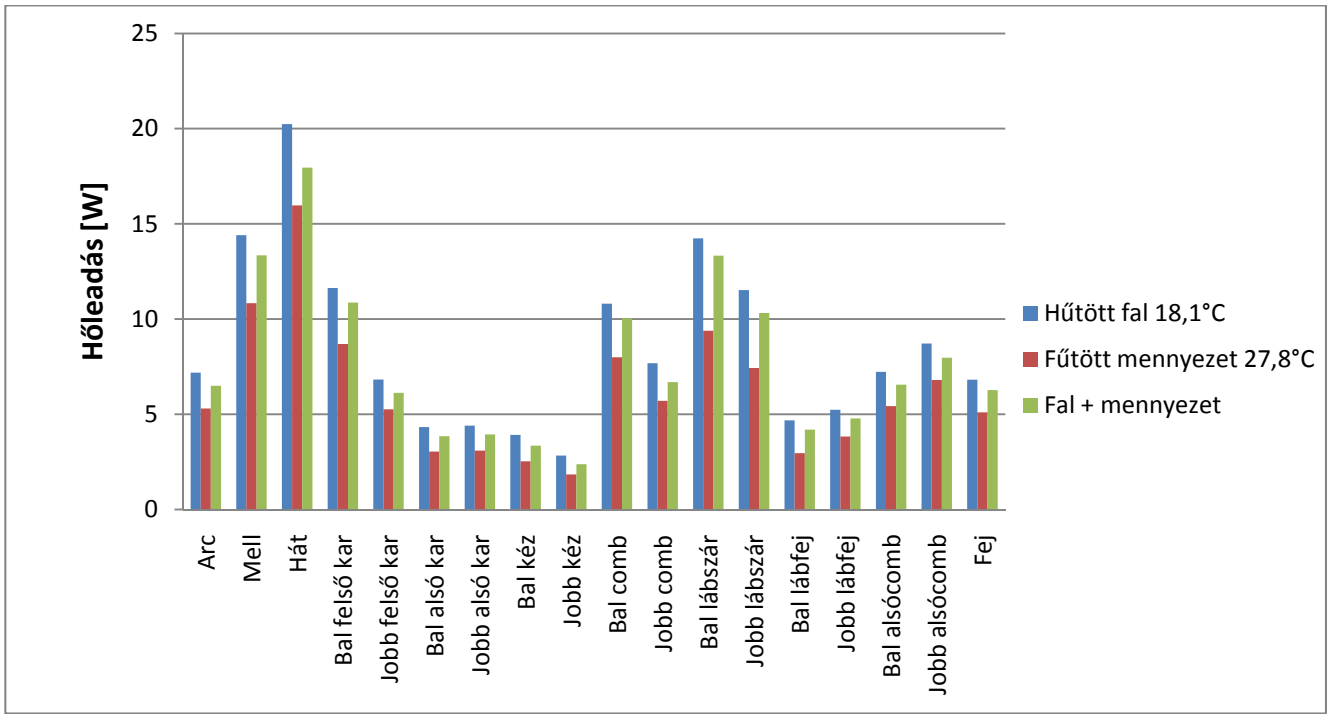
M10. A testrészek hőleadása és fajlagos hőleadása különböző felületi fűtés-hűtés mellett ruhátlan test esetén



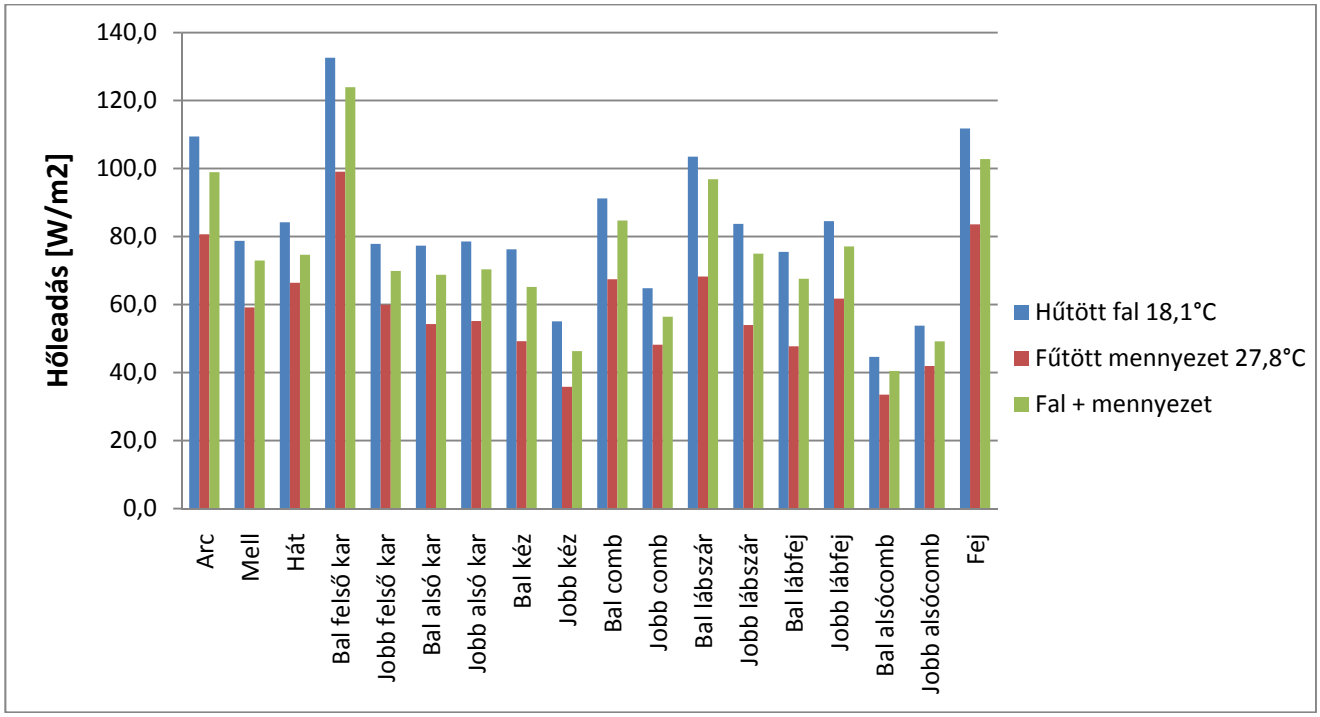
A testrészek hőleadása ruhátlan test esetén, hűtött fal 17,4°C, fűtött mennyezet 27,2°C



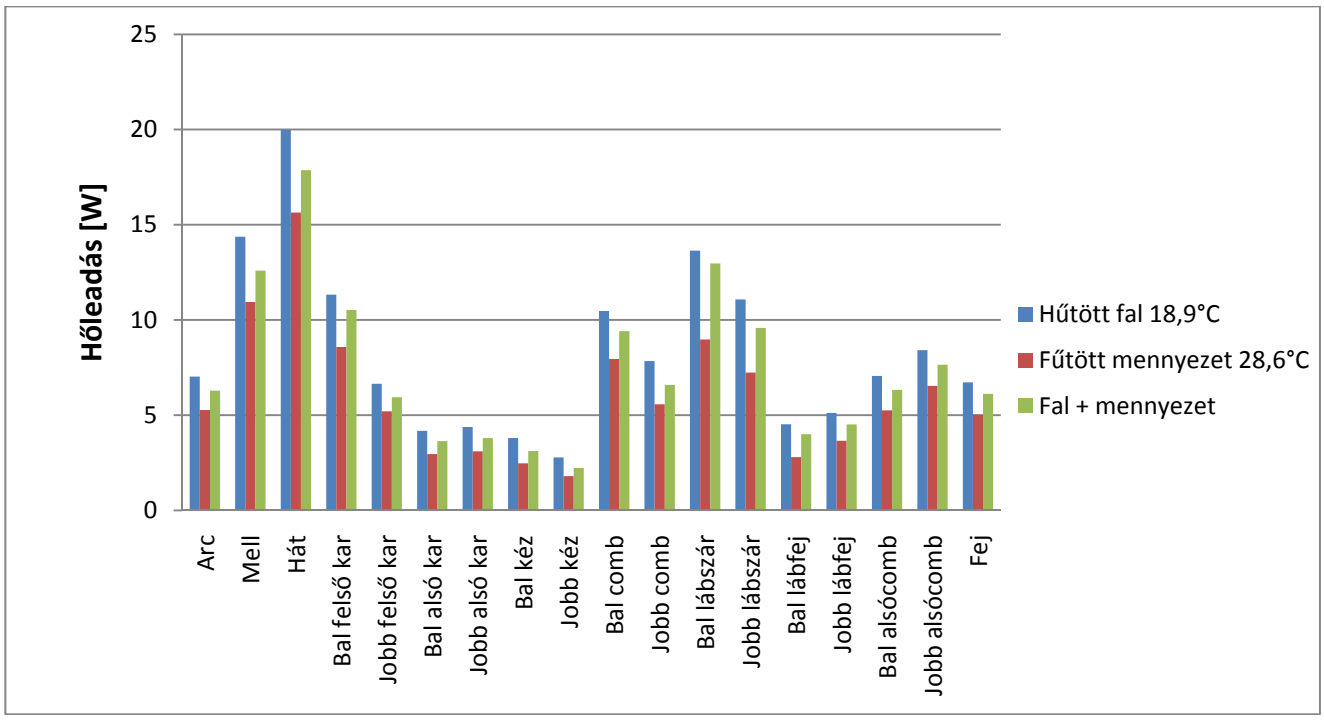
A testrészek fajlagos hőleadása ruhátlan test esetén, hűtött fal 17,4°C, fűtött mennyezet 27,2°C



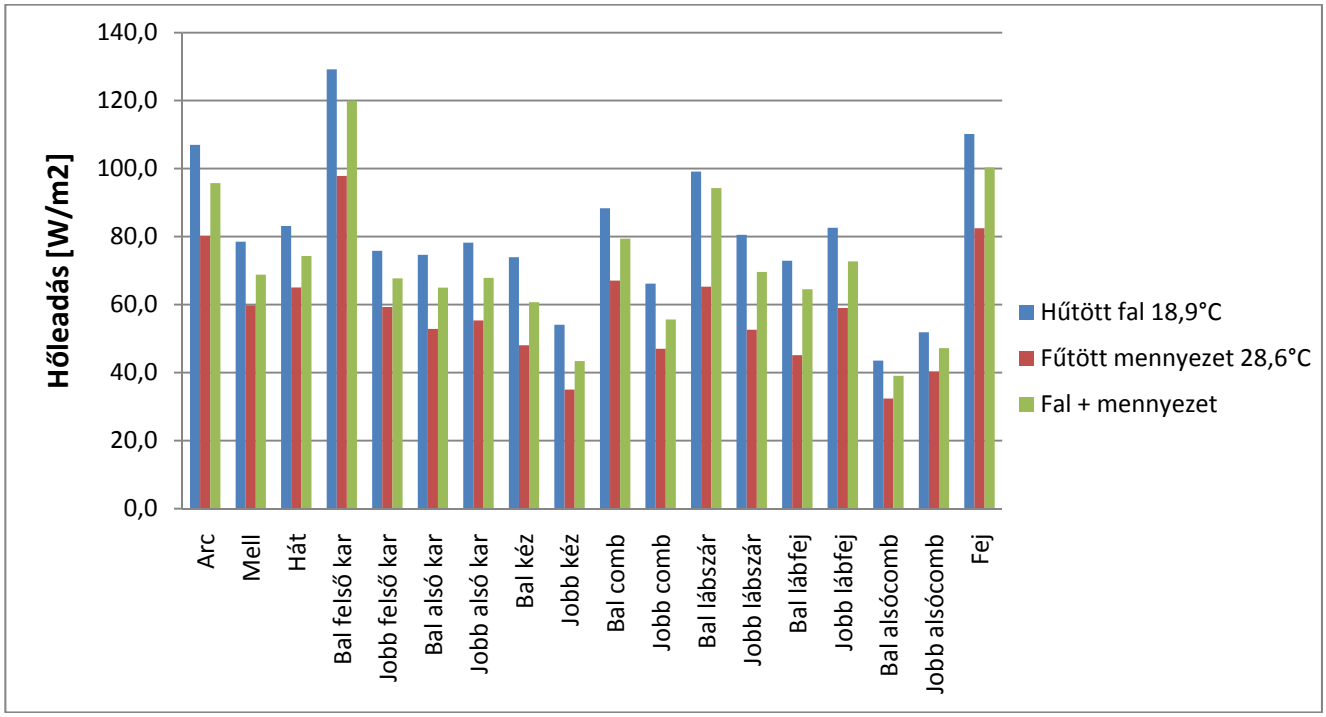
A testrészek hőleadása ruhátlan test esetén, hűtött fal 18,1°C, fűtött mennyezet 27,8°C



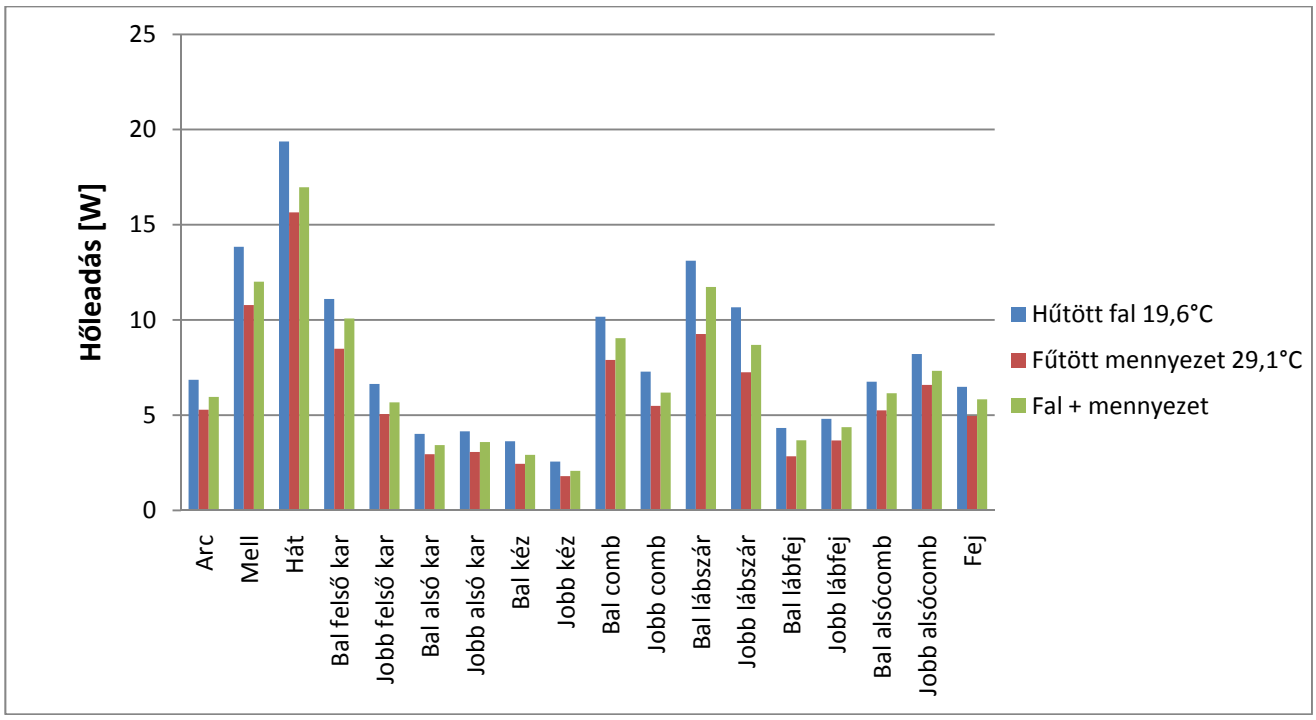
A testrészek fajlagos hőleadása ruhátlan test esetén, hűtött fal 18,1°C, fűtött mennyezet 27,8°C



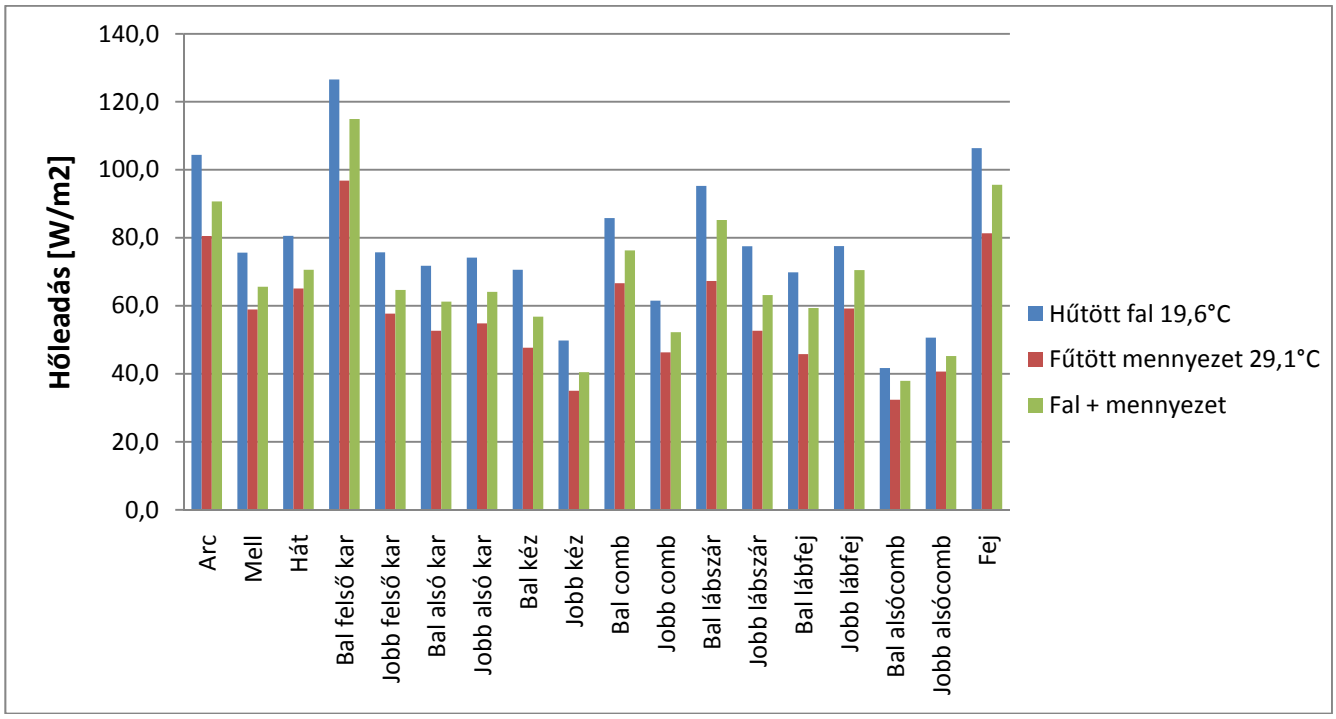
A testrészek hőleadása ruhátlan test esetén, hűtött fal 18,9°C, fűtött mennyezet 28,6°C



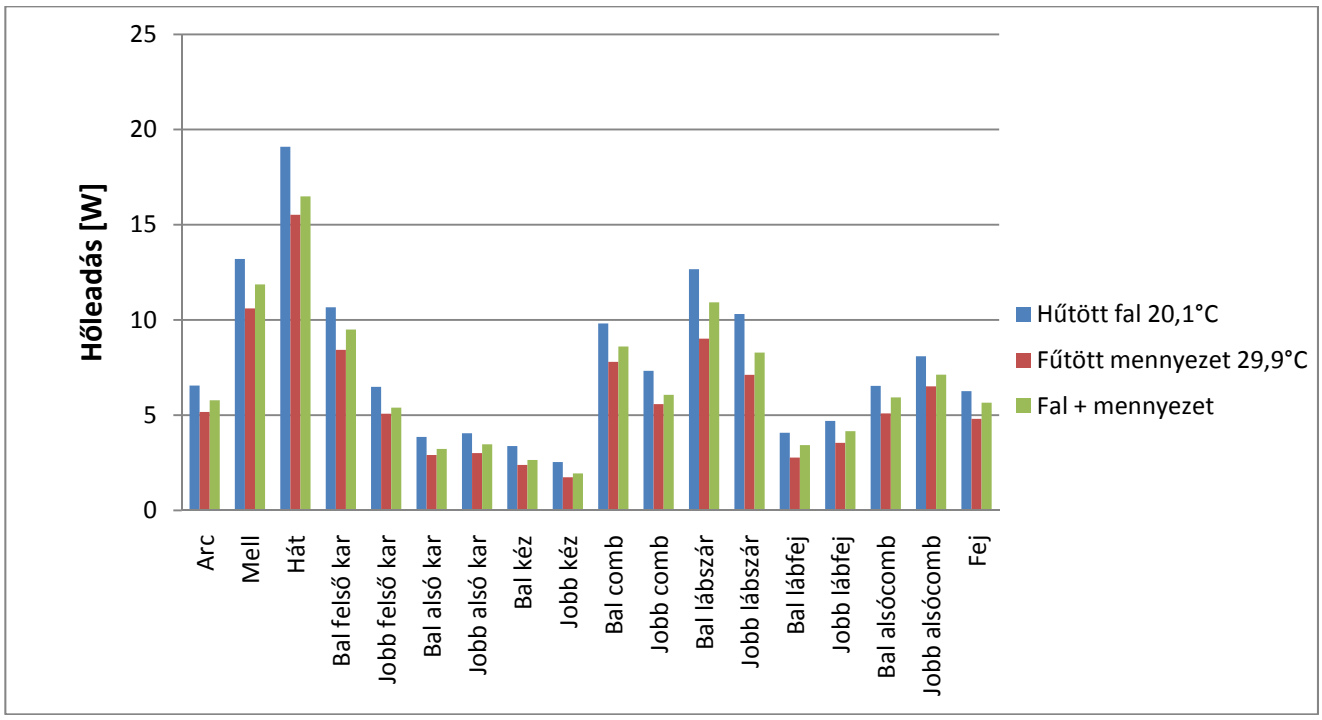
A testrészek fajlagos hőleadása ruhátlan test esetén, hűtött fal 18,9°C, fűtött mennyezet 28,6°C



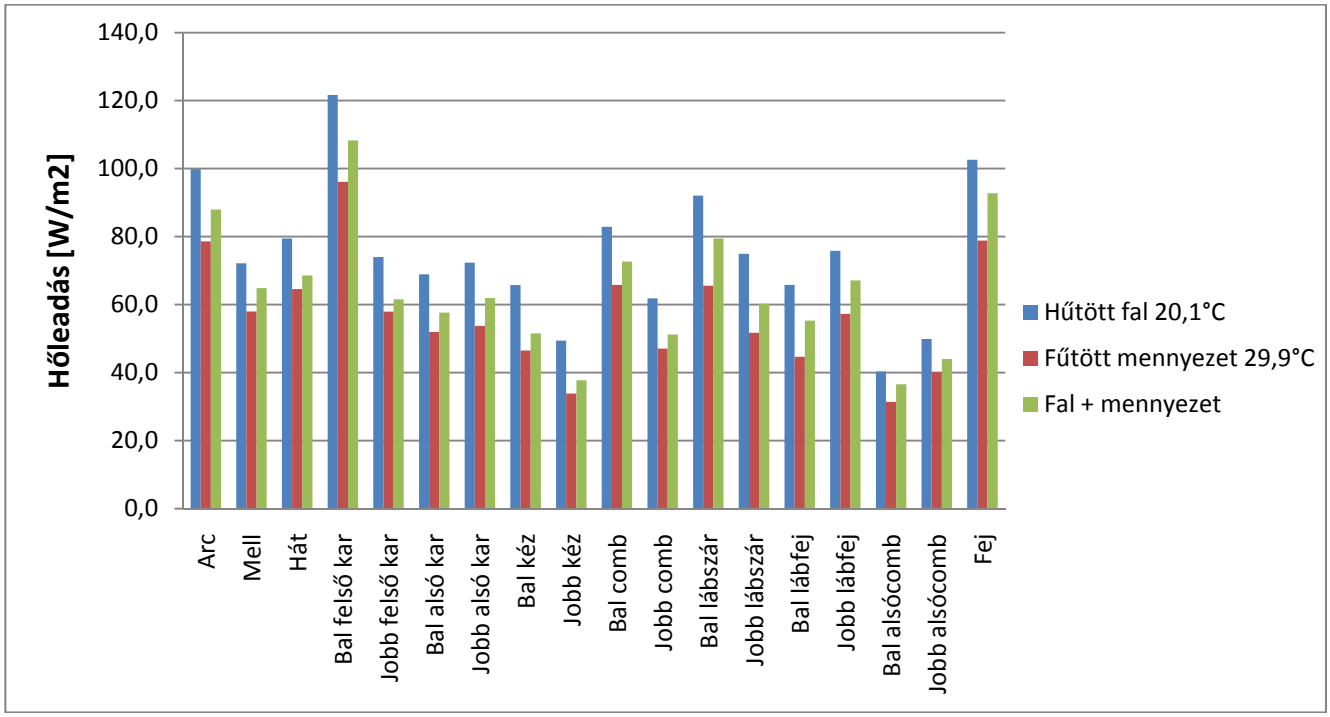
A testrészek hőleadása ruhátlan test esetén, hűtött fal 19,6°C, fűtött mennyezet 29,1°C



A testrészek fajlagos hőleadása ruhátlan test esetén, hűtött fal 19,6°C, fűtött mennyezet 29,1°C

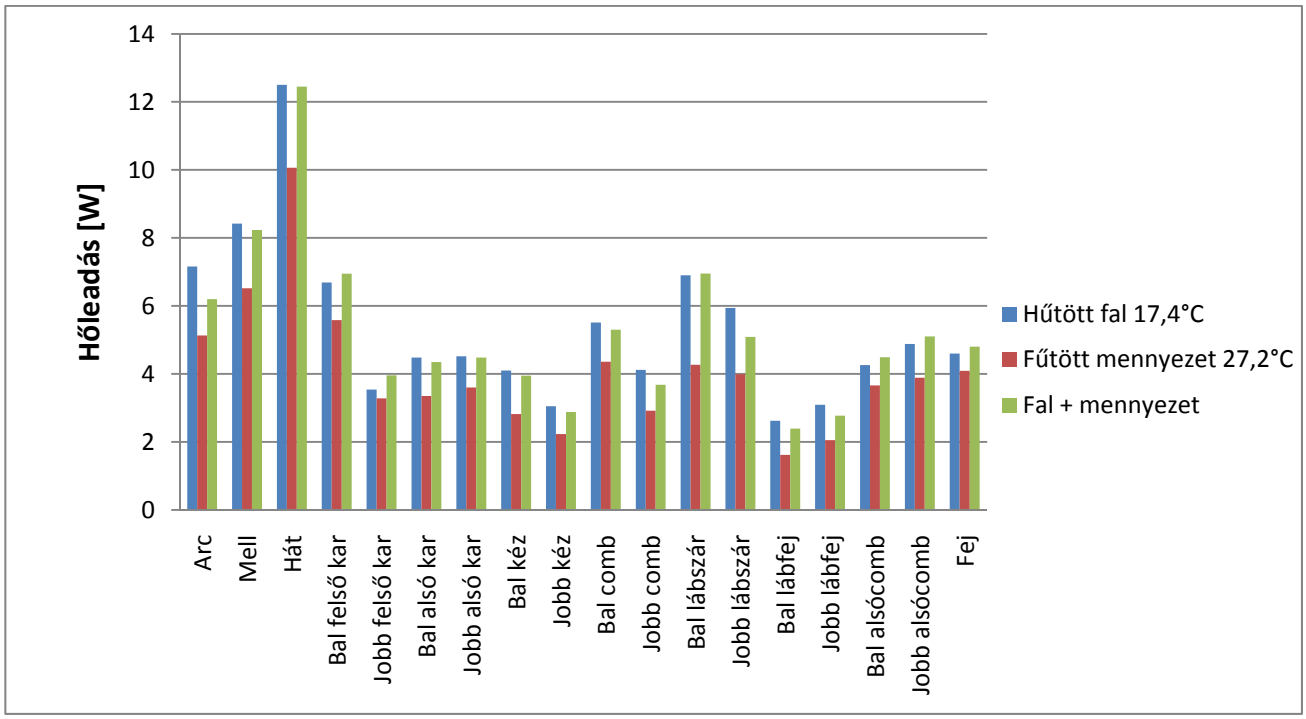


A testrészek hőleadása ruhátlan test esetén, hűtött fal 20,1°C, fűtött mennyezet 29,9°C

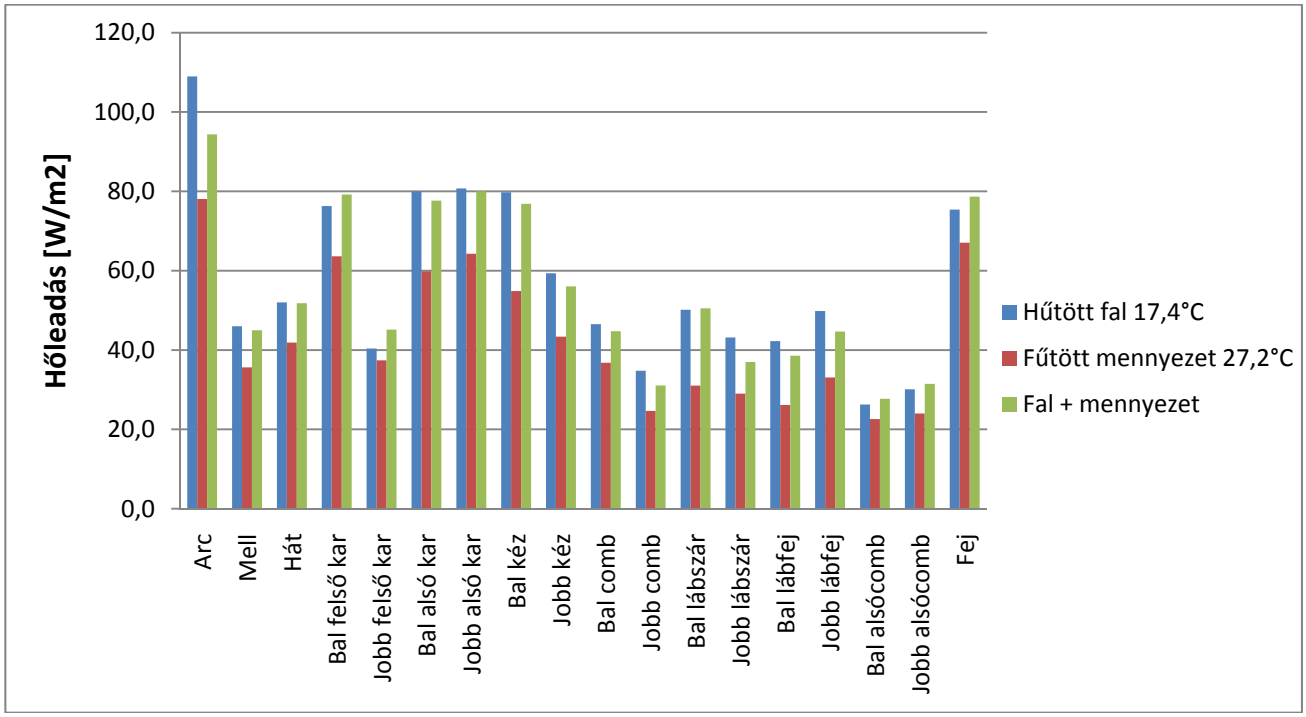


A testrészek fajlagos hőleadása ruhátlan test esetén, hűtött fal 20,1°C, fűtött mennyezet 29,9°C

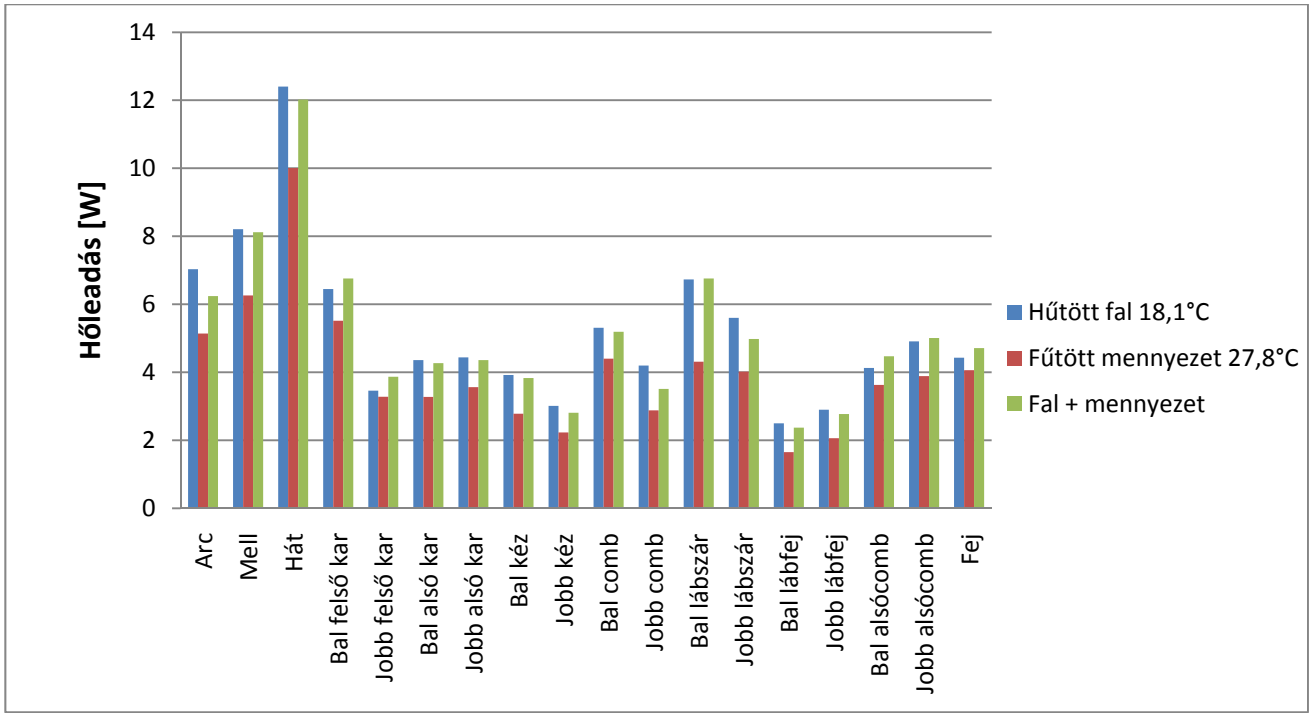
M11. A testrészek hőleadása és fajlagos hőleadása különböző felületi fűtés-hűtés mellett 0,75 clo ruházatban



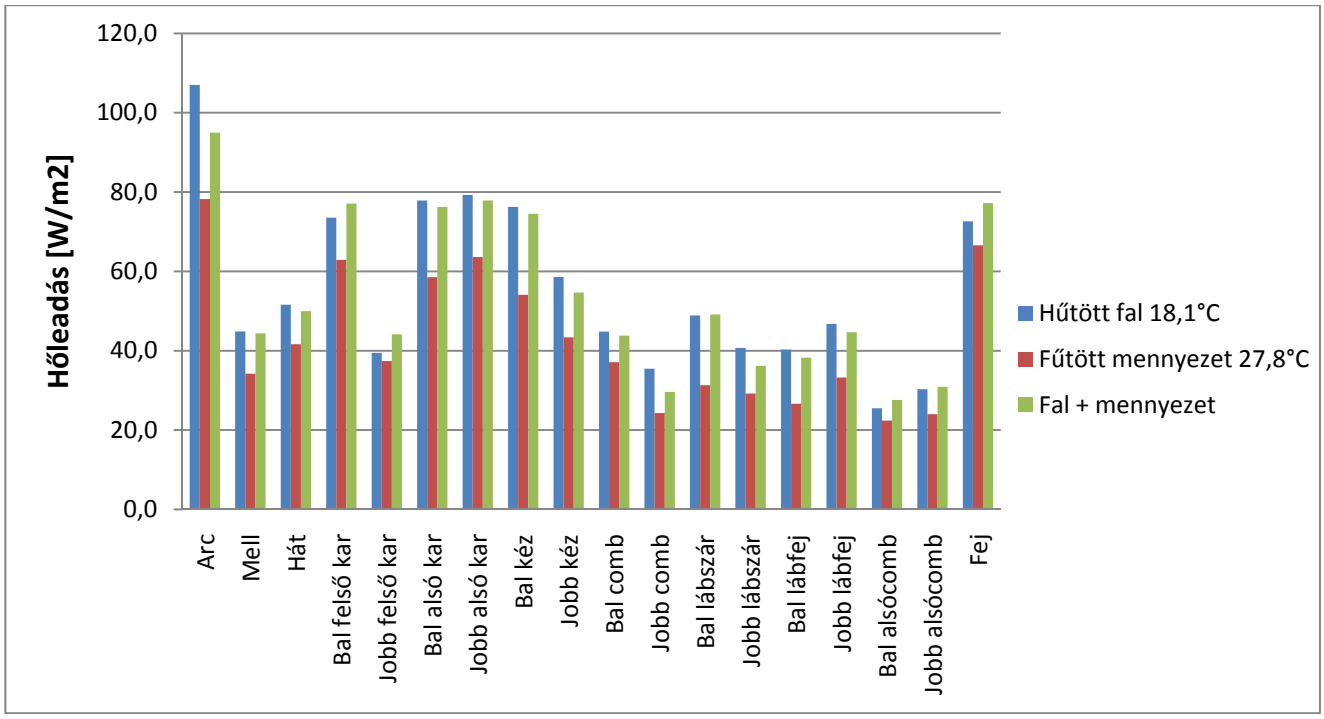
A testrészek hőleadása ruhátlan test esetén, hűtött fal 17,4°C, fűtött mennyezet 27,2°C



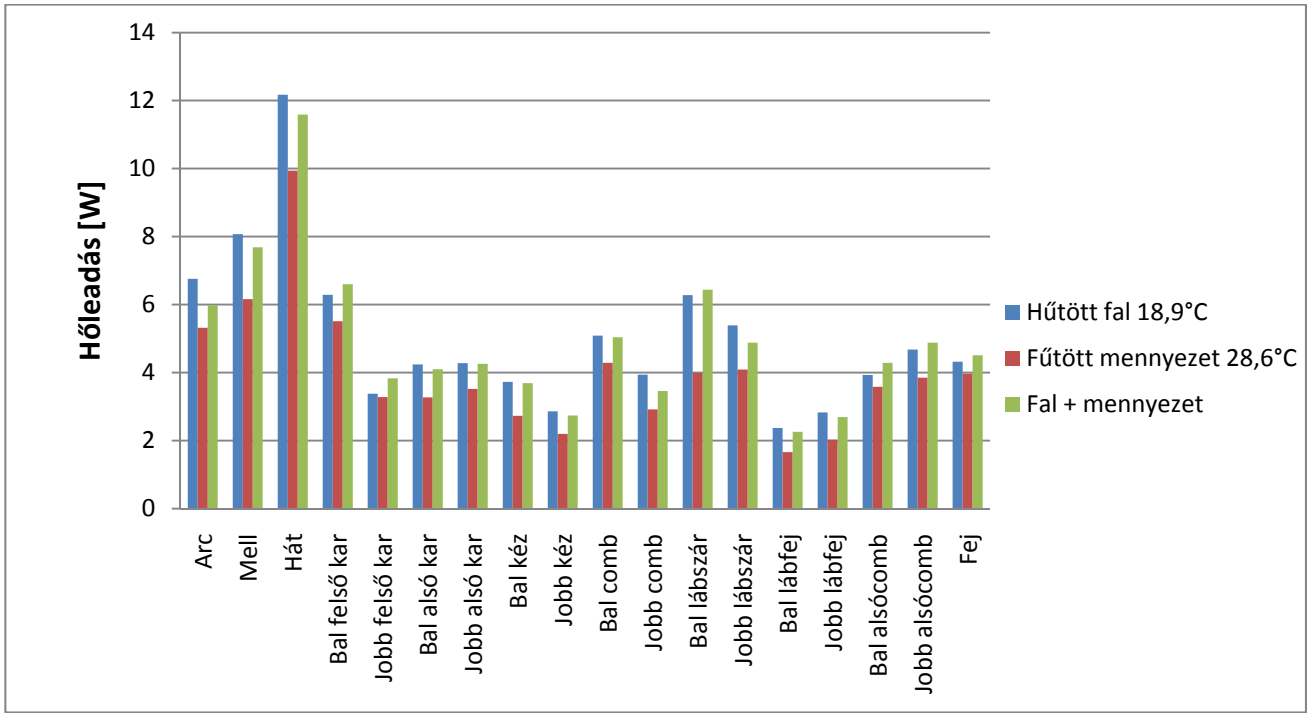
A testrészek fajlagos hőleadása ruhátlan test esetén, hűtött fal 17,4°C, fűtött mennyezet 27,2°C



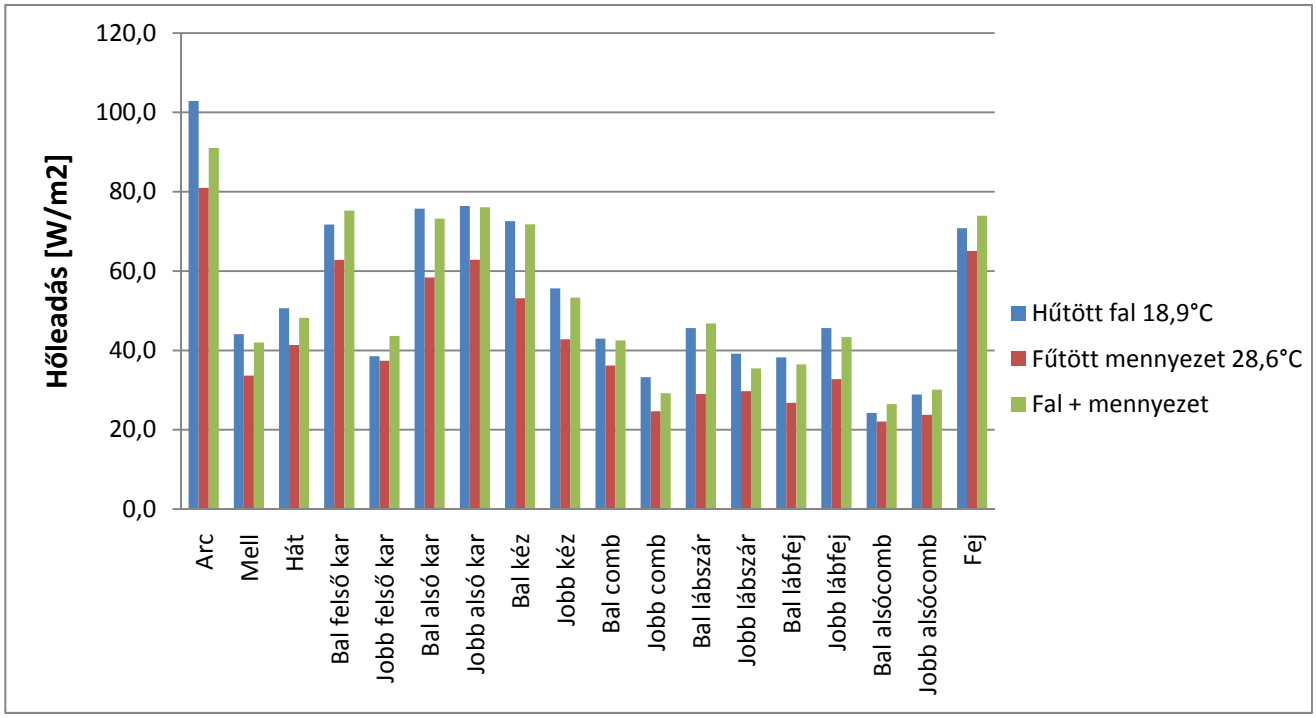
A testrészek hőleadása ruhátlan test esetén, hűtött fal 18,1°C, fűtött mennyezet 27,8°C



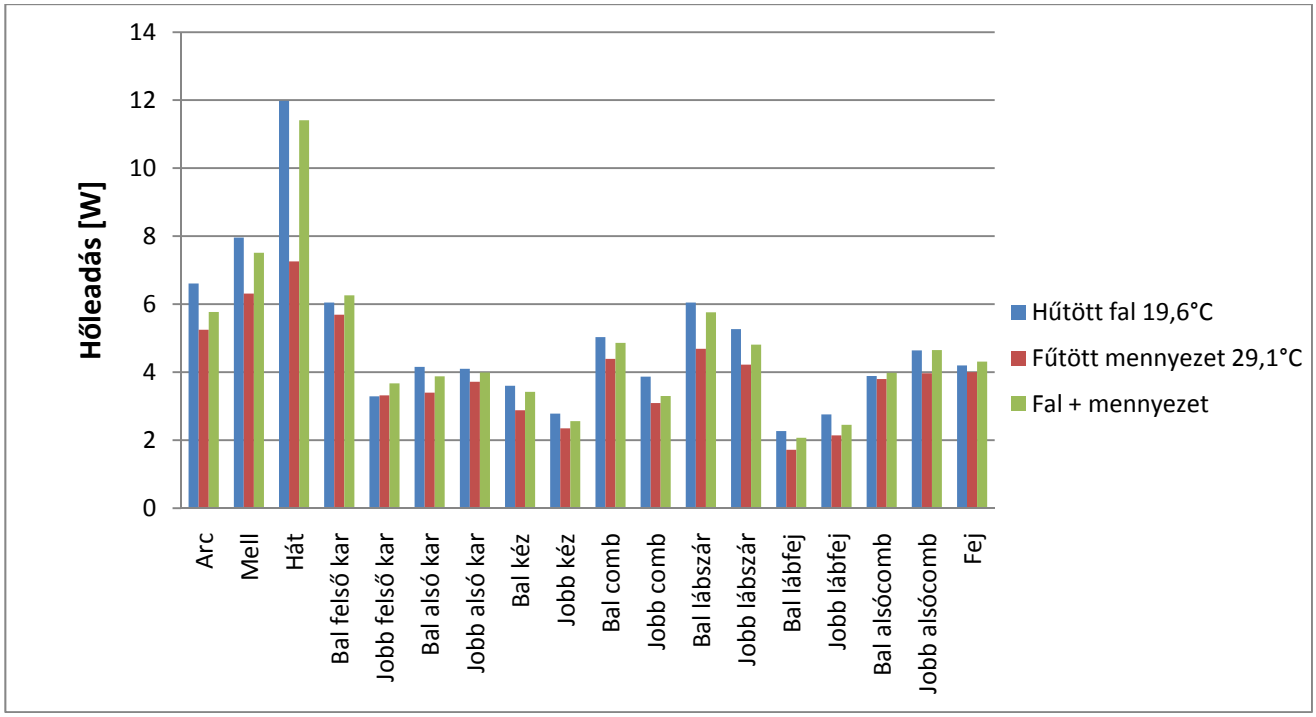
A testrészek fajlagos hőleadása ruhátlan test esetén, hűtött fal 18,1°C, fűtött mennyezet 27,8°C



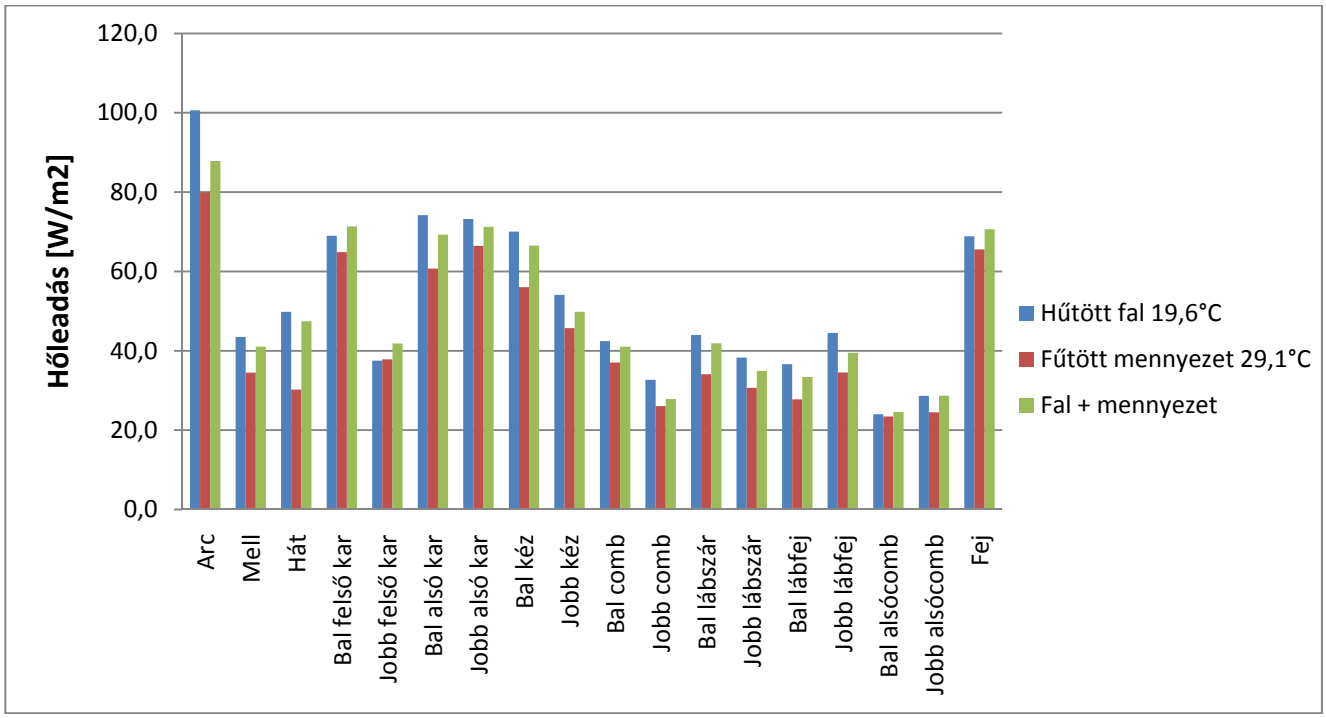
A testrészek hőleadása ruhátlan test esetén, hűtött fal 18,9°C, fűtött mennyezet 28,6°C



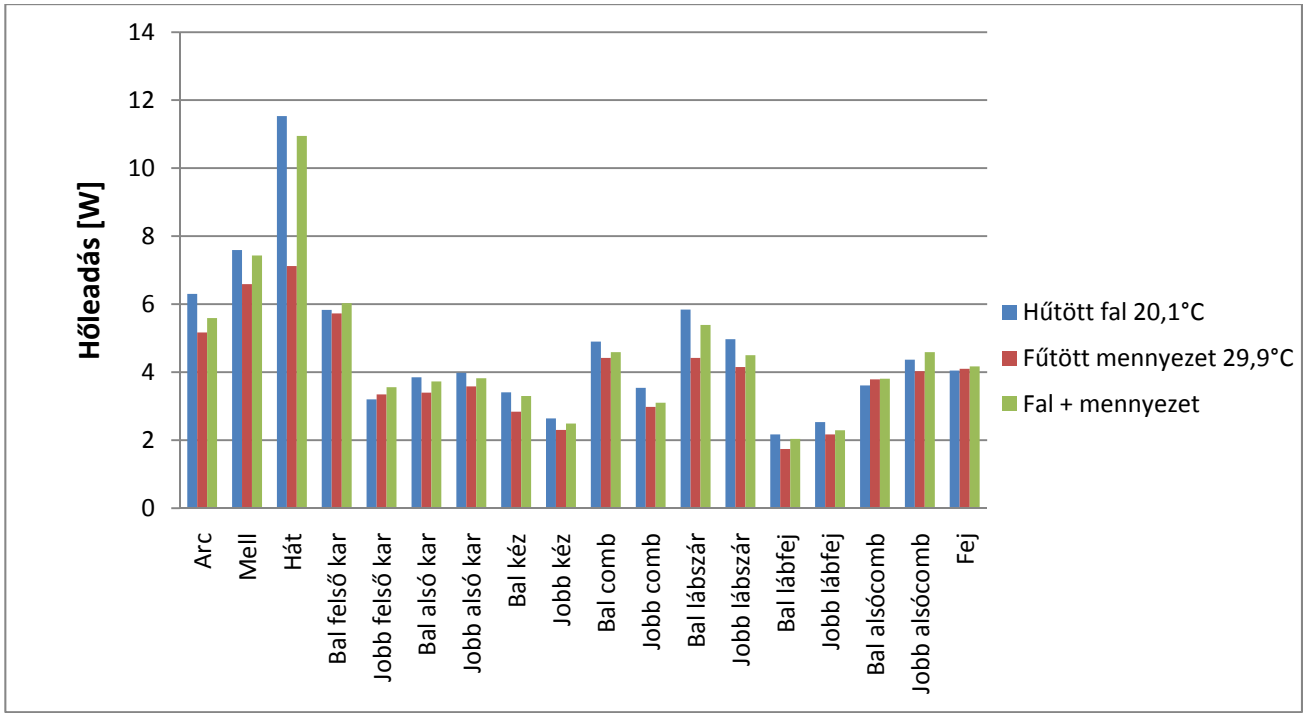
A testrészek fajlagos hőleadása ruhátlan test esetén, hűtött fal 18,9°C, fűtött mennyezet 28,6°C



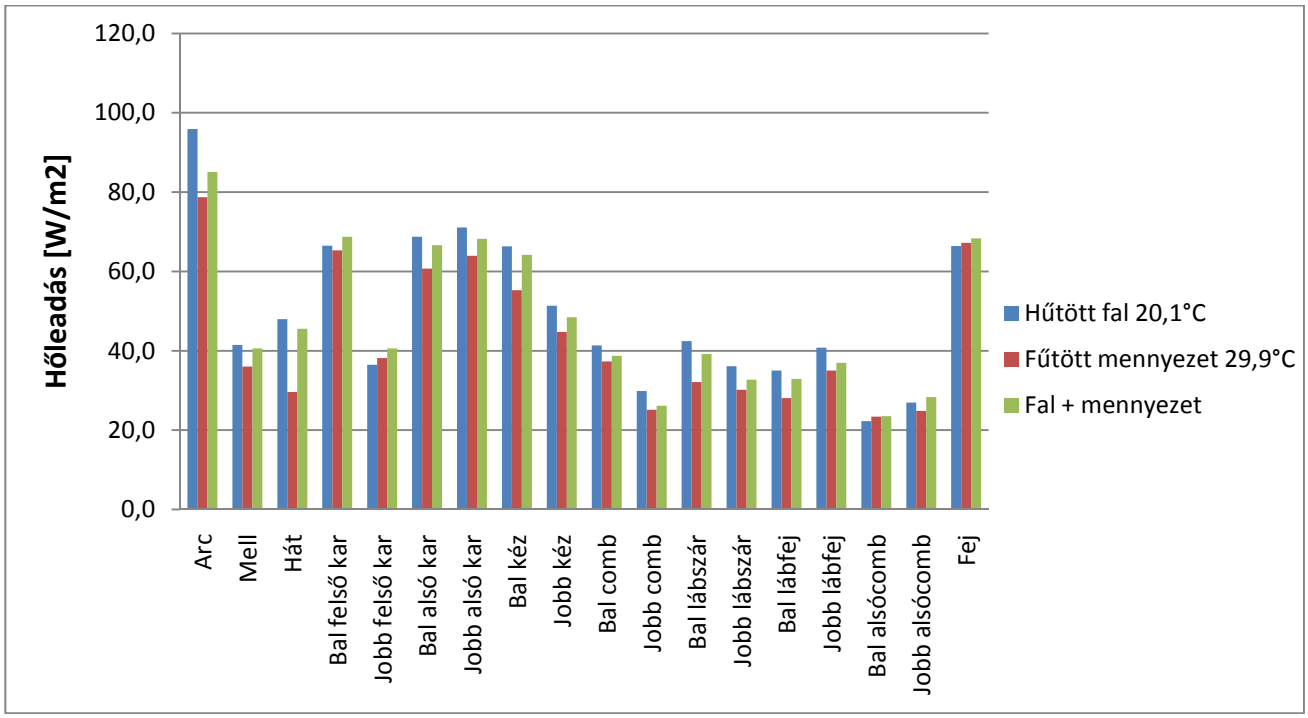
A testrészek hőleadása ruhátlan test esetén, hűtött fal 19,6°C, fűtött mennyezet 29,1°C



A testrészek fajlagos hőleadása ruhátlan test esetén, hűtött fal 19,6°C, fűtött mennyezet 29,1°C

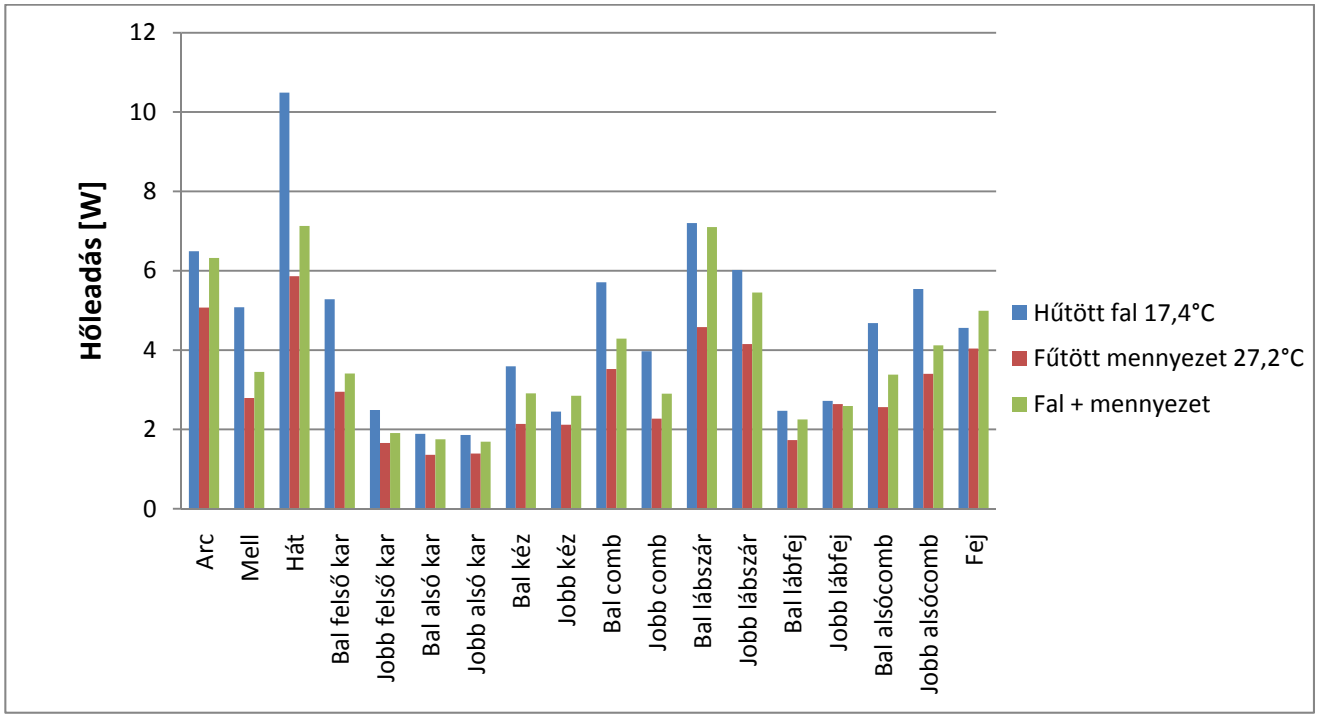


A testrészek hőleadása ruhátlan test esetén, hűtött fal 20,1°C, fűtött mennyezet 29,9°C

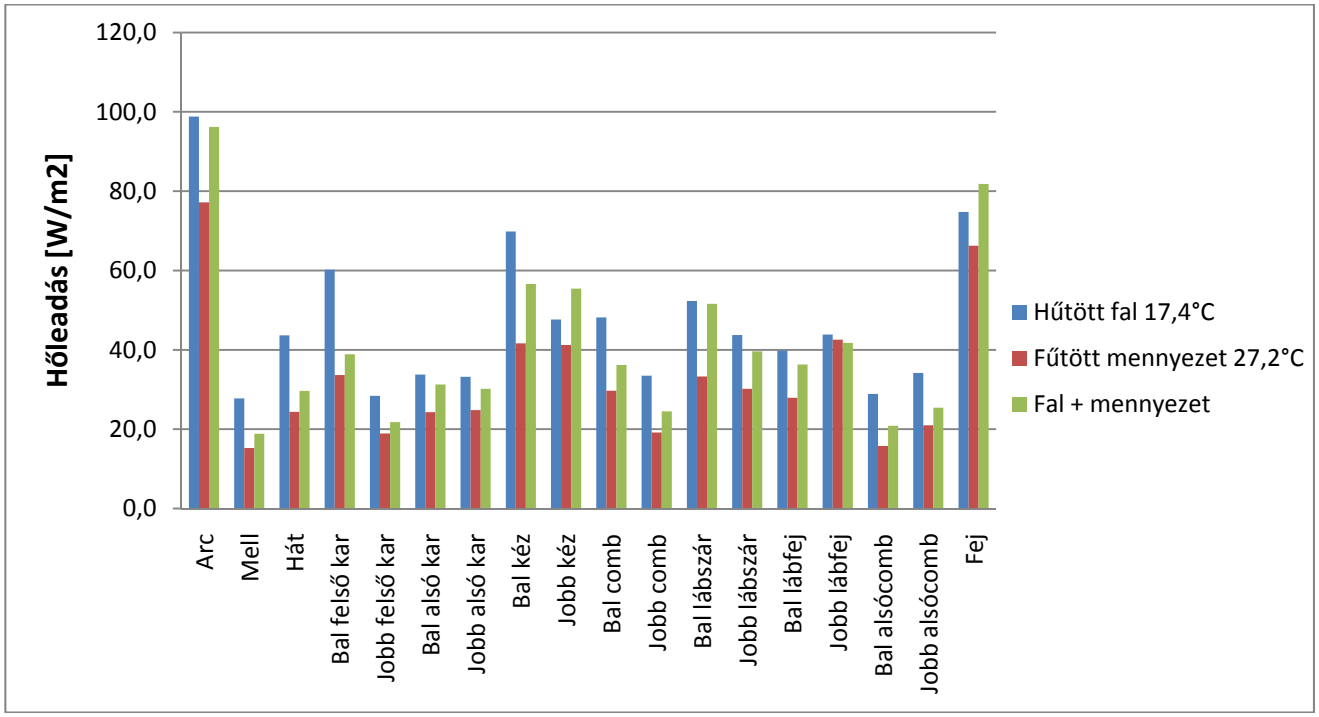


A testrészek fajlagos hőleadása ruhátlan test esetén, hűtött fal 20,1°C, fűtött mennyezet 29,9°C

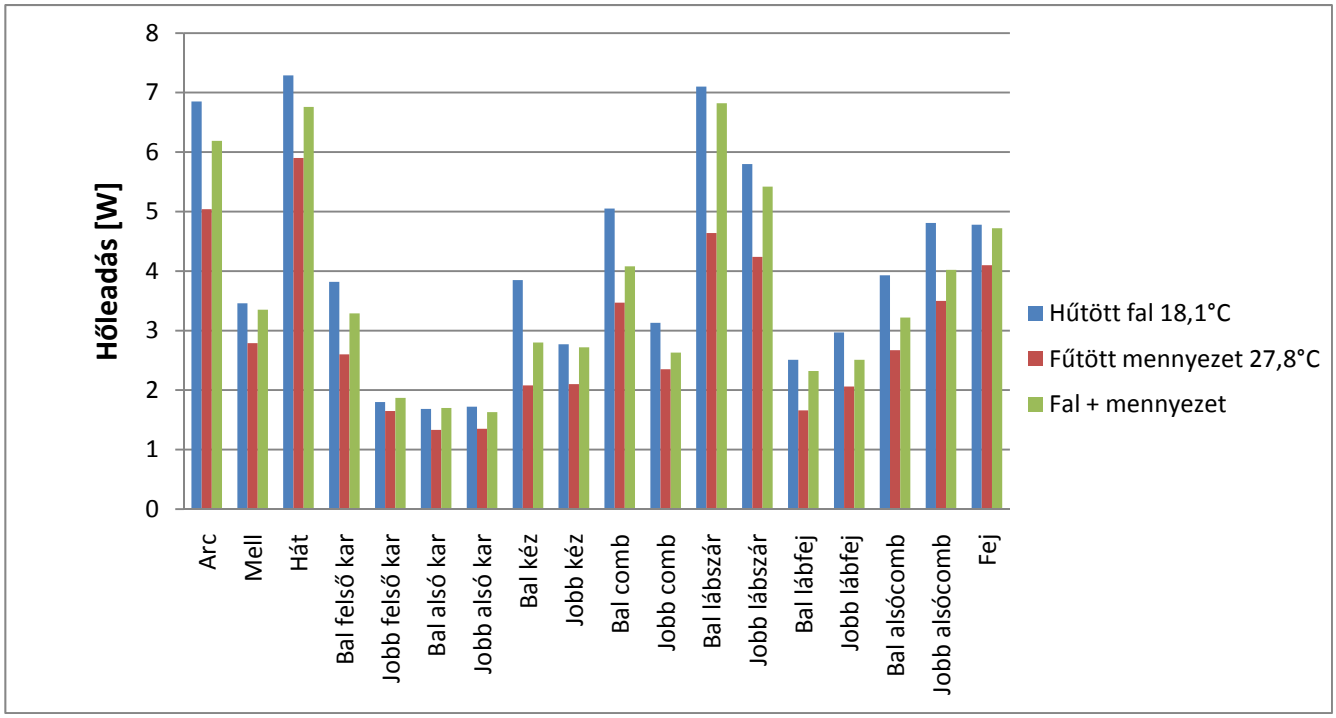
M12. A testrészek hőleadása és fajlagos hőleadása különböző felületi fűtés-hűtés mellett 1,0 clo ruházatban



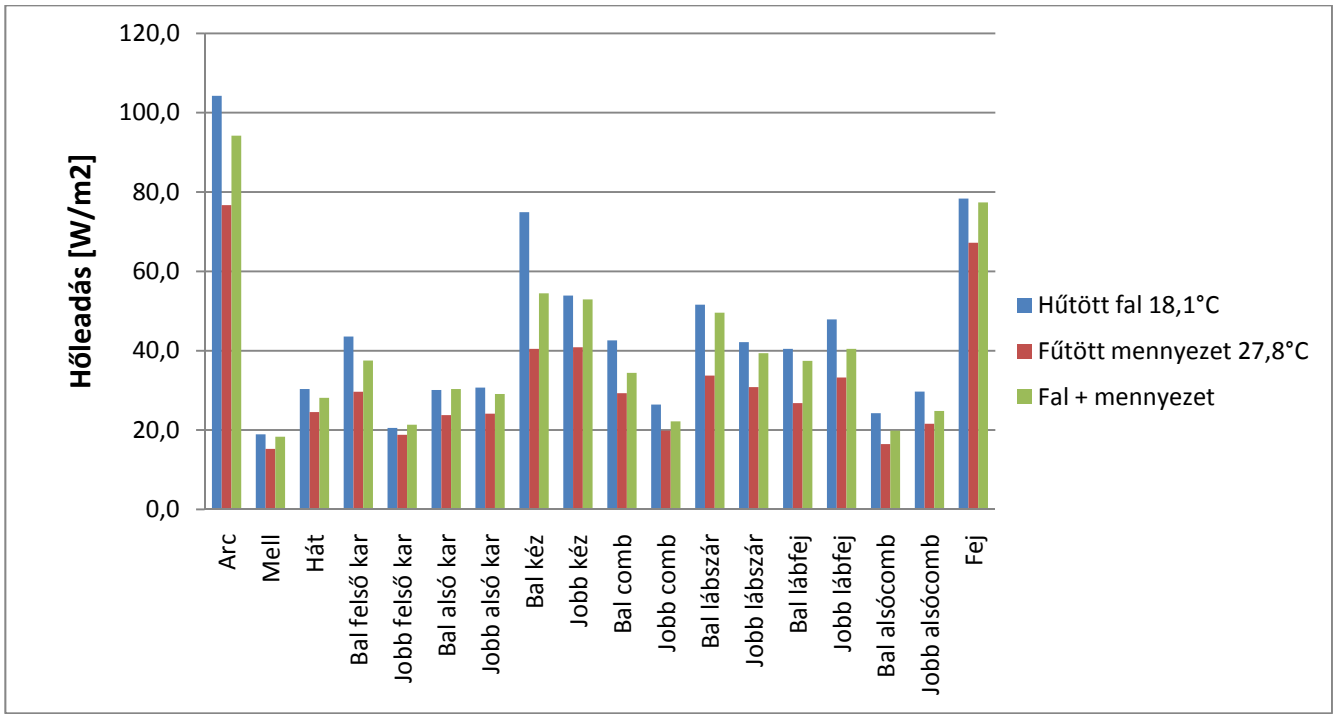
A testrészek hőleadása ruhátlan test esetén, hűtött fal 17,4°C, fűtött mennyezet 27,2°C



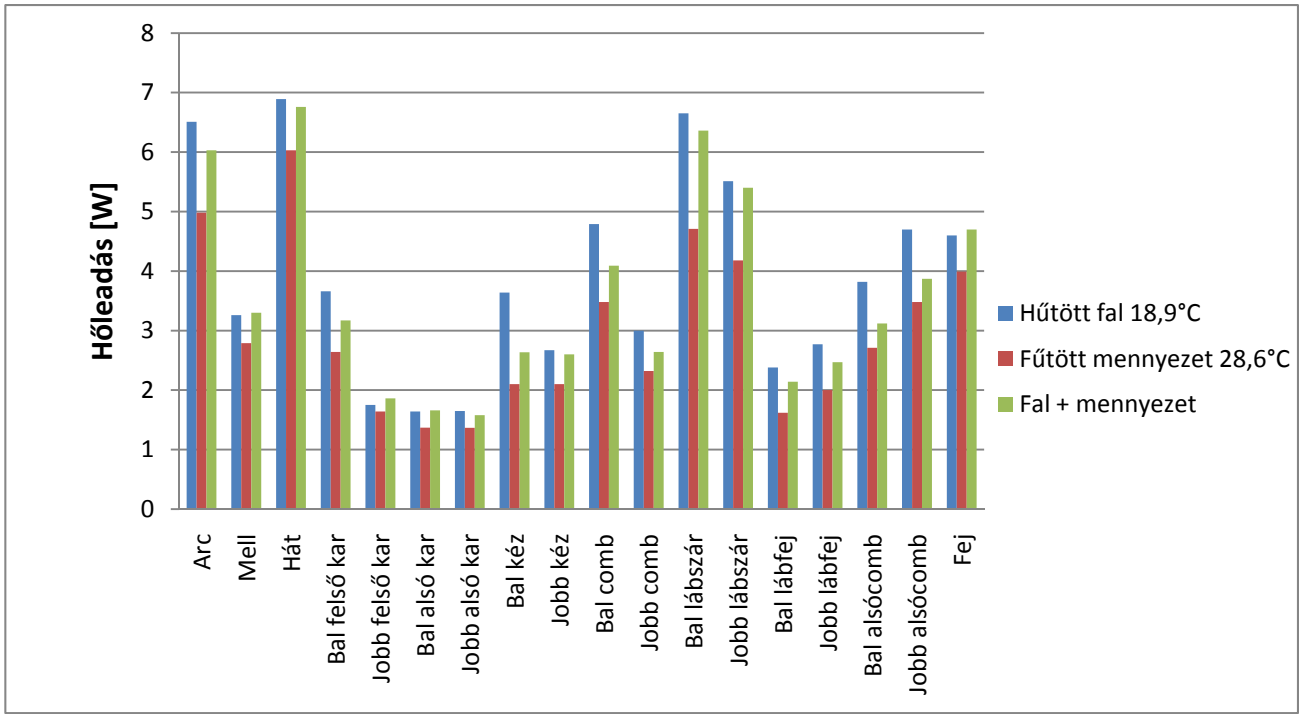
A testrészek fajlagos hőleadása ruhátlan test esetén, hűtött fal 17,4°C, fűtött mennyezet 27,2°C



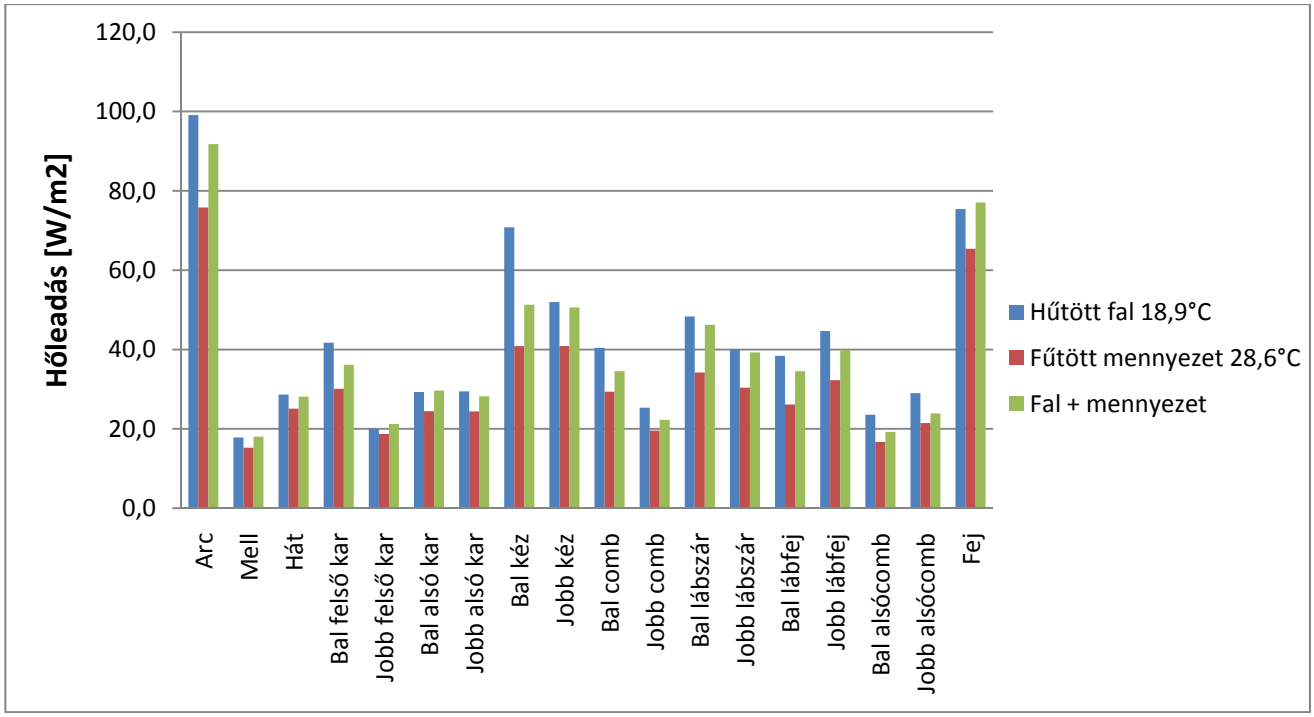
A testrészek hőleadása ruhátlan test esetén, hűtött fal 18,1°C, fűtött mennyezet 27,8°C



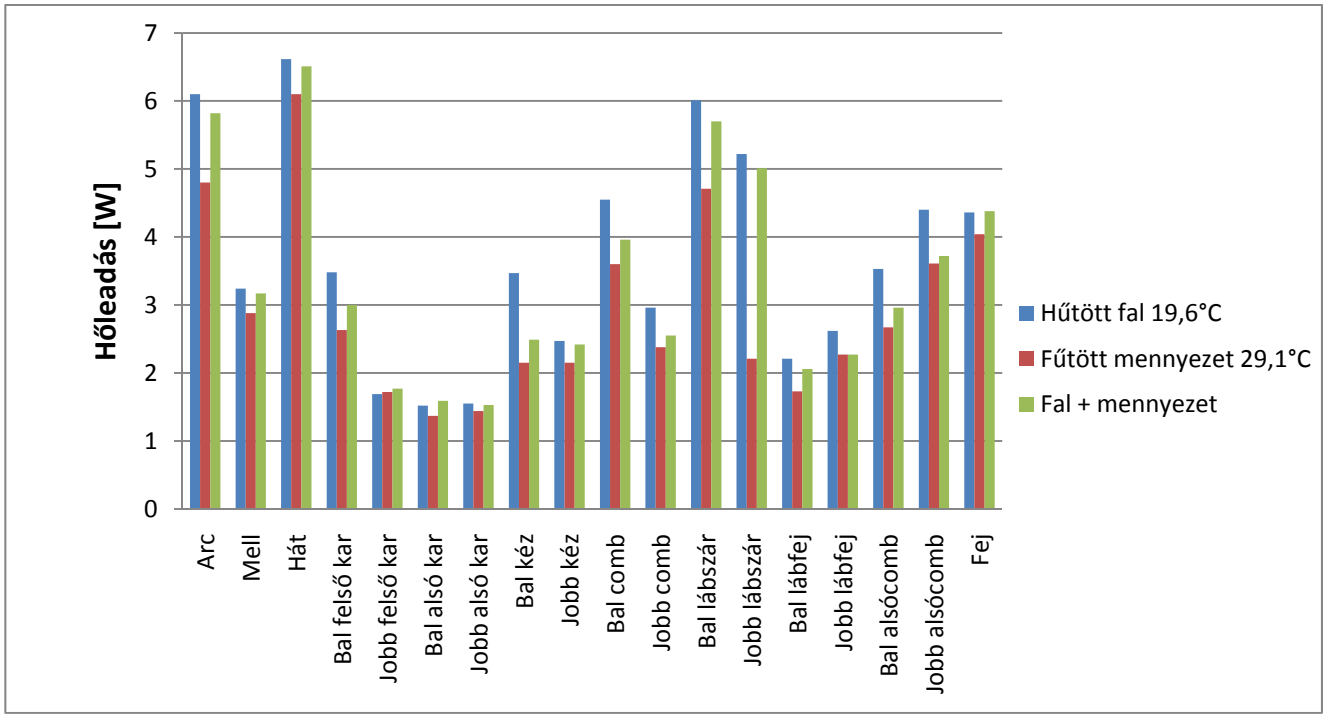
A testrészek fajlagos hőleadása ruhátlan test esetén, hűtött fal 18,1°C, fűtött mennyezet 27,8°C



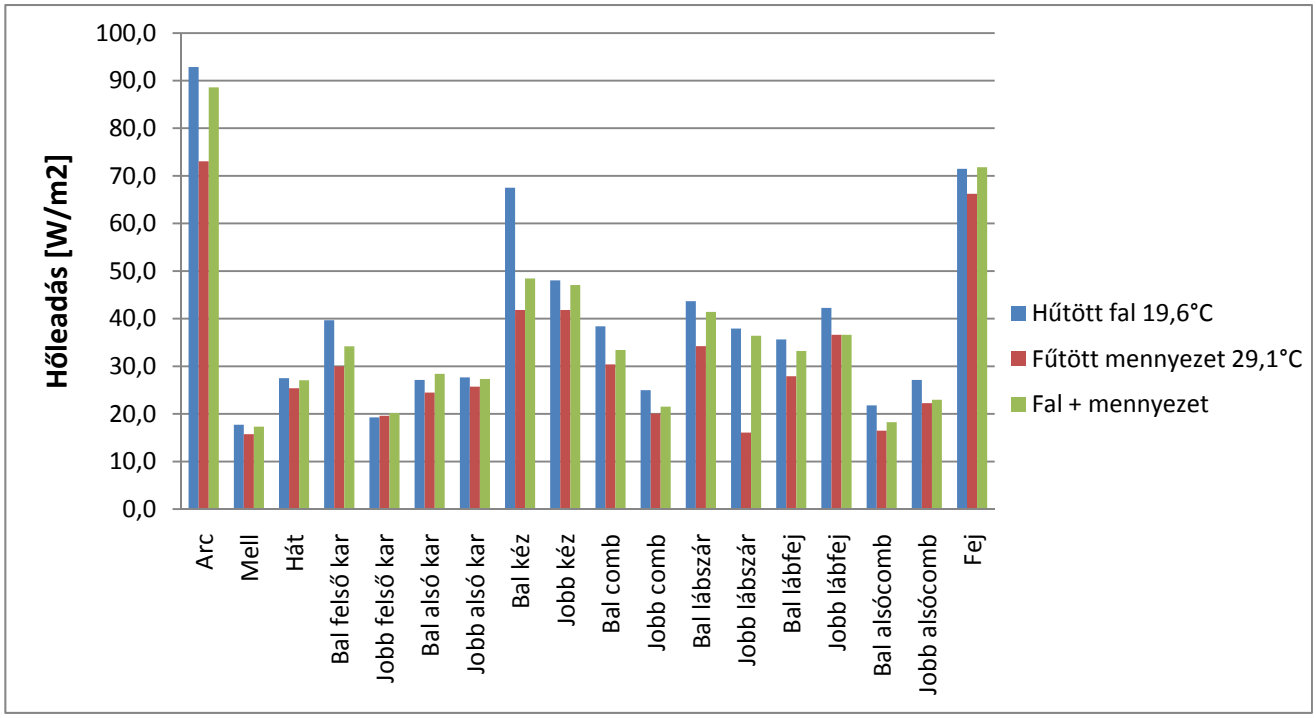
A testrészek hőleadása ruhátlan test esetén, hűtött fal 18,9°C, fűtött mennyezet 28,6°C



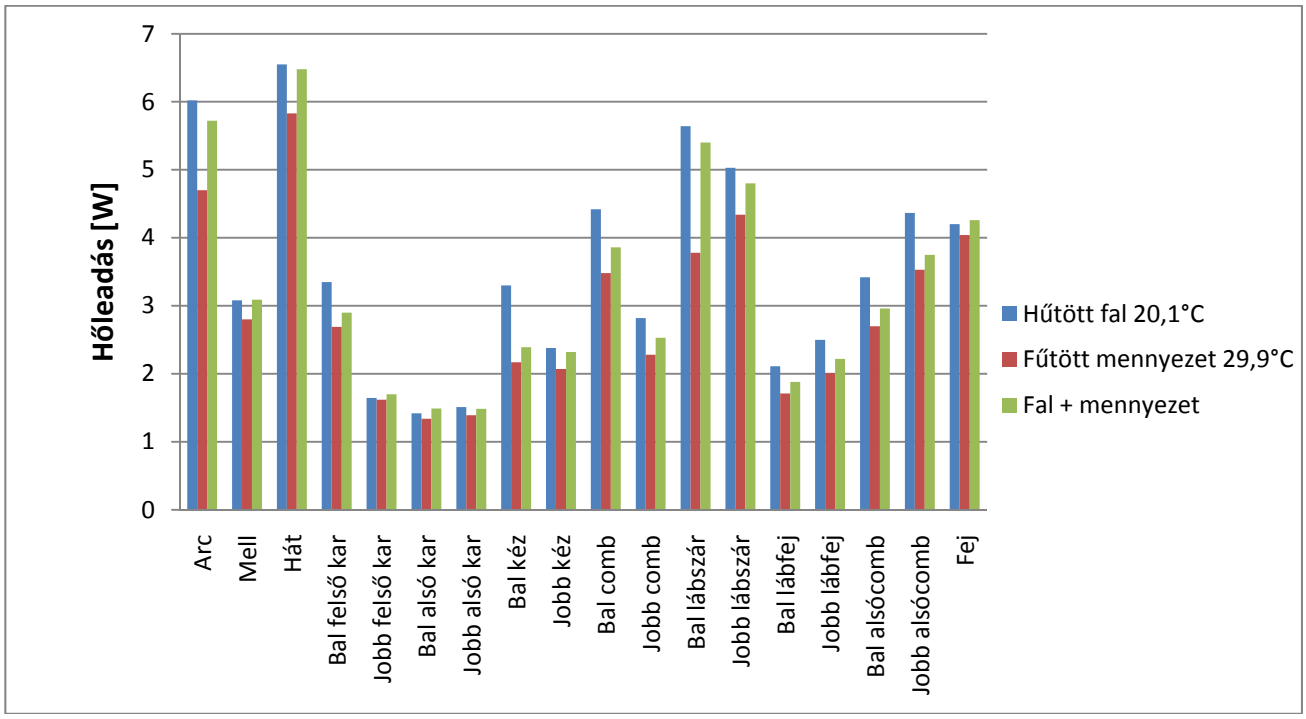
A testrészek fajlagos hőleadása ruhátlan test esetén, hűtött fal 18,9°C, fűtött mennyezet 28,6°C



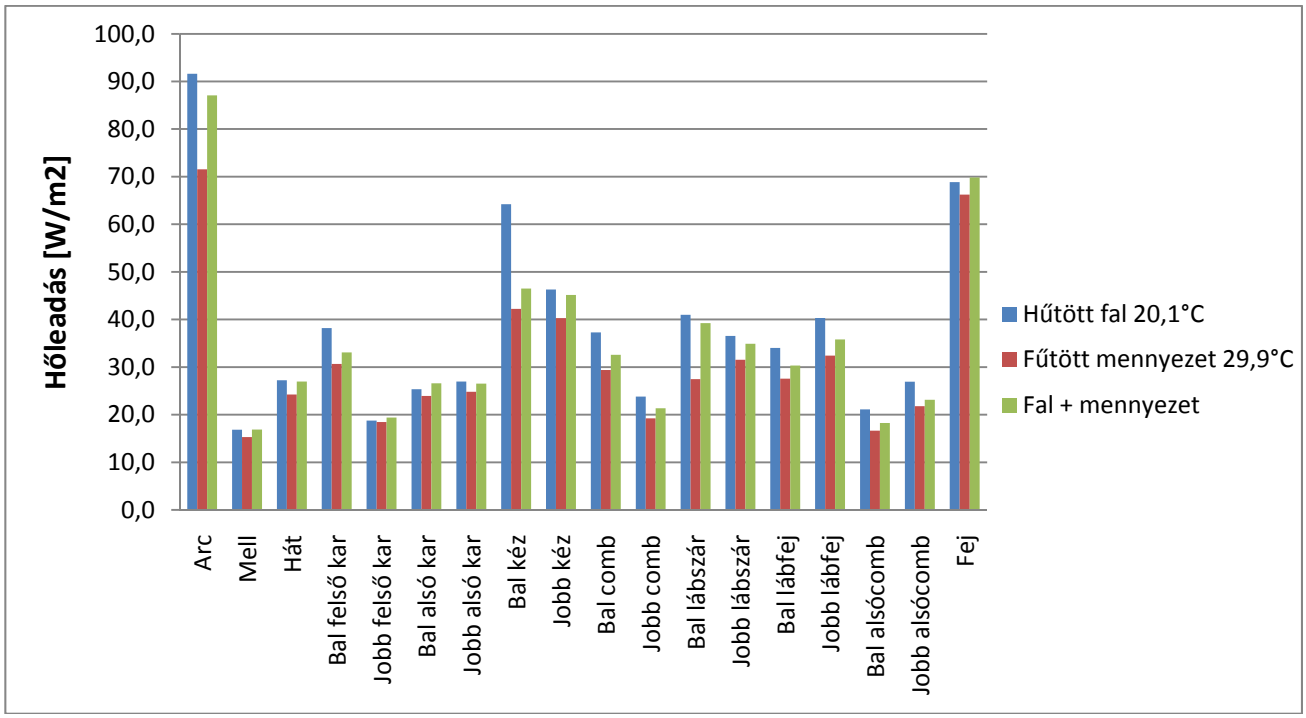
A testrészek hőleadása ruhátlan test esetén, hűtött fal 19,6°C, fűtött mennyezet 29,1°C



A testrészek fajlagos hőleadása ruhátlan test esetén, hűtött fal 19,6°C, fűtött mennyezet 29,1°C



A testrészek hőleadása ruhátlan test esetén, hűtött fal 20,1°C, fűtött mennyezet 29,9°C



A testrészek fajlagos hőleadása ruhátlan test esetén, hűtött fal 20,1°C, fűtött mennyezet 29,9°C