

OPTIMÁLIS LOKÁLIS MIKROKLÍMA KIALAKÍTÁSA ÉPÜLETEKBEN VÁLTAKOZÓ IRÁNYÚ LÉGÁRAMOKKAL

A Magyar Tudományos Akadémia doktora cím
elnyerésére benyújtott értekezés

Dr. Kalmár Ferenc

Debrecen, 2017

Tartalom

1. BEVEZETÉS	5
1.1 A kutatási téma időszerűsége	5
1.2 A kutatás célja	8
1.3 Kutatási módszerek	9
1.4 A kutatás során alkalmazott műszerek és berendezések	9
2. HŐTERHELÉS ÉS VÁRHATÓ HŐÉRZET	12
2.1 Bevezetés.....	12
2.2 Az operatív hőmérséklet és a PMV meghatározása	13
2.3 Mért és számított PMV és operatív hőmérséklet értékek egy oktatási épület esetében	16
2.3.1 Az operatív hőmérséklet számított értéke	17
2.3.2 Mérési eredmények.....	19
2.3.3 A számítási és a mérési eredmények értékelése.....	23
2.4 Üvegezések és a hőtároló tömeg hatása az operatív hőmérsékletre	24
2.4.1 Összesített sugárzásátbocsátási képesség	24
2.4.2 A g tényező és az operatív hőmérséklet	25
2.5 Összefoglalás.....	31
3. HŐÉRZÉKELEÉS.....	32
3.1 Receptorok	32
3.2 Érzékelés	33
3.3 Turbulencia, huzattal elégedetlenek aránya	35
3. ADAPTÁCIÓ VIZSGÁLATA ÉPÜLETEK MAGAS AMBIENS HŐMÉRSÉKLETŰ TEREIBEN, KÜLÖNBÖZŐ ÉGHAJLATTAL RENDELKEZŐ ORSZÁGOKBÓL ÉRKEZŐ SZEMÉLYEK ESETÉBEN	37
3.1 Bevezetés.....	37
3.2 Hipotézis.....	38
3.4. Mérések a szubjektív hőérzet megállapításához.....	39
3.4.1 Helyszín	39
3.4.2 Alanyok.....	39
3.4.3 A mérési eljárás	41

3.5. Mérési eredmények értékelése	43
3.5.1 Szubjektív hőérzet	43
3.5.2 Zavaró/kellemetlen illat – környezet elfogadhatósága	45
3.5.3 A levegő széndioxid tartalma.....	46
3.5.4 Levegő áramlási sebessége	48
3.5.5 Huzat és környező felületek hőmérséklete	48
3.6 Összefoglalás.....	49
4. INNOVATÍV SZEMÉLYI SZELLŐZŐ BERENDEZÉS FEJLESZTÉSE	51
4.1 Bevezetés.....	51
4.2 Légzés és metabolizmus.....	52
4.3 Személyi szellőzés.....	53
4.3.1 Bioklimatikus diagramok.....	53
4.3.2 Személyi szellőző rendszerek	56
4.4 ALTAIR berendezés fejlesztése	59
4.4.1 Az ALTAIR első változata	59
4.4.2 Tesztmérések az Épületfizika laboratóriumban	61
4.4.3. A légáram irányának időbeli változtatása.....	63
4.4.4 Az ALTAIR továbbfejlesztett változata	68
5. A VÁLTAKOZÓ IRÁNYÚ LÉGSUGÁR HŐÉRZETI HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA MELEG KÖRNYEZETBEN ÉLETKOR ÉS NEM SZERINT	72
5.1 Bevezetés.....	72
5.2 Hipotézis.....	72
5.3 Mérések	73
5.3.1 Teszthelyiség és mérési procedúra	73
5.3.2 Alanyok.....	74
5.4 Mérési eredmények	76
5.4.1 Szubjektív hőérzet	76
5.4.2 Kellemetlen illatok értékelése.....	79
5.4.3 A környezet elfogadhatósága.....	80
5.4.4 A légsebesség és a huzatérzet értékelése	80

5.4.5 A levegő széndioxid tartalmának értékelése	81
5.4.6 A felületi hőmérsékletek értékelése.....	82
5.4.7 A mérési adatok bizonytalansága.....	83
5.5 Egyszerűsített energetikai számítások.....	83
5.6 Összefoglalás.....	84
6. ASZIMMETRIKUS SUGÁRZÁS HATÁSÁNAK SEMLEGESÍTÉSE VÁLTAKOZÓ IRÁNYÚ LÉGÁRAMMAL	86
6.1 Bevezetés.....	86
6.2 Cél és hipotézis.....	87
6.3. A mérések helyszíne és berendezések.....	88
6.4 Alanyok	89
6.5 Mérési terv.....	90
6.6 Eredmények.....	91
6.6.1 Bőrhőmérsékletek	91
6.6.2 A környezet hőérzeti értékelése	94
6.6.3 Kellemetlen illatok értékelése.....	95
6.6.4 A levegő CO ₂ tartalma.....	96
6.6.5 A légsebesség és a huzatérzet.....	97
6.6.6 Aszimmetrikus sugárzás és a környezet általános értékelése	97
6.7 Összefoglalás.....	99
7. ÖSSZEFOGLALÁS	100
7.1 Új eredmények, tézisek	100
ALKALMAZOTT JELÖLÉSEK LISTÁJA	104
FELHASZNÁLT SZAKIRODALOM.....	106

1. BEVEZETÉS

1.1 A kutatási téma időszerűsége

Az emberek életüknek jelentős részét zárt terekben töltik. A zárt térben töltött idő aránya függ az életkortól, nemtől, egészségi állapottól, de az éghajlati tényezőktől is. Jenkins et al. (1992) kimutatták, hogy a kaliforniai lakosság idejének átlagosan 87%-át tölti épületekben, 7%-át egyéb zárt terekben és csak 6%-át a szabadban. Chau et al. (2002) csaknem ugyanerre az eredményre jutottak egy évtizeddel későbbi kutatásuk során Hong Kong vonatkozásában. Leech et al. (2002) az USA-ban és Kanadában végeztek felmérést több ezer alany bevonásával és arra az eredményre jutottak, hogy a felnőtt lakosság idejének közel 65%-át tölti épületen belül az otthonában, 20%-át más épületen belül (munka, vásárlás, étterem), 5,5%-át pedig autóban vagy más járműben. A zárt térben való tartózkodást illetően a két ország lakosságának szokásai között alig volt eltérés. Brasche és Bishof (2005) 5530 lakás közel 12000 lakójának bevonásával végzett felméréseket és kimutatta, hogy a német lakosság naponta átlagosan 15,7 h-t tölt otthonában, zárt térben. Ez az eredmény csaknem teljesen megegyezik az USA-ban és Kanadában végzett mérésekkel (napi 6 perc az eltérés).

Az Európai Parlament és a Tanács 2010/31/EU irányelve rögzíti, hogy az épületekkel kapcsolatos az Unió teljes energiafogyasztásának 40 %-a. Az ágazat terjeszkedik, ami szükségszerűen energiafogyasztásának növekedésével jár. Ezért az energiafogyasztás csökkentése és a megújuló forrásból származó energia felhasználása az épületekben az Unió energiafüggőségének és az üvegházhatást okozó gázok kibocsátásának csökkentéséhez szükséges, fontos intézkedések.

Az épületben vagy más zárt térben való tartózkodás lehetővé teszi az ember számára különböző tevékenységek elvégzését (munka, pihenés, közlekedés) anélkül, hogy az éghajlati paraméterek (szél, csapadék, hőmérséklet, napsugárzás) pillanatnyi értékei akadályoznák ebben, vagy csökkentenék a munka hatékonyságát, vagy rontanák a pihenés eredményességét. A zárt terek kialakítása tehát feltétlenül az életszínvonal és a termelékenység növekedését eredményezte. Ugyanakkor, a zárt terekben, a végzett tevékenység függvényében, feldúsulhatnak az egyes szennyezőanyagok oly mértékben is, ami már az egészségre káros hatással van. A belső levegő minőségének egészségügyi hatásait, különös tekintettel a légzőszervi megbetegedésekre, többen is vizsgálták (Perez-Padilla et al., 2010; Briggs et al., 2003). A lebegő por szűrésének költségoptimum vizsgálatát Tse et al. (2004) végezte el tekintettel a lebegő por egészségügyi hatásaira is. Chau et al (2008) hasonló költségoptimum elemzést végezett, de a légszűrők alkalmazása mellett befolyásoló tényezőként megvizsgálták az egészségesebb környezetbe való költözést és a zárt térben töltött idő csökkentését is.

A zárt terekben, a végzett tevékenységhez illesztett környezeti paraméterek értékeit szinte kivétel nélkül gépészeti (fűtési, szellőzési, légkondicionálási) berendezésekkel biztosítják. Ennek során előfordulhatnak olyan pontok is a zárt térben, ahol a környezeti paraméterek (külön-külön vagy a paraméterek eredő hatása) eléri az egészséget károsító értékhatárokat. A SBS szindróma (Sick Building Syndrome) az influenzához hasonló tünetekkel jelentkezik, de az épületekben kialakuló egészségtelen környezeti paraméterek miatt alakul ki.

Egyes szennyezőanyagok koncentrációjának növekedése az egészségügyi határon belül is a munka hatékonyságának csökkenését okozhatja. Fisk és Rosenfeld, (1997) és (1998),

kimutatta, hogy az Egyesült Államokban a belső levegő minőségének javításával a légzőszervi megbetegedések miatti éves költségveszteségek csökkenése 7-23 milliárd \$, az SBS szindrómák miatti költségveszteségek csökkenése 10-20 milliárd \$, míg a munka termelékenységének növekedése miatt 12-125 milliárd \$ lehet a bevétel növekedés. Seppanen és Fisk (2005) kidolgozott egy módszert a belső környezeti paraméterek szabályozásával elérhető irodai munkavégzés hatékonyságának költségvizsgálatához. A tanulmányban rámutatnak a légvezetési rendszerek kiválasztásának fontosságára úgy a szennyezőanyagok terjedésének tekintetében, mint az üzemeltetési és karbantartási költségek vonatkozásában. Kosonen és Tan (2004) kimutatta, hogy azonos szellőzési térfogatáramok mellett, elárasztásos szellőzés alkalmazása esetén, a nagyobb szellőztetési hatásosság miatt, a munka hatékonysága 0,5-2%-al növekszik a hagyományos hígításos légvezetési rendszerekkel szemben.

A zárt térben azonban nem csak a levegő minősége befolyásolja a benntartózkodók komfortérzetét és az általuk végzett munka hatékonyságát. Hasonló fontossággal bír a kellemes hőérzet, melynek biztosítása rendkívül bonyolult feladat. Bár egészségügyi hatásai kevésbé súlyosak, hiszen a hőérzetet befolyásoló paraméterek (lég hőmérséklet, közepes sugárzási hőmérséklet, relatív légsebesség és relatív nedvességtartalom) egészségre káros értékei csak rendkívül szélsőséges esetekben állhatnak elő egy zárt térben, a hőérzeti diszkomfort szintén a munka hatékonyságának csökkenését eredményezi, illetve hosszú távon SBS szindrómához vezethet. A feladat nehézségét a folyamatosan változó külső környezeti paraméterek, illetve az egyének eltérő igényei okozzák.

A külső lég hőmérséklet, a külső levegő relatív nedvességtartalma és a napsugárzás folyamatosan változik. A belső teret e paraméterek közvetlen hatásától az épületburok védi. Ugyanakkor, mindhárom paraméter esetében nagyon sokszor a közvetlen hatás is érvényesül. Például, ha a szellőzést a külső levegő közvetlen beáramlásával biztosítják adiabatikus hűtés vagy hőviszszanyerés nélkül, akkor a külső hőmérséklet, illetve a nedvességtartalom hatása azonnal érzékelhető a belső térben. A napsugárzás a transzparens szerkezeteken keresztül juthat közvetlenül a belső térbe. A belső tér egyes pontjaiban viszont ezen paraméterek eltérő módon fejtik ki hatásukat. Így a légbevezetési nyílások mellett a külső hőmérséklet hatása intenzívebben érvényesül, mint a tér olyan pontjaiban, melyek távolabb helyezkednek el a légbevezető nyílásoktól. A napsugárzás közvetlen hatása szintén eltérő a belső térben: sokkal intenzívebb a transzparens szerkezetek közvetlen közelében. A dinamikusan változó külső környezeti paraméterek hőérzetre gyakorolt hatását viszont hagyományos gépészeti rendszerekkel rendkívül nehéz úgy semlegesíteni, hogy a belső tér minden egyes pontjában az ott tartózkodó számára a kellemes hőérzetet biztosító környezeti paraméterek alakuljanak ki. Akár a téli, akár a nyári időszakot vizsgáljuk, ha úgy méretezik a gépészeti rendszereket, hogy a tér legrosszabb helyzetben lévő pontjában is kellemes hőérzet alakuljon ki, akkor minden bizonnyal a többi pontban, hideg időszakban, túlfűtés, meleg időszakban pedig, túlhűtés lép fel, ami mindamellett, hogy hőérzeti panaszokhoz vezet, még az energiafogyasztás növekedését is eredményezi. Még abban az esetben is, ha gépi szellőzést alkalmazunk, mely lehetővé teszi a szellőző levegő állapotjelzőinek a kívánt értékre való beállítását, valamint megfelelő árnyékolást biztosítunk, mely kizárja a napsugárzás közvetlen hatását, a belső tér minden egyes pontjában azonos környezeti paraméterek kialakítása szinte lehetetlen feladat.

Ráadásul, ha teljesen azonos környezeti paramétereket is alakítanánk ki a tér minden egyes pontjában, az egyének eltérő igényei miatt, nem biztos, hogy kellemes hőérzet alakul ki minden benntartózkodó számára. Az egyének kora, neme, társadalmi helyzete, származása,

fizikai kondíciója és egészségi állapota nagymértékben befolyásolja a kellemes hőérzet kialakulását.

A környezet értékelésére Fanger (1970) a hétpontos hőérzeti skálát javasolta, melyet a hőérzeti szabványok napjainkban is alkalmaznak.

Fanger (1970), számos korábbi tanulmányt is felhasználva (Gagge, Herrington, Nielsen, Pedersen, Winslow, Yaglou), dolgozta ki azokat az empirikus összefüggéseket, melyek segítségével a hőérzeti komfortegyenlet felírható. Az összefüggés lényege az, hogy egy adott tevékenység elvégzése mellett, a test hőtermelése és hőleadása úgy van egyensúlyban, hogy kialakul a kellemes hőérzetnek megfelelő testközpont- és bőrhőmérséklet. Az összefüggés alapján Fanger kidolgozta a várható hőérzeti érték (PMV) összefüggését is. Ha a PMV nulla, akkor az adott pontban hőérzeti szempontból a környezettel elégedetlenek aránya 5% lesz. Ha a PMV negatív értékeket vesz fel, akkor a környezet hűvös vagy hideg, ha a PMV pozitív értékeket vesz fel, akkor a környezet meleg vagy forró. Ugyanakkor a PMV számítására alkalmazott összefüggés nem veszi figyelembe az egyéni igényeket. Valójában tehát, ha a PMV nulla, akkor elméletileg hőérzeti szempontból tökéletes a belső környezet. Az eltérő egyéni igények miatti elégedetlenséget Fanger a PPD (a hőérzettel várhatóan elégedetlenek százalékos aránya) összefüggésébe építette be, amely szerint a térben tartózkodók 5%-a akkor is elégedetlen lesz a hőérzettel, ha a PMV nulla.

Egyes kutatók szerint a hőérzettel kapcsolatos belső környezeti igényeket a külső környezeti paraméterek is befolyásolják (de Dear és Brager, 1998; Humphreys és Nicol, 2002; Nicol és Humphreys, 2002). Ennek megfelelően adaptív hőérzeti modelleket dolgoztak ki. Auliciems (1981) a hőérzet pszichológiai és fiziológiai modelljére tett javaslatot. Az aPMV modellre vonatkozóan Yao et al. (2009) dolgoztak ki összefüggéseket. Adott belső környezeti viszonyok esetében az emberek, a hőérzetük függvényében a ruházat hőszigetelő képességének változtatásával, illetve ablaknyitással (ha ez lehetséges) alkalmazkodnak. A hőérzet és az egyes alkalmazkodási tevékenységek előfordulási valószínűsége között dolgozott ki összefüggéseket Haldi és Robinson (2010). Ha elfogadjuk és alkalmazzuk az adaptív hőérzeti modellt, akkor az energetika és a gépészet tekintetében kedvezőbb eredményeket kapunk.

A PMV összefüggésében megjelenő egyes környezeti paraméterek eltérését az optimális értéktől, illetve ennek az eltérésnek a hatását a várható hőérzeti értékre, bizonyos határig, más paraméterek módosításával tudjuk kompenzálni. Így például a magasabb léghőmérséklet és vagy közepes sugárzási hőmérséklet negatív hőérzeti hatása, megnövelt légsebességgel csökkenthető (Zeng et al., 2002).

Úgy a determinisztikus, mint az adaptív hőérzetre vonatkozó szabványok esetében egy adott tér esetében azonos környezeti paramétereket feltételeznek. Ehhez a hőérzeti szempontból homogénnek tekintett környezethez egyénenként fiziológiai, pszichológiai, valamint viselkedési (ruházat hőszigetelő képességének változtatása, ablaknyitás, helyváltoztatás) adaptációval lehet alkalmazkodni. A valóságban azonban a hőérzetet befolyásoló paraméterek (elsősorban a léghőmérséklet, légsebesség, közepes sugárzási hőmérséklet) nem azonosak egy adott tér különböző pontjaiban. Ráadásul az egyének hőérzeti igényi is eltérőek. Vannak továbbá olyan épületek, illetve terek, amelyekben a tartózkodási hely és pozitúra rögzített. Előfordul, hogy a benntartózkodók ruházattal kapcsolatos előírásokat is be kell tartaniuk. Ezekben az épületekben a megfelelő hőérzet kialakítása a tartózkodási zóna minden egyes pontjában hagyományos gépészeti rendszerekkel még nagy energiafogyasztás mellett sem

lehetséges. Márpedig a hőérzeti diszkomfort és a rossz levegő minőség csökkenti a munka termelékenységét, sőt egészségügyi problémákhoz is vezethet.

1.2 A kutatás célja

A zárt térben tartózkodók egészsége és számukra a kellemes hőérzet biztosítása elsőrendű célkitűzés az épületek tervezése során. Ugyanakkor az energiamegtakarítás is stratégiai célkitűzés. Az egyre szigorúbb épületenergetikai követelmények miatt, melyek elsősorban a határolószervezetek hőátbocsátási tényezőjének csökkentésére fókuszálnak, energetikai szempontból a nyári és átmeneti időszakokban fellépő hűtési energiafogyasztás egyre nagyobb aránnyal szerepel az épületek energiamérlegében. Ennek megfelelően a nyári időszakra fókuszáltam. Egy transzparens szerkezettel és gépi szellőzéssel (és/vagy hűtéssel) ellátott tér különböző pontjaiban viszont eltérő környezeti paraméterek alakulnak ki. Ráadásul ezeken a helyeken eltérő hőérzeti igényekkel rendelkező egyének foglalnak helyet.

Kérdés tehát, hogy miként lehet egy zárt térben az egyéni hőérzeti igényeket alacsony energiafelhasználás mellett kielégíteni. Ehhez természetesen az egyének körüli mikrotérben, mint egy virtuális buborékban, személyre szabott környezeti paramétereket kellene úgy létrehozni úgy, hogy ezeknek eredő hatásaként kellemes hőérzet alakuljon ki.

Elsősorban szükséges megvizsgálni, hogy egy adott épületben milyen hőérzeti viszonyok alakulnak ki egy adott tér különböző pontjaiban. A probléma elemzéséhez olyan nagy üvegezési aránnyal rendelkező tereket célszerű választani, amelyekben az egyének tartózkodási helye és a pozitúra rögzített (oktatási épület, irodaépület). A vizsgált a szakirodalom alapján, természetesen felmerül az a kérdés, hogy az emberek esetleg képesek-e alkalmazkodni különböző adaptációs folyamatok által hőérzeti szempontból a szabványokban megadott értéknél jóval magasabb hőmérsékletekhez? Mivel a kutatások gépi szellőzéssel ellátott terekre és rögzített munkahelyekre fókuszálnak, a fiziológiai és a pszichológiai adaptáció hatását kell megvizsgálni. További kérdés lehet, hogy az adaptációra milyen hatással van az egyének neme, kora illetve származási helye?

A vizsgált szakirodalom alapján megállapítottam, hogy a hideg és meleg termoreceptorok száma valamint jelátviteli sebessége között jelentős különbség van. Szükségesnek tartom megvizsgálni azt, hogy ki lehet-e használni a hideg receptorok érzékenységét annak érdekében, hogy kis energia befektetéssel meleg környezetben is elérjük a kellemes hőérzeti feltételeket (ez jelentős energiamegtakarítást jelentene). Ezt a hűtőhatást a szokásosnál nagyobb légsebességgel, vagyis a konvekciós hőleadás növelésével kívánom elérni. A nagyobb légsebesség viszont csak az egyén mikrokörnyezetében érvényesülhet, hogy a szomszédos munkaasztalnál ülő ember egyéni igényeit ne zavarja. Így felelhet meg az egyéni igényeknek a kialakított virtuális „komfort-buborék”.

Az adaptáció természetesen ebben az esetben is szerepet játszhat és egy adott akklimatizációs idő után előfordulhat, hogy az egyének megszokják a nagyobb légsebességet és a tervezett hűtőhatás már csak részben vagy egyáltalán nem érhető el. Ez az adaptáció viszont már nem kívánatos, így meg kell akadályozni. Olyan eljárást, illetve műszaki megoldást szükséges tehát fejleszteni, ami megakadályozza az adaptációt a nagyobb légsebességhez. A megnövelt légsebesség viszont huzatérzetet is okozhat. Kérdés, hogy meleg környezetben hogyan alakul a huzatérzet, illetve a nem és kor milyen módon befolyásolja a huzat észlelését? Ráadásul az is előfordulhat egy térben, hogy az egyének aszimmetrikus sugárzás hatásának is ki vannak téve. Kérdés, hogy ez a diszkomfort tényező semlegesíthető-e a megnövelt légsebességgel?

1.3 Kutatási módszerek

Az előző alfejezetben megfogalmazott kutatási célok és kérdések megválaszolásához többféle módszert alkalmaztam.

Az MSZ EN 13790 szabványban leírt módszer alapján szimulációs számításokat végeztem nagyszámú mintahelyiség esetében (a tájolás, a hőtároló tömeg, az üvegezett szerkezet mérete és sugárzásátbocsátó képessége függvényében) az operatív hőmérséklet meghatározásához. A számításoknál alkalmazott sugárzási hőterheléseket korábbi mérések, illetve kutatások alapján vettem figyelembe.

Alanyok bevonása nélkül egy valós épület esetében méréseket végeztem TESTO 480 műszerekkel a várható hőérzeti érték (PMV) meghatározása érdekében május- szeptember időszakban keleti és nyugati tájolású helyiségekben. Méréseket végeztem továbbá egy adott helyiség három különböző pontjában ahhoz, hogy valós körülmények között megállapítható legyen a várható hőérzet eltérése a tér különböző pontjaiban. Ugyanabban a helyiségben, ugyanazokban a pontokban, méréseket végeztem működő hűtési rendszer esetében is. Megvizsgáltam a PMV alakulását három azonos méretekkel, tájolással, üvegezéssel és hőtároló tömeggel, de eltérő árnyékolással rendelkező helyiség esetében annak érdekében, hogy megvizsgáljam ezeknek hőérzetet javító hatását.

Kísérleteket végeztem egy olyan légvezetési rendszer, illetve személyi szellőzési mód fejlesztése érdekében, amely lehetővé teszi a személyi igényeket kielégítő virtuális mikrokörnyezet kialakítását.

A kísérleti berendezést alkalmazva, kontrollált környezeti paraméterekkel rendelkező térben (Épületfizika laboratórium) hőérzeti méréseket végeztem megfelelő számú alany bevonásával annak érdekében, hogy megvizsgáljam a feltételezett „virtuális komfort-buborék” kialakulását. Miután a mérések igazolták a feltételezést, tevékeny részvételemmel elkészült a berendezés prototípusának terve és megépült a prototípus.

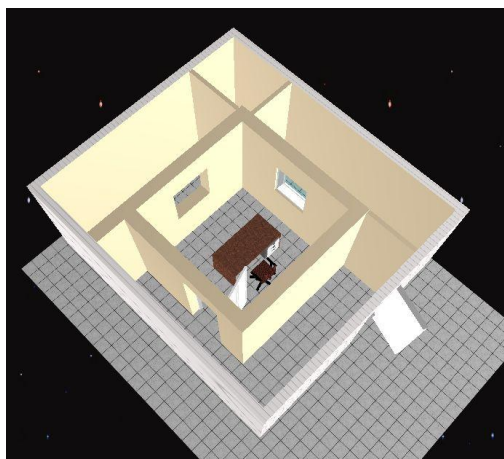
Kontrollált paraméterekkel rendelkező teszhelyiségben (Belső Környezet Minősége laboratórium) számos mérést végeztem annak érdekében, hogy a kutatási tervben megfogalmazott kérdésekre választ kapjak: nigériai, török és magyar férfiak, illetve magyar nők bevonásával vizsgáltam az adaptációt meleg környezetben. Fiatal, illetve idős férfiak és nők bevonásával meleg környezetben hőérzeti méréseket végeztem a fejlesztett eljárás hatékonyságára vonatkozóan. Megfelelő számú fiatal nő és férfi bevonásával méréseket végeztem továbbá az eljárás hatékonyságának vizsgálata céljából aszimmetrikus sugárzás esetében.

Az alanyok bevonásával elvégzett komfortmérések során figyelembe vettem a szakirodalomban megtalálható, ilyen jellegű méréseknél előírt létszámokat (Wyon és Bánhidi, 2003; Lan és Lian, 2010).

1.4 A kutatás során alkalmazott műszerek és berendezések

A hőérzettel kapcsolatos mérések elvégzésére egy klímakamrában elhelyezett mérőszoba állt rendelkezésemre, melyet az útmutatásaim alapján alakítottak ki.

A 2007-2012 időszakban a méréseket a Debreceni Egyetem Épületfizika Laboratóriumában végeztem (1.1 ábra).



1.1 ábra Épületfizika Laboratórium

A teszhelyiség belső mérete: 3,0 m × 3,0 m × 2,5 m. Az „adiabatikus” kamra 200 mm-es vastagságú, önhordó szendvics szerkezetű, porfestett sima lemez fegyverzetű, a fegyverzetek között sima poliuretán hab kitöltésű panelekből épült. Az egyes elemek egymásba tolható csap-hornyos kialakítással kapcsolódnak. A sarkoknál és a tetőnél a 90°-ban kapcsoló elemek külső és belső takaró lemezekkel kerültek rögzítésre. A panelek közötti rések a szereléskor PUR habbal kerültek kitöltésre. A beépített panelek hőátbocsátási tényezője $U=0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$. A falszerkezet 30 cm tömör téglából készült és a belső oldalon 2 cm mészvakolattal, külső oldalon pedig 2 cm cementvakolattal volt ellátva. Ennek a szerkezetnek a hőátbocsátási tényezője $U_{bf} = 1,67 \text{ W/m}^2\text{K}$. A „külső tér” hőmérséklete $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ és $+32 \text{ }^{\circ}\text{C}$ között, egy központi csoportaggregátos hűtőberendezés segítségével, állítható. A mérőkamra egyik falszerkezetében egy műanyag kerettel és hőszigetelt üveggel-, 100 cm × 120 cm méretekkel rendelkező ablakot helyeztünk el. A mérések során a friss levegő mennyiségét a teszhelyiségbe egy kettős hővisszanyeréssel rendelkező hígításos LVR szellőzői rendszer segítségével biztosítottam. A friss levegő a 3,0 m széles és közel 100,0 m hosszú laborfolyosóról kerül bevezetésre az első hővisszanyerőn keresztül a teszhelyiség és az „adiabatikus” kamra közötti tér „belső térrészébe” ahonnan a második hővisszanyerőn keresztül került bevezetésre a teszhelyiségbe. A laboratórium 2012-ben elbontásra került.

2013-tól a méréseimet a Debreceni Egyetem új Belső Környezet Minősége (BKM) laboratóriumában végeztem (1.2 ábra).

A laboratórium kialakítása csaknem teljes mértékben megegyezik a korábbi Épületfizika laboratóriummal, de a teszhelyiség méretei eltérőek, mivel a befogadó helyiség méretei nem tették lehetővé a korábbi teszhelyiség méreteinek kialakítását (2,49×3,65×2,56 m). Az új BKM laboratóriumban viszont a hígításos LVR szellőzés mellett kiépítésre került az elárasztásos LVR is. A helyiségbe bevezetett szellőző levegő paramétereinek beállítását egy Rosenberg légkezelő biztosítja.



1.2 ábra BKM laboratórium

A mérések során az alábbi műszereket alkalmaztam:

- glóbusz hőmérséklet: TESTO SAVERIS, glóbusz Ø 150 mm, TC K típus, érzékelő pontossága: ± 1 °C;
- léghőmérséklet: TESTO SAVERIS, érzékelő pontossága: ± 0.4 °C;
- relatív nedvességtartalom: TESTO 435, érzékelő pontossága: $\pm 2\%$ RH (+2 ...+98% RH);
- légsebesség: TESTO 435, érzékelő pontossága: $\pm(0.03$ m/s + a mért érték 5%);
- turbulencia fok: TESTO 435, mérési pontosság: $\pm(0.03$ m/s + a mért érték 4%);
- levegő térfogatárama: KIMO AMI 300, K75 érzékelő pontossága: $\pm(0.03$ m/s + a mért érték 3%)
- CO₂ koncentráció: TESTO 435, érzékelő pontossága: $\pm(50$ ppm CO₂ $\pm$ a mért érték 2%);
- PMV: TESTO 480 mérőműszer.
- TESTO 881 hőkamera.

A mérési eredmények statisztikai feldolgozását az *ORIGIN Lab* programmal végeztem el.

2. HŐTERHELÉS ÉS VÁRHATÓ HŐÉRZET

2.1 Bevezetés

Számos európai országban az épületek energiafogyasztásának csökkentése a nemzeti energiastratégia egyik legfontosabb célkitűzése. Ezt indokolja az a tény, hogy az épületek felelősek az Unió összes energiafogyasztásának mintegy 40 százalékáért (Energy Performance of Buildings Directive 2010/31/EU). Az új építésű épületek esetében egyre szigorúbbak a hőtechnikai és energetikai követelmények, de a meglévő épületek jelentős felújítása során is az új épületekre vonatkozó követelményeket kell betartani. Az EU országaiiban 2021 január 1-től csak közel nulla energiaigényű épületek kaphatnak építési engedélyt (Energy Performance of Buildings Directive 2010/31/EU). A mérsékelt, kontinentális éghajlati zóna szabályozásai elsősorban a fűtési energiaigény csökkentését szolgálják. A passzív ház esetében is a fűtési energiafogyasztásra vonatkozóan van követelmény megadva. Nem feledkezhetünk meg arról, hogy minden olyan megoldás, ami a fűtés energiaigényét, a fűtés csúcsteljesítmény igényét csökkenti, az a nyári túlmelegedés kockázatát növeli. Az épület energetikai vizsgálatát éves szinten kell elvégezni. A transzparens szerkezetek kulcsszerepet játszanak az épület energiamérlegében, mivel egyrészt a megfelelően hőszigetelt tömör szerkezetek hőátbocsátási tényezőjéhez viszonyítva még a legjobb nyílászárók esetében is ez az érték jóval nagyobb. Másrészt a transzparens szerkezeteken keresztül érkező sugárzásos hőnyereségek bizonyos időszakaiban az évnek pozitívan hatnak az épület energiamérlegére, más időszakokban viszont kifejezetten rontják az energiamérleget. Harmadrészt, a transzparens szerkezeteken keresztül érkező fény a világítás energiaigényét csökkentheti. Nem utolsósorban az emberek köz- és komfortérzetét javítják a nagy kiterjedésű nyílászárók, melyek a külső környezettel való kapcsolat érzését biztosítják. Ezért kiemelten fontos a nyílászárók méretének, tájolásának, árnyékolásának és hőtechnikai paramétereinek a megfelelő méretezése. Az épületek energiamérlegének elkészítésére rendkívül szofisztikált szimulációs programok állnak rendelkezésre (Crawley et al., 2001; Faurey et al., 2002; Wetter és Haugstetter, 2006). Ha ezekhez a programokhoz nem állnak rendelkezésre megfelelő éghajlati adatok, akkor az igen bonyolult számítások után kapott eredmény félrevezető lehet. Sajnos, az Európát is érintő klímaváltozás (Luterbacher et al., 2004), a nyári időszakban hangsúlyozottan, negatívan befolyásolja az energiamegtakarítási törekvéseket. Shär et al. (2004) szerint az üvegházhatás miatt Európa éghajlata évenként egyre nagyobb változásokat fog mutatni. Coley és Kershaw (2010) vizsgálta az épületek belső hőmérsékletének alakulását az egyre nagyobb külső hőmérsékletek mellett. Arra a következtetésre jutottak, hogy az összefüggés lineáris és a különböző építészeti megoldásokhoz, különböző arányossági tényezők tartoznak. Az egyre növekvő belső és külső hőmérsékletek miatt felvetődött a hőérzeti szabványok felülvizsgálata is. Kwok és Rajkovich szerint az ember adaptálódik a növekvő hőmérsékletekhez, ezért az adaptációt figyelembe kell venni a hőérzeti szabványokban és a követelményeket újra meg kellene határozni. Jenkins et al. (2011) az épületek jövőbeni túlmelegedésére egy valószínűségi görbét javasolt, melyet véleménye szerint figyelembe kell venni az épületenergetikai szimulációk során. Energiatudatos építészeti megoldásokkal rendkívül jó eredményeket érhetünk el, de ezek túlnyomó többsége csak az új épületek esetében valósítható meg (Lomas, 2007; Lomas et al., 2007; Krausse et al., 2007; Ji et al., 2009; Lin et al., 2009; Short et al., 2009). A jelenlegi

a központi csomópont (θ_s) közötti kapcsolatot a $H_{tr,is}$ tényező, [W/K], jellemzi. A szabvány szerint a helyiség/épület hőtároló kapacitását a belső felülettől számított 10 cm vastagságig kell figyelembe venni napi periódusban változó hatások esetében.

A számításokhoz a szabvány a Cranck-Nicholson módszert alkalmazza. Lehetőség van havi átlagértékek alapján, illetve órai átlagértékek alapján elvégezni a számításokat.

A léghőmérsékletet a (2.1) összefüggés segítségével határozhatjuk meg, (MSZ EN ISO 13790:2008):

$$t_a = (H_{tr,is} \theta_s + H_{ve} \theta_{sup} + \Phi_{ia} + \Phi_{HC,nd}) / (H_{tr,is} + H_{ve}) \quad (2.1)$$

ahol:

$$H_{tr,is} = h_{is} A_{tot} \quad (2.2)$$

melyben: h_{is} – a léghőmérséklet csomópont (t_a) és a központi csomópont (θ_s) közötti hőátadási tényező, [W/m²K] (értéke 3,45 W/m²K); A_{tot} – a vizsgált helyiséget határoló összes épületszerkezet felülete belméretek szerint, [m²].

$$H_{ve} = \rho_a c_{ap} \sum_j b_{vj} q_{vj} \quad (2.3)$$

ahol: b_{vj} – korrekciós tényező, melyet abban az esetben kell alkalmazni, amikor a helyiségbe befűjt levegő hőmérséklete eltér a külső levegő hőmérsékletétől; j – a helyiséget levegővel ellátó légbefűvő sorszáma.

A (4.20.) egyenletben a $\Phi_{HC,nd}$ – a hűtési teljesítményigény, [W]; $\Phi_{ia} = 0,5\Phi_{int}$, ahol Φ_{int} – a belső hőnyereségek teljesítménye, [W].

A központi csomópont hőmérséklete a (2.4) összefüggéssel határozható meg:

$$\theta_s = \{H_{tr,ms} \theta_m + \Phi_{st} + H_{tr,w} \theta_e + H_{tr,1} [\theta_{sup} + (\Phi_{ia} + \Phi_{HC,nd}) / H_{ve}]\} / (H_{tr,ms} + H_{tr,w} + H_{tr,1}) \quad (2.4)$$

ahol θ_e – a külső léghőmérséklet, [°C].

$$H_{tr,w} = \sum_j A_{wj} U_{wj} \quad (2.5)$$

ahol: A_{wj} – a j nyílászáró felülete, belméretek szerint, [m²]; U_{wj} – a j nyílászáró hőátbocsátási tényezője, [W/m²K].

$$\Phi_{st} = \left(1 - \frac{A_m}{A_{tot}} - \frac{H_{tr,w}}{9,1 A_{tot}}\right) (\Phi_{ia} + \Phi_{sol}) \quad (2.6)$$

A hőtároló tömeg effektív felületét a (2.7) összefüggéssel számíthatjuk:

$$A_m = \frac{C_m^2}{\sum_j A_j \kappa_j^2} \quad (2.7)$$

ahol: A_j – a j hőtároló szerkezet felülete, [m²]; C_m – a helyiség hőkapacitása, [J/K]; $\kappa_j = \sum d_j \rho_j c_j$, [J/m²K]; d_j – a j réteg vastagsága, [m] (10 cm összvastagságig kell figyelembe venni a rétegeket); c_j – a j réteg anyagának fajhője, [J/kgK]; ρ_j – a j réteg anyagának sűrűsége, [kg/m³].

$$H_{tr,ms} = h_{ms} A_m \quad (2.8)$$

ahol: h_{ms} – az m és az s csomópontok közötti hőátadási tényező, [W/m²K], (9,1 W/m²K);

$$H_{tr,1} = \frac{1}{1/H_{ve} + 1/H_{tr,is}} \quad (2.9)$$

A t időpontban az m csomópont hőmérsékletét, a $t-1$ időpontban mért érték függvényében határozzuk meg:

$$\theta_{m,t} = \{\theta_{m,t-1} [(C_m / 3600) - 0,5(H_{tr,3} + H_{tr,em})] + \Phi_{m,tot}\} / [(C_m / 3600) + 0,5(H_{tr,3} + H_{tr,em})] \quad (2.10)$$

Az összefüggésben a helyiség hőkapacitása, C_m , [J/K] a 2.11 összefüggéssel számítható:

$$C_m = \sum_j \kappa_j A_j \quad (2.11)$$

További értékek, (MSZ EN ISO 13790:2008):

$$H_{tr,2} = H_{tr,1} + H_{tr,w} \quad (2.12)$$

$$H_{tr,3} = \frac{1}{1/H_{tr,2} + 1/H_{tr,ms}} \quad (2.13)$$

$$H_{tr,em} = \frac{1}{1/H_{op} - 1/H_{tr,ms}} \quad (2.14)$$

$$H_{op} = \sum_j A_{op,j} U_{op,j} + \sum_j l_j \Psi_j \quad (2.15)$$

ahol $A_{op,j}$ – a j tömör szerkezet felülete belméretek szerint, $[m^2]$; $U_{op,j}$ – a j tömör szerkezet hőátbocsátási tényezője, $[W/m^2K]$; l_j – a j lineáris hőhíd hossza, $[m]$; Ψ_j – a j lineáris hőhíd vonalmenti hőátbocsátási tényezője, $[W/mK]$.

$$\Phi_{m,tot} = \Phi_m + H_{tr,em} \theta_e + H_{tr,3} \left(\Phi_{st} + H_{tr,w} \theta_e + H_{tr,1} \left[\left(\Phi_{ia} + \Phi_{HC,nd} \right) / H_{ve} \right] + \theta_{sup} \right) / H_{tr,2} \quad (2.16)$$

Az operatív hőmérséklet a léghőmérséklet és a közepes sugárzási hőmérséklet súlyozott átlaga (a súlyozó tényezők pedig a konvektív és a sugárzási hőátadási tényezők). A vizsgált helyiségben, (MSZ EN ISO 13790:2008):

$$\theta_{op} = 0,3t_a + 0,7\theta_s \quad (2.17)$$

A várható hőérzeti értéket (PMV) a testben felszabaduló metabolikus hő (M , $[W/m^2]$), a végzett munka (W , $[W/m^2]$), illetve a környezeti paraméterek függvényében a (2.18) összefüggéssel határozhatjuk meg:

$$PMV = (0.303 \exp(-0.036M) + 0.028) \left\{ (M - W) - 3.05 \times 10^{-3} \times [5733 - 6.99(M - W) - p_a] - \right. \\ \left. - 0.42 \times [(M - W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5} M (5867 - p_a) - 0.0014 M (34 - t_a) - \right. \\ \left. - 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \right\} \quad (2.18)$$

hol: t_a – a léghőmérséklet, $[^\circ C]$; p_a – a vízgőz parciális nyomása a levegőben, $[Pa]$; t_{cl} a ruházattal borított és nem borított testfelület hőmérséklete, $[^\circ C]$; f_{cl} – a ruházattal borított és a ruha nélküli testfelületek aránya; $\bar{t}_r$ – a közepes sugárzási hőmérséklet, $[^\circ C]$.

A ruházattal borított és nem borított testfelület hőmérsékletét a (2.19) összefüggéssel határozhatjuk meg, (ISO 7933, 2004):

$$t_{cl} = 35.7 - 0.028(M - W) - I_{cl} \left\{ h_r f_{cl} 10^{-8} [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \right\} \quad (2.19)$$

A sugárzásos hőátadási tényező a (2.20) összefüggéssel számítjuk, (ISO 7933, 2004):

$$h_r = 5.67 \cdot 10^{-8} \varepsilon_t \frac{A_r}{A_D} \frac{(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4}{(t_{cl} - \bar{t}_r)} \quad (2.20)$$

ahol A_r/A_D a sugárzásos hőcserében résztvevő testfelület és a teljes testfelület aránya, melynek értéke 0,67 guggoló ember esetében, 0,7 ülő helyzetben lévő ember esetében és 0,73 álló ember esetében; ε_t – a ruházattal borított test emissziós tényezője.

A ruházattal borított és a ruha nélküli testfelületek aránya, (ISO 7730, 2005):

$$f_{cl} = \begin{cases} 1.00 + 1.290 I_{cl} & \text{ha } I_{cl} < 0.078 m^2 K/W \\ 1.05 + 0.645 I_{cl} & \text{ha } I_{cl} > 0.078 m^2 K/W \end{cases} \quad (2.21)$$

A konvektív hőátadási tényező értékét a (2.22) egyenlettel határozhatjuk meg, (ISO 7730, 2005):

$$h_c = \begin{cases} 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} & \text{for } 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} > 12.1\sqrt{v_{ar}} \\ 12.1\sqrt{v_{ar}} & \text{for } 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} < 12.1\sqrt{v_{ar}} \end{cases} \quad (2.22)$$

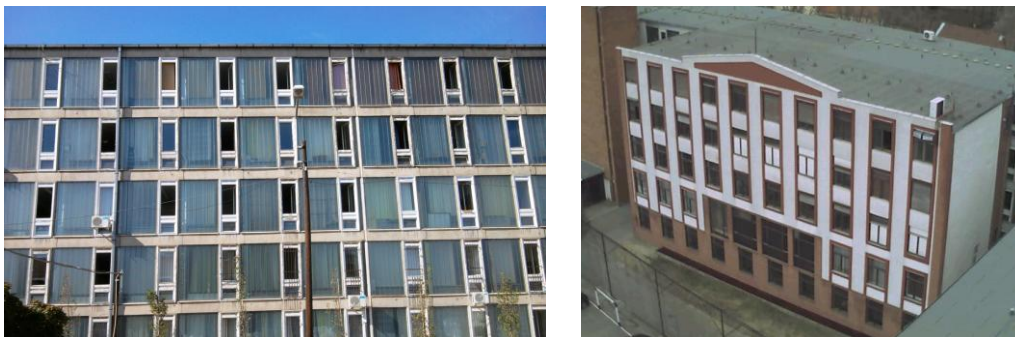
ahol: v_{ar} a relatív légsebesség, m/s .

A közepes sugárzási hőmérsékletet az egyes határoló szerkezetek felületi hőmérsékleteinek (T_{si}) és a besugárzási tényezőknek (F_{P-Ai}) az ismeretében határozhatjuk meg (2.23), (ISO 7730, 2005):

$$\bar{t}_r = \sqrt[4]{\sum_{i=1}^n F_{P-A_i} T_{si}^4} - 273 \quad (2.23)$$

2.3 Mért és számított PMV és operatív hőmérséklet értékek egy oktatási épület esetében

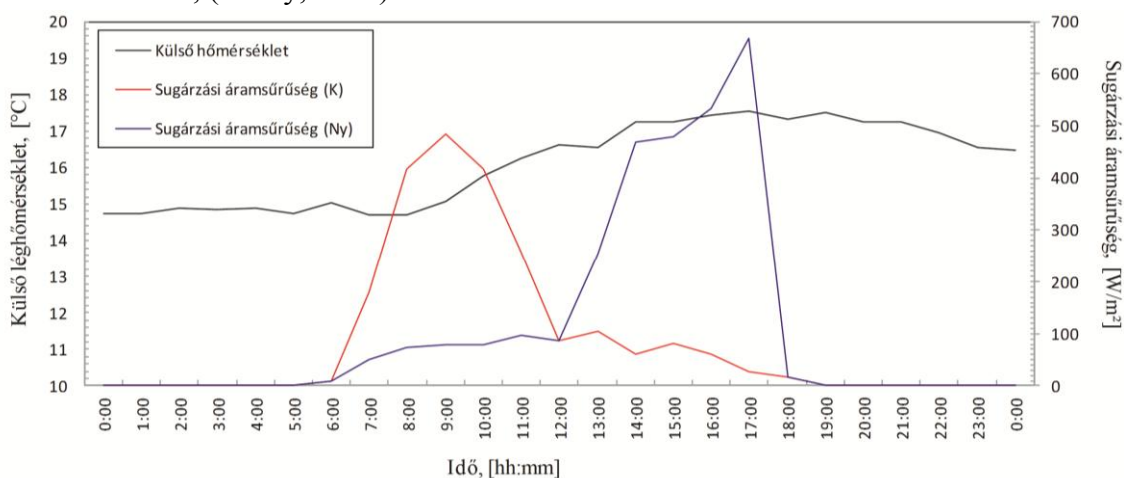
2015 év során (májustól-októberig) egy méréssorozatot folytattam a Debreceni Egyetem Műszaki Kar épületében. A mérések célja az volt, hogy megvizsgáljam a belső környezeti viszonyokat (operatív hőmérséklet, PMV) nagy transzparens felületekkel rendelkező helyiségekben. Az épület ötszintes, vázas szerkezetű, fő homlokzatai K-i, illetve Ny-i tájolásúak, 1965-ben került átadásra és 1990-ben bővítették. Úgy a K-i, mint a Ny-i homlokzaton fa keretes kettős üvegezésű ablakokat, illetve kopilit üveget alkalmaztak. A bővítést a Ny-i homlokzathoz kapcsolták. Ez az új épületrész is vázas szerkezetű, de nagyobb a tömör falszerkezet felülete, mely B30-as téglából épült és 5 cm polisztirol hőszigeteléssel van ellátva. Fa keretes, hőszigetelt üveggel ellátott nyílászárókat alkalmaztak (2.2 ábra).



2.2 ábra a vizsgált épület K-i (balról) és Ny-i (jobbról) homlokzata

A vázas vasbetonszerkezet alkalmazásával azonos belméretekkel rendelkező raszterek alakultak ki. Ezek vagy önmagukban jelentenek egy helyiséget, vagy két-három raszterből alakítottak ki egy helyiséget. A Ny-i homlokzaton, a 3.-5. szinteken, az ablakok redőnnyel vannak ellátva, melyek biztosítják az árnyékolást, azonban a földszinten és az első emeleten nincsenek árnyékolók. A K-i homlokzaton az árnyékolás tekintetében rosszabb a helyzet, hiszen jelenleg egyik szinten sem találhatók árnyékolók, sőt itt a tömör szerkezetek aránya rendkívül kicsi. Korábbi mérések kimutatták, hogy a K-i és Ny-i tájolású helyiségekben alakulnak ki a legmagasabb operatív hőmérsékletek (Csáky, 2015), ezért a különböző állapotok összehasonlítása érdekében négy azonos méretű (három K-i tájolású, egy Ny-i tájolású) helyiségben végeztem a méréseket. A K-i tájolású helyiségek az épület harmadik emeletén helyezkednek el (2.3 ábra), a Ny-i tájolású helyiség pedig az első emeleten. A helyiségekben irodai munkát végeznek és a munkahely mindegyik esetben az ablaktól 1,5 m-re van elhelyezve. A mérésekhez TESTO 480 műszert alkalmaztam, mely egyszerre méri a glóbuszhőmérsékletet, a léghőmérsékletet, a légsebességet, a relatív nedvességtartalmat. A műszerbe, mely adatgyűjtőként több napig folyamatosan méri az adatokat a megadott időléptékben, beprogramozható a végzett tevékenység intenzitása és a helyiségben tartózkodó személy ruházatának hőszigetelő képessége. Mindezen adatok birtokában a műszer a PMV értéket is kimutatja. Egyik K-i tájolású irodában egy 3,6 kW teljesítménnyel rendelkező split klíma is el van helyezve. A mérések során tehát lehetőség nyílt az operatív hőmérséklet összehasonlítására azonos tájolású és méretekkel rendelkező hűtött és nem hűtött helyiségekben.

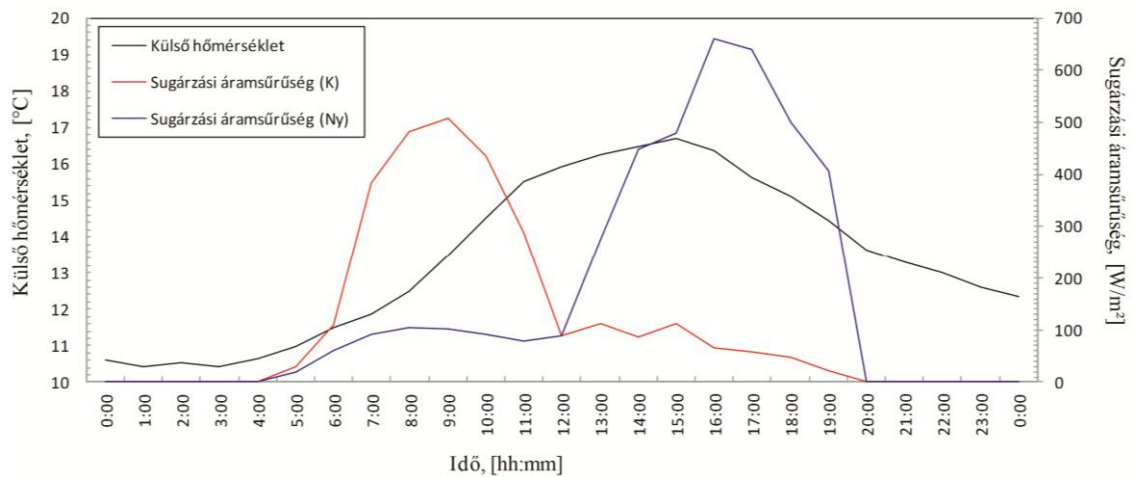
A mérési eredmények közül, elsősorban a május és szeptember hónapokat tartottam fontosnak, tekintettel arra, hogy ezekben a hónapokban folyamatos a munkavégzés az épületben. Egy májusi, illetve egy szeptemberi nap külső hőmérséklete, valamint a K-i és Ny-i homlokzatra érkező sugárzás intenzitását mutatja be a 2.4-2.5 ábra. Az órai sugárzási adatokat, valamint a külső hőmérséklet értékeket a Debreceni Egyetem Agrometeorológiai állomásán mérték. (Csáky, 2015).



2.4 ábra A külső hőmérséklet és a sugárzás intenzitása (május)

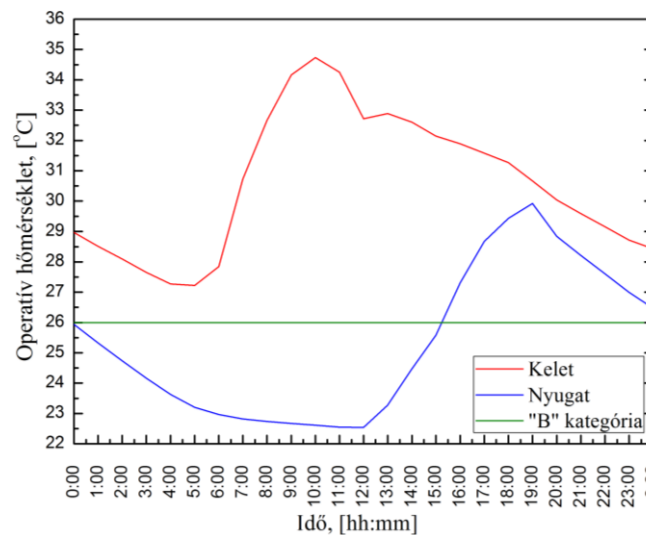
Az operatív hőmérsékletet meghatározásához a 2.2 alfejezetben bemutatott számítási módszert alkalmaztam. A K-i tájolású helyiségek hőtároló kapacitása 6,7 MJ/K, míg Ny-i tájolású helyiség 5,8 MJ/K hőtároló kapacitással rendelkezik. A 2.4 és 2.5 ábrákban bemutatott meteorológiai adatok, illetve a (2.1)-(2.17) egyenletek alapján a várható operatív hőmérséklet értékek kerültek meghatározásra.

A kapott eredmények a 2.6-2.7 ábrákban kerülnek bemutatásra. Az ábrákban szerepel az MSZ CR 1752 szabványban „B” komfortkategóriára megengedett legnagyobb operatív hőmérséklet érték: 26 °C is (a követelmény 24,5±1,5 °C), (MSZ CR 1752, 2002). Ugyanezt a követelményt határozza meg az MSZ EN 15251 szabvány a II. komfortkategóriára vonatkozóan, (MSZ EN 15251:2007).

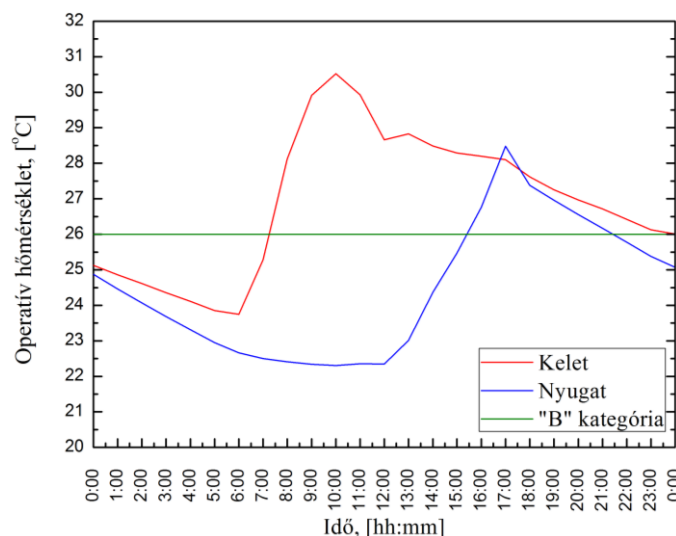


2.5 ábra A külső hőmérséklet és a sugárzás intenzitása (szeptember)

A számítások során, az elvégzett Blower Door mérések alapján, a K-i tájolású irodákban $n=1 \text{ h}^{-1}$ légcsereszámot, míg a Ny-i tájolású irodánál $n=0,8 \text{ h}^{-1}$ légcsereszámot vettem figyelembe.



2.6 ábra Várható operatív hőmérsékletek a vizsgált helyiségekben (Május)



2.7 ábra Várható operatív hőmérsékletek a vizsgált helyiségekben (Szeptember)

Mindegyik esetben az operatív hőmérséklet kezdeti értéke az adott napon 0:00 időpontban mért érték. Megállapítható, hogy a vizsgált helyiségekben, a B komfortkategóriára vonatkozó legmagasabb (megengedhető) értéket is jelentősen meghaladja a várható operatív hőmérséklet, ami azt jelenti, hogy a kellemes hőérzet ezekben a helyiségekben csak légkondicionáló berendezésekkel, vagyis jelentős energia befektetéssel biztosítható. Ha a benttartózkodók ruházatának hőszigetelése 0,5 clo (MSZ EN ISO 9920, 2009), illetve a tevékenységi szint az irodai munkának megfelelő 70 W/m² (MSZ EN ISO 8996), akkor a PMV jelentősen meghaladja a 3-as értéket (hőérzeti szempontból forró környezet) és a hőérzettel elégedetlenek aránya 100% lesz.

2.3.2 Mérési eredmények

A mérésekhez három darab kalibrált TESTO 480 műszer állt rendelkezésemre (2.8 ábra).



2.8 ábra TESTO 480 mérőműszer

Mivel a műszer glóbuszhőmérsékletet mér, a közepes sugárzási hőmérséklet számításához a (2.24) vagy a (2.25) összefüggéseket alkalmaztam (attól függően, hogy volt-e kényszeráramlás a térben vagy nem), (MSZ EN ISO 7726, 2003):

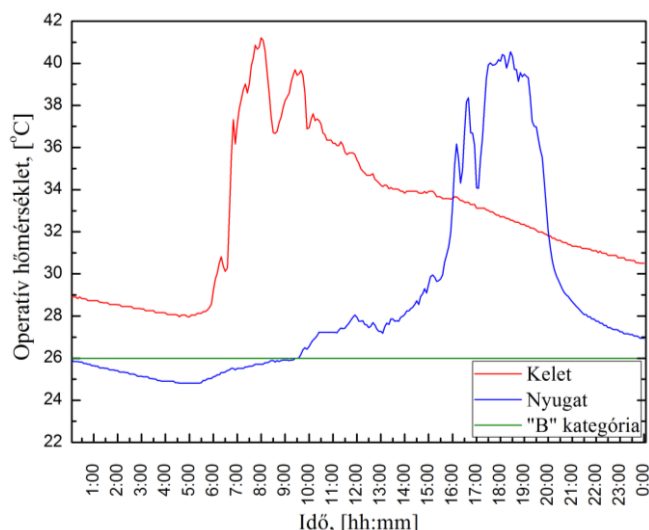
- kényszeráramlás nélkül:

$$\bar{t}_r = \left[(t_g + 273)^4 + 0.4 \times 10^8 |t_g - t_a|^{0,25} \times (t_g - t_a) \right]^{0,25} - 273 \quad (2.24)$$

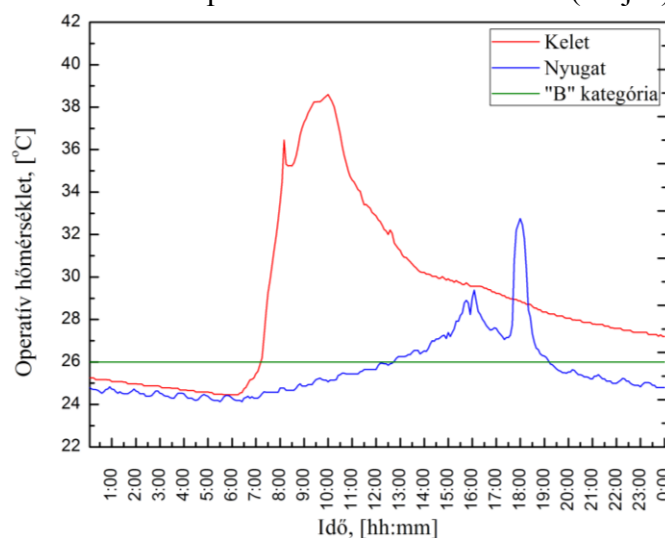
- kényszeráramlással:

$$\bar{t}_r = \left[(t_g + 273)^4 + 2.5 \times 10^8 \times v_{ar}^{0,6} (t_g - t_a) \right]^{0,25} - 273 \quad (2.25)$$

A műszereket az adott helyiségben a rögzített munkahelyen helyeztem el, úgy, hogy a glóbusz középpontja 1.1 m magasságban volt. A mérési napokon, melyeknek külső hőmérséklet és sugárzás intenzitás adatait a 2.4 és 2.5 ábrák tartalmazzák, a vizsgált helyiségekben minden nyílászáró zárt állapotban volt és a helyiségekben senki sem tartózkodott. A transzparens szerkezetek esetében sem külső, sem belső árnyékolót nem alkalmaztam. A mért értékek alapján meghatározott operatív hőmérséklet értékeket a 2.9 és 2.10 ábrák mutatják be.



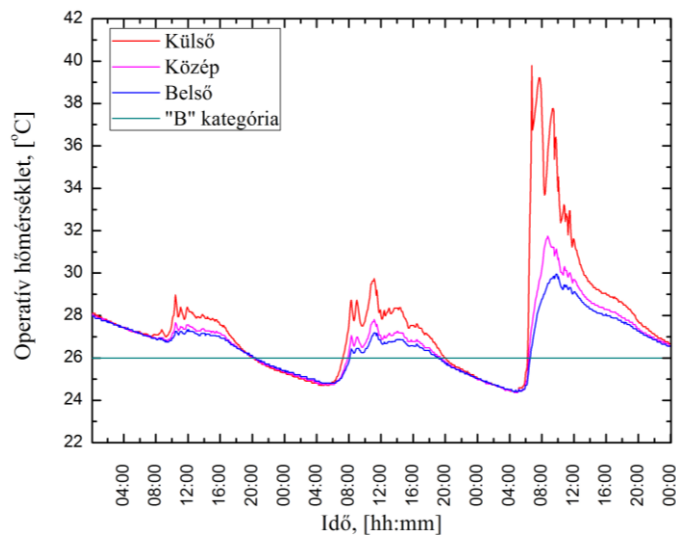
2.9 ábra Mért operatív hőmérséklet értékek (Május)



2.10 ábra Mért operatív hőmérséklet értékek (Szeptember)

A 2.6-2.7, illetve a 2.9-2.10 ábrákban bemutatott hőmérséklet adatok alapján megállapíthatjuk, hogy jelentős ez eltérés a számított és a mért adatok között (főleg azokban az időszakokban, amikor a helyiségeket direkt sugárzás terheli). A két tájolást összehasonlítva, megállapíthatjuk, hogy a K-i tájolás esetében rosszabb belső környezeti körülmények alakulnak ki. A számított és a mért értékek közötti eltérésnek az oka az, hogy a számítások a helyiségek középpontjára adják meg az operatív hőmérséklet értékét, viszont a valóságban, egy helyiségben a munkahelyet nem mindig rögzítik éppen a helyiség középpontjában (adott esetben az ablaktól 1,5 m, funkcionális és bútorozási okokból). A transzparens szerkezetek közelében rögzített munkahelyek esetében viszont a direkt sugárzás miatt nagyon magas operatív hőmérsékletek is kialakulhatnak (még májusban vagy szeptemberben is). Nyári hónapokban még rosszabb a helyzet.

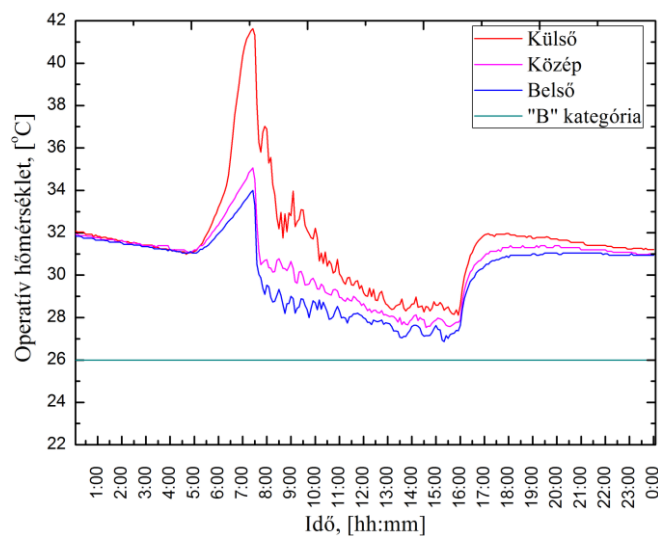
A rendelkezésre álló három TESTO 480 műszerrel egyszerre három pontban végeztem mérést a K-i tájolású 1. sz. helyiségben. A műszereket egy vonalban a valós munkahelyen (1,5 m távolságra a külső határoló szerkezettől), a helyiség közepén, illetve 1,45 m-e a belső faltól helyeztem el (a helyiség 2,9 m széles). A méréseket folyamatosan végeztem három napon át. A mérések ideje alatt a helyiségben nem tartózkodott senki, árnyékolót nem alkalmaztam. A mérési adatok alapján meghatározott operatív hőmérséklet értékeit a 2.11 ábra mutatja be.



2.11 ábra Operatív hőmérsékletek a K-i tájolású 1. sz. irodahelyiség három pontjában

Az ábrából megállapítható, hogy az egymást követő három napon végzett mérések egy hőhullámnak a napjai voltak. Jól látható továbbá, hogy a külső határoló szerkezethez közelebbi pontokban nagyobb operatív hőmérsékletek alakulnak ki. A különbség viszont nem szignifikáns a középső és a belső mérési pont között, ellenben szignifikánsak a külső-középső, külső-belső pontokban mért különbségek. Amikor nincs sugárzásos hőnyereség, gyakorlatilag a három pontban az operatív hőmérséklet azonos.

Felmerült a kérdés, hogy ezek a különbségek hogyan alakulnak akkor, ha a légkondicionáló berendezés működik? Egy adott napon tehát a légkondicionáló működése közben, zárt nyílászárók mellett (de árnyékolók nélkül) került sor a mérésre a K-i tájolású 1. sz. helyiség három pontjában. A reggel 7:00 és délután 4:00 óra között üzemelő légkondicionáló parancsolt léghőmérséklet értéke 26 °C volt. A mért értékek alapján számolt operatív hőmérsékletek értékeit a 2.12 ábra mutatja be.



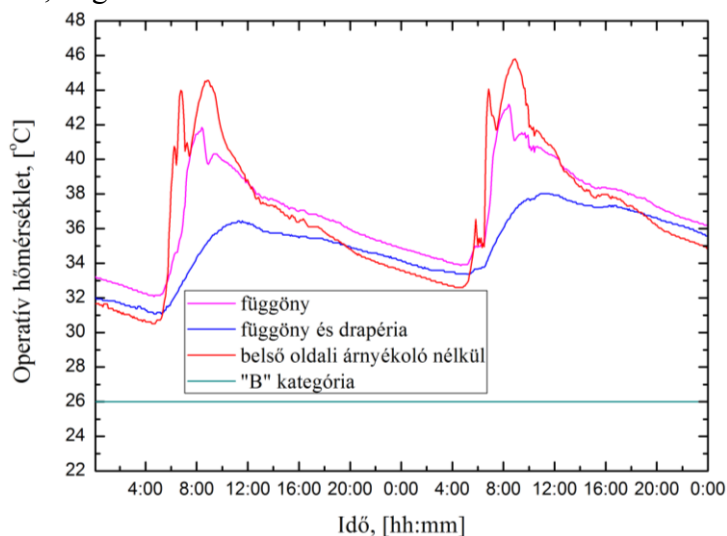
2.12 ábra Operatív hőmérsékletek a K-i tájolású 1. sz. helyiség három pontjában
(légkondicionáló üzem: 7:00-16:00)

Látható, hogy ebben az esetben is különbségek lépnek fel a helyiség különböző pontjaiban az operatív hőmérsékletek között. Akárcsak az előző esetben, az operatív hőmérsékletek közötti

eltérések akkor a legnagyobbak, amikor a helyiségbe közvetlen sugárzás érkezik. Megállapítható továbbá, hogy, ha a légkondicionáló berendezés parancsolt léghőmérséklete $26\text{ }^{\circ}\text{C}$, akkor az operatív hőmérséklet ezt az értéket meghaladja a közepes sugárzási hőmérséklet nagy értéke miatt. A vizsgált helyiség külső határoló szerkezetének 58%-a kopilit, 31%-a fa keretes kettős üvegezésű ablak. A kopilit sugárzásátbocsátó képessége jóval kisebb a normál ablaküvegnél (0,3 körüli érték), de a tárolt hő viszont jóval nagyobb (a nagyobb tömege miatt). Mérések azt mutatták, ki, hogy a kopilit a délelőtti órákban annyira felmelegszik, hogy a belső felületi hőmérséklete eléri a $45\text{--}48\text{ }^{\circ}\text{C}$ -t, (Csáky, 2015). Miután már nem éri közvetlen napsugárzás, a kopilit lassan hűl, de a belső tér szempontjából gyakorlatilag sugárzó fűtőfelületként működik.

A továbbiakban azt vizsgáltam meg, hogy különböző belső oldali árnyékolóknak milyen hatása lehet a munkahelyen kialakuló operatív hőmérsékletre. A méréseket egyidejűleg végeztem a három K-i tájolású helyiségben, úgy, hogy az egyikben nem volt semmilyen árnyékoló, a másodikban egy egyszerű átlátszó függönyt alkalmaztam a belső oldalon, míg a harmadik irodában egy sötétítő és egy átlátszó függöny volt elhelyezve a belső oldalon. A mérési időszakban a helyiségekben senki sem tartózkodott, az ablakok és ajtók zárva voltak, a légkondicionáló berendezés nem működött.

A mérések alapján meghatározott operatív hőmérséklet értékeket a 2.13 ábra mutatja be. Megállapítható, hogy az éjszakai órákban a legalacsonyabb operatív hőmérséklet abban a helyiségben alakul ki, amelyik semmilyen belső árnyékolóval nem rendelkezik. Azonban, a közvetlen napsugárzás hatására éppen ebben a helyiségben emelkedik leghamarabb és legmagasabbra az operatív hőmérséklet. Érdekes eredményt kapunk abban a helyiségben, amelyikben csak az átlátszó függönyt alkalmaztuk: a hőveszteséget valamennyire csökkenti (hiszen nem tud annyira lehűlni a helyiség), azonban a felmelegedést, amikor közvetlen érkezik a napsugárzás, alig csökkenti.

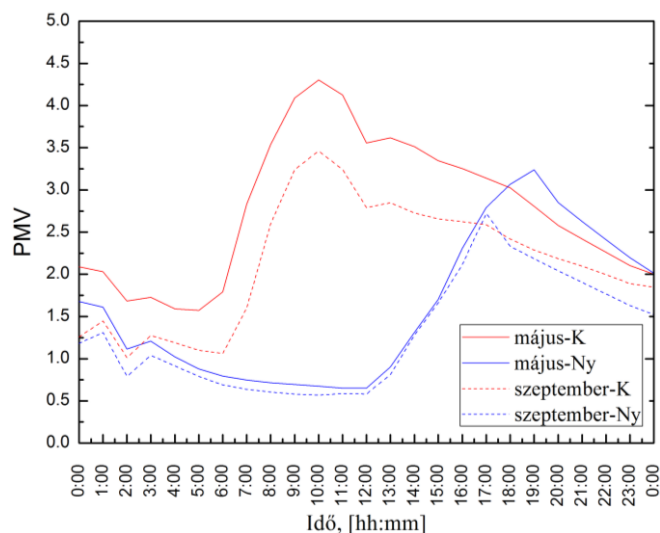


2.13 ábra A függöny és a sötétítő alkalmazásának hatása az operatív hőmérsékletre

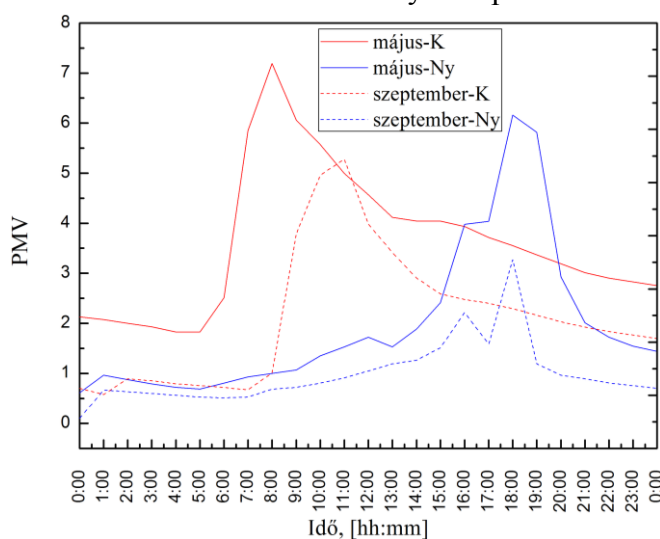
Ennek megfelelően a napnak bizonyos időszakaiban, ebben a helyiségben lett a legnagyobb az operatív hőmérséklet. Abban a helyiségben, ahol függönyt és sötétítőt is alkalmaztunk a legkisebb az operatív hőmérséklet változásának amplitúdója. Ezzel együtt a mérési napokon $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál jóval magasabb operatív hőmérséklet értékek alakultak ki a vizsgált helyiségekben.

2.3.3 A számítási és a mérési eredmények értékelése

Úgy az MSZ EN ISO 7730 szabvány, mint az MSZ EN 15251 szabvány a „B”, illetve II. komfortkategóriába tartozó épületekre vonatkozóan $PMV = -0,5 \dots +0,5$ értékeket ír elő. A számított, valamint a mért belső környezeti paraméterek alapján a 2.18 összefüggést alkalmazva, meghatározásra került a PMV a vizsgált helyiségekben (2.14 és 2.15 ábra).



2.14 ábra PMV a számított belső környezeti paraméterek alapján



2.15 ábra PMV a mért belső környezeti paraméterek alapján

Ahogy az említésre került Fanger a hét pontos skálát javasolta a belső környezet hőérzeti értékeléséhez, amit a napjainkban érvényes szabványok is alkalmaznak. A skálán a +3 érték a legnagyobb, ami a „forró” környezetet minősíti. Behelyettesítve a (2.18) összefüggésbe a számított, illetve mért értékeket, látható, hogy a +3 értéknél jóval nagyobb PMV értékek is kialakultak. A TESTO 480 műszer +3 értéket tud csak kijelezni. Ahogyan az várható volt a 2.10 és 2.11 ábrákban bemutatott operatív hőmérsékletek alapján, a mért értékek figyelembevételével számolt PMV nagyobb a számított értékek alapján meghatározott PMV értékeknél. A különbségek kisebbek szeptember hónap vonatkozásában, illetve Ny-i tájolás esetében. Az eredmények közötti eltérésekért a közvetlen napsugárzás a felelős, ami jelentősen emeli a PMV értéket. A Ny-i tájolóhoz viszonyítva, a K-i tájolású helyiségeknél, a

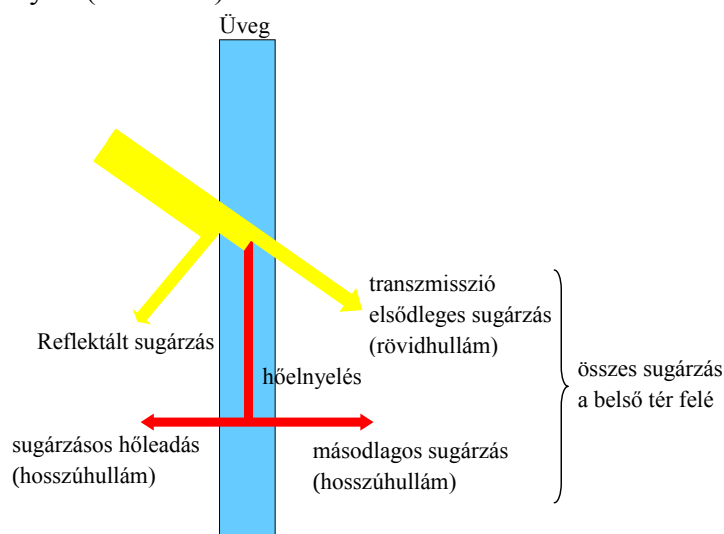
délelőtti órákban jelentősen felmelegedett kopilit üveg a nap további részében a sugárzással kibocsátott hővel emeli a PMV értékét.

A számított és mért értékek alapján megállapíthatjuk, hogy a nagy üvegfelülettel rendelkező régi építésű épületeknél, melyeknél a külső oldali árnyékolás nem megoldott, légkondicionáló berendezések nélkül aligha teljesíthetőek a jelenleg érvényes hőérzeti követelmények. A mérési eredményeket korábbi mérések és kutatási eredmények is alátámasztják (Csáky és Kalmár, 2012; Csáky és Kalmár, 2014). Megállapíthatjuk, hogy a vizsgált helyiségekben a hőérzetre vonatkozóan jobb értékeket kaphatunk, ha a munkahelyet a helyiség olyan pontjában rögzítjük, ahol a közvetlen napsugárzás hatása kevésbé érvényesül. A belső oldali árnyékoló szerkezetekkel is csökkenthetjük valamelyest a túlmelegedést és a várható hőérzeti értéket. Továbbá, ha elemezzük az operatív hőmérséklet, illetve a PMV értékeit, akkor láthatjuk, hogy a Ny-i tájolású helyiség esetében kisebb a túlmelegedés és kisebb a PMV, bár a 2.4 és 2.5 ábra alapján a mérési napokon Ny-i tájolás esetében nagyobb volt a közvetlen sugárzás. Ráadásul oktatási épületekben (de más középületekben is) a munkaidő általában 8:00-16:00 óra közötti időpontokra tehető. Ny-i tájolású helyiségek esetében a nagyobb felmelegedés csak 15:00 óra után jelentkezik. Tehát Ny-i tájolású helyiségek esetében, a K-i tájolású helyiségekhez viszonyítva, jelentős hűtési energiamegtakarítást érhetünk el. Megfelelően üzemeltetett természetes szellőzéssel és éjszakai szellőzéssel további energiamegtakarítás érhető el (Csáky, 2015).

2.4 Üvegezések és a hőtároló tömeg hatása az operatív hőmérsékletre

2.4.1 Összesített sugárzásátbocsátási képesség

A földfelszínt elérő napsugárzás 3%-a ultrabolya (UV) sugárzás, 55%-a infravörös sugárzás (IR), 42%-a pedig fény. Mindegyik sugárzástípushoz egy hullámhossztartomány is tartozik: 0,28-0,38 μm (UV), 0,38-0,76 μm (fény) és 0,76-2,5 μm (IR), (web-1). Amikor az üvegfelületet napsugárzás éri, az üveg a sugárzás egy részét visszaveri, egy részét átengedi, egy részét pedig elnyeli (2.16 ábra).



2.16 ábra Az üvegezés energiamérlege, (web-2)

Az egyes energiahányadok és a beérkező sugárzás aránya adja meg a reflexió, a transzmisszió, valamint az abszorpció tényezőket.

Egy üvegezés spektrumgörbéit a három tényező értékei adják meg a teljes elektromágneses spektrumra. Adott beérkező sugárzás esetében ezek értékeit befolyásoló tényezők: az üvegezés színárnyalata, vastagsága és esetleges bevonata (web-1).

Az összesített sugárzásátbocsátó képesség (g) a beérkező sugárzásnak az aránya, mely az üvegezésen keresztül a belső térbe jut. Ennek megfelelően két részből áll: az üvegezés transzmissziós tényezőjének (τ_e), valamint a belső oldali sugárzásos hőátadási tényezőnek (q_i) az összege, (MSZ EN 410, 2012; web-1):

$$g = \tau_e + q_i \quad (2.26)$$

A belső oldali sugárzásos hőátadási tényező értéke függ a hőelnyelési tényezőtől, az üvegrétegek számától, valamint a külső és a belső üvegrétegek közötti hővezetési tényezőtől. Utóbbi tényező értékét az MSZ EN 673 (2012) szabványban megadott számítási eljárással határozhatjuk meg.

Az üvegezés transzmissziós és reflexiós tényezőjének értékét befolyásolja a beérkező a sugárzás beesési szöge (Rubin et al., 1998; Karlsson és Roos, 2000; Karlsson et al., 2001). Ennek megfelelően az összesített sugárzásátbocsátási képesség is függ a beérkező sugárzás beesési szögétől. Minél nagyobb a beesési szög (a beérkező sugárzás és az üvegfelület normálisa közötti szög), annál kisebb lesz a g érték. Ugyanakkor, normál ablaküvegek esetében 10%-nál nagyobb csökkenés csak 50° feletti beesési szögeknél lép fel, (Karlsson, 2000). A beesési szög hatása jobban érvényesül a g érték csökkenésében többrétegű üvegezések, illetve nagyobb hőelnyelő képességgel rendelkező üvegezések esetében. (Karlsson, 2000). Többrétegű üvegezések esetében az üvegrétegek közötti távolság, a gáztöltet, illetve az esetleges bevonatok is befolyásolják az üvegezés összesített sugárzásátbocsátó képességét, (Rubin, 1999; Nilsson és Roos, 2009)

Felmerül a kérdés, hogy milyen mértékben befolyásolja a beépített üvegezés összesített sugárzásátbocsátási tényezője egy adott belső térben kialakuló operatív hőmérséklet értékét, különböző tájolások, ablakméretek, illetve hőtároló tömeg esetében.

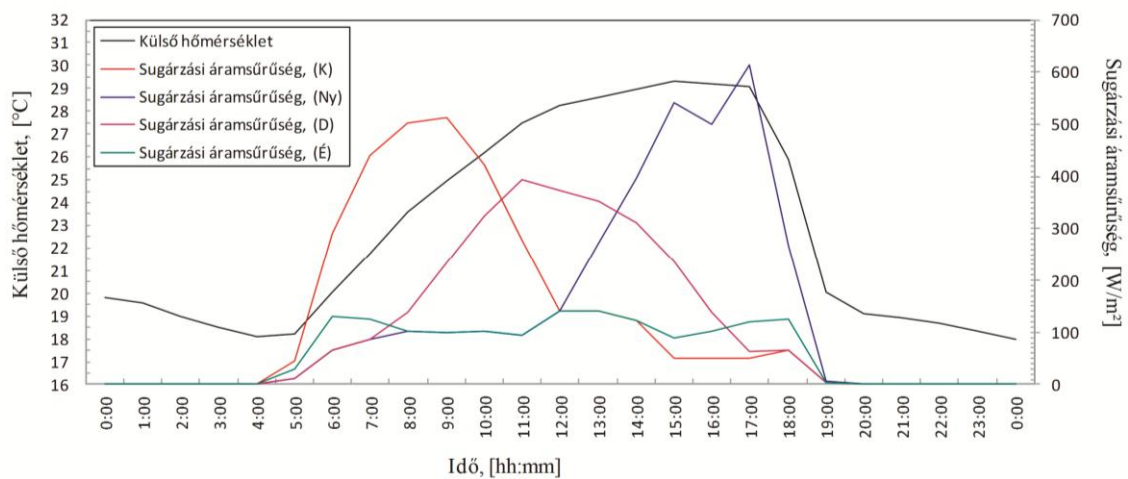
2.4.2 A g tényező és az operatív hőmérséklet

A továbbiakban vizsgáljuk meg hogyan alakul az operatív hőmérséklet egy 3,0×4,0×2,8 m méretekkkel rendelkező közbenső emeleti, egyetlen külső szerkezettel rendelkező helyiség esetében különböző g tényezővel és hőátbocsátási tényezővel rendelkező üvegezések esetében. Az ablakméret 150×150 cm, az üvegezési arány pedig 70%.

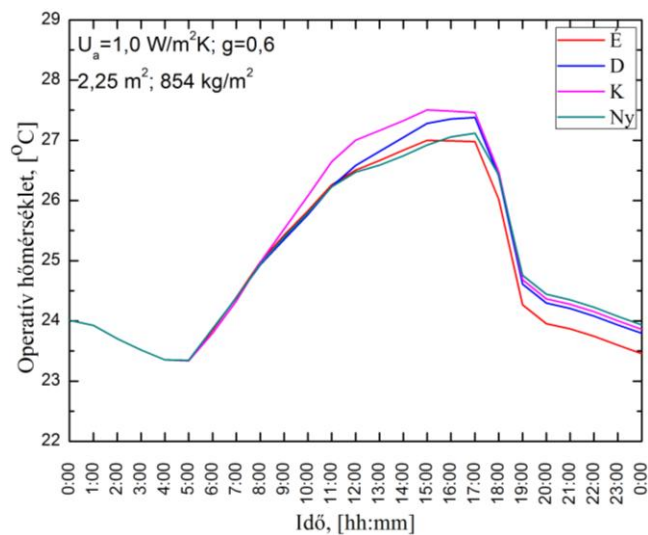
A külső falszerkezet hőátbocsátási tényezője 0,238 W/m²K, a helyiség hőtároló tömege 10250 kg (854 kg/m²), illetve a hőtároló kapacitása 9,0 MJ/K. A külső meteorológiai paramétereket a 2.17 ábra illusztrálja. Az órai sugárzási adatokat, valamint a külső hőmérséklet értékeket a Debreceni Egyetem Agrometeorológiai állomásán mérték, (Csáky, 2015).

A légcsereszámot 1,0 h⁻¹ értéknek feltételeztem (hővisszanyerés, hűtés nélkül). Az üvegezés összesített sugárzásátbocsátási tényezőjére vonatkozóan 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 értékeket vizsgáltam, míg az ablak hőátbocsátási tényezőjét 0,7 W/m²K, 1,0 W/m²K, 1,3 W/m²K, 1,6 W/m²K, 1,9 W/m²K értékekre vettem fel. A számításokat a 2.2 alfejezetben bemutatott számítási eljárás szerint végeztem. Mindegyik esetben azt feltételeztem, hogy 0:00 órakor az operatív hőmérséklet 24 °C volt.

Az operatív hőmérséklet értékeit a vizsgált napon, az üvegezés tájolásának függvényében, $U_a=1,0$ W/m²K és $g=0,6$ jellemzők mellett, a 2.18 ábra mutatja be.

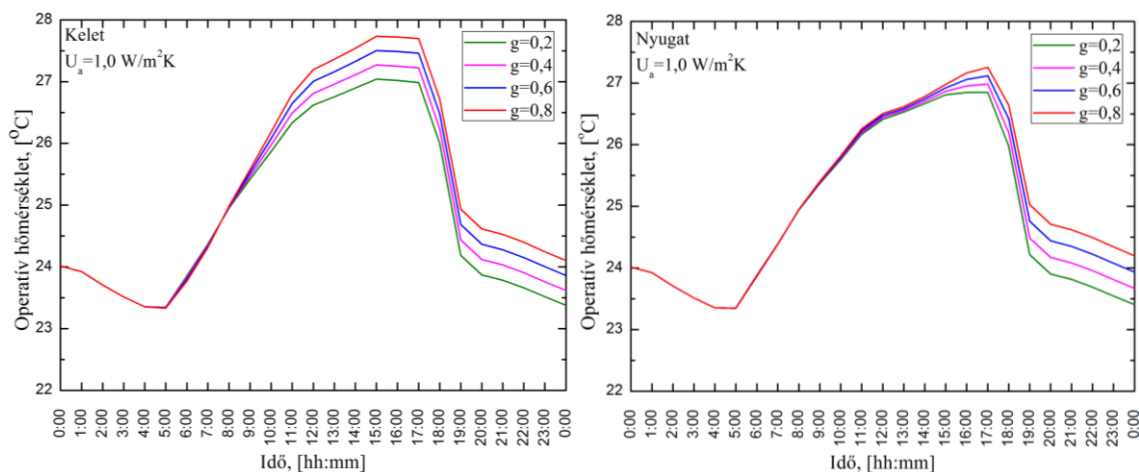


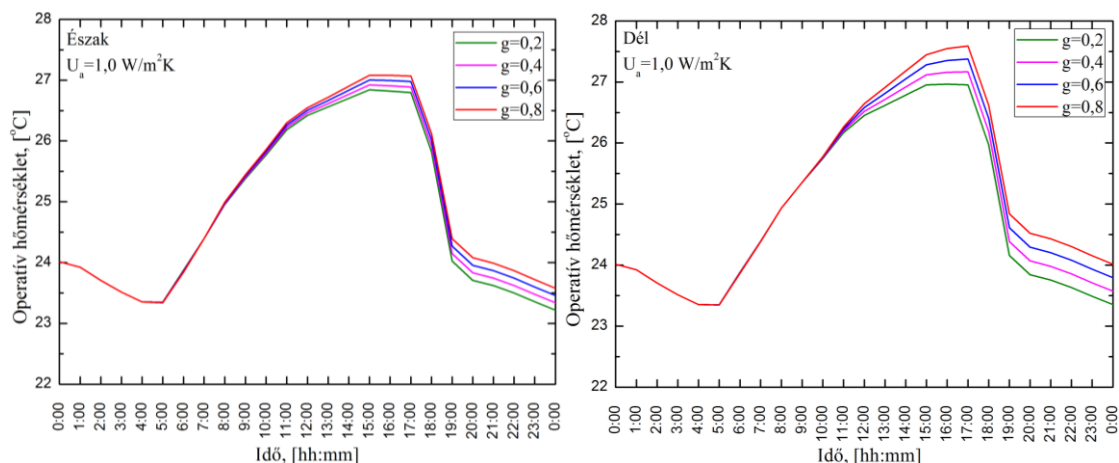
2.17 ábra Külső hőmérséklet és sugárzási adatok (Debrecen, 2010.06.30)



2.18 ábra Operatív hőmérséklet a tájolás függvényében ($A_a=2,25 \text{ m}^2$)

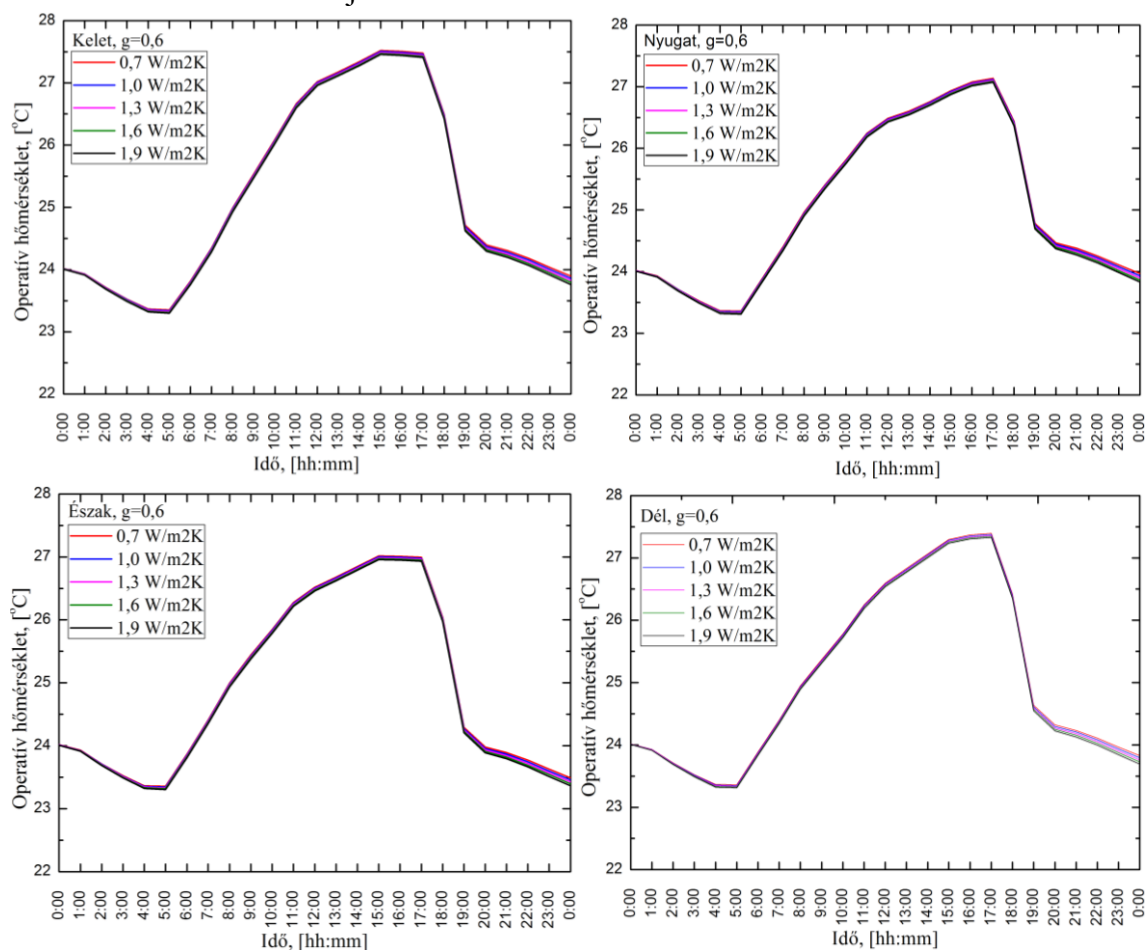
Az összesített sugárzásátbocsátó képesség hatása, tájolósonként, $U_a=1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ hőátbocsátási tényező esetében a 2.19 ábrában figyelhető meg.





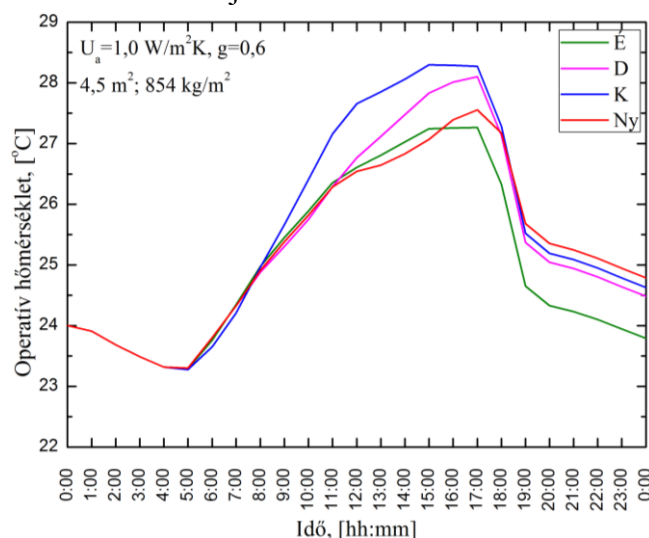
2.19 ábra Operatív hőmérséklet a g tényező függvényében

A vizsgált nap meteorológiai paraméterei mellett, ha az üvegezés g tényezőjét 0,8-ról 0,2-re csökkentenénk az elért operatív hőmérséklet csökkenés, tájolástól függetlenül, kisebb lenne 1 K értéknél. Természetesen a csökkenés eltérő különböző tájolások esetében (a legnagyobb csökkenés K-i és D-i tájolások mellett várhatóak). Az operatív hőmérsékletek közötti különbségek, viszont megmaradnak (sőt kis mértékben növekednek) az esti órákban is. Adott sugárzásátbocsátó képesség mellett, az ablak hőátbocsátási tényezőjének hatását az operatív hőmérsékletre mutatja be a 2.20 ábra.



2.20 ábra Az ablak hőátbocsátási tényezőjének hatása az operatív hőmérsékletre

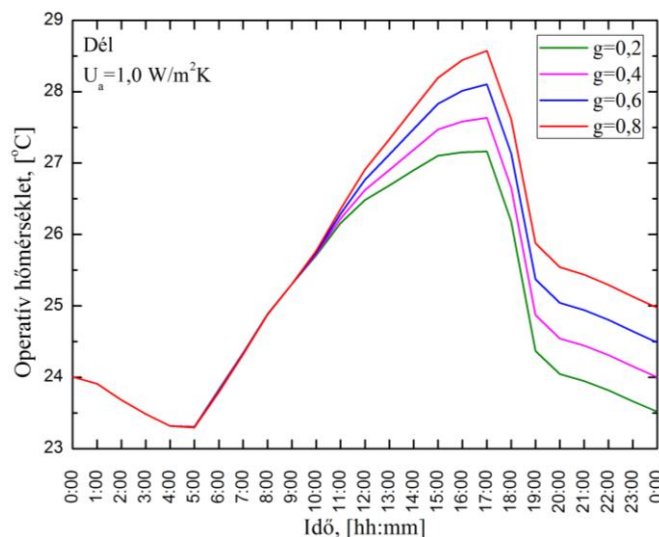
Az eredmények alapján megállapítható, hogy a vizsgált peremfeltételek mellett a hőátbocsátási tényező hatása tájolástól függetlenül gyakorlatilag elhanyagolható. Ha megduplázzuk az ablakméretet (üvegezési arány: 76%), az operatív hőmérséklet alakulását a tájolás függvényében a 2.21 ábra mutatja be.



2.21 ábra Operatív hőmérséklet a tájolás függvényében ($A_a=4,5 \text{ m}^2$)

Látható, hogy az operatív hőmérséklet alakulása hasonló a $2,25 \text{ m}^2$ ablakfelülettel rendelkező helyiség esetéhez, azonban mindegyik tájolás mellett nagyobb operatív hőmérsékletek alakulnak ki.

Az eltérés azonban K-i és D-i tájolás mellett nagyobb, mint a Ny-i és az É-i tájolás esetében. A nagyobb ablakfelület esetében, a g tényező hatása az operatív hőmérsékletre növekszik (2.22 ábra).

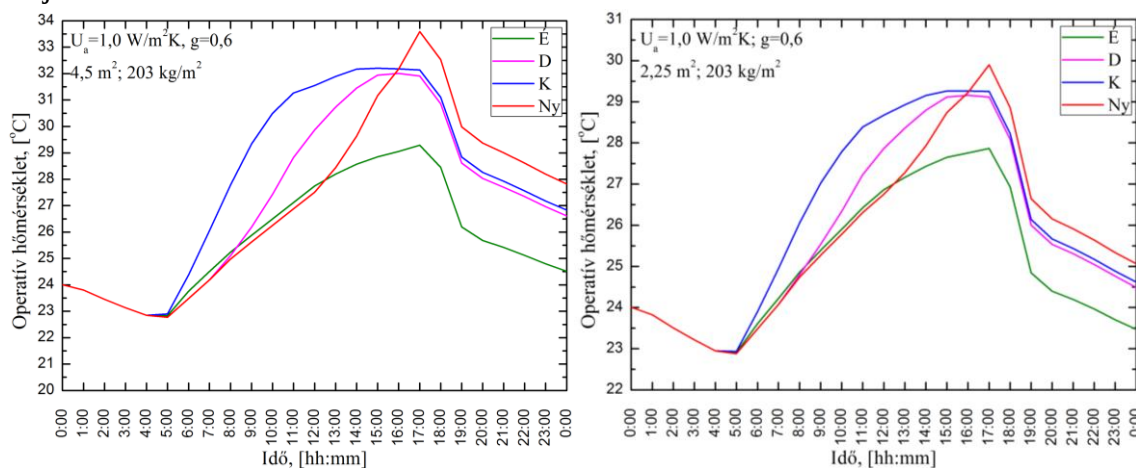


2.22 ábra Operatív hőmérséklet a g tényező függvényében ($A_a=4,5 \text{ m}^2$)

Megállapítható, hogy a $2,25 \text{ m}^2$ ablakfelülethez viszonyítva, ahol a g tényező csökkentése 0,8 értékről 0,2 értékre, 0,5 K amplitúdó csökkenést eredményez, ebben az esetben az amplitúdó csökkenése 1,5 K.

Vizsgáljuk meg az operatív hőmérséklet alakulását könnyűszerkezetes épület esetében, amikor is a helyiség hőtároló tömege 2438 kg (203 kg/m^2) hőtároló kapacitása pedig 2,11

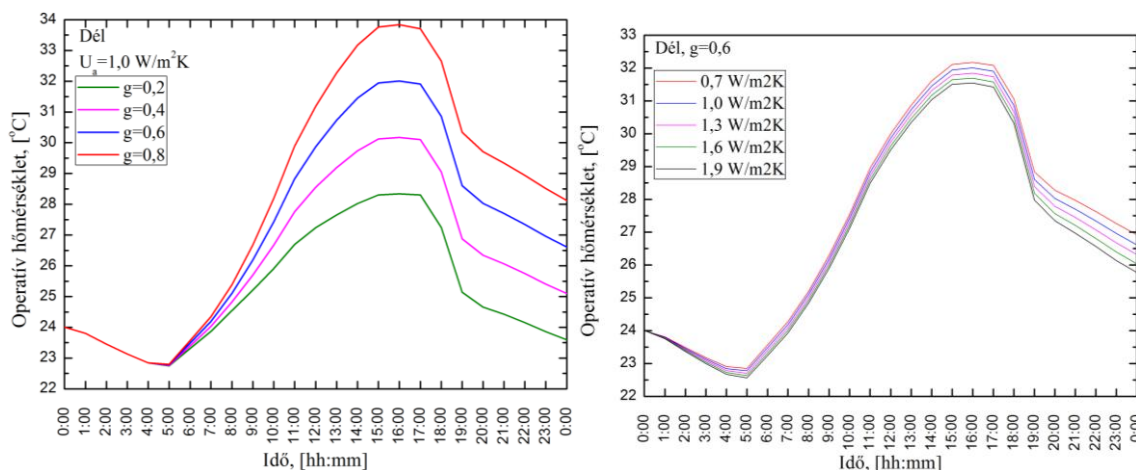
MJ/K. Különböző ablakméretek esetében az operatív hőmérséklet változását a 2.23 ábra mutatja be.



2.23 ábra Operatív hőmérséklet könnyűszerkezetes épület esetében

Megállapítható, hogy ebben az esetben a Ny-i tájolás mellett alakul ki a legmagasabb operatív hőmérséklet a helyiségben. A nagyobb ablakfelület magasabb operatív hőmérsékletekhez vezet mindegyik tájolás esetében, de a növekedés nem azonos: míg É-i tájolás esetében az ablakfelület megduplázása 1 K növekedést okoz, addig D-i és K-i tájolásnál már 3K a növekedés, míg Ny-i tájolásnál 3,5 K operatív hőmérsékletnövekedés figyelhető meg.

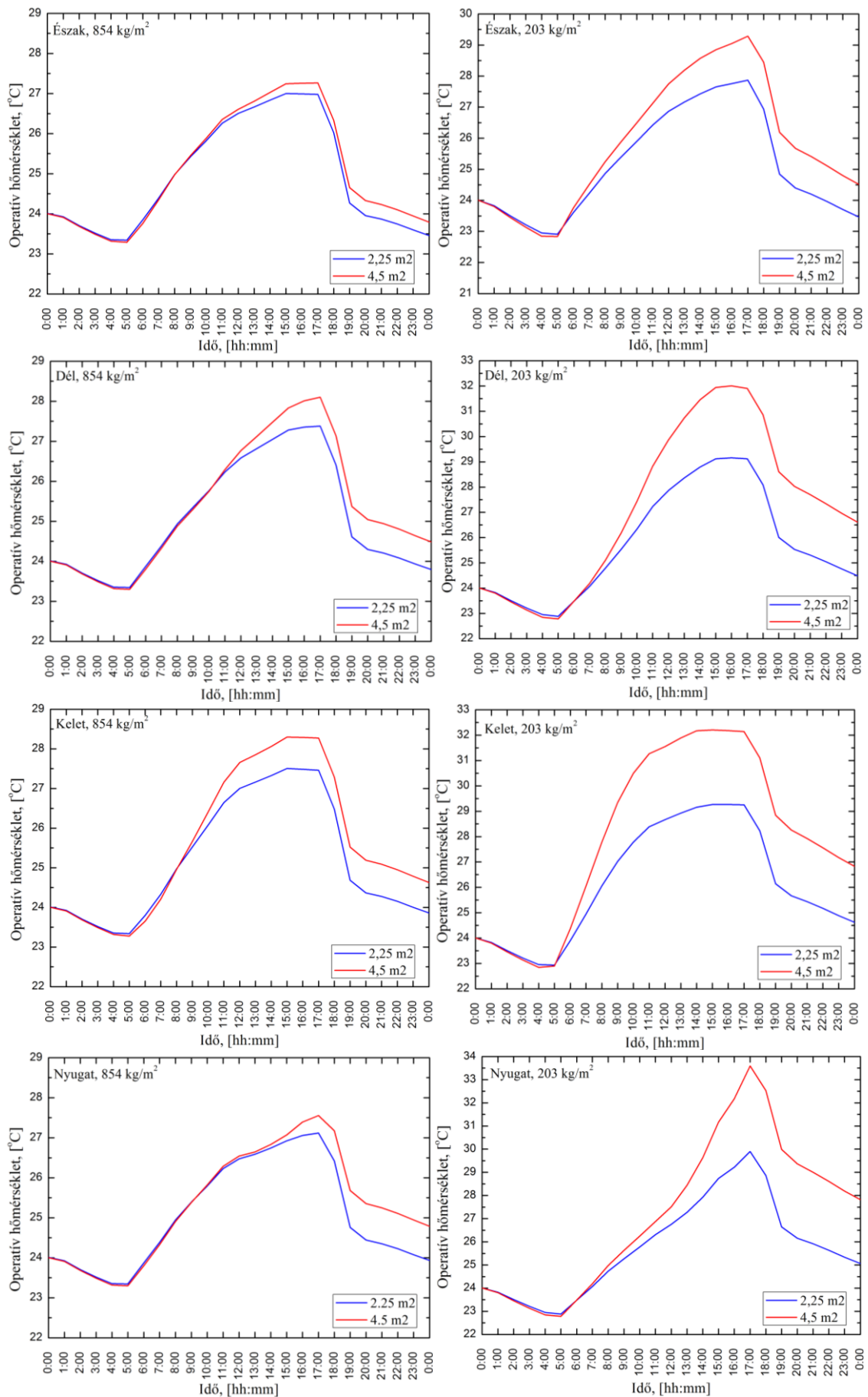
Az összesített sugárzásátbocsátó képesség, valamint a hőátbocsátási tényező hatását az operatív hőmérsékletre, mutatja be a 2.24 ábra (203 kg/m^2 és $4,5 \text{ m}^2$ ablak) D-i tájolás esetében.



2.24 ábra Az összesített sugárzásátbocsátó képesség (felül) és a hőátbocsátási tényező (alul) hatása az operatív hőmérsékletre

Megállapítható, hogy a hőátbocsátási tényezőnek továbbra sincs szignifikáns hatása az operatív hőmérsékletre, míg az összesített sugárzásátbocsátó képesség 0,2 értékű csökkenése 2K körüli operatív hőmérsékletcsökkenést okoz.

Az ablakméret és a hőtároló tömeg hatását figyelhetjük meg különböző tájolások esetében a 2.25 ábrában.



2.25 ábra Ablakméret és hőtároló tömeg hatása az operatív hőmérsékletre

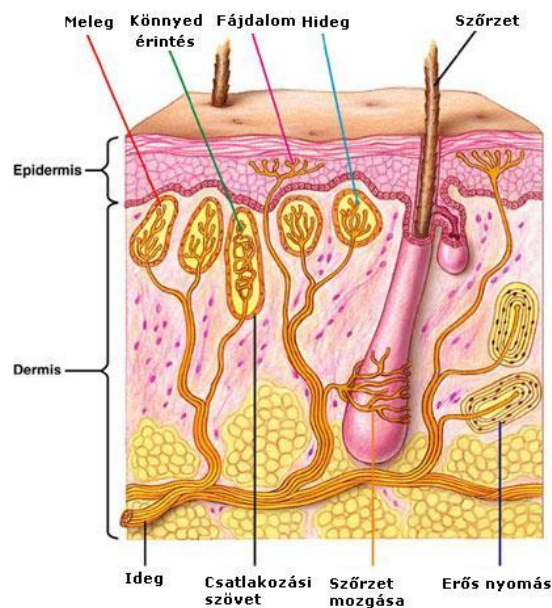
2.5 Összefoglalás

Összegezve az elvégzett 320 szimuláció (4 g érték, 5 U érték, 4 tájolás, 2 ablakméret és 2 hőtároló tömeg) eredményeit megállapíthatjuk, hogy a hőátbocsátási tényező hatása növekszik, ha növeljük az ablakméretet és csökkentjük a hőtároló tömeget, de a hatás nem szignifikáns még akkor sem, ha az ablakméretet megduplázzuk és negyedére csökkentjük a hőtároló tömeget (maximum 0,5 K változás operatív csúcshőmérséklet tapasztalható egy adott tájolás esetében, ha az U értéket $1,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ -ről, $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ -re csökkentjük). Az összesített sugárzásátbocsátó képesség hatása hasonló módon érvényesül, de jóval nagyobb operatív hőmérsékletváltozást okoz. Nehéz szerkezet és kis ablakméret esetében viszont a g tényező hatása az operatív hőmérsékletre a vizsgált tájolások mellett még 1 K-nél is kisebb marad. Ha megduplázzuk az ablakméretet, akkor a g tényező hatása növekszik (nehéz szerkezet mellett, 1,5 K amplitúdó csökkenést érhetünk el, ha a g tényezőt 0,8-ról, 0,2-re csökkentjük). Ha a hőtároló tömeget negyedére csökkentjük, akkor a g tényező hatása nagymértékben növekszik (D-i tájolás esetében a vizsgált peremfeltételek mellett az operatív hőmérséklet amplitúdóját 6 K-el csökkenthetjük, ha a g tényezőt 0,8-ról, 0,2-re módosítjuk).

3. HŐÉRZÉKELES

3.1 Receptorok

A bőrben hő-, fájdalom-, tapintás- és nyomásérzékelő idegvégződések vannak. A tapintás- és nyomásérzékelő receptorok közül előbbiek a bőrfelszín közelében helyezkednek el, kisebb méretűek, és gyenge mechanikai ingerre reagálnak; utóbbiak nagyobbak, mélyebben találhatóak, és erősebb inger hozza őket működésbe. A hőérzékelő receptorok hideg- és meleg receptorokra oszlanak (web-3). A 3.1 ábra bemutatja a bőrben található fontosabb receptorokat.



3.1 ábra: Receptorok a bőrben (web-4)

A receptorok ektodermális eredetű, módosult idegsejtek, amelyek felfogják a külső és belső ingereket. Ezek az ingerek (hő, fény, mechanikai) valamilyen energiát tartalmaznak, melyet a receptor bioelektromos jelenséggé alakít át. Az ingernek elég erősnek kell lennie, hogy a receptor nyugalmi feszültségét átalakítsa működési feszültséggé. Ezt vagy egy nagy inger teszi, vagy sok kicsi egymás után. Ha a receptor érzékeli az ingert, akkor az inger elérte az ingerküszöböt.

A thermoreceptorok felépítését és működését részletesen tárgyalja Moran et al. (2004), Pedersen et al. (2005), Caterina (2007), Shepers és Ringkamp (2009), Campero és Bostok (2010), ám a szerzők több esetben is felhívják a figyelmet, hogy a thermoreceptorok vizsgálatával kapcsolatos kutatások nem tekinthetők lezártak.

A thermoreceptorok nem közvetlenül a környezet hőmérsékletét érzékelik, hanem a bőrhőmérsékletet. A hőérzékelő receptorok ion csatornákkal és áteresztő membránnal vannak ellátva. A plazma membrán a kalcium, nátrium és magnézium ionok számára permeábilis, (Pedersen et al., 2005). A TRPV (transient receptor potential vanilloid) receptorok családjába, melyek a melegre érzékenyek, hat különböző érzékenységgel rendelkező receptor tartozik, melyek közül a bőrben a TRPV1, TRPV2, TRPV3 és TRPV4 receptorok találhatóak meg. Caterina (2006) a TRPV receptorok érzékenységét az alábbiak szerint adja meg:

- TRPV1 – a 42 °C feletti hőmérséklet aktiválja;

- TRPV2 – az 52 °C-nál magasabb hőmérséklet aktiválja;
- TRPV3 – 34-39 °C közötti hőmérsékletek aktiválják;
- TRPV4 – 25-34 °C közötti hőmérsékletek aktiválják;

Ezeket a receptorokat a kapszaicin ($C_{18}H_{27}O_3N$) is aktiválja. A hűvös-hideg érzetet a TRPM8 receptor által az agyba továbbított impulzusok váltják ki. Ez a receptor 8-28 °C hőmérséklet értékek között aktív (Pedersen et al., 2005). A fájdalmasan hideg érzetet pedig 18 °C alatti bőrhőmérsékletek váltják ki, melyeket a TRPA1 (transient receptor potential ankyrin) receptor érzékel (Caterina, 2006). A TRPM receptort a mentol is aktiválja.

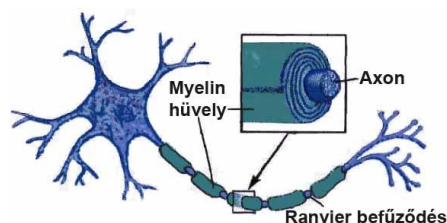
A „hideg” receptorok száma a bőrben jóval nagyobb, mint a „meleg” receptorok száma, ugyanakkor ez az agyban fordítva van. Ott a meleg receptorok jóval nagyobb számban fordulnak el, mint a hideg receptorok (Kanizsai, 2011).

3.2 Érzékelés

Klug Nándor, **Az érzékszervek élettana** c. munkájában már 1896-ban a következőképpen ír a hőérzékelésről: *„Mikor egy testet megtapintunk, a hőmérséklete felől is tájékozódunk. Mikor valamely testet hidegnek, vagy melegnek, illetőleg forrónak mondunk, akkor azt a hatást jelezzük, amely annak a testnek a hőmérsékletétől ér bennünket, nem pedig a hőmérsékletet olyan értelemben, amint a hőmérő jelzi. Az embernek hideg az a test, mely a bőr hőmérsékleténél kisebb hőmérséklettel rendelkezik és meleg az, melynek a bőrhőmérsékletnél nagyobb a hőmérséklete. A bőrnek a hőmérséklete tehát az a nullafok, melyhez viszonyítva, valamely testet hidegnek vagy melegnek érzünk. Ez a nullafok a bőrfelület különböző helyein eltérő és ugyanazon helyen is különböző időben más és más lehet. A bőr nullafoka, rendes körülmények között, 27-33 °C közt változik. Ha kezünket +20 °C vízbe mártjuk, a vizet rendszeren hidegnek ítéljük; ellenben melegnek találjuk akkor, ha megelőzőleg hosszabb ideig +10 °C vízben lehűtött kezünket a +20 °C vízbe tesszük. De ez csak kezdetben van így, mert ha hosszasan ott hagyjuk a kezünket a +20 °C vízben, a víz abban az arányban mind kevésbé melegnek, sőt hidegnek tetszik, ha kezünk hőmérséklete, a benne keringő meleg vér miatt emelkedik, így a víz 20 °C-át túlhaladja. Hőérzetet okoz tehát mindaz, ami bőrünk nullafokát megváltoztatja. A bőrünknel melegebb test hőt ad át a bőrnek és azért melegnek mondjuk, a hidegebb tárgy pedig hőt von el a bőrtől, és ez miatt érezzük hidegnek. A bőr egyes helyein nem egyforma az érzékelési pontosság. Vizsgálatokból kitűnt, hogy az arcon 0,4 °C – 0,2 °C, a halántékon 0,4 °C – 0,3 °C, a mellen 0,6 °C, a hát közepén 1,2 °C hőfokkülönbséget ismerünk fel.”*

A tudományos vizsgálatok adatai szerint a bőr felületén nem egyenletes a hideg és a meleg érzékelő pontok eloszlása. Ezen érzékelő pontok átmérője néhány milliméter. Jóval több hideg érzékelő pont van a testen, mint meleg érzékelő pont. Így például az alkaron minden 100 mm²-en 7 hideg érzékelő pont van és 0,24 melegérzékelő pont, (Jones, 2009). A hideg és meleg érzet kiváltását nem csak a receptorok száma befolyásolja, hanem az is, hogy a hideg receptorok csatornáit myelinizálták (3.2. ábra). (Myelinizáció = fiatal felnőtt korig zajló folyamat, melynek során a hosszú axonok velőshüvelye kialakul, más néven behüvelyeződés. Myelin = egy zsíros anyag, amely burkot, vagy hüvelyt képez az idegszálak, az axononok körül.) A myelin – amely elektromos szigeteléshez hasonló – az agy idegsejtjei között sokkal gyorsabb és hatékonyabb kommunikációt tesz lehetővé. Így az információ a hidegérzetet illetően 10-20 m/s sebességgel áramlik az agy felé, míg a meleg érzetet érintő információ 1-2

m/s sebességgel áramlik a nem myelinizált idegcsatornákon. Ennek megfelelően a hideg ingerre sokkal rövidebb idő alatt reagál az ember, mint a meleg ingerre.



3.2 ábra: Neuron

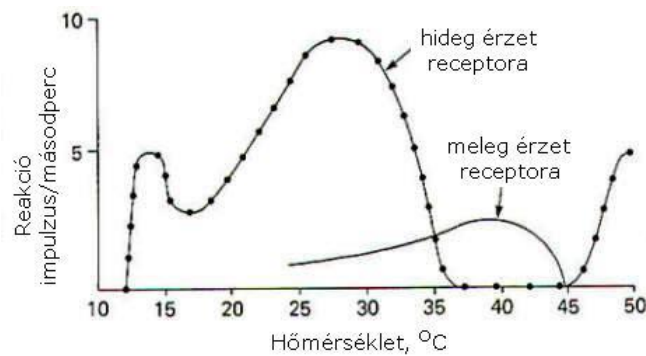
A receptorok azonos módon reagálnak a vezetéssel vagy sugárzással átadott hőre és feladatuk az úgynevezett ártalmatlan hőmérsékletek érzékelése. A hidegreceptorok az 5-43 °C hőmérséklet tartományban működnek és a legaktívabbak 25 °C körül. A meleg receptorok, melyek a bőr hőfokának emelkedését jelzik, 45 °C körül a legaktívabbak (Jones, 2009; Darian-Smith és Johnson, 1977). Ha a bőr hőmérséklet 30-36 °C közötti, akkor úgy a meleg-, mint a hideg receptorok aktívak ugyan, de nem jeleznek sem hideget, sem pedig meleget.

A testközpont hőmérsékletével ellentétben, amely az egészséges embereknél maximum 1 °C-al térhet el a kívánt értéktől az egyes testrészek hőmérsékletei között, akár 12 °C hőmérsékletkülönbség is felléphet (Jones, 2009; Parsons, 2003).

A bőr hőmérséklet változásának észlelése számos tényezőtől függ. Ezek között említhetjük az inger nagyságát, a bőrfelület kiinduló hőmérsékletét és az sem mindegy, hogy melyik testfelületet tesszük ki az adott inger hatásának. Elfogadott, hogy az egyes testrészek érzékenysége között mintegy százszoros az arány (az arc és az ajkak a legérzékenyebbek, a lábak a legkevésbé érzékenyek).

Általában elmondható, hogy ahhoz, hogy egy hőmérsékletcsökkenést érzékeljünk, fele akkora változásra van szükség, mint a hőmérsékletemelkedés érzékeléséhez (Stevens és Choo, 1998). Az ember hőmérsékletérzékelő rendszere nagyon érzékeny a kis hőmérsékletváltozásokra is. A hüvelykujj alapjánál például két hideg impulzus amplitúdója között 0,02-0,07 °C hőfokkülönbséget is érzékelnek az emberek. Ugyanez meleg impulzusok esetében 0,03-0,09 °C. Az érzékenység függ a testrész hőmérsékletétől is. Így, ha a hüvelykujj alapjánál a bőrhőmérséklet 33 °C, akkor a hőfoknövekményt csak 0,2 °C-nál nagyobb értéknél érzékeljük, míg a hőfokcsökkenést 0,11 °C-tól érzékeljük. A hőmérsékletváltozás rátája (sebessége) szintén befolyásolja az észlelés sebességét. Így például, ha a környezeti hőmérséklet nagyon lassan változik (<0,5 °C/perc) akkor az ember egy 4-5 °C környezeti hőmérsékletváltozást nem is érzékel feltéve, hogy a bőrhőmérséklet a 30-36 °C tartományban marad (Jones, 2009). Ha a hőmérséklet gyorsan változik (pl. 0,1 °C/s), akkor a kis bőrhőmérséklet változásokat is érzékeljük. A hőmérsékletváltozás észlelésének küszöbértéke viszont nem csökken tovább, bármennyire is emelnék a környezeti hőmérsékletváltozás sebességét a 0,1 °C/s értékhez képest (Jones, 2009).

A hideg és meleg érzékelő receptorok reakciójának sebességét külső inger (hőmérséklet) esetén, mutatja a 3.3 ábra. Látható, hogy a hideg receptorok 25-30 °C közötti hőmérsékletek esetén a legaktívabbak, vagyis ezen hőmérsékletek esetén reagálnak a legintenzívebben a hőmérsékletcsökkenésre. A meleg receptorok 40 °C hőmérséklet esetén a legaktívabbak, de érzékenységük jóval kisebb a hideg receptorok érzékenységénél.



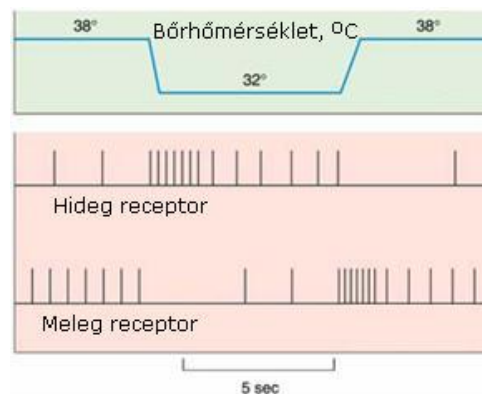
3.3 ábra: A hőmérséklet receptorok érzékenysége, (web-5)

A hideg receptorok reakciója nagyobb értékeket vesz fel 45 °C-nál nagyobb hőmérsékletek esetén, de ez az eset általában láz esetén fordul elő (hidegrázás), amikor bár magas a bőrhőmérsékletünk hidegnek érezzük környezetünket és fázunk (a receptor károsodása miatt), majd reszketünk, ami további hőtermelést idéz elő. Ez szélsőséges esetben hypothalamusban elhelyezett hőérzékelő mechanizmus károsodásához, vagyis agykárosodáshoz is vezethet.

A hőmérséklet receptorok reakciója változik, ha az inger időben nem változik. Ezt adaptációnak nevezzük. A hőmérsékletérzékelő receptorok érzékenységét az adaptáció is befolyásolja. Egy ± 1 °C hőfokváltozáshoz a bőr 60 s alatt adaptálódik, nagyobb hőfokváltozásokhoz hosszabb idő kell, (Kenshalo és Scott, 1966).

A 3.4 ábra illusztrálja, hogyan változik a receptor által az agy felé küldött impulzusok száma az időben.

A receptorok által küldött információk alapján az agy a bőrvéráramot változtatja annak érdekében, hogy megfelelő értékre álljon be a hőcsere a környezettel.



3.4 ábra: Receptorok adaptációja, (web-6)

3.3 Turbulencia, huzattal elégedetlenek aránya

Az előző fejezetből kitűnik, hogy a környezeti hőmérsékletváltozás mértéke és sebessége az arc és halánték esetében jól kihasználható annak érdekében, hogy megváltoztassuk az egyének komfortérzetét. Az arcon 0,4 °C – 0,2 °C, a halántékon 0,4 °C – 0,3 °C, a mellen 0,6 °C hőmérsékletváltozást érzékelünk. Továbbá ± 1 °C hőfokváltozáshoz a bőr 60 s alatt adaptálódik. Ennek megfelelően, meleg környezetben, az arc és halánték körül kell növelni a hőelvonást (pl. a levegő áramlási sebességének növelésével). Így már néhány tized bőrhőmérséklet csökkenéssel is eredményt érhetünk el. A hőelvonást viszont az adaptáció

miatt időben változtatni szükséges (az érzet állandó szinten tartásához a kiváltó hatást folytonosan változtatni kell).

A nagy érzékenység viszont diszkomfortot is okozhat, ha nem választjuk meg jól a levegő áramlási sebességét. Ebben az esetben a huzatérzékenység jelentős szerepet játszik megfelelő hőérzet kialakulásában.

A huzat által okozott diszkomfortot a huzattal várhatóan elégedetlenek százalékos aránya adja meg:

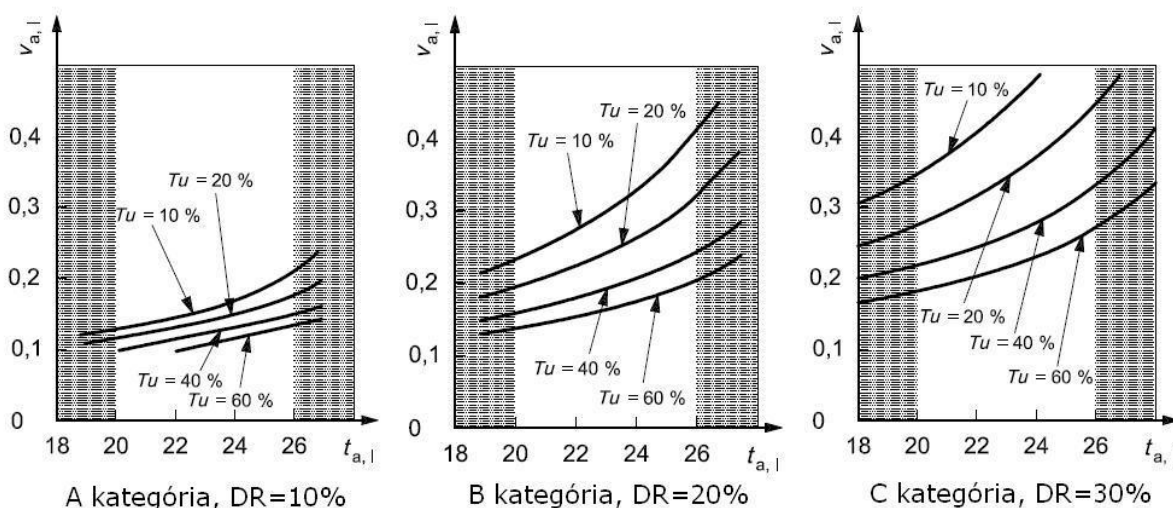
$$DR = (34 - t_{a,l}) (v_{a,l} - 0.05)^{0.62} (37SD + 3.14) \quad (3.1)$$

ahol: $t_{a,l}$ – a lokális léghőmérséklet (20-26 °C), $v_{a,l}$ – a lokális légsebesség (<0,5 m/s), SD – a légsebesség standard eltérése [m/s].

A turbulencia intenzitás és a légsebességek standard eltérése közötti kapcsolatot az alábbi összefüggés adja meg:

$$Tu = 100 \frac{SD}{v_{a,l}} \quad (3.2)$$

A turbulencia (10%-60%) közötti értékkel rendelkezik. Ha pontos értéke nem ismert, akkor 40%-al vehető figyelembe. Az egyes komfortkategóriákra vonatkozóan a léghőmérséklet, a légsebesség és a turbulencia kapcsolatát a 3.5 ábra mutatja be.



3.5 ábra: Légsebességek, léghőmérsékletek és turbulencia értékek a huzathatás függvényében, különböző komfortkategóriákban, (MSZ EN ISO 7730)

3. ADAPTÁCIÓ VIZSGÁLATA ÉPÜLETEK MAGAS AMBIENS HŐMÉRSÉKLETŰ TEREIBEN, KÜLÖNBÖZŐ ÉGHAJLATTAL RENDELKEZŐ ORSZÁGOKBÓL ÉRKEZŐ SZEMÉLYEK ESETÉBEN

3.1 Bevezetés

Lakóépületek és irodaépületek légkondicionált tereiben az MSZ EN 15251 szabvány előírásai szerint az operatív hőmérséklet 25,5-27,0 °C lehet. Ezekben a terekben a determinisztikus módszer alkalmazható a várható hőérzeti érték meghatározásához. Azokban az épületekben viszont, amelyek nem rendelkeznek légkondicionáló berendezésekkel az előírt operatív hőmérséklet értéke az egymást követő napok külső átlaghőmérsékleteinek exponenciálisan súlyozott függvénye (Humphreys és Nicol, 2002; Becker és Paciuk, 2009). De Dear (2004) szerint ezekben az épületekben a várható hőérzeti érték meghatározásához az adaptív hőérzeti modell használható. A hőegyensúlyi összefüggés statikus jellegét és érzékenységet Bartal et al. vizsgálta (2012). A természetes szellőzéssel ellátott épületekben az operatív hőmérséklet értékét számos külső és belső tényező befolyásolja, a benntartózkodók szubjektív hőérzetét pedig a fiziológiai tényezők mellett az egyének kora, neme, valamint az egyének környezettel szemben támasztott elvárásai is befolyásolják. Ezeknek a tényezőknek az alakulása/változása előre nem számítható ki, így a kellemes hőérzetet biztosító belső környezeti feltételek kialakítása, minden benntartózkodó számára mindvégig a benntartózkodási idő alatt, megvalósíthatatlan feladatnak tűnhet. Ráadásul számos épületben különböző országból származó egyének tartózkodnak, akik különböző éghajlati viszonyokhoz szoktak, és akik számára a kellemes hőérzet teljesen eltérő környezeti paraméterek mellett alakulhat ki. Fanger és Toftum (2002) bevezetett egy tényezőt, amely figyelembe veszi az egyének környezeti paraméterekre vonatkozó elvárásait nem légkondicionált épületekben. Ilyen épületekben a kellemes hőérzet elérése érdekében a benntartózkodók a legtöbb esetben megpróbálnak alkalmazkodni megváltoztatva a ruházat hőszigetelő képességét, a testhelyzetet vagy éppen a tartózkodási helyet (de Dear és Brager, 2001; Morgan et al, 2002; Morgan és de Dear, 2003; Liu et al., 2012). Bizonyos épületekben viszont előfordulhat, hogy a benntartózkodók nem változtathatják meg a tartózkodási helyet, sőt a ruházat hőszigetelő képességét sem. Ezekben az esetekben a kellemes hőérzet elérése érdekében az egyének csak a pszichológiai és fiziológiai adaptációs stratégiákat alkalmazhatják. Nicol és Humphreys az adaptív módszert javasolta a belső hőmérséklet meghatározására. Az adaptív szemlélet alapján kidolgozott követelményeket számos épületben végzett mérés és kérdőíves felmérés alapján dolgozták ki (de Dear, 1998; Morgan és de Dear, 2003; Goto et al., 2007; Haldi és Robinson, 2008; Buratti és Ricciardi, 2009).

De Dear (2004) szerint az ember és a környezet közötti kapcsolat vizsgálata során nem csak a környezeti paramétereket kell vizsgálni, hanem a kognitív, sőt az emocionális állapotokat és összefüggéseket is. A pszichológiai és termo-fiziológiai vonatkozásokat Höppe (2002) mutatta be, aki a stacioner és az instacioner hőérzeti viszonyok közötti kapcsolatokat vizsgálta. Haldi és Robinson (2010) kidolgozott egy összetett modellt, melynek segítségével meghatározható a várható hőérzet értékének valószínűségi eloszlása nem légkondicionált épületekben. A modellben az egyének diverzitását is figyelembe vették. Liu et al. (2012) kidolgoztak egy módszert melynek segítségével a három adaptációs folyamat súlyozható. Arra a következtetésre jutottak, hogy az Egyesült Királyságban a viselkedési és a pszichológiai adaptációknak ugyanaz a súlya, mint a fiziológiai adaptációnak, míg Kínában a

viselkedési és a pszichológiai adaptációk súlya meghaladja a fiziológiai adaptáció súlyát. Mérésekkel bizonyították, hogy a korábbi hőérzeti tapasztalatok, illetve a szociális és gazdasági környezet hatással van a szubjektív hőérzet kialakulására. Hwang és Chen (2010) az idős emberek viselkedési szokásait és adaptációját vizsgálta tajvani lakóépületekben. A mérési alanyok 60 év feletti férfiak és nők voltak és a vizsgálatok azt mutatták ki, hogy nyári időszakban az alanyok ablaknyitással, téli időszakban pedig melegebb ruházattal alkalmazkodtak a környezetükhöz. Kwok és Rajkovich (2010) bevezette a mezokomfort fogalmát, ami figyelembe veszi az adaptáció mellett az egyének elvárásait, korábbi tapasztalatait illetve a környezeti paraméterek szabályozásának lehetőségét.

Napjainkban általánossá vált, hogy egy adott épületben különböző országokból érkező emberek tevékenykednek (irodaépületek, oktatási intézmények). Előfordulhat, hogy a származási ország éghajlata nagymértékben eltér a fogadó ország éghajlatától és a belső tér környezeti paramétereivel szemben támasztott követelmények is eltérőek. Fanger (1970) megvizsgálta, hogy az általa kidolgozott komfortegyenletre milyen hatással van az alanyok származási helye. A méréseket Dán és Észak amerikai alanyok bevonásával végezte. A szubjektív hőérzettel kapcsolatos vizsgálatok szerint nem volt különbség a két csoport által igényelt hőmérséklet értékek között. Ellis (1953) nem talált kimutatható különbséget európai és ázsiai származású alanyok hőérzeti igényi között. Fanger külön elemezte Ambler (1955) és Rao (1952) vizsgálatait, akik kimutatták, hogy a Nigériában tevékenykedő európaiak és a Calcuttában tevékenykedő indiaiak hőérzeti igényei azonosak. Mindegyik esetben az alanyok által preferált hőmérséklet 26 °C volt. Számos országban ez a hőmérséklet nyári időszakban csak légkondicionált terekben tartható! Felmerült a kérdés: vajon hogyan értékelik a környezetüket különböző országból Magyarországra érkező emberek, ha a környezet 30 °C ambiens hőmérséklettel rendelkezik? (az ambiens hőmérséklet az a léghőmérséklet, mely egyenlő a környező felületek közepes sugárzási hőmérsékletével). Kérdés továbbá, hogy ha a viselkedési adaptáció nem megengedett, hogyan alakul ebben az esetben a különböző háttérű emberek szubjektív hőérzete és általában a környezet elfogadása, ha két órát tartózkodnak az állandó ambiens hőmérsékletű térben? A méréseket magyar (férfiak és nők), török (férfiak) és nigériai (férfiak) alanyok bevonásával végeztem el a DE BKM laboratóriumban.

3.2 Hipotézis

A közel hetven éve végzett felmérések óta úgy a komfortigények, mint az energiamegtakarítással kapcsolatos törekvések változtak. Felmerült a kérdés, hogy megállja-e a helyét napjainkban is az a megállapítás, hogy különböző éghajlattal és gazdasági viszonyokkal rendelkező országokból származó egyéneknek azonosak a hőérzeti igényei?

Azt feltételeztem, hogy a különböző országokból érkező emberek hőérzeti szempontból eltérően értékelnek egy magas ambiens hőmérséklettel rendelkező zárt teret. Tekintettel a származási ország éghajlati viszonyaira azt feltételeztem, hogy a nigériai alanyok fogadják el majd legnagyobb mértékben a meleg környezetet, legkevésbé pedig a magyar alanyok tolerálják a magas hőmérsékletet. Az alanyok elvárásainak megismerése után viszont azt feltételeztem, hogy a nigériai alanyok szubjektív hőérzete „meleg” és „forró” lesz a hétpontos hőérzeti skálán, hiszen, mint kiderült, otthon légkondicionált terekben élnek és nagyon alacsony léghőmérsékletet várnak el. Az is felmerült, hogy nem tudják elviselni a tervezett magas hőmérsékletet a mérés során. Hasonlóképpen a török alanyok elvárásai is azt mutatták, hogy jóval alacsonyabb belső hőmérsékletet igényelnek a magyar alanyokkal szemben.

3.4. Mérések a szubjektív hőérzet megállapításához

3.4.1 Helyszín

A méréseket az 1.2 fejezetben bemutatott BKM laboratóriumban végeztem el. A helyiség belső felületeinek hőmérsékletét és a léghőmérsékletet is 30 °C értéken tartottam. A szabályozó elemek hiszterézise miatt kisebb ingadozások voltak tapasztalhatóak, de ezek nem voltak jelentősek (3.1 táblázat). A helyiségbe a friss levegőt (50 m³/h, 100% külső levegő) az elárasztásos légbevezető elem segítségével folyamatosan jutattam be. A légelvezetést a mennyezet alatt elhelyezett légelvezető segítségével biztosítottam (1.2 ábra). Első lépésként az így kialakított környezetben TESTO 480 mérőműszer segítségével meghatároztam a várható hőérzeti értéket (PMV) 1,1 m magasságban a helyiség közepén (az alanyok tervezett tartózkodási helyén). A mérőműszeren beállításra került a ruházat hőszigetelő képessége (0,5 clo) és a végzett tevékenység (1,2 met). A komfortparamétereket percenként regisztrálta a műszer. A mért értékek átlaga, a szórás, a standard hiba valamint a számított PMV a 3.1 táblázatban kerülnek bemutatásra.

3.1 Táblázat Belső környezeti paraméterek a teszhelyiségben

Környezeti paraméter	Értékek száma	Átlag	Szórás	Standard hiba
Léghőmérséklet, [°C]	120	30.291	0.11196	0.01022
Közepes sugárzási hőmérséklet, [°C]	120	29.813	0.08786	0.00802
Légsebesség, [m/s]	120	0.00525	0.02025	0.00185
Relatív nedvességtartalom, [%]	120	34.49	0.13183	0.01203
PMV	120	1.44	0.0317	0.0029

3.4.2 Alanyok

A statisztikai erő és a hatásnagyság alapvető fontosságú ahhoz, hogy értékelhető eredményeket kapjunk a belső környezet hőérzeti, illetve egészségügyi értékelésénél, valamint a munkateljesítmény vizsgálatánál. Lan és Lian (2010) szerint fiziológiai mérések esetében (a környezet szubjektív hőérzeti értékelése) a hatásnagyság legalább 0,658 kell legyen. Ha a mérések célja különböző csoportok (populációk) közötti összehasonlítás, akkor egy csoportba legalább 10 alany kell tartozzon. Ez összhangban van a Wyon és Bánhidi (2003) által megfogalmazott követelményekkel.

A méréseket tíz nigériai származású férfi, tíz török származású férfi, 10 magyar férfi és 10 magyar nő bevonásával végeztem el. Az alanyok a Debreceni Egyetem hallgatói. A külföldiek legalább egy éve Magyarországon tartózkodnak. Az alanyok ismerik az energetika alapfogalmait, a hőcsere folyamatokat, a hőmérséklet fogalmát és ismerik az SI mértékegység rendszert.

3.4.2.1 Hőmérséklet és éghajlat az alanyok származási helyén

A nigériai alanyok Abuja város környékéről érkeztek. Ebben a régióban az év során három különböző meteorológiai paraméterekkel rendelkező időszakot különböztetnek meg, melyek két évszakhhoz tartoznak: egy nedves/esős évszak, illetve egy száraz évszak (ez utóbbit egy meleg valamint egy rendkívül száraz forró időszakra osztják). Az esős évszak áprilisban kezdődik és októberben van vége. Ebben az időszakban nappal a hőmérsékletek 28-30 °C között, éjjel 22-23 °C között változnak. A száraz évszakban nappal a hőmérséklet eléri a 40

°C-t, ékkel viszont akár 12 °C-ra is csökkenhet (hűvös éjszakák). Ugyanakkor a leghűvösebb éjszakákat is követhetik 30 °C-nál jóval magasabb hőmérsékletű nappalok (web-7).

A török alanyok Isztambulból és Antalyából érkeztek. Ezekben a régiókban a telek hűvösek és esősek a nyarak forróak és száraznak tekinthetők. Isztambul éghajlata mérsékelt. Hosszú, meleg és párás nyár és hűvös, csapadékos tél jellemzi. A jellemző átlagos hőmérséklet augusztusban 28 °C. A téli hónapok átlaghőmérséklete 3-8 °C között mozog, november és április között havazás is előfordulhat. Az antalyai éghajlat mediterrán jellegű. A tél enyhe és csapadékos, a nyár forró és csapadékmentes. Az átlagos napi hőmérséklet télen 9 °C, nyáron 29 °C (web-8).

Debrecen éghajlatára jellemző, hogy a szomszédos tájak éghajlati jellegzetességei is itt találkoznak, keverednek: a mérsékeltén hűvös és mérsékeltén meleg öv határán elhelyezkedve mérsékeltén száraznak mondható, vagyis inkább vízhiányos a terület. Debrecen sokévi átlagos havi középhőmérsékleteit tekintve elmondható, hogy a leghidegebb hónap a január, míg a legmelegebb a július. Az évi középhőmérséklet 10 °C közelében alakul. Az évi abszolút hőmérsékleti maximumok átlaga 33,7-34,0 °C, a minimumok átlaga -16,7 °C körüli (web-9). Debrecen átlagos évi csapadékösszege 540 mm, a nyári félév csapadékosabb, míg a téli félév szárazabb. A legkevesebb csapadék január-március időszakban hullik, a legcsapadékosabb hónap pedig – közel két és félszer akkora összeggel – a június. Debrecenben a napsütéses órák éves összege átlagosan 1960 óra, de évről évre nagy változékonyságot mutat (web-10).

3.4.2.2 Az alanyok antropometriai adatai

A mérések megkezdése előtt megmértem az alanyok fizikai jellemzőit, melyek a 3.2 táblázatban kerülnek bemutatásra.

3.2 Táblázat Az alanyok antropometriai adatai

Alanyok	Adat	Életkor, [év]	Súly, [kg]	Magasság, [cm]	F _{Du} , [m ²]
nigériai csoport	Átlag	20.5	78.0	178.0	1.960
	Szórás	2.22	12.86	6.51	0.154
török csoport	Átlag	20.6	74.6	175.8	1.905
	Szórás	1.43	14.43	10.09	0.205
magyar csoport (nők)	Átlag	25.5	61.9	166.1	1.687
	Szórás	5.40	13.10	7.33	0.177
magyar csoport (férfiak)	Átlag	22.2	85.4	181.9	2.068
	Szórás	2.66	12.69	5.49	0.121

A mérések előtt feltérképezésre kerültek az alanyok dohányzási szokásai, a huzatra való érzékenyséjük is, mivel ezeknek hatással vannak a szubjektív hőérzetre. Az alanyok válaszai a 3.3 táblázatban kerültek összefoglalásra.

3.3 Táblázat Huzatérzékenység és dohányzási szokások

Alanyok	Huzatérzékenység, [%]	Dohányzik, [%]
nigériai csoport	30	0
török csoport	40	20
magyar csoport (nők)	60	30
magyar csoport (férfiak)	20	20

Mivel a hőérzet és a véráram között szoros az összefüggés felmerült a kérdés, hogy van-e szignifikáns hatása a vérnyomásra a két órás tartózkodás egy relatív magas ambiens hőmérséklettel rendelkező térben. Ennek érdekében a mérések előtt és után mindegyik alany esetében OMRON M10-IT műszerrel mértem és rögzítettem a vérnyomást. Az adatokat a 3.4 táblázat tartalmazza és megállapítható, hogy a mérések kezdetén illetve végén mért vérnyomás értékek között nincs szignifikáns különbség.

3.4 Táblázat Vérnyomás értékek a mérés kezdetén és végén

Alanyok	Mérés kezdete		Mérés vége	
	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás
nigériai csoport	127/79	16/8	125/74	15/7
Török csoport	119/74	8/4	112/68	9/6
magyar csoport (nők)	118/82	10/6	115/74	9/5
magyar csoport (férfiak)	132/80	13/9	132/79	11/11

Mivel a mérések célja a fiziológiai adaptáció vizsgálata volt meleg környezetben, a mérések előtt az alanyok által nyári időszakban hőérzeti szempontból optimálisnak tartott hőmérséklet értékek is rögzítésre kerültek (3.5 táblázat).

3.5 Táblázat Alanyok által preferált belső hőmérséklet értékek

Alanyok	Preferált hőmérséklet, [°C]	
	Átlag	Szórás
nigériai csoport	20.5	4.275
török csoport	19.9	3.381
magyar csoport (nők)	25.5	1.716
magyar csoport (férfiak)	24.2	2.044

Látható, hogy a török és nigériai csoport által megadott értékek átlaga alacsony, ugyanakkor a szórás nagy. Ennek az a magyarázata, hogy a többség légkondicionált terekhez volt szokva és rendkívül alacsony hőmérséklet értékeket jelölt meg (pl. 17 °C), ugyanakkor mindkét csoportban volt egy-két fő, aki a 24 °C-t adta meg, mint hőérzeti szempontból nyári időszakban optimális hőmérséklet. A magyar csoportokban csak egy-két fő adott meg olyan hőmérsékletet, ami klímatechnikai rendszerrel biztosítható. A többség a természetes szellőzést-, illetve olyan hőmérsékletet preferált, mely a természetes szellőzés során alakulhat ki a belső térben.

3.4.3 A mérési eljárás

A méréseket 2015.05.20-2015.06.30 között végeztem el. A két órás mérések általában délután 14:00-16:00 vagy 16:00-18:00 óra valósultak meg. Az alanyok nem folytattak intenzív tevékenységet a mérések előtt (általában az egyetemi könyvtárban vagy a Kar más termében tartózkodtak). A teszt helyiségben egy időben csak egy alany tartózkodott. Az alany a mérés kezdete előtt 30 perccel megérkezett és helyet foglalt a BKM laboratórium előterében. Ebben

az időszakban történt a súly-, magasság- és vérnyomásmérés, valamint az általános kérdőívek kitöltése, továbbá ezt a 30 percet akklimatizációs időszakként tekintettem.

A mérés kezdésekor az alany helyet foglalt a teszthelyiség középpontjában elhelyezett széken. Az alanyok nem ismerték a mérési folyamatot, illetve nem voltak informálva a belső környezeti paraméterek értékéről. A szellőző rendszer a mérés teljes időtartamába folyamatosan üzemelt és a friss levegő jellemzőit állandó értéken tartottam. Továbbá állandó levegő, illetve a közepes hőmérséklete biztosítottam a teszthelyiségben.

A kétórás mérési időszakban az alanyok egy íróasztal mellett ültek. Sem a ruházat, sem a testhelyzet nem volt változtatható. A magas hőmérséklet miatt viszont ivóvíz biztosított volt számukra. A viselt ruházat az MSZ EN ISO 9920:2007 szerint 0,5 clo volt:

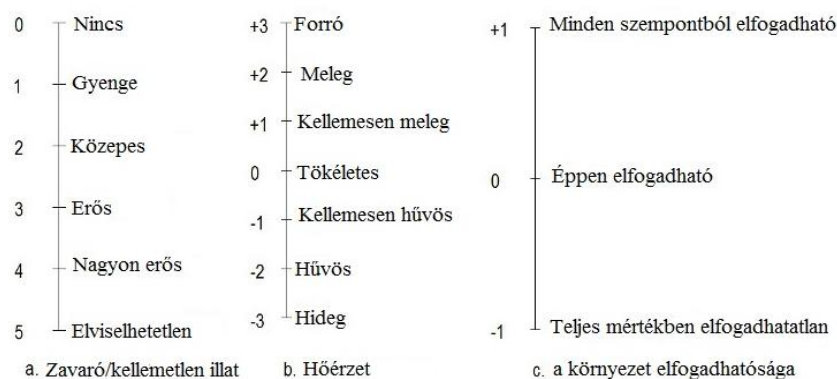
- férfiak: alsónemű, rövid ujjú ing, vékony hosszú nadrág, zokni, cipő

- nők: alsónemű, melltartó, rövid ujjú ing, szoknya, szandál.

Az alanyok olvastak, tanultak vagy tableten dolgoztak. A tevékenységi szint az MSZ EN ISO 8996:2004 szerint 1,2 met (70 W/m^2) volt.

A mérés során 10 percenként az alanyok a következő kérdésekre válaszoltak:

K1. Jelölje be az alábbi skálákon a véleményét a belső környezetről: kellemetlen illatok, hőérzet, általában a környezet elfogadhatósága:



K2. Elfogadható a levegő áramlási sebessége?

Igen

Nem

Ha nem, akkor mit kellene tenni?

Növelni

Csökkenteni

K3. Érzékel huzathatást?

Igen

Nem

ha a válasz igen, akkor a huzathatás zavaró?

Igen

Nem

Mely testrészek esetében érzékeli a huzathatást:

fej/arc

nyak

vállak, kar

hát

lábak

boka

K4. Elég frissnek tartja-e a belső levegőt (széndioxid tartalom szempontjából)?

Igen

Nem

K5. Elégedett a helyiség felületi hőmérsékleteivel?

Igen

Nem

Nemleges válasz esetében, mit kellene tenni?

padlóhőmérséklet:

növelni

csökkenteni

mennyezet hőmérséklete:

növelni

csökkenteni

falak hőmérséklete:

növelni

csökkenteni

(melyik fal esetében szükséges a beavatkozás: elől, hátul, jobb oldali, bal oldali)

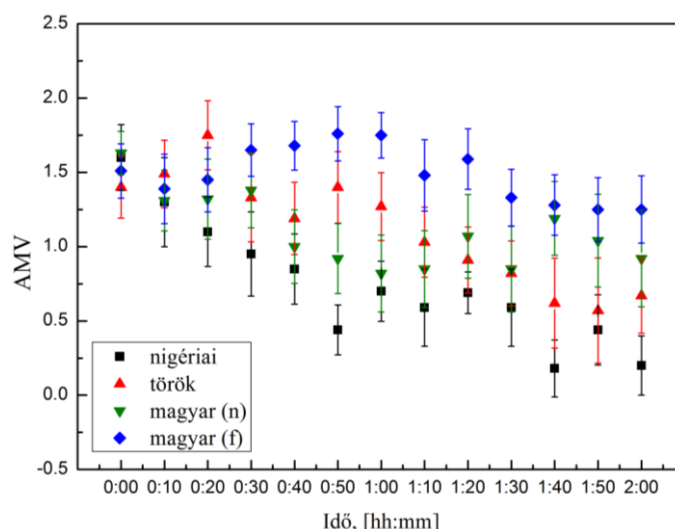
Mindegyik határoló szerkezet belső felületi hőmérséklete 30°C volt. Az alanyok a helyiség közepén foglaltak helyet, de az egyes felületektől való távolság nem volt azonos (pl. padló-mennyezet) ezért fontosnak tartottam megkérdezni, hogy miként értékelik az egyes felületek hatását hőérzeti szempontból.

Mindegyik mérés után a teszhelyiséget átszellőztettem (500 m³/h térfogatáramra növelve a külső friss levegő mennyiségét) majd beállításra kerültek a kezdeti belső környezeti paraméterek.

3.5. Mérési eredmények értékelése

3.5.1 Szubjektív hőérzet

A hőérzetet a hét pontos hőérzeti skálán értékelték. A mérések kezdeti időpontjában az egyes csoportok által adott válaszok átlaga alig különbözött a mérésekkel és számítással előre meghatározott várható hőérzeti értéktől (PMV=1,44). A magyar férfiak, illetve a török férfiak csoportja által adott hőérzettel kapcsolatos válaszok átlaga 1,5 volt. A magyar nők, illetve a nigériai férfiak csoportja kicsit melegebbnek értékelte a környezetet. E két csoport válaszainak átlaga 1,6 volt. A mérések során viszont a 10 percenként adott válaszok csökkenést mutatnak (3.1 ábra). A csökkenés trendje azonos a nigériai férfiak csoportja és a magyar nők csoportja esetében és közel azonos a magyar férfiak és török férfiak csoportja esetében.



3.1 ábra Szubjektív hőérzet csoportonként

Az egyes csoportok által adott válaszok átlagértékét 0:00 óra, 1:00 óra és 2:00 óra időpontokban $p=0,05$ szignifikancia szinten hasonlítottam össze (ehhez az ANOVA módszert alkalmaztam). Összehasonlításra kerültek továbbá a különböző időpontokban azonos csoportok által adott válaszok is. A statisztikai elemzés eredményeit a 3.6 táblázat tartalmazza.

3.6 Táblázat A csoportok válaszainak összehasonlítása $p=0,05$ szignifikancia szinten

Összehasonlított csoportok	MD	q érték	Szig
török (0:00)_nigériai (0:00)	-0,2	0,9012	0
magyar nők (0:00)_nigériai (0:00)	0,03	0,1352	0
magyar nők (0:00)_török (0:00)	0,23	1,0364	0
magyar férfiak (0:00)_nigériai (0:00)	-0,09	0,4055	0
magyar férfiak (0:00)_török (0:00)	0,11	0,4957	0
magyar férfiak (0:00)_magyar nők (0:00)	-0,12	0,5407	0

török (1:00)_ nigériai (1:00)	0,57	2,5684	0
magyar nők (1:00)_ nigériai (1:00)	0,12	0,5407	0
magyar nők (1:00)_ török (1:00)	-0,45	2,0277	0
magyar férfiak (1:00)_ nigériai (1:00)	1,05	4,7312	1
magyar férfiak (1:00)_ török (1:00)	0,48	2,1628	0
magyar férfiak (1:00)_ magyar nők (f-1:00)	0,93	4,1905	0
török (2:00)_ nigériai (2:00)	0,47	2,1178	0
magyar nők (2:00)_ nigériai (2:00)	0,72	3,2442	0
magyar nők (2:00)_ török (2:00)	0,25	1,1265	0
magyar férfiak (2:00)_ nigériai (2:00)	1,05	4,7312	1
magyar férfiak (2:00)_ török (2:00)	0,58	2,6134	0
magyar férfiak (2:00)_ magyar nők (2:00)	0,33	1,4869	0
nigériai (1:00)_ nigériai (0:00)	-0,9	4,0553	0
nigériai (2:00)_ nigériai (0:00)	-1,4	6,3083	1
nigériai (2:00)_ nigériai (1:00)	-0,5	2,2529	0
török (1:00)_ török (0:00)	-0,13	0,5858	0
török (2:00)_ török (0:00)	-0,73	3,2893	0
török (2:00)_ török (1:00)	-0,6	2,7035	0
magyar nők (1:00)_ magyar nők (0:00)	-0,81	3,6498	0
magyar nők (2:00)_ magyar nők (0:00)	-0,71	3,1992	0
magyar nők (2:00)_ magyar nők (1:00)	0,1	0,4506	0
magyar férfiak (1:00)_ magyar férfiak (0:00)	0,24	1,0814	0
magyar férfiak (2:00)_ magyar férfiak (0:00)	-0,26	1,1715	0
magyar férfiak (2:00)_ magyar férfiak (1:00)	-0,5	2,2529	0

A táblázatban alkalmazott jelölések:

MD – az átlagértékek közötti különbség;

q – érték – a standard eloszlás kritikus értéke

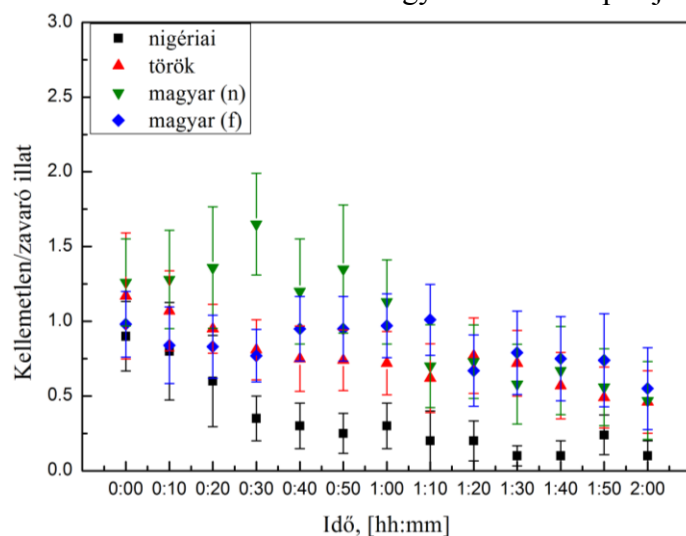
Szig=1 (az átlagértékek különbsége szignifikáns); Szig=0 (az átlagértékek különbsége nem szignifikáns)

Az elemzés alapján megállapítható, hogy a nigériai csoport által a mérés kezdetén és végén adott válaszok között szignifikáns a különbség $p=0,05$ szignifikancia szinten. Szintén szignifikáns különbség mutatkozik a magyar férfiak, illetve a nigériai alanyok csoportjai által adott válaszok átlaga között a mérések kezdése után egy órával, illetve a mérések végén is. A magyar férfiak melegebbnek értékelték a környezetet a magyar nők csoportjával szemben, de a különbség nem volt szignifikáns. A nigériai és a török alanyok csoportja által a nyári időszakban elvárt, illetve optimálisnak tartott belső hőmérséklet csaknem 10 K-el kisebb volt a teszthelyiségben a mérések során beállított ambiens hőmérsékletnél. Ennek ellenére a mérések megkezdése után másfél órával mindkét csoport esetében a szubjektív hőérzet átlaga 0,5 alatta volt, míg a magyar csoportok (férfiak és nők) válaszainak átlaga nagyobb volt 1-nél. Ennek az ellentmondásnak véleményem szerint kettős magyarázata van. Egyrészt az eltérő alkalmazkodóképesség. Ebben az esetben a magyar csoportokkal szemben úgy a nigériai csoport, mint a török csoport hamarabb alkalmazkodott a magas ambiens hőmérséklethez. Másrészt ezekben a csoportokban többségben voltak azok, akik légkondicionált terekhez szoktak, melyek zártak és a levegő áramlási sebessége nem lehet nagyon magas a huzathatás

elkerülése miatt. Ezzel szemben a magyar csoportok alanyainak többsége természetes szellőzéssel ellátott terekhez szokott, ahol viszonylag nagy sebességgel áramlik a bevezetett külső friss levegő. Számukra éppen a huzathatás az, ami segít a meleg környezet elviselésében. Márpedig ebben az esetben ez a feltétel nem teljesült, így a magyar csoportok nehezen viselték a magas hőmérsékletet és egyben a rendkívül alacsony áramlási sebességet.

3.5.2 Zavaró/kellemetlen illat – környezet elfogadhatósága

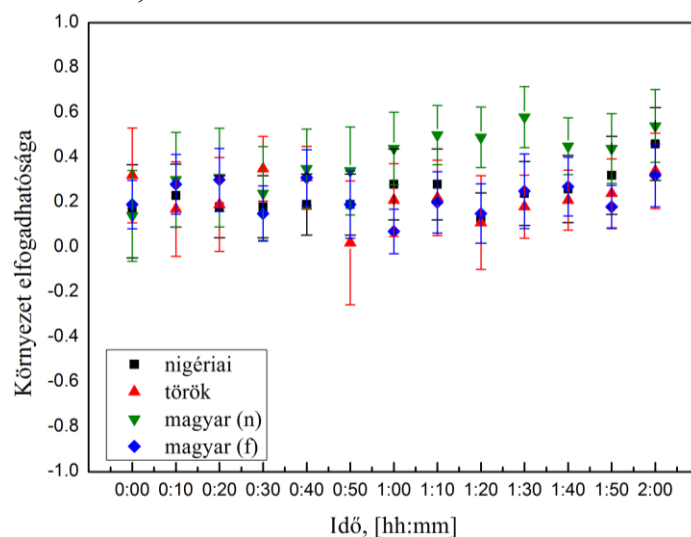
Az alanyok tíz percenként értékelték a helyiség levegőjét az érzékelt szagok szempontjából. A mérések során nem alkalmaztam semmiféle gázt annak érdekében, hogy különböző érzetet váltsak ki az alanyokból. A laboratórium viszont 2013-ban került átadásra, így az építőanyagok általa kibocsátott szaganyagok érzékelhetőek a levegőben, ha a szellőztetés során beállított légcsereszám nem kellően magas. A mérések során $2,15 \text{ h}^{-1}$ volt a légcsereszám, tehát a helyiségben lévő levegő kétszer kicserélésre került óránként. Ugyanakkor, a mérések értékelhetősége szempontjából fontosnak tartottam ezt a kérdést is, hiszen a rossz levegő minőség rossz közérzetet okoz, ami befolyásolhatja a szubjektív hőérzettel kapcsolatos válaszokat is. A válaszok átlagértékeit, illetve az átlagértékek hibáját mutatja be a 3.2 ábra. Megállapítható, hogy a szagok szempontjából a mérés első felében a magyar nők csoportja volt a legérzékenyebb. A mérések második felében mindegyik csoport esetében jelentősen javult a levegő minőségének értékelése. megállapítható továbbá, hogy a szagok szempontjából is a nigériai csoport bizonyult a leginkább alkalmazkodónak, a legkevésbé alkalmazkodó ebben az esetben is a magyar férfiak csoportja volt.



3.2 ábra Zavaró/kellemetlen illat értékelése a 6 pontos skálán.

A környezet értékelését három pontos skálán kellett elvégezni. A 3.3 ábrában az átlagértékeket és az átlagértékek hibái láthatóak. Megállapítható, hogy a magyar nők és a nigériai csoport esetében a környezet elfogadhatósága növekedett a két órás mérés során, bár nem érte el a minden szempontból elfogadható értéket. A magyar férfiak csoportja, illetve a török csoport által adott válaszok viszont alig változnak a két órás mérés során. Elmondható, hogy a magyar nők csoportja fogadta el legnagyobb mértékben a magas hőmérsékletű környezetet. Ez azzal magyarázható, hogy a test hőtermelése kisebb a nők esetében, így ők a meleg környezetet jobban elfogadják, mint a férfiak. Egy átlagos nő testsúlya 20%-al kisebb, zsírtartalma viszont 14%-al nagyobb összehasonlításban egy átlagos férfi testfelépítésével,

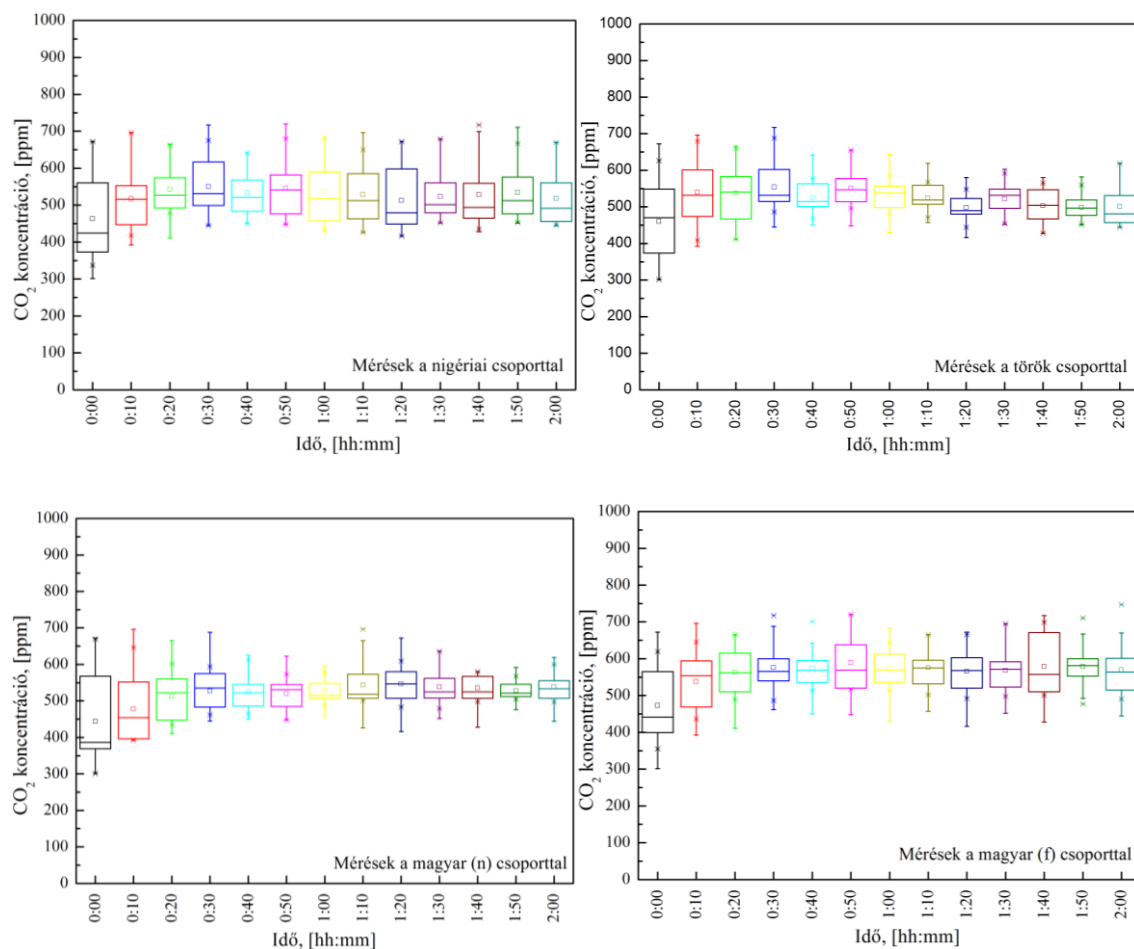
továbbá a nők kéz-, láb- és bőr átlaghőmérséklete alacsonyabb a férfiakénál (Burse, 2016). Ennek következtében rendkívül hideg környezetben a nők jobban ki vannak téve a fagyás miatti kéz- és lábsérüléseknek, mint a férfiak.



3.3 ábra A környezet általános értékelése

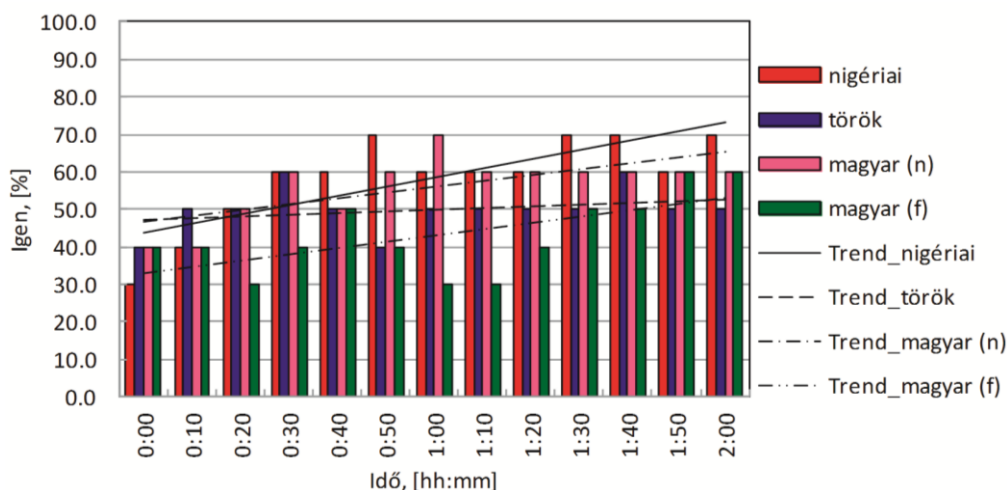
3.5.3 A levegő széndioxid tartalma

Az alanyok tíz percenként értékelték a teszhelyiség levegőminőségét széndioxid szempontjából. Természetesen ezt szubjektív módon tették, hiszen a levegő frissességét/elhasználtságát értékelték. Légh kondicionáló rendszerek nélkül üzemelő épületekben végzett korábbi kutatások kimutatták az összefüggést az operatív hőmérséklet és az ablaknyitások száma között (Rijal et al, 2007; Yun és Seemers, 2008; Herkel et al., 2008; Haldi és Robinson, 2009). Haldi és Robinson (2010) említik Leaman és Bordass (1999) elméletét, mely szerint kapcsolat áll fenn a környezeti komfort különböző elemei között (pl. hőérzet és levegő minőség). A szerzők azt feltételezték, hogy ha az egyik szempontból nem teljesülnek az elvárt feltételek, akkor ez negatív hatással lehet egy másik, az előzőtől – eddigi ismereteink szerint – független, komfortérzetre. Mivel a mérések eleve úgy voltak tervezve, hogy a kellemes hőérzet feltétele nem teljesül, felmerült a belső levegő minősítésének gondolata a széndioxid tartalom szempontjából. A kérdés arra vonatkozott, hogy az alanyok mennyire tartják frissnek a teszhelyiség levegőjét. Több szabványban a szükséges friss levegő mennyiséget a széndioxid koncentráció függvényében határozzák meg (MSZ EN 15251; ASHRAE 62-2). A mérések során a széndioxid koncentrációt folyamatosan mértem és regisztráltam. Külön felhívtam az alanyoknak figyelmét arra, hogy a K4 kérdés a levegő széndioxid tartalmának értékelésére vonatkozik. A mérések során a széndioxid koncentráció változását a teszhelyiségben célcsoportonként a 3.4 ábra mutatja be.



3.4 ábra Széndioxid változása a teszhelyiségben

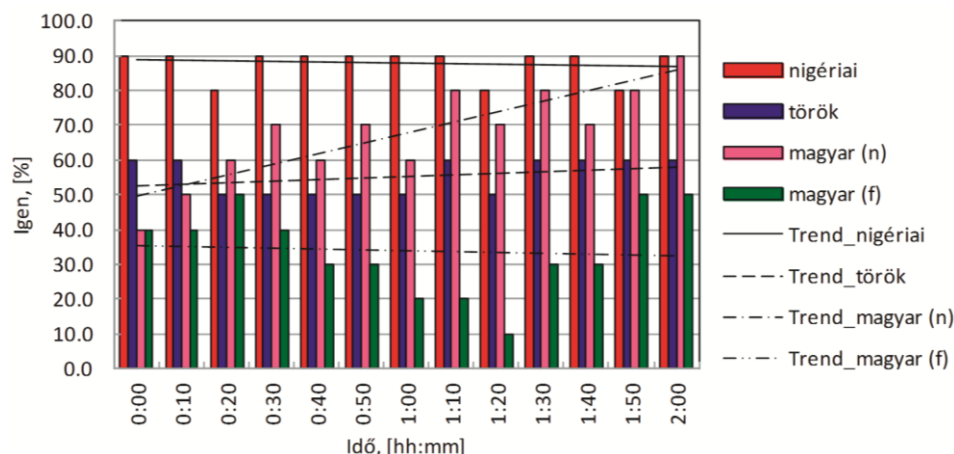
Megállapítható, hogy a széndioxid koncentráció a helyiségben 600-650 ppm között változott, 750 körüli maximális értékkel. Ezek a koncentráció értékek 50 m³/h térfogatáramú külső szellőző levegő folyamatos bevitelével alakult ki (2.15 h⁻¹ légcsereszám). Ennek ellenére az alanyok 30-70%-a tartotta elegendően frissnek a levegőt a teszhelyiségben (3.5 ábra). A levegő széndioxid tartalmával elégedettek aránya valamelyest növekszik a mérések időtartama alatt. A Nigériai csoport volt leginkább elégedett a belső levegő frissességével. A mérések tehát összhangban vannak Leaman és Bordas feltételezésével (1999), legalábbis a hőérzet és a friss levegő minősítésének szempontjából.



3.5 ábra A levegő frissességével elégedettek százalékos aránya

3.5.4 Levegő áramlási sebessége

A mérések során a levegő áramlási sebessége alacsony volt a teszhelyiségben (3.1 táblázat). Ezt a légsebességet legnagyobb mértékben a nigériai csoport fogadta el (közel 90%-os elégedettség). A legkevésbé a magyar férfiak csoportja, illetve a török csoport tagjai voltak elégedettek a levegő áramlási sebességével (40%, illetve 60%). Az elégedetlen alanyok nagyobb légsebességet igényeltek. A magyar nők csoportjában az elégedettek aránya növekedett a két órás mérések során (3.6 ábra).



3.6 ábra A levegő áramlási sebességével elégedettek százalékos aránya

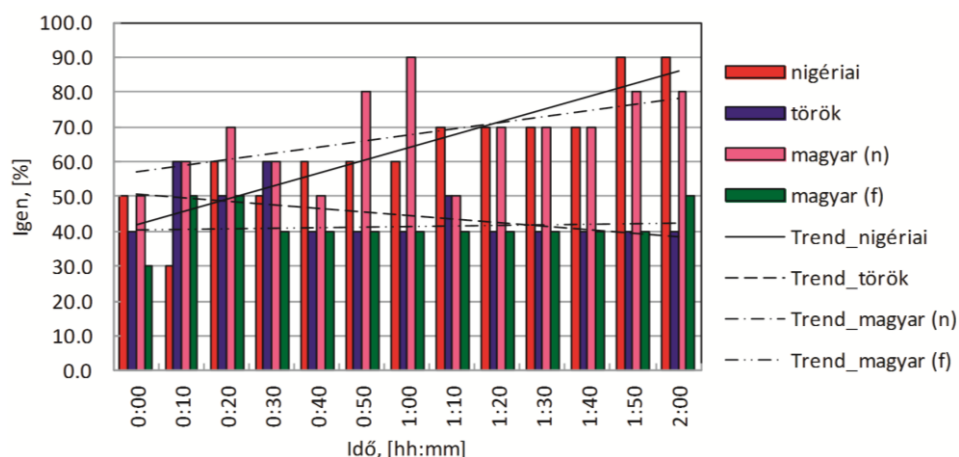
Azok az alanyok, akik nem voltak elégedettek a levegő áramlási sebességével kivétel nélkül nagyobb légáramlási sebességet igényeltek (3.7 táblázat). Továbbá azok a csoportok igényelték a nagyobb légáramlási sebességet, melyek a levegőt nem értékelték kellően frissnek.

3.7 táblázat Nagyobb áramlási sebességet igénylő alanyok száma

Alanyok	0:00	0:10	0:20	0:30	0:40	0:50	1:00	1:10	1:20	1:30	1:40	1:50	2:00
nigériai csoport	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1
török csoport	4	4	5	5	5	5	4	4	4	3	3	3	3
magyar csoport (nők)	6	5	4	3	4	3	4	2	3	2	3	2	1
magyar csoport (férfiak)	6	6	5	6	7	7	8	8	9	7	7	5	5

3.5.5 Huzat és környező felületek hőmérséklete

A kérdőívekben feltett kérdések által a huzatra és a környező felületek hőmérsékletére vonatkozóan is vizsgáltam. Ennek elsődleges oka az, hogy ez a két diszkomfort paraméter nagymértékben befolyásolja az alanyok hőérzetét. Kérdés volt tehát, hogy mérés során beállított környezeti peremfeltételek mellett hogyan értékelik az alanyok ezt a két paramétert. Az összes alany közül a magyar nők csoportjában fordult elő, hogy egy alany a két óra során háromszor huzatot észlelt. A mért légsebesség értékek mellett ez érdekes volt ugyan, de összességében elmondható, hogy a huzat nem befolyásolhatta az alanyok szubjektív hőérzetét. A környező felületek 30 °C hőmérsékletét a legnagyobb arányban a nigériai csoport fogadta el. Esetükben a környező felületek hőmérsékletével elégedettek aránya 40%-ról 90%-ra növekedett a két órás mérés során. A magyar nők csoportjában az elégedettek százalékos aránya 60%-ról 80%-ra növekedett a mérések során. A magyar férfiak csoportjában az elégedettségi arány csaknem állandó volt (40%), míg a török csoport esetében az elégedettek aránya 50%-ról 40%-ra csökkent (3.7 ábra).



3.7 ábra A környező felületek hőmérsékletével elégedettek százalékos aránya

A környező felületek hőmérsékletével tehát az elégedettek százalékos aránya csekély eltérést mutat a nigériai csoport és a magyar nők csoportja között, illetve a török csoport és a magyar férfiak csoportja között.

3.6 Összefoglalás

Nem klimatizált épületek zárt tereiben nyári időszakban hőérzeti szempontból elfogadhatatlanul magas hőmérsékletek alakulhatnak ki. Az épületek rendeltetésétől függően előfordulhat, hogy a benntartózkodók nem változtathatják a helyüket a téren belül, illetve a ruházattal szemben is elvárások vannak. Ezekben az esetekben a pszichológiai és a fiziológiai adaptáció az egyik lehetséges módja az alkalmazkodásnak.

Napjainkban az emberek mobilitása egyre intenzívebb. Egyre többen tanulnak és dolgoznak hosszabb rövidebb időszakokban a szülőhelyüktől távol eső városokban. Az új város, az új környezet éghajlata eltérhet a szülővárosétól egyes esetekben még egy országon belül is. Ráadásul az épületekkel szemben támasztott hőérzeti és energetikai követelmények, továbbá az üzemeltetési stratégiák (fűtési, szellőzési, hűtési módok) is eltérhetnek. Ezekben az esetekben az adaptáció különböző formái, az alkalmazkodóképesség segíthetik az egyéneket ahhoz, hogy az új környezetben hőérzeti szempontból is jól érezzék magukat.

Korábban Luo et al. végeztek hasonló kutatásokat (2016a, 2016b). Ezen kutatások célja viszont a hideg időszakra vonatkozott és azt vizsgálta, hogy Kína déli régióiból az északi régiókba telepedő emberek hőérzeti szempontból hogyan értékelik a környezetüket a fűtési időnyben. Nyári időszakra vonatkozóan Chun et al. (2008) végeztek kutatásokat, viszont a vizsgálataik célja az volt, hogy a napi menetrendnek milyen hatása van az emberek hőérzetére. A felméréseket Szöulban és Yokohamában végezték.

Az általam tervezett és elvégzett mérések célja a különböző országokból érkező egyének fiziológiai adaptációjának összehasonlítása volt meleg környezetben. A mérések bizonyították, hogy a magas ambiens hőmérsékletű térben az egyének szubjektív hőérzete változatlan környezeti paraméterek mellett is egyre jobb lett a mérések időtartama alatt. Kijelenthetjük, hogy a vizsgált térre vonatkozó számított PMV érték jól közelíti a vizsgált csoportok által adott szubjektív hőérzeti válaszok átlagértékét. Ugyanakkor az időben végbemenő fiziológiai adaptáció csoportonként eltérő volt. Befolyásoló tényezőnek tekinthető az egyének származási helye, de a magyar csoportoknál megfigyelhető a nemek közötti eltérés is. $p=0,05$ szignifikancia szint mellett a Nigériai csoport által a mérések kezdetén és

végén adott válaszok között van szignifikáns különbség, továbbá a magyar férfiak csoportja és a nigériai csoport válaszai között is szignifikáns különbség állapítható meg.

A hőérzethez hasonlóan a kellemetlen/zavaró illatokkal kapcsolatos elégedetlenség is csökkent a mérések során. Bár speciális szaganyag nem került alkalmazásra, az építőanyagok, a szék és az íróasztal, valamint maga az egyén is szennyezőanyag forrásnak tekinthető. A mérések első felében a magyar nők csoportja, a mérések második felében a magyar férfiak csoportja értékelte legintenzívebbnek a kellemetlen/zavaró illatokat a teszhelyiségben. A belső levegő minőségét befolyásoló tényezők közül a széndioxid koncentrációt külön vizsgáltam. megállapítottam, hogy a viszonylag magas friss levegő térfogatáram ellenére csupán 30-70%-a az alanyoknak volt elégedett a levegő frissességével. Ez igazolja a korábbi kutatások sejtését, miszerint egymástól független komfortszempontok (hőérzet-levegő minőség) között van egymásra hatás.

A levegő áramlási sebességével elégedetlen alanyok nagyobb áramlási sebességet igényeltek. Az áramlási sebességgel legkevésbé a magyar férfiak csoportja volt elégedett. A legnagyobb elégedettségi arány a nigériai csoport esetében volt tapasztalható. megállapítható továbbá, hogy amíg a férfiak csoportjainál az elégedettségi arány állandónak tekinthető a két órás mérés során, addig a magyar nők csoportjában az elégedettségi arány változott: 40%-ról 90%-ra növekedett a két óra alatt. Ez ismét a hőháztartás a nemek közötti különbségét bizonyítja.

A vizsgált magas ambiens hőmérséklettel rendelkező teret a magyar nők csoportja értékelte a leginkább elfogadhatónak, ugyanakkor másfél óra után mind a 40 alany az éppen elfogadhatónál jobb minősítést adott a környezetnek.

A kutatás tervezésekor azt feltételeztem, hogy a nigériai, illetve a török csoport fogja leginkább elfogadni a meleg környezetet, tekintettel a származási ország éghajlati viszonyaira. Az egyének elvárásainak felmérésekor viszont ezt a feltételezést megváltoztattam, hiszen ez a két csoport rendkívül alacsony hőmérsékletet várt el a belső térben. Ekkor azt vártam, hogy a nigériai, illetve a török csoport forrónak ítéli majd a 30 °C ambiens hőmérsékletű teret és kérdéses volt számomra, hogy kibírják-e egyáltalán a két órás mérést. Ezzel a feltételezéssel szemben a mérések azt bizonyították, hogy a férfi csoportok közül a nigériai csoport szubjektív hőérzettel kapcsolatos válaszai szignifikánsan alacsonyabbak voltak (a két órás mérés végén csaknem a tökéleteshez közeli érték), a török csoport esetében az AMV értékei, ha nem is szignifikánsan, de kisebbek voltak a magyar férfi csoport esetében kapott hőérzeti értékeknél. A magyar nők csoportja hőérzeti szempontból jobbnak értékelte a környezetet a magyar férfiak csoportjánál (ami a nemek közötti hőháztartás különbségét igazolja).

A mérések igazolják, hogy az adaptációt több szempontból is figyelembe kell venni a belső terek tervezése során. Az egyik szempont az, hogy az emberek szubjektív hőérzete egy állandó paraméterekkel rendelkező térben a fiziológiai adaptáció miatt időben csökken. Ez a fűtési időnyben többlet energiafogyasztást okozhat. Nyári időszakban viszont akár energiamegtakarítást is elérhető, hiszen a belső tér tervezési hőmérsékletét az adaptáció miatt a megszokottnál magasabban tarthatjuk. Fanger megállapításaival ellentétben viszont az adaptáció nem azonos különböző népcsoportok esetében, még több éves akklimatizáció után sem.

4. INNOVATÍV SZEMÉLYI SZELLŐZŐ BERENDEZÉS FEJLESZTÉSE

4.1 Bevezetés

Épületekben a légtechnikai rendszerek elsődleges célja a benntartózkodó személyek számára a szükséges friss levegő bevezetése a végzett tevékenységnek a függvényében. A jelenleg érvényben lévő szabványok több számítási módszer alkalmazását is lehetővé teszik a friss levegő mennyiség meghatározásához.

A 7/2006 TNM Rendelet előírásai szerint légtechnikai rendszer esetén, folyamatos emberi tartózkodásra használatos helyiségben a tartózkodási zónába minimálisan bejuttatandó friss levegő mennyiséget az alábbi összefüggéssel lehet megállapítani alacsony szennyezési emisszióval (kizárólag az épületszerkezetekből, bútorokból, berendezésekből származó szennyezőanyag) rendelkező épületek esetében:

$$q_{tot} = n \times 25,2 + A \times 2,52 \quad (4.1)$$

ahol: q_{tot} – az összes szellőző levegő, [m^3/h]; n – a személyek száma; 25,2 – személyenkénti szellőző levegő igény, [$\text{m}^3/\text{h} / \text{fő}$]; 2,52 – épületemisszió miatt szükséges szellőzés, [$\text{m}^3/\text{h} / \text{m}^2$]; A – az épület hasznos alapterülete, [m^2].

A belső térben a CO_2 koncentráció a külső tér levegőjéhez képest maximum 500 ppm-mel lehet magasabb.

Alacsony emisszióval rendelkezik egy épület ha a burkolatok és a berendezések alacsony emissziójú anyagok (pl. kő és üveg), továbbá olyan anyagok, amelyek kielégítik a következő feltételeket:

- a) TVOC emisszió < 0,2 [$\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$]
- b) Formaldehid emisszió < 0,05 [$\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$]
- c) Ammónia emisszió < 0,03 [$\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$]
- d) IARC emisszió < 0,005 [$\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$]
- e) Az anyagnak nincs jellegzetes szaga (az anyag szagával elégedetlenek aránya 15% alatti)

A légvezetési rendszer (LVR) hatására alakul ki a tartózkodási zóna átöblítése, vagy átöblítetlensége. A légvezetési rendszerek fajtái:

- **Elárasztásos.** Főbb jellemzői: a beáramló levegő egyenletesen, kis sebességgel áramlik keresztül a helyiségen; a fő áramlási irányra merőleges légmozgások elkerülésére törekszünk; izoterm vagy kis hőfok különbségű hűtőlevegő.
- **Hígításos.** Főbb jellemzői: keveredik a befűjt és a helyiség levegője, indukcióra törekszünk, a gyors, hatékony keveredés a cél.

A hígításos légvezetési mód típusai:

- Sugár LVR
- Érintőleges LVR
- Diffúz LVR
- Mikroklíma LVR
- Kiszorításos LVR

A hagyományos légtechnikai rendszerek tervezésénél az épület rendeltetésének függvényében az szabványok előírták a szükséges légcsereszám értékét. Az utóbbi években előtérbe kerültek az energia-megtakarítási követelmények és a hőérzeti illetve belső levegő minőség követelményei is meghatározásra kerültek. Ennek megfelelően az MSZ CR 1752:2000, illetve az MSZ EN 15251:2007 tartalmazza az előírt friss levegő mennyiséget, illetve azokat a

mikroklíma paramétereit, melyeket egy zárt térben biztosítani kell. A zárt terek teljes térfogatának az átöblítése azonban nem energiatakarékos megoldás, hiszen a térben tartózkodó személyek a térnek csak egy részét használják

Különösen rossz a térkihasználás a nagy alapterületű és/vagy viszonylagosan magas belméretű, ezáltal nagy légterű munkahelyeken, ha a dolgozók a munkaasztalok mellett egyhelyben, az esetek nagy százalékában ülve végzik tevékenységüket.

4.2 Légzés és metabolizmus

A metabolizmus (anyagcsere) egy orvosi és biokémiai fogalom, mely az élő szervezetekben végbemenő anyag-, energia- és információáramlást jelenti. Az anyagcsere lehet építő vagy lebontó. Az építő anyagcsere esetében (bioszintézis, anabolizmus) az egyszerű anyagból összetett lesz. Ehhez a folyamathoz energiára van szükség (például fotoszintézis, fehérje szintézis). A lebontó anyagcsere esetében (katabolizmus) az összetett anyagok lebontódnak egyszerű anyagokra és ezzel energia szabadul fel. Ez az energia (katabolitikus energia) a sejtekben átalakul munkavégzési- és tartalékenergiává, és egy része felszabadul, mint hőenergia. Úgy az anabolizmusnál, mint a katabolizmusnál egyaránt szükséges az oxigén. A katabolitikus anyagcsere folyamatok során a szükséges oxigén mennyisége, a felszabaduló energia, illetve szén-dioxid mennyisége függ a lebontandó anyagtól (4.2 táblázat), (Nelson, 2004).

4.2 táblázat. Különböző anyagok lebontásához szükséges oxigén, illetve a felszabaduló energia és szén-dioxid

Anyag	Energia, [kJ/g]	O ₂ , [l/g]	CO ₂ , [l/g]
Szénhidrát	17,17	0,81	0,81
Zsír	38,94	1,96	1,39
Fehérje	16,75	0,94	0,75
Alkohol	29,73	1,46	0,97

Ha összeadjuk egy-egy grammnyi szénhidrát, a zsír és a fehérje energiataralmát, akkor összesen 72,86 kJ energiamentységet kapunk, aminek az „elégetéséhez” összesen 3,71 l oxigénre van szükség. Ez azt jelenti, hogy 1 l oxigén felhasználásával átlagosan 19,639 kJ energiához jutunk. Nyugalmi állapotban egy átlagos ember oxigénfogyasztása 16 l/h, (web-11). Ennek megfelelően egy átlagos emberben, nyugalmi állapotban, az anyagcsere során 314,22 kJ/h energia szabadul fel, ami 87,28 W teljesítményt jelent.

Az alapanyagcsere (BMR, Basal Metabolic Rate) az a minimális energiafogyasztás, amelyet nyugalomban levő, nem alvó, gyógyszeresen nem befolyásolt emberben mérhetünk. A nyugalmi anyagcsere (RMR, Resting Metabolic Rate) viszont a nap bármely időszakában mérhető, 3-4 órával az utolsó étkezést követően. A nyugalmi anyagcsere az alapanyagcserénél kb. 3-5%-kal nagyobb értéket mutat. (web-12)

Bánhidi (1976) korábbi mérések alapján kijelenti, hogy az alapanyagcsere függ az életkortól és diagramban mutatja az alapanyagcsere értékét férfiak és nők esetében 0-80 év életkorban. A diagram alapján megállapítható, hogy a nők esetében a termelt hőmennyiség kisebb, mint a férfiaknál. Ez arra utal, hogy egy adott környezetet hőérzeti szempontból a nők vélhetően hidegebbnek értékelnek, mint a férfiak. Fanger szerint, viszont a determinisztikus számítási eljárás során alkalmazott képletek mindenkire érvényesek. A nem és kor nem szerinte nem játszik szerepet egy környezet értékelésében hőérzeti szempontból.

Az alapanyagcserének biztosítania kell az alap életfunkciókat, azaz a szívműködést, a légzést, a testhőmérsékletet, az izomtónust, az iontranszportot, idegi működéseket. Ez a teljes energiaszükséglet kb. 60-70%-a. Az agy, ami a teljes testtömeg mindössze 2%-a, az alapanyagcseréből 20%-ot felhasznál a működéséhez. A szív, ami mindössze kb. 30 dkg, azaz a testtömeg fél százaléka, 9%-ot igényel az alapanyagcseréből. (web-12)

A légvételek kiváltója a vér szén-dioxid nyomásának emelkedése. A légzőközpont, a szén-dioxid emelkedésének érzékelésekor növeli a belégzéseket, míg csökkenés esetén nem ad ingerületet a belégzésre, szünetet tart (*apnoe*). (web-13)

Nyugodt légzéskor egy egészséges felnőtt ember 1 perc alatt 14-16-szor vesz levegőt. Egy levegővétel során a belélegzett levegő térfogata 0,5 l. Azaz a légzési perctérfogat 7-8 liter. Erőltetett légzés során akár 2,5 liter levegőt is belélegezhetünk.

Kétféle légzést különböztetünk meg: külső légzést és belső légzést. A külső légzés a tüdőhólyagocskák falán létrejövő oxigén- és szén-dioxid-csere. A belső légzés során a vér leadja az oxigént a sejteknek és széndioxidot vesz fel. A légzési folyamatban nem a teljes légzési levegő vesz részt, mivel annak egy része holtterben marad.

Az ember számára alapvető életfeltétel tehát a megfelelő minőségű és mennyiségű oxigéndús levegő. A belélegzett levegő 78% nitrogént, 21% oxigént, 0,93% argont, a környezetben nyomokban előforduló gázokat, 0,03% szén-dioxidot és a légköri nedvességnek megfelelően bizonyos mennyiségű vízpárát tartalmaz. A légzés folyamán ez az összetétel megváltozik, először a külső légköri levegő és a belső, tüdőben rekedt maradék levegő keveredése következtében. Az oxigén szintje 16%-ra csökken és a korábban alig jelenlévő szén-dioxid mennyisége 4,6%-ra nő. (web-14)

Egy átlagos ember széndioxid kibocsátása nyugalmi állapotban tehát 19-22 l/h.

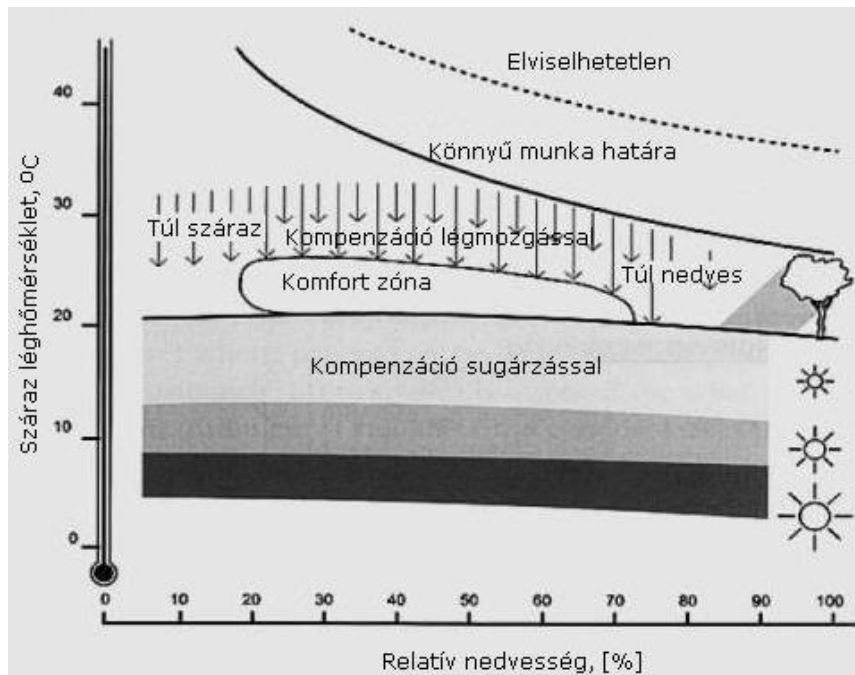
Azokban a terekben, ahol nincs folyamatos gépi szellőzés a széndioxid feldúsulhat szellőztetési időpontok között (Csáky, 2009a; Csáky, 2009b; Kalmár és Nagy 2015).

Max von Pettenkofer a XIX. század közepén vizsgálta a komfortterek levegőjét és megállapította, hogy a 0,1 tf% (1000 ppm) a „jó levegő” kritériuma (Bánhidi és Kajtár, 2000; Herczeg, 2004). A széndioxid koncentráció jelentősen befolyásolja az ember szellemi teljesítőképességét, ezért, különösen irodai munkavégzés esetében, figyelmet kell fordítani a szükséges friss levegő mennyiségének biztosítására (Kajtár és Herczeg, 2012).

4.3 Személyi szellőzés

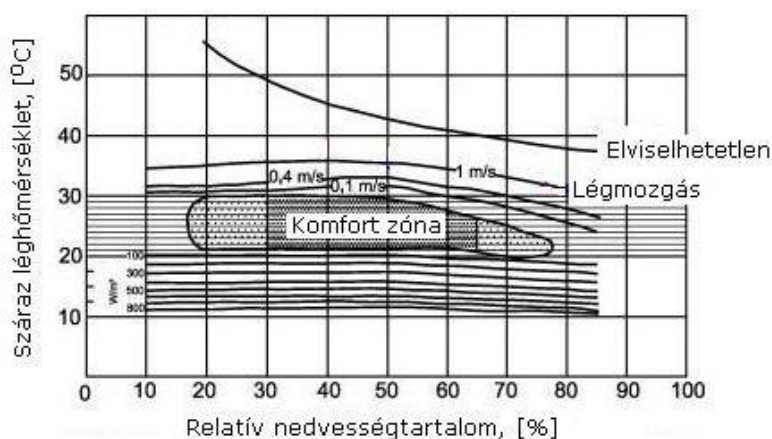
4.3.1 Bioklimatikus diagramok

A szoláris építészet tervezési szemléletének formálásában kiemelkedő jelentőségű diagram szerzői a magyar Olgyay fivérek voltak (Olgyay Aladár és Olgyay Viktor), (4.1 ábra és 4.2 ábra). A diagram függőleges tengelyén a száraz léghőmérséklet (t_{sz}), a vízszintes tengelyén a levegő relatív páratartalma (φ) van feltüntetve. A szabad terek értékelésére is alkalmas diagramon még a következő fizikai jellemzők hatása szerepel: a sugárzás-intenzitás [W/m^2] és a légmozgás sebessége, [m/s]. Ha a léghőmérséklet kisebb, de a vonalakra paraméterként felírt intenzitású sugárzás éri az embert, hőérzete ugyanolyan jó lesz, mint a jelölt komfortzónában. Úgy is fogalmazhatunk, hogy ha a komfortzóna területén kívüli pontot jelölünk ki, ahol a léghőmérséklet alacsonyabb, a sugárzásintenzitás görbéire írt számok alapján becsülhetjük meg, mekkora intenzitású sugárzás szükséges ahhoz, hogy az alacsonyabb léghőmérséklet hőérzeti hatását ellentételezze.



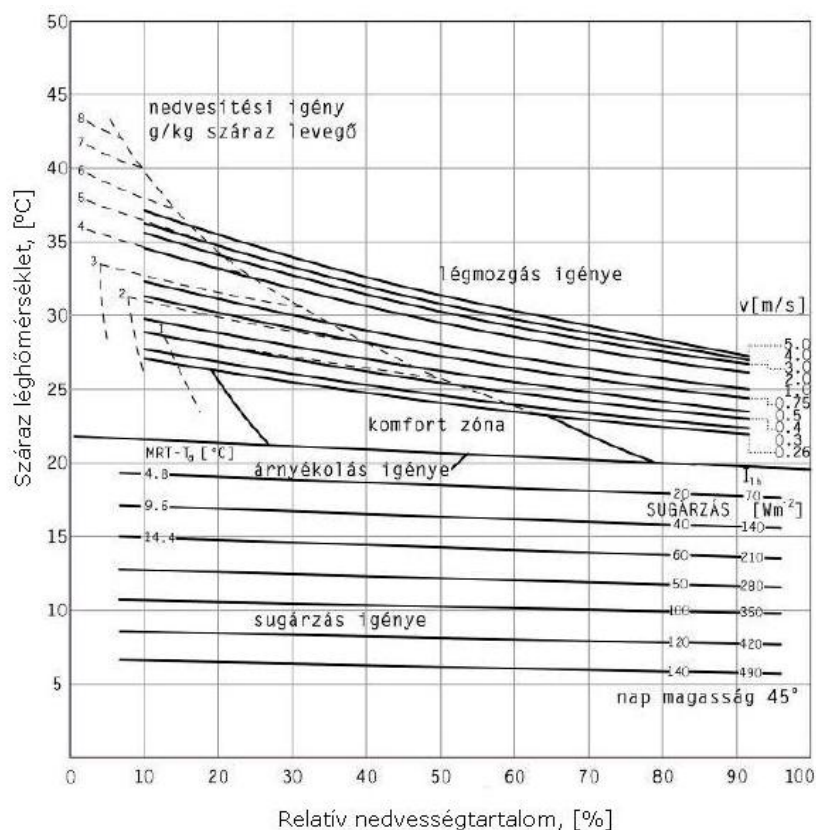
4.1 ábra Olgyay féle bioklimatikus diagram, (Luton, 2011)

Az Olgyay féle bioklimatikus diagramot fejlesztette tovább szerzőtársaival Arens – természetesen ebben az esetben is egy diagram egy-egy meghatározott clo és met értékhez (azaz öltözékhez és tevékenységi szinthez) tartozik (Zöld, 2006). Ebben új tényezőként jelenik meg az effektív sugárzásintenzitás, amely a direkt és szórt, valamint a környező felületekről visszavert napsugárzás együttes hatását fejezi ki.



4.2 ábra A hőérzetet kompenzáló sugárzás intenzitása, illetve a szükséges légsebesség, (Dili et al., 2011)

A bioklimatikus diagramok alkalmazhatóságát az energiatudatos építészetben Givoni (1976), illetve Watson és Labs (1983) is hangsúlyozta. Az Arens és munkatársai által átdolgozott bioklimatikus diagramot a 4.3 ábra mutatja be, (Zöld, 2006).



4.3 ábra: Arens bioklimatikus diagramja, (Zöld, 2006)

Látható, hogy a komfortzóna felső határa nem vízszintes, ami azt jelenti, hogy szárazabb levegőben magasabb hőmérséklet mellett, nedvesebb levegőben alacsonyabb hőmérséklet mellett van az elfogadható felső határ. A komfortzóna alatti vonalakon az az effektív sugárzásintenzitás érték olvasható le, amely, nyugvó levegőben, az alacsony hőmérséklet hatását ellentételezi, vagyis hőérzeti szempontból komfortos állapotot eredményez.

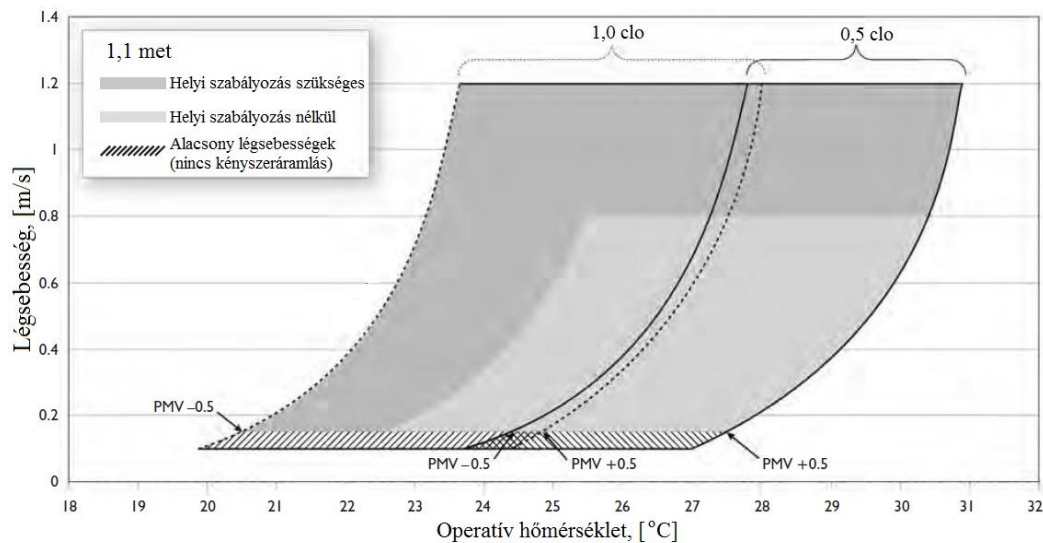
A komfortzóna feletti vonalakon az a légsebesség van feltüntetve, amely, árnyékban, a magas hőmérséklet hatását ellentételezi, vagyis hőérzeti szempontból kompenzálja a magas hőmérséklet értéket. Az ábra bal felső sarkában látható görbék azt jelzik, hogy a magas hőmérsékletű, de alacsony nedvességtartalmú levegőbe mennyi vízgőzt célszerű juttatni annak érdekében, hogy a hőérzet megfelelő legyen, (Zöld, 2006).

Arens és társai (2009) továbbá kidolgoztak egy diagramot mely alapján meghatározható az a szükséges légsebesség növekedés, ami hőérzeti szempontból kompenzálja a nagyobb ambiens hőmérsékletet (4.4 ábra).

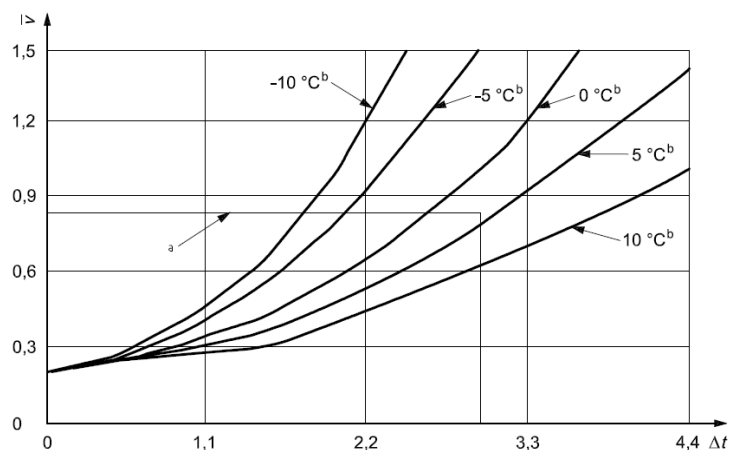
Az ASHRAE 55 szabvány átdolgozásánál, illetve a MSZ EN ISO 7730 szabvány kidolgozásánál is figyelembe vették, hogy hőérzeti szempontból az ambiens hőmérsékletnövekmény nagyobb légsebességgel kompenzálható (4.5 ábra).

Az ábrában a referencia pont 26 °C operatív hőmérsékletre és 0,2 m/s légsebességre vonatkozik. A Δt az operatív hőmérséklet növekményt jelenti, melyet a légsebesség növelésével kompenzálunk. Az ábra szerkesztésénél 1,2 met ülő foglalkozást és tipikus nyári ruházatot vettek figyelembe. Az MSZ EN ISO 7730 szabvány által megadott értékek stacioner folyamatokat feltételeznek, de érvényesek maradnak az operatív hőmérséklet ciklikus változása esetén is, ha a minimum és maximum értékek közötti különbségek nem

haladják meg az 1 K értéket, illetve ha a hőmérsékletváltozások során a változás sebessége nem haladja meg a 2,0 K/h értéket.



4.4 ábra Kellemes hőérzetnek megfelelő operatív hőmérséklet-lésebesség értékek, (Arens, 2009)



4.5 ábra: Hőmérséklet-növekmény és légsebesség, (MSZ EN ISO 7730)

a – légsebesség határ ülőtevékenység esetében, b - $\bar{t}_r - t_a$, [°C]

4.3.2 Személyi szellőző rendszerek

Az emberek hőérzeti igényei eltérőek és számos fizikai, pszichológiai, fiziológiai, valamint szociális tényező is befolyásolja ennek a szubjektív érzésnek a kialakulását. Az „*egy méret mindenkinek jó*” elv ebben az esetben sem működik. Egy adott tér esetében rendkívül nehéz minden egyes pontban biztosítani az éppen ott tartózkodó hőérzeti igényeit. A személyi szellőző rendszerek lehetővé teszik, hogy a felhasználók a saját igényeik szerint válasszák ki és állítsák be a mikrokörnyezetük paramétereit. Így egy adott tér minden egyes pontjában eltérő hőérzeti viszonyokat alakíthatunk ki.

Arens et al. (1986) bebizonyították, hogy zárt térben 22,5 °C operatív hőmérséklet felett az emberek nagyobb sebességek mellett igénylik a légmozgást, mint amelyeket a tervezés során alkalmazott szabványok megengednek (MSZ CR 1752, MSZ EN ISO 7730, MSZ EN 15251). Rávilágítottak arra a tényre, hogy e hőmérséklet érték felett kicsi a huzat fellépésének kockázata. A huzatérzet viszont, mint diszkomfort tényező, jelentősen korlátozza a

légsebesség növelésének határát. Személyi szellőző berendezéssel viszont megoldható, hogy egy adott tér különböző pontjaiban az ott tartózkodó egyének maguk válasszák ki az általuk hőérzeti szempontból megfelelőnek tartott légsebességet.

A teljes helyiségtérfigatot átszellőztető rendszerekkel ellentétben, a személyi szellőző rendszerek az egyén környezetébe juttatják a friss levegőt, így jóval kevesebb friss levegő szállítását kell biztosítani, (Melikov, 2004; Melikov, 2006). A kísérletek azt mutatták ki, hogy az energiamegtakarítás mellett, a szennyezőanyagok terjedése esetében is előnyösebb megoldást nyújtanak a személyi szellőző rendszerek (Melikov, 2016; Tian et al., 2009). Az egészséges és komfortos környezet biztosításának egyik eszközei lehetnek tehát a személyi szellőző rendszerek. Különböző műszaki megoldásokat fejlesztettek ki és vizsgáltak a Dán Műszaki Egyetemen, az Aalborgi Egyetemen, de a Princetoni Egyetemen, Japánban és Koreában is folytak ezzel kapcsolatosan kutatások. Jelenleg a legelterjedtebb megoldás az Exhausto cég által kifejlesztett megoldás (4.6 ábra).



4.6 ábra Az Exhausto cég személyi szellőztető berendezése

Forrás: http://www.exhausto.com/~media/Global/PDF/Products/broc_PV_GB.ashx

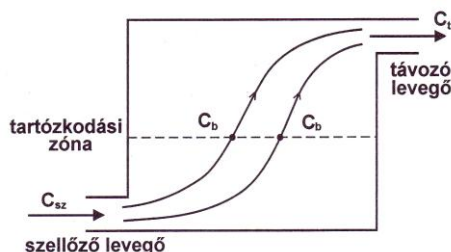
Ezen rendszerek előnye az energiamegtakarítás mellett az, hogy a szellőztetés hatásossága nagyobb, mint a hagyományos rendszerek esetében.

A kontaminációs fok azt fejezi ki, hogy a helyiség adott pontjában milyen mértékben szennyeződött a levegő a szellőző és a távozó levegő szennyezettségét figyelembe véve.

A kontaminációs fok (μ) számítása, (Bánhidi és Kajtár, 2006):

$$\mu = \frac{c_b - c_{sz}}{c_t - c_{sz}} \quad (4.2)$$

A c a belső levegő minősége, 4.7 ábra szerint (indexek: b – belső levegő; sz – szellőző levegő; t – távozó levegő).



4.7 ábra A kontaminációs fok számításának a magyarázata, (Bánhidi és Kajtár, 2000)

A kontaminációs fok reciproka a szellőztetés hatásossága, (Bánhidi és Kajtár, 2000):

$$\varepsilon = \frac{1}{\mu} = \frac{c_t - c_{sz}}{c_b - c_{sz}} \quad (4.3)$$

A levegővezetés módján kívül a szellőző és távozó levegő hőmérséklete is befolyásolja a szellőztetés hatásosságát. Levegő minőségi szempontból az a célszerű, ha a kontaminációs fok minél kisebb, illetve a szellőztetés hatásossága minél nagyobb.

Olesen (2012) szerint a szellőztetés hatásossága különböző rendszerek esetében a következőképpen alakul:

fent-fent		fent-lent		lent-fent		személyi	
$t_{be}-t_i$, [°C]	ε	$t_{be}-t_i$, [°C]	ε	$t_{be}-t_i$, [°C]	ε	$t_{be}-t_i$, [°C]	ε
<0	0,9-1,0	<-5	0,9	<0	1,2-1,4	-6	1,2-2,2
0-2	0,9	-5-0	0,9-1,0	0-2	0,7-0,9	-3	1,3-2,3
2-5	0,8	>0	1,0	>2	0,2-0,7	0	1,6-3,5
>5	0,4-0,7						

A táblázat szerint megállapítható, hogy a személyi szellőzés esetén a szellőzés hatásossága jóval nagyobb, mint a hagyományos rendszerek esetében.

A Dán Műszaki Egyetemen (4.8 ábra) Fanger mellett Melikov volt, aki a számos kísérletet végzett a személyi szellőzéssel kapcsolatosan (Melikov et al., 2002; Melikov, 2004; Melikov, 2014, Melikov, 2016).



4.8 ábra Kísérletek a Dán Műszaki Egyetemen

A személyi szellőzés egyik legfontosabb kérdése az, hogy milyen turbulencia alakul ki az egyén körül és ez generál-e huzatérzetet. Az ezzel kapcsolatos szakirodalmat Kalmár T. (2013) dolgozza fel és elemzi doktori dolgozatában. Ennek megfelelően az első ilyen jellegű vizsgálatokat Fanger és társai (1988) végezték és méréseik alapján kerültek kidolgozásra a ma is érvényes szabványokban a léghőmérséklet, légsebesség és huzathatás kapcsolatát leíró diagramok (MSZ EN ISO 7730). Griefahn és társai (2000) elemezték a 23 °C állandó hőmérsékletű levegő esetében a huzatérzet kialakulását a sebesség és a turbulencia intenzitásának függvényében. Eredményeik alapján 30%-os turbulencia intenzitás mellett a légsebesség legnagyobb megengedett értéke 0,2 m/s. Wang és társai (2009) vizsgálták a turbulencia intenzitásának hatását a lokális diszkomfort érzet kialakulására. Méréseik azt bizonyítják, hogy a bőrhőmérséklet akár 2 °C-al is kisebb lehet azonos hőmérsékletű környezetben, ha a turbulencia intenzitást 15%-ról 30%-ra emeljük. Sun és társai (2007) vizsgálták egy személyi szellőztető berendezés hőérzeti hatását két különböző turbulencia

intenzitás mellett. A méréseik bizonyították, hogy a nagyobb turbulencia intenzitással jobban csökkenthető a bőrhőmérséklet.

Griefahn és társai (2001) vizsgálták a huzathatás, léghőmérséklet, légsebesség és végzett tevékenység kapcsolatát. Megállapították, hogy a huzatérzés másként alakul az aktív és a passzív testrészek esetében azonos körülmények mellett. Toftum és Nielsen (1996) bebizonyította, hogy a huzatra való érzékenység összefüggésben áll az általános hőérzeti értékkel. A méréseik természetesen azt mutatták ki, hogy azok az alanyok, akik általánosan inkább hűvösnek ítélték a környezetüket érzékenyebbek voltak a huzatra, mint azok az alanyok, akik inkább kellemesen melegnek értékelték a környezetüket.

Zhang és társai (2005) 200 irodaépületben végzett méréseik alapján kimutatták, hogy a benttartózkodók nagyobb része kevésnek ítéli a légmozgást a terekben. Az eredményeik szerint a megkérdezettek több mint 50%-a nagyobb légmozgást tartott volna szükségesnek és csak 4% volt az, aki kevésbé intenzív légmozgást igényelt.

A friss levegőt a személyi szellőztető berendezéshez különböző módon lehet eljuttatni. A Princeton Engineering Services (web-15) a padlóba szerelt légcsatornákat alkalmazza (4.9 ábra) a Dán Műszaki Egyetemen álmennyezetben elhelyezett légcsatornákkal kísérleteztek.



4.9 ábra A Princeton Engineering Services berendezései (web-15)

A szakirodalomban fellelhető személyi szellőző berendezések az egyén közelébe juttatják a szellőző levegőt (a cél az, hogy a szellőző levegő eljusson az egyénhez úgy, hogy minél kisebb mértékben keveredjen a belső tér levegőjével). A befűvés egy adott pontban történik állandó sebesség mellett, amit az egyén választ ki és állít be.

4.4 ALTAIR berendezés fejlesztése

4.4.1 Az ALTAIR első változata

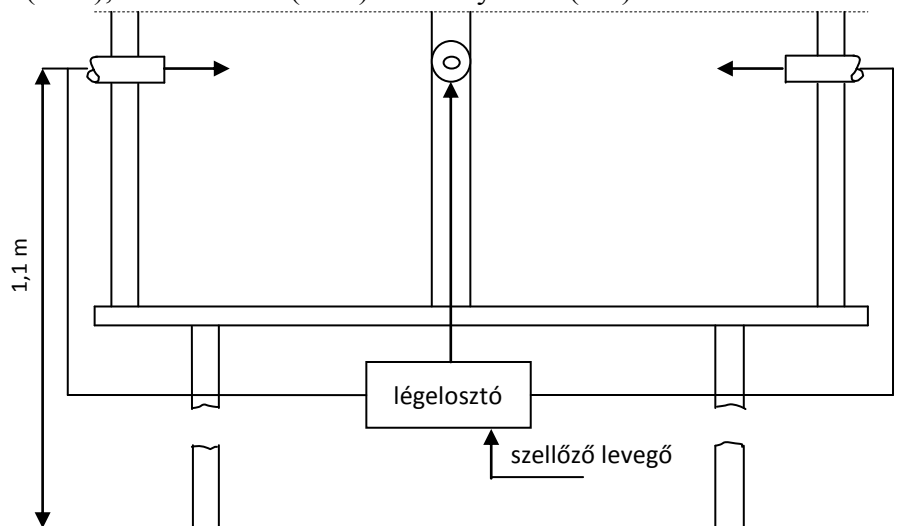
Személyi szellőző berendezésekkel több nemzetközi szinten elismert kutatóhelyen is foglalkoztak. A Debreceni Egyetemen 2010-ben „A felsőoktatás minőségének javítása a kutatás-fejlesztés-innováció-oktatás fejlesztésén keresztül a Debreceni Egyetemen” c. projekt keretében vezetésemmel megalakult a DEnergia kutatócsoport. A kutatások az épületenergetikai vizsgálatok mellett kiterjedtek a személyi szellőző berendezések fejlesztésére is. Tevékeny hozzájárulással került kifejlesztésre egy innovatív berendezés (ALTAIR), melynek szabadalmi eljárása 2012-ben kezdődött és 2015-ben szabadalmat kapott 229951 lajstromszámon. A berendezés ötletét az adta, hogy az arcon nagyobb számú hideg receptor van, mint a többi testrészen, valamint a hideg receptoroktól az információ sokkal rövidebb idő alatt jut az agyba, mint a meleg receptoroktól származó információ. Ennek megfelelően az emberek az arc hűtését alacsony észlelési küszöb mellett is jól és gyorsan

érezkelik. A hűtést nem gépi hűtéssel, hanem intenzívebb légmozgással (a konvektív hőelvonás növelésével) érzük el.

Zárt térben, nyári időszakban, az egyszerű mennyezet alatt elhelyezett ventilátor bekapcsolásával is elérhető egy nagyobb légsebesség, ami a benntartózkodók számára elviselhetőbbé teszi a környezetet. Ez a megoldás viszont nem biztosítja az egyéni igények kielégítését, sőt előfordulhat, hogy diszkomfortot okoz a tér egyes pontjaiban. A hagyományos asztali ventilátorral, melynek fordulatszáma beállítható, már egyéni igényeket is kielégíthetünk azonban egyszerűbb kivitel esetén a légáram iránya mindig ugyanaz így az adaptáció miatt egy idő után a hűtőhatás csökken. Ha a ventilátor a saját függőleges tengelye körül elfordulhat, akkor az egyénhez változó mennyiségben és sebességgel érkezik a légáram, viszont mindig csak abból a pontból ahol a ventilátor el van helyezve.

Az egyszerű kézi legyezővel váltakozó irányból mozgatjuk a levegőt az arc körül és sejtésünk szerint ezzel az adaptáció megakadályozható (4.10 ábra). A légsebesség ugyanis olyan hőérzetet befolyásoló környezeti paraméter, amely nem csak skalárként, hanem vektorként is értelmezhető (nem csak nagysága, hanem iránya is van).

A berendezés fejlesztésében a következő kutatók vettek részt: Kalmár Ferenc (55%), Kalmár Tünde Klára (30%), Zöld András (10%) és Csáky Imre (5%).



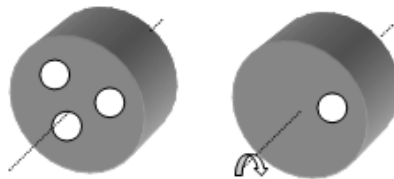
4.10 A váltakozó légáramirány biztosítása a munkaasztalnál

A fejlesztés első fázisában a legfontosabb megoldandó feladat a légáram elosztása volt és annak biztosítása, hogy a légáram a váltakozó irányból érkezzen az alanyokra. Ezt egy kezdetleges programozható légelosztó berendezéssel oldottuk meg (4.11) ábra.

A légelosztó berendezésben el volt helyezve két korong, melyek egymással érintkeztek: az egyik fix szereléssel (a felső) a másik viszont egy léptető motor segítségével a saját tengelye körül forgó mozgást végezhetett (alsó). Az alsó korong elmozdulását viszont úgy terveztük és programoztuk, hogy mindig az alsó korongba fűrt nyílás felett minden elmozdulásnál legyen egy nyílás a felső korongban (4.12 ábra). Ettől a ponttól kezdve, viszont a két korongon átjutott levegőt abba az irányba áramoltattuk tovább, amely biztosította váltakozó légáramot az egyének körül. A légelosztó készülék összeszerelésében Ovád Gábor gépészmérnök hallgató működött közre, aki munkáját irányutatásaim szerint végezte.



4.11 ábra A légelosztó berendezés első változata



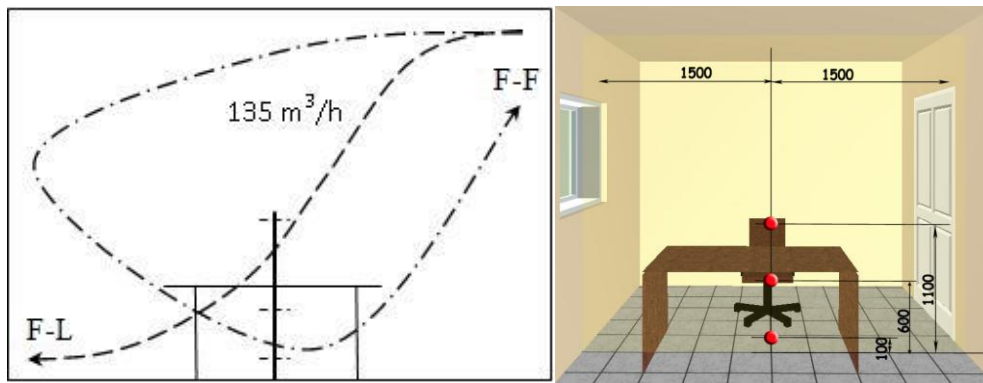
4.12 ábra Légelosztást biztosító korongok

Az így kialakított személyi szellőző berendezéssel több élőalanyos méréssorozatot is végeztünk, melyeknek célja az volt, hogy megvizsgáljuk az egyének hőérzetét valamint a széndioxid koncentráció alakulását az egyének munkakörnyezetében hagyományos légvezetési módok és az új személyi szellőzés esetében. A mérések eredményeit és kiértékelését Kalmár T. (2013) részletesen mutatja be.

4.4.2 Tesztmérések az Épületfizika laboratóriumban

A méréseket az 1.1 ábrában bemutatott Épületfizika laboratóriumban végeztük, kontrollált környezetben.

Az Épületfizika laboratórium teszthelyiségébe bevezetett szellőző levegő kettős hővisszanyeréssel jutott a helyiségbe. A friss levegő előbb egy nagy hőtároló képességgel rendelkező helyiségbe jutott (116 MJ/K). Ebből a helyiségből egy Rosenberg lakásszellőző berendezésen keresztül jutott be a teszthelyiség és a klímakamra közötti térbe, ahonnan ismét egy Rosenberg lakásszellőző berendezésen keresztül jutott be a teszthelyiségbe. Ennek megfelelően az elszívott és a szellőző levegő hőmérséklete között mért maximális különbség 0,5 °C volt. Az egyének a teszthelyiség középpontjában ültek, a légvezetési módok hagyományos LVR esetében és a mérési pontok a 4.14 ábra szerint voltak kialakítva.



4.13 ábra F-F és F-L légvezetési módok és mérési pontok



4.14 ábra Mérések F-F és F-L LVR rendszer (bal oldali kép) és személyi szellőző rendszer (jobb oldali kép) esetében

Az alanyok által viselt ruházat az ISO 9920:2007 szerint 0,5 clo volt:

- férfiak: alsónemű, rövid ujjú ing, vékony hosszú nadrág, zokni, cipő
- nők: alsónemű, melltartó, rövid ujjú ing, szoknya, szandál.

Az alanyok olvastak, tanultak vagy tableten dolgoztak. A tevékenységi szint az ISO 8996:2004 szerint 1,2 met (70 W/m^2) volt.

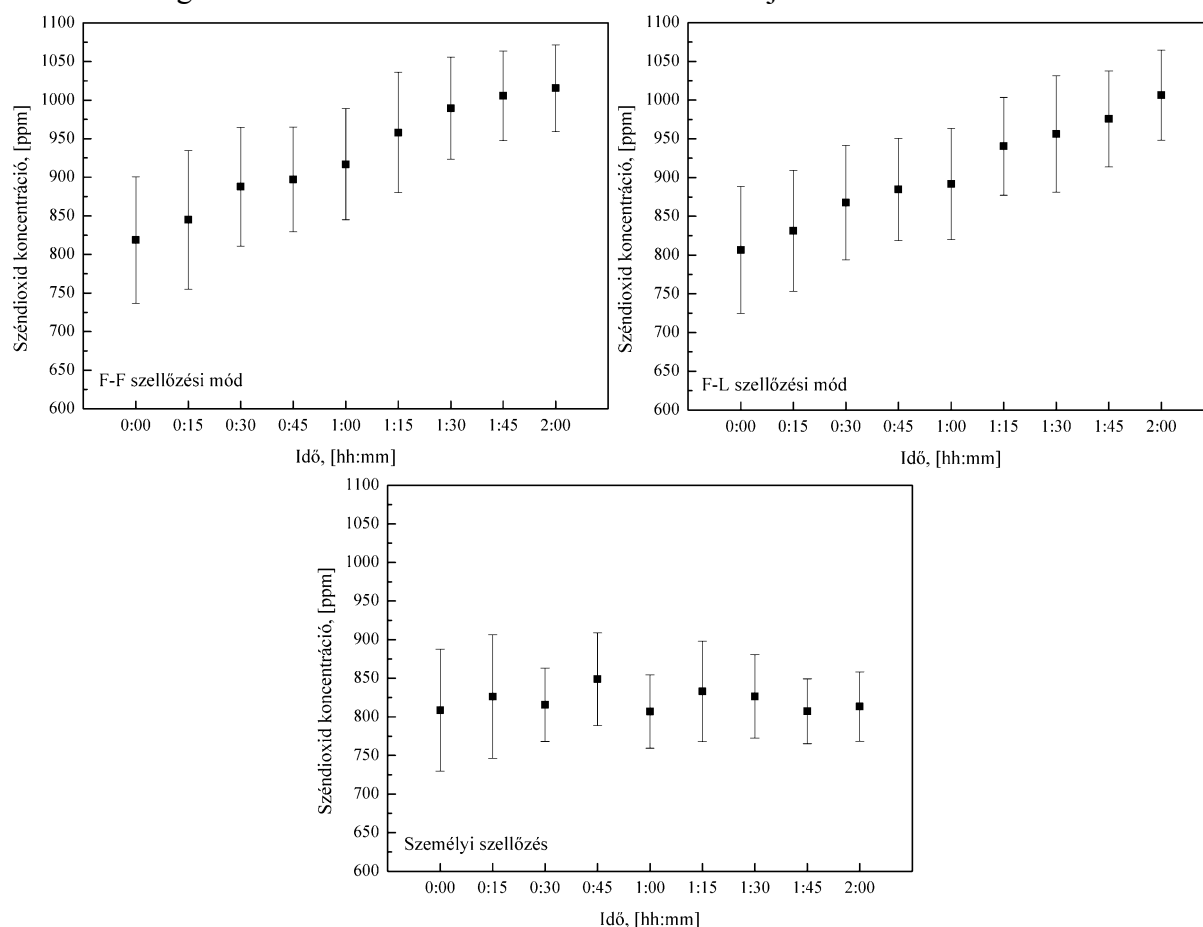
A fent befűvés-fent elszívás (F-F) és a személyi szellőzés összehasonlítását 30°C ambiens hőmérséklet mellett végeztük el, míg a fent befűvés-lent elszívás (F-L) és a személyi szellőzés összehasonlításánál 28°C -ra állítottuk be az ambiens hőmérsékletet. A beállított közepes sugárzási hőmérséklet érték ingadozott a mérés során ($-0,62^\circ\text{C}$, $+0,8^\circ\text{C}$), amit a gépészeti rendszer hőtehetetlensége, valamint a szabályozó berendezések hiszterézise okozott. A kettős hővisszanyerés miatt a léghőmérséklet ingadozása ennél kisebb volt. A mért értékek $27,6 \pm 0,2^\circ\text{C}$ intervallumban voltak. A relatív páratartalom $55\% \pm 5\%$ volt.

A hagyományos rendszereknél egy megnövelt $135 \text{ m}^3/\text{h}$ szellőző térfogatáramot alkalmaztam azzal a céllal, hogy a nagyobb légmozgás kompenzálja a magasabb ambiens hőmérsékletet. Az új váltakozó irányú szellőzési mód esetében a szellőző levegő térfogatárama $20 \text{ m}^3/\text{h}$ a váltakozó irányú személyi szellőzés esetében). A légáramirány változtatása 10 másodpercenként történt (Kalmár és Kalmár, 2009).

A megnövelt légáram ellenére a mérési pontokban F-F LVR esetében 0,1 m magasságban 0,06 m/s, 0,6 m magasságban 0,056 m/s és 1,1 m magasságban 0,074 m/s átlag légsebességet mértem. Az F-L szellőzési mód esetében 0,1 m magasságban 0,052 m/s, 0,6 m magasságban 0,042 m/s, valamint 1,1 m magasságban 0,039 m/s volt az átlag légsebesség. megjegyzendő, hogy ilyen kis légsebesség értékek esetében rendkívül nehéz a pontos mérés, hiszen a

mérőműszer pontatlansága akár nagyobb is lehet, mint maga a mért érték (Melikov et al., 2007).

A váltakozó irányú személyi szellőzés 0,1-0,4 értékekkel kisebb szubjektív hőérzeti értéket (AMV) eredményezett a fent befűtés-fent elszívás légvezetési rendszerrel szemben. 28 °C ambiens hőmérsékletnél viszont a fent befűtés-lent elszívás légvezetési rendszerrel szemben válaszok között már 0,85-1,02 az eltérés. A nagyobb eltérést elsősorban az alacsonyabb belső hőmérséklet okozhatta (természetesen a légvezetési módnak is lehetett hatása az eredményekre). A két mérés során a széndioxid koncentrációt a munkaasztal síkja felett mintegy 20 cm-re elhelyezett CO₂ mérőszondával mértük (TESTO 435). Az értékeket különböző légvezetési rendszerek mellett a 4.15 ábra mutatja be.



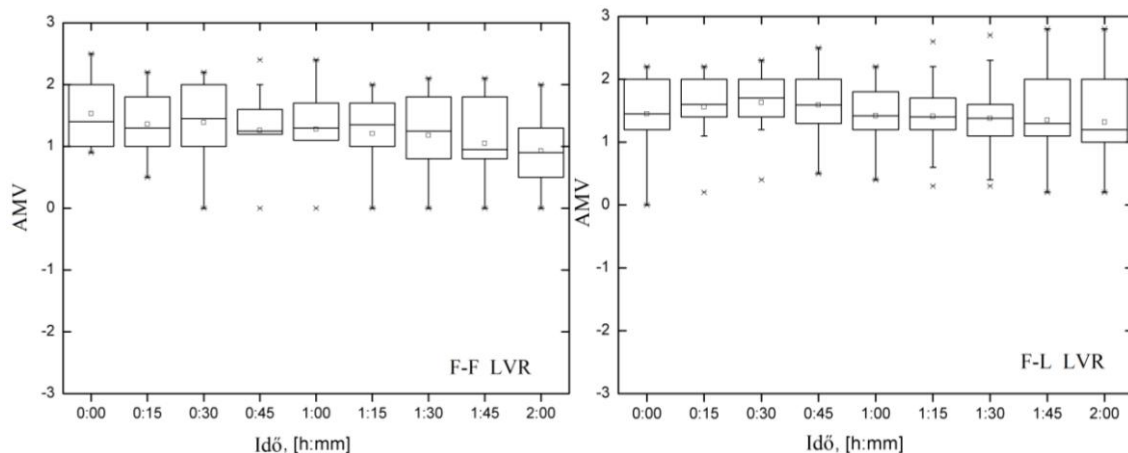
4.15 ábra Széndioxid koncentráció változása a munkakörnyezetben

4.4.3. A légáram irányának időbeli változtatása

Az egyik fontos kérdés az innovatív eljárás tekintetében az, hogy van-e bármilyen hatása a légáramirány forgatási frekvenciájának a hőérzetre. Ennek vizsgálatát először az Épületfizika laboratóriumban végeztem el és az ALTAIR berendezés első változatát alkalmaztam. A mérésekben résztvevő alanyok ugyanazok voltak, akik a korábban elvégzett 4.4.1 alfejezetben bemutatott mérésekben is részt vettek, kiegészítve megfelelő női és férfi alannyal, hogy 10 nő és 10 férfi adatai álljanak rendelkezésre (életkor: 22-25 év). Így a szubjektív hőérzeti válaszokat össze tudtam vetni a hagyományos szellőzősi móddal elvégzett mérésorozat eredményivel.

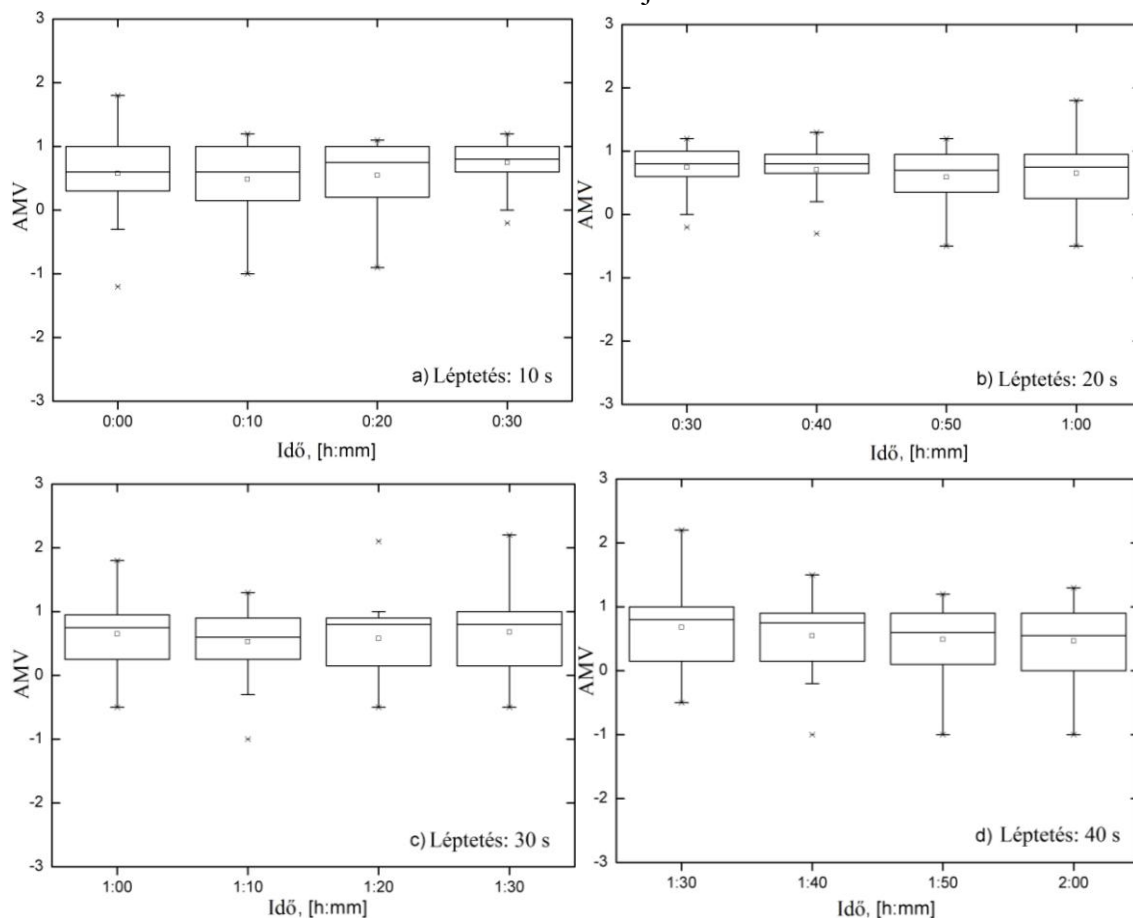
Az alanyok a 3.4.3 alfejezetben bemutatott kérdőívet töltötték ki (a hagyományos szellőzősi módok esetében 15 percenként, a személyi szellőzés esetében 10 percenként).

A két hagyományos szellőzési rendszer üzemeltetése során az egyének hőérzeti válaszait a 4.16 ábra mutatja be. Megállapítható, hogy az F-F LVR esetében a szubjektív válaszok a semleges értékeléshez (0) közelebb állnak, mint az F-L rendszer esetében.



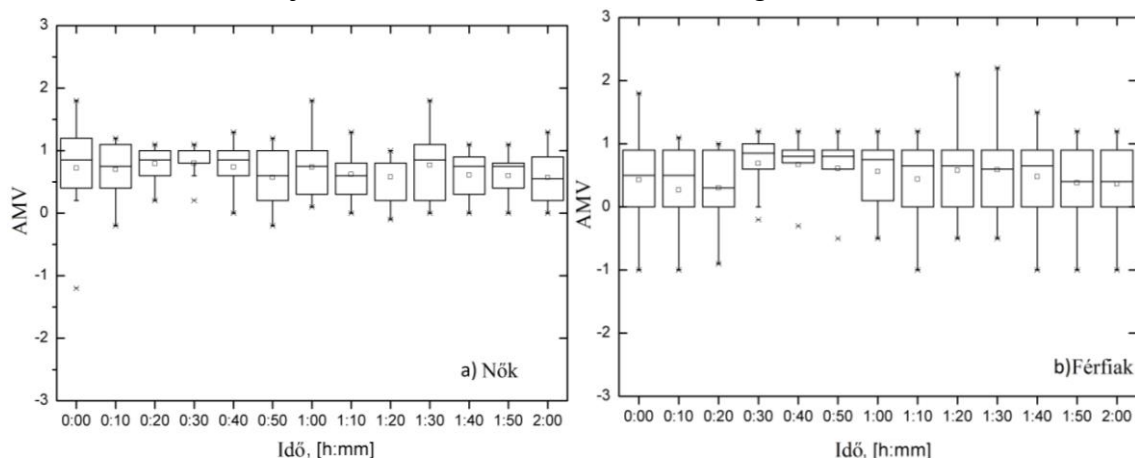
4.16 ábra Szubjektív hőérzet hagyományos LVR esetében

A személyi szellőzés esetében $20 \text{ m}^3/\text{h}$ szellőző levegő került befűtésre és mérési pontokban a következő átlag légsebesség értékek kerültek meghatározásra: 0,1 m magasságban 0,032 m/s, 0,6 m magasságban 0,052 m/s és 1,1 m magasságban 0,066 m/s átlag légsebességet mértem. Ezekre az átlagértékekre a légáramirány változásának nem volt hatása (olyan mérőeszköz, ami figyelembe veszi a légáram irányát nem állt rendelkezésre). A szubjektív hőérzetre vonatkozó válaszokat a 4.17 ábra mutatja be.



4.17 ábra Szubjektív hőérzet személyi szellőzés esetében

A 4.18 ábrában a szubjektív hőérzet válaszait nemekre megbontva is bemutatom.



4.18 ábra Hőérzeti válaszok (nők és férfiak)

A válaszok átlagértékeit, a szórást, valamint az átlagérték hibáját (SEM) a 4.3 táblázat mutatja be.

4.3 táblázat A hőérzeti válaszok statisztikai adatai

Csoport_mérés	Adatok száma	Átlagérték	Szórás	SEM
Nők_10s	40	0,59	0,39	0,07
Nők_20s	40	0,66	0,44	0,08
Nők_30s	40	0,68	0,44	0,08
Nők_40s	40	0,75	0,48	0,08
Nők_F-F	90	1,15	0,63	0,06
Nők_F-L	90	1,36	0,65	0,07
Férfiak_10s	40	0,41	0,67	0,12
Férfiak_20s	40	0,54	0,71	0,13
Férfiak_30s	40	0,61	0,51	0,09
Férfiak_40s	40	0,42	0,66	0,10
Férfiak_F-F	90	1,34	0,69	0,07
Férfiak_F-L	90	1,55	0,63	0,07

A 0,066 m/s átlagsebességet és a teszhelyiségben biztosított egyéb környezeti paramétereket figyelembe véve a számított hőérzeti érték PMV=0,95. A szignifikancia vizsgálatot az egyes csoportok válaszai között ANOVA módszerrel végeztem el. A statisztikai vizsgálat eredményeit a 4.4 táblázat tartalmazza.

4.4 táblázat Szignifikancia vizsgálat eredménye

Csoportok_mérések	MD	q érték	Prob	LCL	UCL
Nők_20s - Nők_10s	0,06	0,61	0,99	-0,36	0,48
Nők_30s - Nők_10s	0,09	0,87	0,99	-0,33	0,51
Nők_30s - Nők_20s	0,03	0,25	0,99	-0,39	0,44
Nők_40s - Nők_10s	0,16	1,64	0,85	-0,23	0,55
Nők_40s - Nők_20s	0,09	0,99	0,98	-0,30	0,49
Nők_40s - Nők_30s	0,07	0,71	0,99	-0,32	0,46

Nők_C-C - Nők_10s*	0,55	6,56	7,62E-05	0,21	0,89
Nők_C-C - Nők_20s*	0,49	5,81	7,23E-04	0,15	0,83
Nők_C-C - Nők_30s*	0,46	5,49	0,002	0,12	0,81
Nők_C-C - Nők_40s*	0,39	5,19	0,004	0,086	0,70
Nők_C-F - Nők_10s*	0,77	9,09	1,33E-08	0,43	1,11
Nők_C-F - Nők_20s*	0,7	8,35	1,37E-07	0,36	1,05
Nők_C-F - Nők_30s*	0,68	8,03	4,66E-07	0,34	1,02
Nők_C-F - Nők_40s*	0,61	8,00	5,20E-07	0,30	0,92
Nők_C-F - Nők_C-C	0,21	3,59	0,11671	-0,028	0,46
Férfiak_20s - Férfiak_10s	0,13	1,088	0,97245	-0,35	0,61
Férfiak_30s - Férfiak_10s	0,21	1,73	0,82538	-0,28	0,69
Férfiak_30s - Férfiak_20s	0,07	0,64	0,99757	-0,41	0,56
Férfiak_40s - Férfiak_10s	0,01	0,14	1	-0,44	0,47
Férfiak_40s - Férfiak_20s	-0,11	1,02	0,97913	-0,57	0,34
Férfiak_40s - Férfiak_30	-0,19	1,71	0,83314	-0,64	0,26
Férfiak_C-C - Férfiak_10s*	0,93	9,55	6,27E-09	0,54	1,33
Férfiak_C-C - Férfiak_20s*	0,80	8,22	2,24E-07	0,41	1,20
Férfiak_C-C - Férfiak_30s*	0,72	7,43	4,06E-06	0,33	1,12
Férfiak_C-C - Férfiak_40s*	0,91	10,42	3,69E-09	0,56	1,27
Férfiak_C-F - Férfiak_10s*	1,14	11,73	1,55E-09	0,75	1,54
Férfiak_C-F - Férfiak_20s*	1,01	10,40	3,73E-09	0,62	1,41
Férfiak_C-F - Férfiak_30s*	0,94	9,61	5,93E-09	0,54	1,33
Férfiak_C-F - Férfiak_40s*	1,13	12,83	0	0,77	1,48
Férfiak_C-F - Férfiak_C-C	0,21	3,08	0,25	-0,067	0,49
Férfiak_20s - Férfiak_10s	0,13	1,11	0,86	-0,30	0,56
Férfiak_30s - Férfiak_10s	0,21	1,76	0,60	-0,22	0,64
Férfiak_30s - Férfiak_20s	0,077	0,65	0,97	-0,35	0,51
Férfiak_40s - Férfiak_10s	0,016	0,14	1,00	-0,39	0,42
Férfiak_40s - Férfiak_20s	-0,11	1,04	0,88	-0,52	0,29
Férfiak_40s - Férfiak_30s	-0,19	1,74	0,61	-0,59	0,21
Nők_20s - Nők_10s	0,06	0,78	0,94	-0,23	0,36
Nők_30s - Nők_10s	0,09	1,11	0,86	-0,21	0,39
Nők_30s - Nők_20s	0,027	0,33	0,99	-0,27	0,32
Nők_40s - Nők_10s	0,16	2,1	0,45	-0,12	0,44
Nők_40s - Nők_20s	0,096	1,26	0,81	-0,18	0,37
Nők_40s - Nők_30s	0,069	0,91	0,92	-0,21	0,35
Férfiak_10s - Nők_10s	-0,18	1,87	0,19	-0,47	0,096
Férfiak_20s - Nők_20s	-0,12	1,11	0,43	-0,42	0,18
Férfiak_30s - Nők_30s	-0,07	0,81	0,57	-0,31	0,17
Férfiak_40s - Nők_40s*	-0,33	3,61	0,01	-0,59	-0,073

A táblázatban alkalmazott jelölések:

MD – átlagértékek különbsége;

q érték– a standard eloszlás kritikus értéke

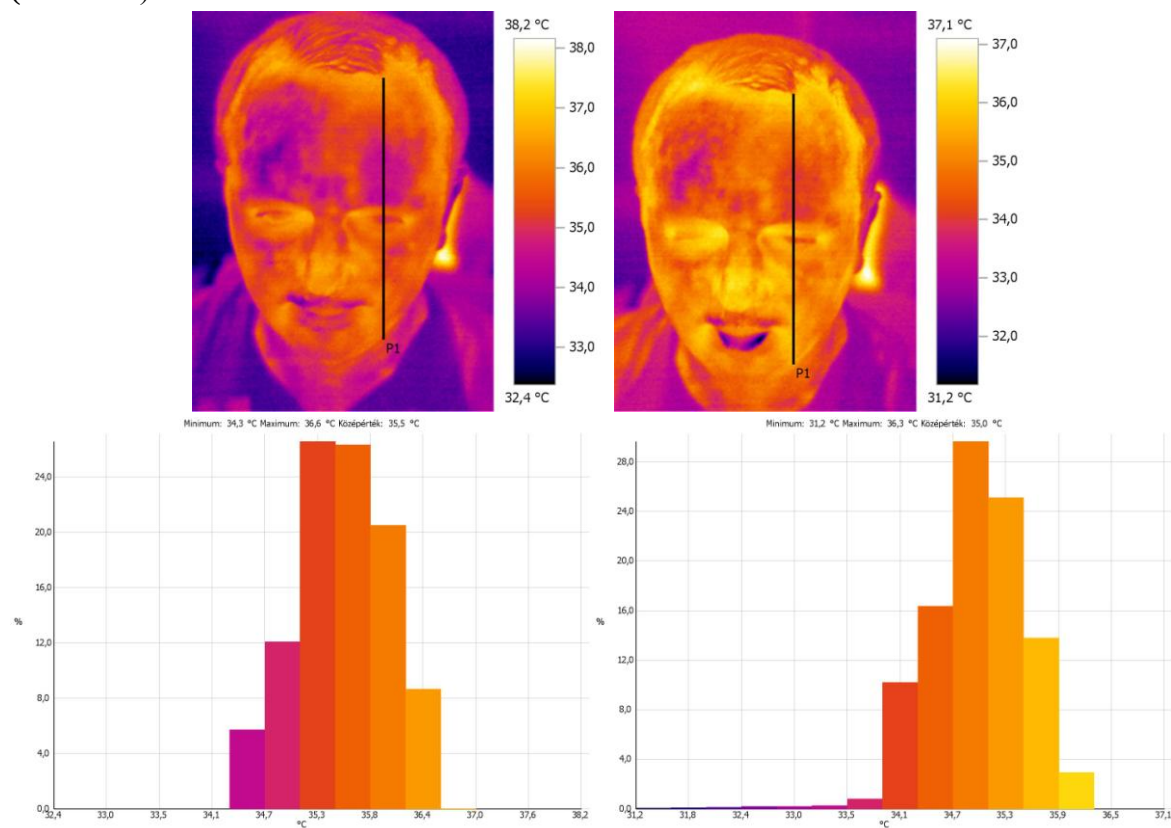
Prob – szignifikancia szint (ha az érték kisebb, mint 0,05, a vizsgált értékek között szignifikáns a különbség)

LCL – alsó konfidencia határ

UCL – felső konfidencia határ

A csoportok válaszai között a (*)-al jelölt esetekben szignifikáns különbség van.

A mérések során hőfényképeket készítettem az alanyok arcáról abban az esetben is, mikor az arcot közvetlenül érte a légáram és abban az esetben is, mikor az arcot nem érte a légáram. (4.19 ábra)



4.19 ábra Hőképek és hőmérséklet hisztogramok (az arc bal oldalát nem éri a légsugár – bal oldali képek, az arc bal oldalát éri a légsugár – jobb oldali képek)

A mért környezeti paraméterek bizonytalanságának a meghatározásához az A típusú, valamint a B típusú bizonytalanságokat is meghatároztam, majd ezek alapján az eredő bizonytalanság is kiszámításra került (Bell, 2001). A számítások során $k=2$ szorzófaktor alkalmaztam, ami 95% konfidenciaszinthez tartozik. A mért értékek bizonytalanságát a 4.5 táblázat tartalmazza.

4.5 táblázat Mért értékek bizonytalansága

Mért környezeti paraméter	Standard bizonytalanság		Eredő bizonytalanság
	A típus	B típus	
Légsebesség, [m/s]	0.0014	0.016	± 0.032
Léghőmérséklet, [°C]	0.023	0.2	± 0.40
Közepes sugárzási hőmérséklet, [°C]	0.04	0.5	± 1.00
Térfogatáram (F-F és F-L LVR), [m ³ /h]	0.39	1.8	± 3.7
Térfogatáram ALAIR, [m ³ /h]	0.20	0.31	± 0.74

A mérések alapján megállapítottam, hogy 28 °C ambiens hőmérsékletű térben, összehasonlításban a hagyományos légvezetési rendszerekkel (F-F, F-L), az új személyi szellőzősi móddal szignifikánsan kisebb úgy a nők, mint a férfiak szubjektív hőérzete. A légsugár irányának változása viszont nem okoz egy adott csoporton belül szignifikánsan eltérő szubjektív válaszokat. Hőkamerás felvételek alapján kimutattam, hogy az ALTAIR rendszer alkalmazása esetében az arc bőrhőmérséklete akár 0,5 °C-al is ingadozhat. Ez a hőmérséklet ingadozás megakadályozza az adaptációt és ezzel hozzájárul ahhoz, hogy a meleg környezetet hidegebbnek értékeljék.

4.4.4 Az ALTAIR továbbfejlesztett változata

Az eljárás hatékonysága igazolást nyert, azonban a berendezést a gyakorlatban is alkalmazhatóvá kellett tenni. Iránymutatásaim szerint az ALTAIR berendezés megépítését az *Energotest Kft.* vállalta. Az Energotest Kft. részéről a munkát Loósz Gyula koordinálta.

Találmányunk alapötlete az a felismerés volt tehát, hogy az ember az állandó mikroklíma paraméterek esetében megszokja a környezetet és máshogy értékeli azt, mint egy folyamatosan változó mikroklímát. Ennek megfelelően kellett kialakítani az új munkaasztalt és a személyi szellőző berendezést. A használhatóság miatt, a munkaasztal csatlakoztatható kell legyen bármilyen légtechnikai rendszerre egyszerű leágazással. A munkaasztal rendelkezik egy érintőképernyős vezérlőegységgel, melynek segítségével a felhasználó magának beállíthatja az általa optimálisnak ítélt térfogatáramot, illetve a befűvási irány változási idejét (ezzel egyéni mikroklímát alakít ki maga körül).

A klímakamrában végzett mérések bizonyították, hogy a hagyományos szellőzősi rendszerekhez viszonyítva az emberek a dinamikus változó befűvási irányok esetében a környezetet hidegebbnek értékelték. Ez azt is feltételezi, hogy nyári viszonyok mellett, mikor a megfelelő hőérzeti viszonyok biztosításához a klimatizálás elengedhetetlen, a berendezés további energiamegtakarítást eredményez azáltal, hogy a befűjt levegőt kevésbé kell lehűteni, mint a hagyományos rendszereknél.

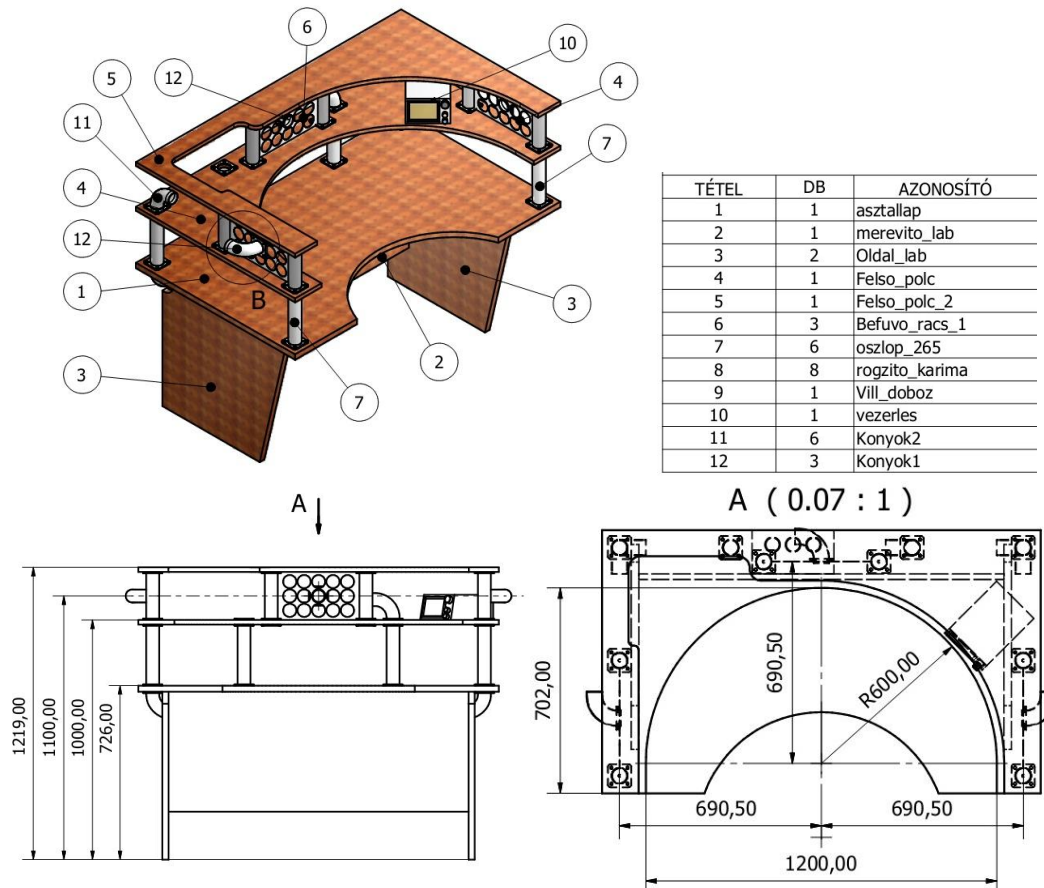
A berendezés kialakításánál a műszaki paraméterek mellett elsődleges szempont volt a megfelelő, belső környezetbe befogadható megjelenés. Ezért olyan anyagokat és kialakítást választottunk, amelyek irodai, oktatási (általában rögzített munkahelyet feltételező) környezetben járatosak és elfogadottak. A kialakított asztal felületében, magasságában, az elhelyezhető eszközök méretében hasonló adottságokkal rendelkezik, mint egy általános íróasztal. A beépített gépészet és elektronika nem zavarja fizikai korlátokkal a végezendő munkát. A légtechnika alkalmas külső levegőforrás fogadására. A rendszeren belüli légtechnikát autonóm vezérlőegység szolgálja ki, amely gondoskodik a befűvő nyílások váltásáról, a légsebesség beállításáról, a kommunikációról és a kezelői felület működtetéséről.

Az asztal kialakítása:

Az asztal munkalapja 1200x700 mm-es munkateret biztosít (4.20 ábra). Mivel a személy pozícióját nehéz optimális helyen tartani ezért a munkalap körvonalában íves bemélyedést alakítottunk ki. Így a kezelő kényelmes távolságban tud elhelyezkedni a munkalaptól, automatikusan középre kerül és optimális pozíciót foglal el a befűvási pontoktól.

Az asztal a munkalapra felépített két további szinttel rendelkezik. Ezek magassága a kívánt befűvási magasság szempontja szerint 1000 illetve 1200 mm. A két szintet perforált lemez köti össze, amely egyben pozícióban tartja a légtechnika befűvási pontjait. A perforált lemezen mind magasságban (1050 – 1100 – 1150) mind vízszintes pozícióban a befűvő

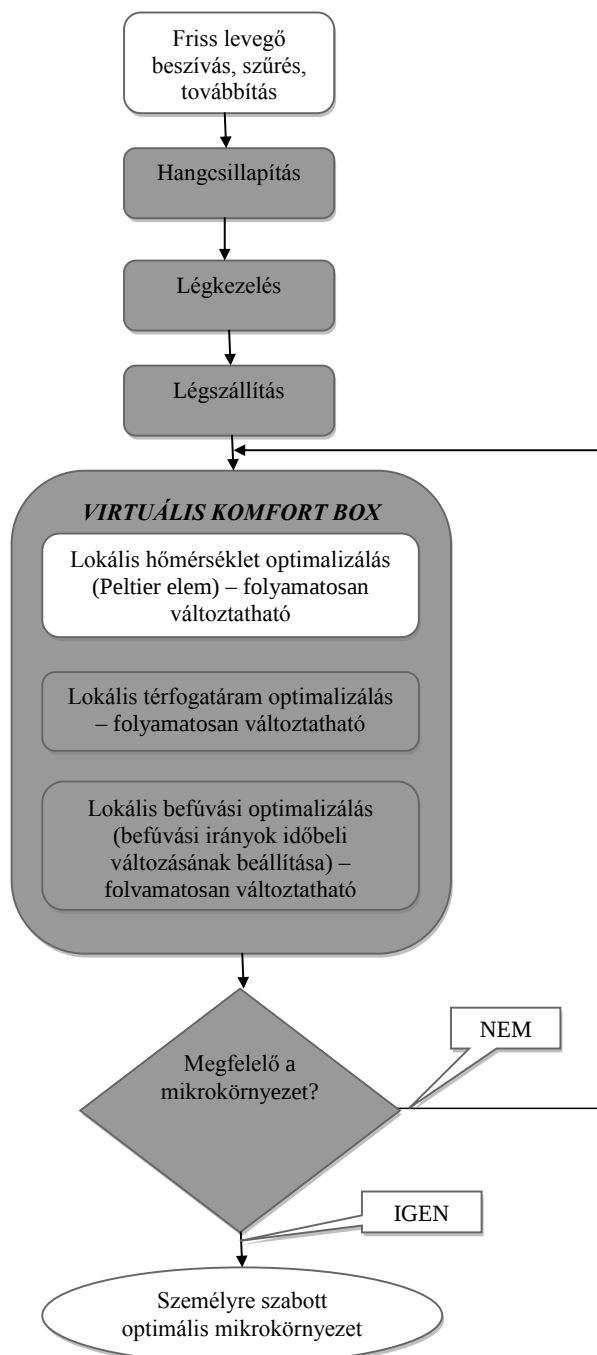
könyök elmozdítható. A könyök kilépő átmérője 50 mm. Rögzítése a perforált lemezre tapadó neodímium mágnesekkel történik. Ezek rezgésmentes, stabil megfogást adnak. A könyökről az asztallapokon áthaladó csővezetéshez flexibilis csövek lettek beépítve. Az asztallapokon áthaladó csövek egyben a szintek stabil pozícióját is biztosítják. Továbbá ezek az áthaladó csövek szintén flexibilis csövekkel vannak összekötve a szabályozó és légelosztó dobozzal.



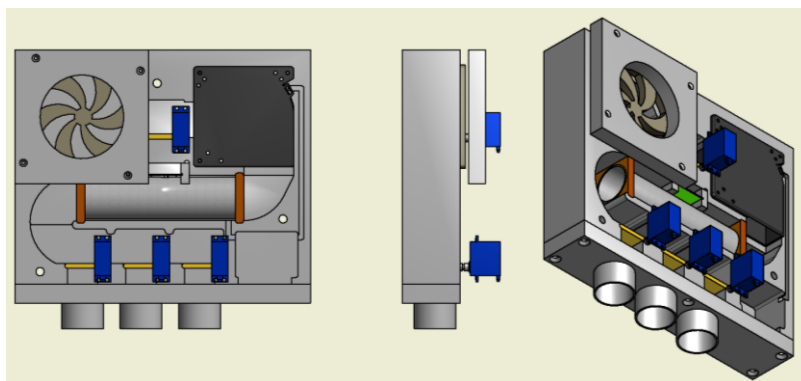
4.20 Ábra ALTAIR munkaasztal és személyi szellőző berendezés elemei és méretei
(iránymutatásaim alapján készítette: Loósz Gyula, megépítésre került az Energotest Kft-nél)

A rendszer és berendezés tervezett folyamatábrája a 4.21 ábrában látható. A fejlesztés jelenlegi fázisában a berendezésbe még nem került beépítésre a *Peltier* elem, így az ALTAIR berendezéssel keringtetett levegő paraméterei azonosak a helyiség vagy a helyiségbe bejutatott szellőző levegő paramétereivel (Az ALTAIR berendezést a jövőben továbbfejlesztjük. A keringtetett légáramot két részre bontjuk: egyik része lábmagasságban, másik része továbbra is fejmagasságban kerül befűvásra. A Peltier elemmel a lábmagasságban befűjt légáram hőmérsékletét megemeljük).

A légelosztó dobozban kapott helyet a ventilátor és a befűvési pontok váltását végző szeleprendszer (4.22 ábra). A lapok és a csövek fém karimákkal vannak egymáshoz rögzítve. Ezek sérülés nélkül szétszerelhetők a későbbiekben. A berendezés építőelemeire szedhető és egy ember által normál ajtónyíláson is szállítható.



4.21 ábra A rendszer és berendezés folyamatábrája



4.22 ábra Az ALTAIR berendezés légelosztó berendezése

A megépített berendezés a 4.23 ábrában látható.



4.23 ábra ALTAIR munkaasztal és személyi szellőző berendezés (iránymutatásaim alapján megépítésre került az Energotest Kft-nél)

5. A VÁLTAKOZÓ IRÁNYÚ LÉGSUGÁR HŐÉRZETI HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA MELEG KÖRNYEZETBEN ÉLETKOR ÉS NEM SZERINT

5.1 Bevezetés

A Loughborough Egyetem hőérzeti laboratóriumában végzett vizsgálatok alapján Parsons (2002) bebizonyította, hogy hideg környezetben a bőrhőmérséklet nők esetében alacsonyabb, mint a férfiak esetében. A metabolikus hőtermelés eltérő a férfiak és a nők esetében és hatással van a termikus környezet hőérzeti értékelésére is. Havenith et al. (2002) tárgyalták a metabolikus hőtermelés hatását a hőérzetre és eredményeik jól korreláltak Indraganti és Rao (2010) vizsgálataival és következtetéseivel. Utóbbi kutatásban ugyanis bebizonyosodott, hogy a forró környezetet a nők és az idősek könnyebben tolerálják és a környezetet hőérzeti szempontból jobbnak értékelik a férfiaknál. Choi et al. (2010) egy mérésorozatot végzett annak érdekében, hogy felmérjék irodaépületekben a hőérzettel kapcsolatos elégedettséget. A felmérések egyik eredménye szerint a nők elégedetlenebbek a termikus környezettel nyáron, mint a férfiak. Első pillantásra a megállapításuk ellentmond az előzőekben bemutatott eredményeknek. A cikkből kiderül azonban, hogy 22,79 °C és a 23,7 °C léghőmérsékletű terekben végezték a felméréseket. Ezek a hőmérsékletek viszont nyári időszakban alacsonynak tekinthetők az érvényben lévő szabványok szerint is.

Az ALTAIR berendezéssel végzett korábbi mérések bizonyították, hogy a hagyományos légvezetési rendszerekkel szemben többlet hűtőhatást érhetünk el. Már az első szerkezeti verzióval végzett mérések alapján is látható volt, hogy a váltakozó irányú légáram hatását hőérzeti szempontból a nők és a férfiak eltérően értékelik. Felmerült a kérdés, hogy ez az eltérés szignifikáns-e? Az emberek 25 év körül kezdik el az aktív munkát és 65 év körüli a nyugdíjkorhatár. Felmerült tehát a kérdés, hogy a belépő és a kilépő életkorban lévő emberek hőérzeti értékelése között van-e szignifikáns különbség? A kérdések megválaszolása érdekében 20 idős és 20 fiatal (mindkét esetben 10 férfi és 10 nő) alany bevonásával meleg környezetben méréseket végeztem és az ALTAIR berendezés hőérzetre kifejtett hatásait vizsgáltam. A méréseket a BKM laboratóriumban végeztem, klímakamrában kontrollált környezeti körülmények között. A szignifikancia vizsgálatokat ANOVA módszerrel végeztem.

5.2 Hipotézis

Parsons (2002) eredményei, illetve a meleg környezetben végzett vizsgálataim alapján arra következtettem, hogy a nők bőrhőmérséklete meleg környezetben is alacsonyabb lehet, mint a férfiak bőrhőmérséklete. A szakirodalom és a korábbi méréseim alapján azt feltételeztem, hogy a nők jobban elfogadják a meleg környezetet, mint a férfiak. További feltételezés az volt, hogy az ALTAIR berendezés alkalmazásával a szubjektív hőérzetre vonatkozó értékek csökkennek (javul az alanyok hőérzete). Arra számítottam továbbá, hogy a légáramirány változtatási idejének csökkentésével a hűtőhatás növekszik és ez által, főleg a nők csoportjaiban a huzattal elégedetlenek száma növekszik.

5.3 Mérések

5.3.1 Teszthelyiség és mérési procedúra

A BKM laboratórium teszthelyiségében a környezeti paraméterek minden szempontból azonos módon lettek beállítva, mint a fiziológiai adaptáció vizsgálatánál (3.4.1 alfejezet). Az alany a teszthelyiség középpontjában kapott helyet és a mérések során állandó hőmérsékletű ($30\text{ }^{\circ}\text{C}$) és térfogatáramú külső szellőző levegőt juttattam a helyiségbe ($50\text{ m}^3/\text{h}$) elárasztásos légvezetési móddal. A méréseket két órás időtartamra terveztem és ennek megfelelően elvégeztem egy alany nélküli mérést is, amikor az alanyok tartózkodási helyén egy TESTO 480 mérőműszert helyeztem el $1,1\text{ m}$ magasságban (5.1 ábra). A mérések alapján a számított PMV érték ebben az esetben is $1,44$ volt.



5.1 ábra Mérések előkészítése

Több befűvőelem típus füstöléses tesztelése után (5.2 ábra) egy perforált műanyagból készült $D=75\text{ mm}$ átmérővel rendelkező elem került alkalmazásra.



5.2 ábra Befűvőelemek füstöléses tesztelése

Ebben a méréssorozatban az ALTAIR berendezést nem kapcsoltam a szellőző friss levegő légcsatornára, így a szerepe mindössze a belső levegő keringtetése volt az alanyok feje körül. A berendezést úgy állítottam be, hogy a keringtetett levegő térfogatárama ebben az esetben is $20\text{ m}^3/\text{h}$ legyen. A térfogatot KIMO AMI 300 műszerrel és K75 légáram tölcserrel mértem. A

távolság a befúvó elemek és az alanyok feje között 0,6 m, így légsebesség az alanyok feje körül így 0,48 m/s értékre adódott. Különböző légáramirány változási idők mellett, eltérő turbulenciák alakultak ki a mérési pontban, azonban ezek az eltérések nem jelentősek: 10 s léptetési idő mellett, $Tu_{10}=20,6\%$; 20 s léptetési idő mellett, $Tu_{20}=19,1\%$ és 30 s léptetési idő mellett, $Tu_{30}=18,8\%$. Változó irányú szellőzés mellett a TESTO 480 műszer által számított PMV érték 0,84 volt. Erre az értékre nem volt hatással a légáramirány változás léptetési idejének. Igaz, hogy a műszer nem rendelkezik olyan légsebesség mérővel, amelyik figyelembe venné a légáram irányának a változását.

A méréssorozatot 2015 nyarán végeztem el. Hasonlóképpen az adaptációs mérésekkel, ebben az esetben is az alanyok 30 perccel a mérés előtt érkeztek a helyszínre és ez alatt a 30 perc alatt az antropometriai adatok, valamint az általános kérdéseket tartalmazó kérdőívek kerültek kitöltésre (preferált hőmérséklet nyári időszakban, dohányzás, érzékenység a huzatra). Ismertetésre kerültek továbbá a mérés alatt kitöltendő kérdőívek kérdései.

A kétórás mérések során az első 30 percben csak az elárasztásos szellőzés működött, majd bekapcsolásra került az ALTAIR berendezés. Az első 30 percben a légáramirány változásának léptetési ideje 30 s volt, a következő 30 percben 20 s, végül pedig 10 s. A mérések alatt helyváltoztatás, ruházat változtatás nem volt engedélyezve. A magas hőmérséklet miatt az alanyok igény esetén vizet kaphattak. A ruházat és a tevékenység hasonlóképpen mint az adaptációs mérések esetében az ISO 9920:2007 szerint 0,5 clo volt:

- férfiak: alsónemű, rövid ujjú ing, vékony hosszú nadrág, zokni, cipő
- nők: alsónemű, melltartó, rövid ujjú ing, szoknya, szandál.

Az alanyok olvastak, tanultak vagy tableten dolgoztak. A tevékenységi szint az ISO 8996:2004 szerint 1,2 met (70 W/m^2) volt.

A mérés során 10 percenként az alanyok a 3.4.3 alfejezetben bemutatott kérdőív kérdéseire válaszoltak (ugyanazok a kérdések, mint az adaptációs vizsgálatnál).

Az egyes mérések között a teszthelyiséget intenzíven átszellőztettem ($500 \text{ m}^3/\text{h}$), majd ismét beállításra kerültek a tervezett környezeti paraméterek.

5.3.2 Alanyok

A mérésekben 20 fiatal és 20 idős korosztályhoz tartozó személy (mindkét esetben 10 nő és 10 férfi) bevonásával végeztem el. A csoportok létszáma megfelel a hőérzeti vizsgálatok elvárásainak (Wyon és Bánhidi, 2003; Lan és Lian, 2010). Az alanyok antropometriai adatait az 5.1 táblázat tartalmazza.

5.1 Táblázat Az alanyok antropometriai adatai

Nem	Korosztály	Adat	Életkor, [év]	Súly, [kg]	Magasság, [cm]	F_{Du} , [m^2]
Nők	Fiatal	Átlag	25.5	61.9	166.1	1.687
		Szórás	5.4	13.1	7.3	0.257
	Idős	Átlag	59.1	70.9	161.2	1.749
		Szórás	3.0	10.9	4.6	0.110
Férfiak	Fiatal	Átlag	22.2	85.4	181.9	2.068
		Szórás	2.7	12.7	5.5	0.121
	Idős	Átlag	55.2	91.8	181.4	2.121
		Szórás	3.6	24.3	3.9	0.177

A mérések előtti általános kérdéssor egyik célja a preferált nyári belső hőmérséklet, valamint a huzatérzékenység felmérése volt. A válaszok az 5.2 táblázatban kerülnek bemutatásra.

5.2 Táblázat Huzatérzékenység és preferált nyári belső hőmérséklet

Nem	Korosztály	Huzatérzékenység, [%]	Dohányzik, [%]	Preferált hőmérséklet [°C]	
				Átlag	Szórás
Nők	Fiatal	60	30	25.5	1.72
	Idős	60	20	24.5	1.51
Férfiak	Fiatal	20	20	24.2	2.04
	Idős	40	10	23.8	1.48

Megállapítható, hogy, a várakozásnak megfelelően, a nők csoportjai magasabb preferált hőmérsékletet jelöltek meg, mint a férfiak, illetve a nők csoportjaiban a huzatérzékenység nagyobb, mint a férfiaknál. Ez arra utal, hogy a mérések során vélhetően a férfiak nehezebben tolerálják majd a meleg környezetet, viszont az ALTAIR berendezéssel bizonyos javulás várható. Ugyanakkor a nők esetében várható, hogy az ALTAIR berendezés működése során többen panaszkodnak majd a huzatra, mint a férfiak csoportjaiban.

A mérések kezdetén és végén mindegyik alany esetében megmértem és rögzítettem a vérnyomást. Ennek a mérésnek az volt a célja, hogy megvizsgáljam van-e hatása valamely csoport esetében a vérnyomásra a két órás tartózkodásnak a magas ambiens hőmérsékletű térben. Az átlagértékeket és a szórást az 5.3 táblázat mutatja be.

5.3 Táblázat Vérnyomás értékek a mérés kezdetén és végén

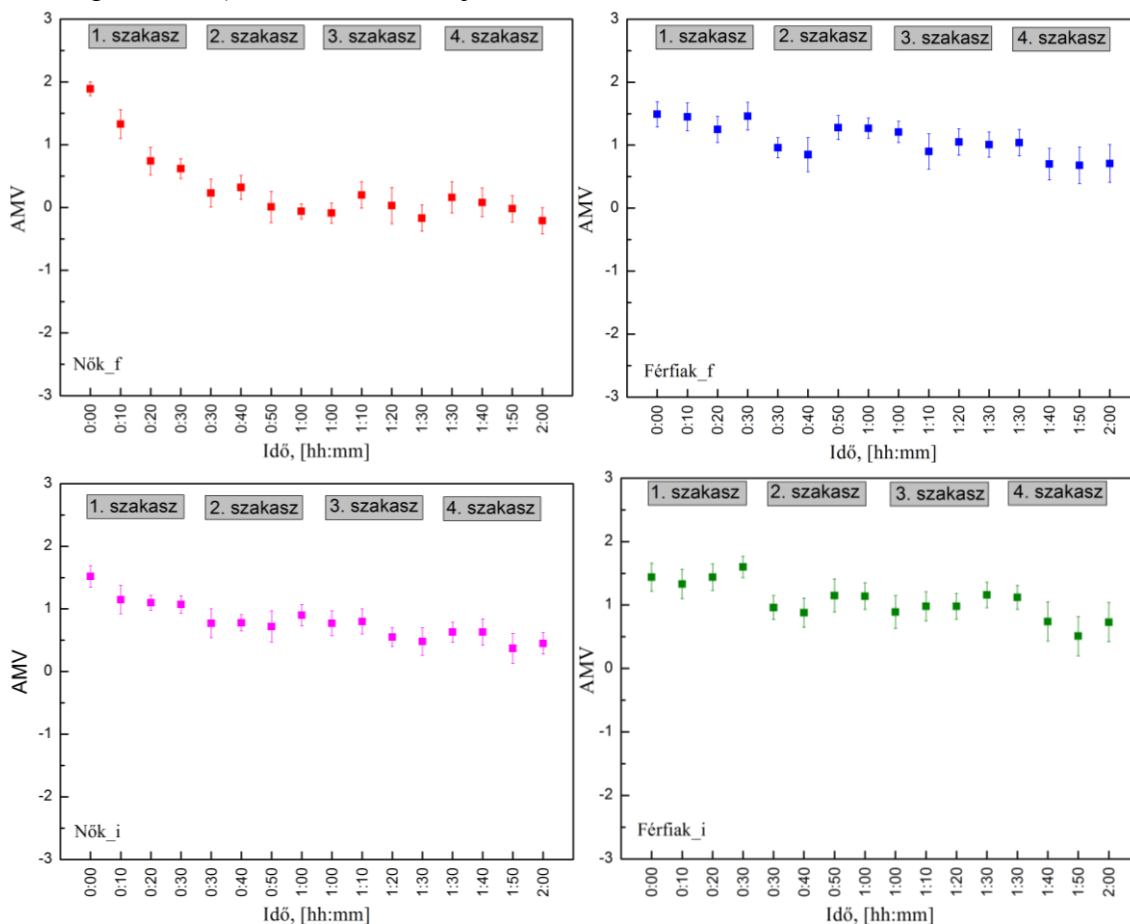
Nem	Korosztály	Mérés kezdete		Mérés vége	
		Átlag	Szórás	Átlag	Szórás
Nők	Fiatal	119/79	10/6	117/77	9/5
	Idős	130/84	20/12	129/85	20/14
Férfiak	Fiatal	131/79	16/9	127/74	15/11
	Idős	146/90	11/11	145/90	9/8

Látható, hogy egyes csoportok esetében nincs szignifikáns különbség a mérés kezdetén és végén rögzített vérnyomás értékek között, ugyanakkor mindenképpen figyelemre méltó az átlagértékek közötti különbség korcsoportokként. A legalacsonyabb értékeket a fiatal nők csoportjánál mértem, míg a legnagyobb értékek az idős férfiak csoportjánál kerültek rögzítésre. Az idős nők és a fiatal férfiak csoportjainál a vérnyomás átlagértékei csaknem azonosak. Az értékek alapján a mérések alapján azt vártam, hogy az idős férfiak fogadják el legkevésbé a magas ambiens hőmérsékletű teret, a fiatal nők csoportja esetében pedig a legjobb hőérzeti értékelést kapom. Ugyanakkor, az ALTAIR működése során várható volt, hogy a fiatal nők körében nagy lesz a huzatra panaszkodók aránya.

5.4 Mérési eredmények

5.4.1 Szubjektív hőérzet

A hőérzetre vonatkozó válaszok átlagértékeit valamint az átlagértékek hibáit (SEM) célcsoportonként, az ALTAIR különböző működési módjai mellett (kikapcsolva, 30 s, 20 s, 10 s léptetési idő) az 5.3 ábra mutatja be.



5.3 ábra A szubjektív hőérzet kor és nem szerint

A szignifikancia vizsgálatot ANOVA módszerrel végeztem el $p=0,05$ szignifikancia szint mellett. A vizsgálat eredményeit az 5.4 táblázat tartalmazza.

5.4 Táblázat Szignifikancia vizsgálat eredményei a szubjektív hőérzet esetében

Csoportok	MD	q érték	Prob	Szig
Nők_f_10 s – Nők_f_nincs ALTAIR	-1,14	10,370	9,82483E-9	1
Nők_f_10 s – Nők_f_20 s	0,01	0,090	1	0
Nők_f_10 s – Nők_f_30 s	-0,12	1,111	0,99999	0
Nők_f_20 s – Nők_f_nincs ALTAIR	-1,15	10,460	9,57628E-9	1
Nők_f_20 s – Nők_f_30 s	-0,13	1,202	0,99997	0
Nők_f_30 s – Nők_f_nincs ALTAIR	-1,02	9,258	2,72668E-8	1
Nők_i_10 s – Nők_i_nincs ALTAIR	-0,69	6,262	0,00121	1
Nők_i_10 s – Nők_i_20 s	-0,13	1,179	0,99998	0
Nők_i_10 s – Nők_i_30 s	-0,27	2,473	0,93269	0
Nők_i_20 s – Nők_i_nincs ALTAIR	-0,56	5,082	0,03036	1
Nők_i_20 s – Nők_i_30 s	-0,14	1,293	0,99993	0

Nők_i_30 s – Nők_i_nincs ALTAIR	-0,41	3,789	0,34615	0
Férfiak_f_10 s – Férfiak_f_nincs ALTAIR	-0,63	5,718	0,00593	1
Férfiak_f_10 s – Férfiak_f_20 s	-0,26	2,359	0,95412	0
Férfiak_f_10 s – Férfiak_f_30 s	-0,30	2,791	0,83903	0
Férfiak_f_20 s – Férfiak_f_nincs ALTAIR	-0,37	3,358	0,56751	0
Férfiak_f_20 s – Férfiak_f_30 s	-0,04	0,431	1	0
Férfiak_f_30 s – Férfiak_f_nincs ALTAIR	-0,32	2,927	0,78367	0
Férfiak_i_10 s – Férfiak_i_nincs ALTAIR	-0,67	6,149	0,00171	1
Férfiak_i_10 s – Férfiak_i_20 s	-0,22	2,064	0,98636	0
Férfiak_i_10 s – Férfiak_i_30 s	-0,25	2,337	0,95772	0
Férfiak_i_20 s – Férfiak_i_nincs ALTAIR	-0,45	4,084	0,22391	0
Férfiak_i_20 s – Férfiak_i_30 s	-0,03	0,272	1	0
Férfiak_i_30 s – Férfiak_i_nincs ALTAIR	-0,42	3,812	0,33566	0
Nők_i_nincs ALTAIR – Nők_f_nincs ALTAIR	0,06	0,589	1	0
Nők_i_10 s – Nők_f_10 s	0,51	4,697	0,07182	0
Nők_i_20 s – Nők_f_20 s	0,65	5,967	0,00292	1
Nők_i_30 s – Nők_f_30 s	0,66	6,058	0,00224	1
Férfiak_i_nincs ALTAIR – Nők_f_nincs ALTAIR	0,30	2,791	0,83903	0
Férfiak_i_nincs ALTAIR – Nők_i_nincs ALTAIR	0,24	2,201	0,9751	0
Férfiak_i_nincs ALTAIR – Férfiak_f_nincs ALTAIR	0,04	0,363	1	0
Férfiak_i_10 s – Nők_f_10 s	0,77	7,0117	1,05192E-4	1
Férfiak_i_10 s – Nők_i_10 s	0,25	2,314	0,96111	0
Férfiak_i_10 s – Férfiak_f_10 s	-0,007	0,068	1	0
Férfiak_i_20 s – Nők_f_20 s	1,01	9,167	3,47456E-8	1
Férfiak_i_20 s – Nők_i_20 s	0,35	3,199	0,65184	0
Férfiak_i_20 s – Férfiak_f_20 s	-0,04	0,363	1	0
Férfiak_i_30 s – Nők_f_30 s	0,90	8,237	1,10471E-6	1
Férfiak_i_30 s – Nők_i_30 s	0,24	2,178	0,97736	0
Férfiak_i_30 s – Férfiak_f_30 s	-0,05	0,521	1	0
Férfiak_f_nincs ALTAIR – Nők_f_nincs ALTAIR	0,26	2,428	0,94197	0
Férfiak_f_nincs ALTAIR – Nők_i_nincs ALTAIR	0,20	1,838	0,99585	0
Férfiak_f_10 s – Nők_f_10 s	0,78	7,079	8,30965E-5	1
Férfiak_f_10 s – Nők_i_10 s	0,26	2,382	0,9503	0
Férfiak_f_20 s – Nők_f_20 s	1,05	9,530	1,61837E-8	1
Férfiak_f_20 s – Nők_i_20 s	0,39	3,562	0,45879	0
Férfiak_f_30 s – Nők_f_30 s	0,96	8,758	1,41304E-7	1
Férfiak_f_30 s – Nők_i_30 s	0,29	2,700	0,87101	0

A táblázatban alkalmazott jelölések:

MD – átlagértékek különbsége;

q érték– a standard eloszlás kritikus értéke

Prob – szignifikancia szint (ha az érték kisebb, mint 0,05, a vizsgált értékek között szignifikáns a különbség)

Szig=1 (az átlagértékek között szignifikáns a különbség); Szig=0 (az átlagértékek között nincs szignifikáns különbség)

A mérések kezdési időpontjában a fiatal nők válaszainak átlagértéke a legnagyobb. Ez ellentétes a várakozásokkal. Ugyanakkor az első 30 perc után már ez a csoport adja a legalacsonyabb átlagértéket. Jól látható, hogy az ALTAIR berendezés bekapcsolásával a szubjektív hőérzeti válaszok átlagértékei csökkennek mindegyik csoport esetében. Megállapítható, hogy a férfiak esetében a különböző korosztályok között nincs szignifikáns különbség. Az ALTAIR berendezés működése során a fiatal nők csoportjának válaszai viszont szignifikánsan alacsonyabbak mindegyik más csoport válaszainál.

Mivel az ALTAIR berendezés fejmagasságban juttatja a levegőt az egyénekhez, a haj fontos szerepet játszhat a termikus környezet értékelésénél. A fiatal nők csoportjában egyetlen alany volt rövid hajú (kicsit takarta a fület), az összes többi alanynak vállig érő haja volt. Ezzel szemben az idős nők csoportjában mindegyik alany rövid hajú volt (kicsit takarta a fület). Az idős férfiak csoportjában egyetlen férfi viselt hosszú haját (lófarok stílus) és rövid szakállal rendelkezett. Egy másik idős férfi kopaszodott és bajuszt viselt. A többi férfi, úgy az idős, mint a fiatal korcsoportban rövid hajú volt és sem bajuszt sem szakállt nem viselt. Megállapítható tehát, hogy a fiatal hölgyek csoportjában játszhatott némi szerepet esetleg a haj hőszigetelő képessége, viszont ők értékelték a környezetet a legalacsonyabb hőérzeti értékkel. Ennek az is lehet az oka, hogy az ALTAIR berendezés felváltva jobbról-szemből-balról juttatja a levegőt a célszemélyhez (hasonlóképpen egy kézi legyezőhöz). Márpedig ilyen befúvási mód mellett a haj nem biztosíthat védelmet az arc számára a légáramok ellen.

A mérések első szakaszában (első 30 perc), amikor az ALTAIR berendezés működött az előzetesen mért és számított PMV értéket (1,44) úgy az idős, mint a fiatal férfiak csoportja is validálta a szubjektív válaszai által. Az idős nők csoportja által adott válaszok átlagértéke valamivel alacsonyabb volt, míg a fiatal nők csoportjának válaszai a várt értéknél szignifikánsan alacsonyabbak voltak (a nulla időpontban adott 1,9 átlagérték ellenére). Az értékek az 5.5 táblázatban kerülnek bemutatásra. Ez az eredmény tehát igazolja a hipotézisben megfogalmazott várakozásokat, miszerint a nők a meleg környezetet hőérzeti szempontból kellemesebbnek értékelik a férfiaknál.

5.5 táblázat A csoportok által adott hőérzeti válaszok átlagértékei mérési szakaszonként

Mérési szakasz	Nők_f	Nők_i	Férfiak_f	Férfiak_i
Nincs ALTAIR	1.15	1.21	1.41	1.45
30 s	0.13	0.79	1.09	1.03
20 s	-0.01	0.65	1.04	1.00
10 s	0.00	0.52	0.78	0.78

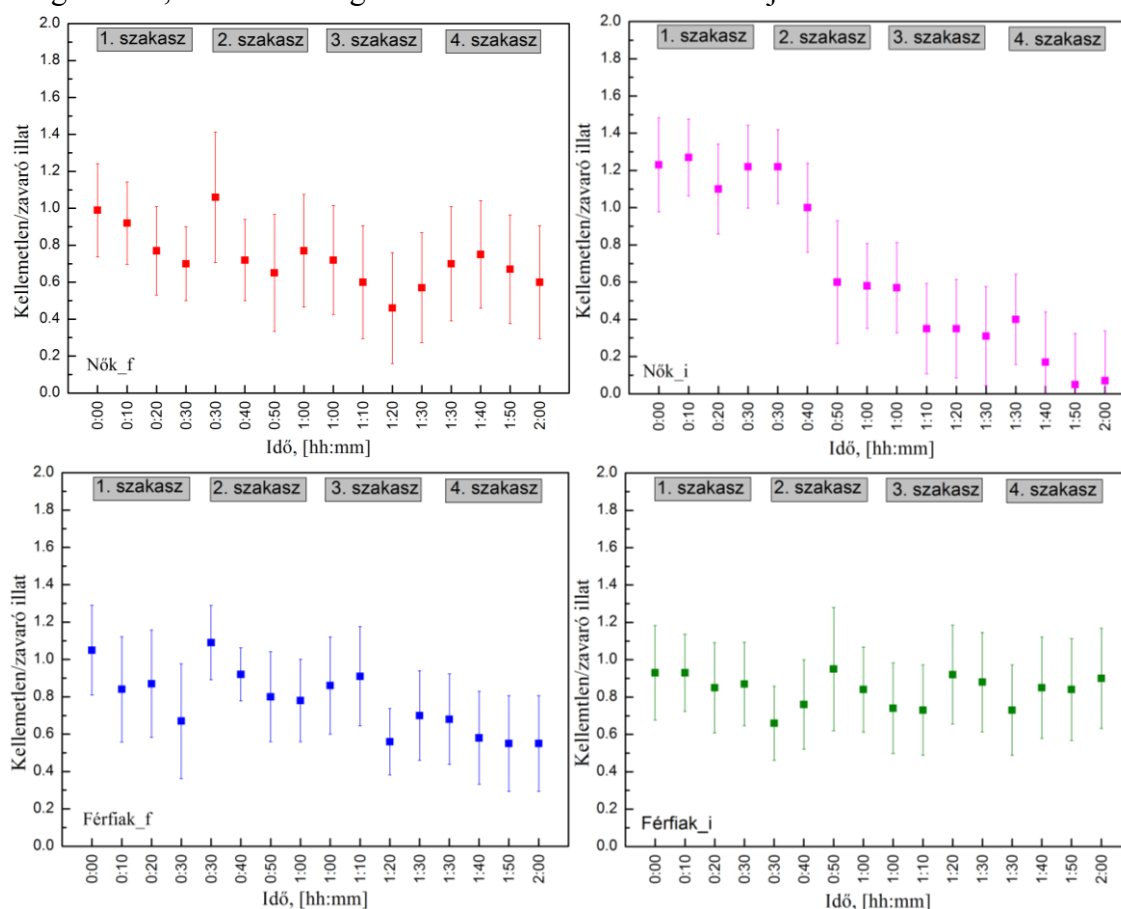
Az ALTAIR működési időszakában a TESTO 480 műszerrel mért és számított PMV értéket (0,84) szintén a férfiak csoportjai által adott válaszok igazolták (igaz, hogy a 30 s és 20 s léptetési időszakoknál némileg nagyobb, a 10 s léptetési módnál pedig valamivel kisebb átlagérték adódott a válaszok alapján. Az idős nők csoportja által adott válaszok átlaga már jelentősen kisebb, mint a számított érték, a fiatal nők csoportja által adott válaszok viszont szignifikánsan eltérnek a számított értéktől. Az ALTAIR berendezéssel tehát a hőérzettel elégedetlenek aránya kisebb, mint a számított érték. Meleg környezetben ez a szubjektív hűtőhatás energia megtakarítási célokra használható. Említésre méltó, hogy a nők csoportjában a huzatot észlelők aránya is nagy volt. Mindezek az eredmények ismét csak a hipotézisben megfogalmazott várakozásokat igazolják, miszerint a nők hűvösebbnek értékelik

a környezetet a férfiaknál, ha működik az ALTAIR berendezés, illetve a nők körében több lesz a huzattal elégedetlenek aránya. Az ALTAIR berendezés alkalmazhatósága viszont megkérdőjelezhetetlen, hiszen a légáram térfogatáramát és ez által a sebességet maga a felhasználó választja ki és állítja be magának. Vélhetően tehát a nők kisebb térfogatáramot választanának.

Megállapítható továbbá, hogy az ALTAIR különböző üzemmódjai esetében a léptetési idő csökkenésével csökken az egyes csoportok által adott válaszok átlagértéke is. Vagyis a gyorsabb légáramirány változtatás nagyobb hűtőhatást biztosít. Ez az eredmény igazolja az első kísérleti berendezéssel mért eredményeket is. Viszont azt is megállapíthatjuk, hogy a válaszok átlagértékei között nincs szignifikáns különbség. Ugyanakkor, az ALTAIR berendezés nélküli válaszok és az ALTAIR 10 s léptetési ideje mellett kapott válaszok között mindegyik csoport esetében szignifikáns a különbség. A nők csoportjai esetében már 20 s léptetési idő is szignifikáns különbséget okoz az első mérési szakasz válaszaihoz képest. A fiatal nők csoportja által adott válaszok szignifikánsan kisebbek a többi csoport által adott válaszoknál az ALTAIR mindegyik üzemmódjában.

5.4.2 Kellemetlen illatok értékelése

Az alanyok 6 pontos skálán értékelték a kellemetlen illatokat a teszhelyiségben. A válaszok átlagértékeit, illetve az átlagértékek hibáit az 5.4 ábra mutatja be.



5.4 ábra Kellemetlen illatok értékelése 6 pontos skálán

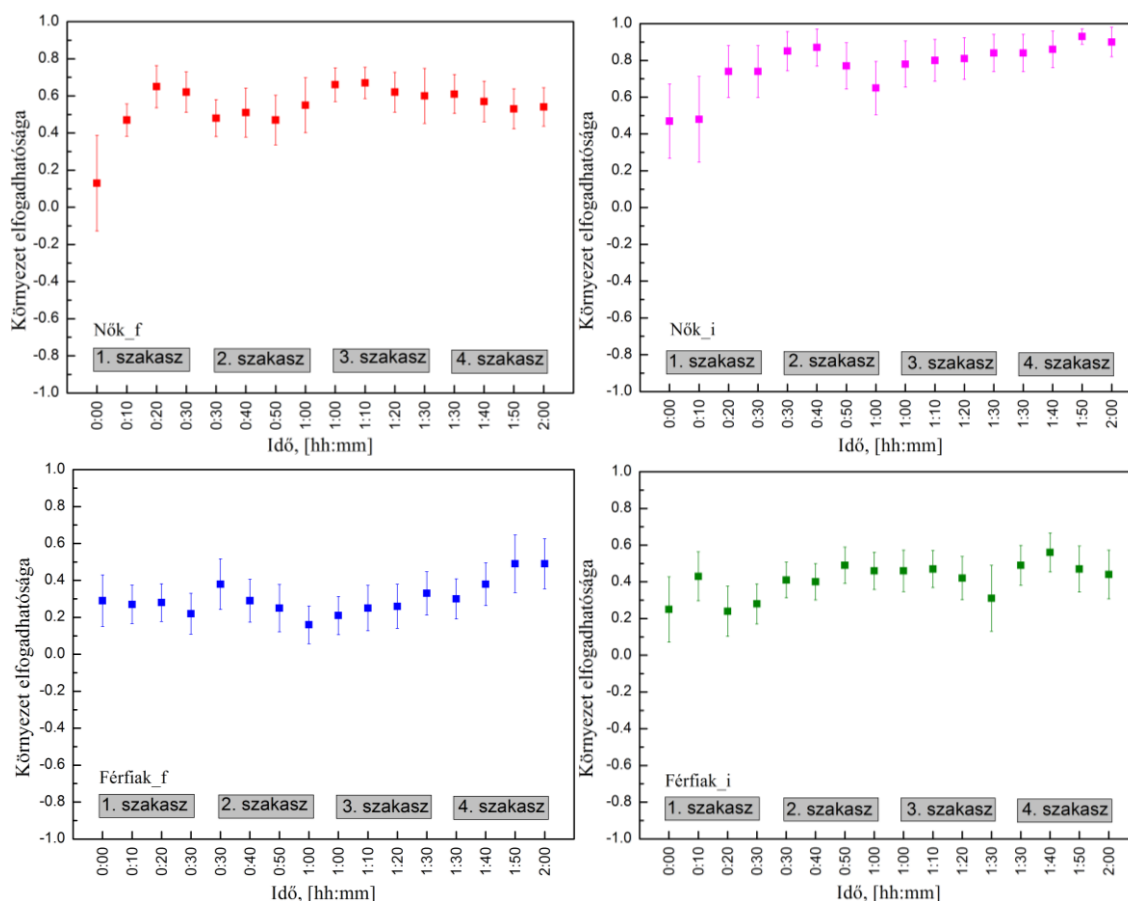
A válaszok érdekes módon csaknem azonosak a fiatal korosztály esetében, míg az idős korosztály teljesen eltérően értékelte a környezetet a kellemetlen illatok szempontjából. Természetesen semmiféle speciális illatforrás vagy szaganyag nem került felhasználásra. A

kellemetlen illatok csak és kizárólag a teszhelyiség építőanyagaiból, a szellőző rendszerből és az ALTAIR berendezés bútorlapjaiból származhattak. Az idős férfiak csoportja esetében gyakorlatilag a kellemetlen illatok értékelése nem változott a két órás mérés során (hiányzik az adaptáció, az ALTAIR berendezésnek sem volt értékelhető hatása). Az idős nők csoportja viszont kezdetben rossz minősítést adott, a mérés során viszont a minősítés egyre jobb lett. Ennek okozói az adaptáció és az ALTAIR berendezés (eredő hatásról beszélhetünk).

5.4.3 A környezet elfogadhatósága

Az alanyok a mérés során a környezet elfogadhatóságát három pontos skálán értékelték. A válaszok átlagértékeit az 5.5 ábra mutatja be.

Megállapítható, hogy a környezet elfogadhatósága mindegyik csoport esetében növekszik a mérés során (meleg környezetről van szó, így az elfogadhatóság növekedése az ALTAIR berendezés és az adaptáció együttes hatásának tudható be). A legalacsonyabb értékelést az idős férfiak csoportja adta, míg az idős nők csoportja értékelte leginkább elfogadhatónak a környezetet.

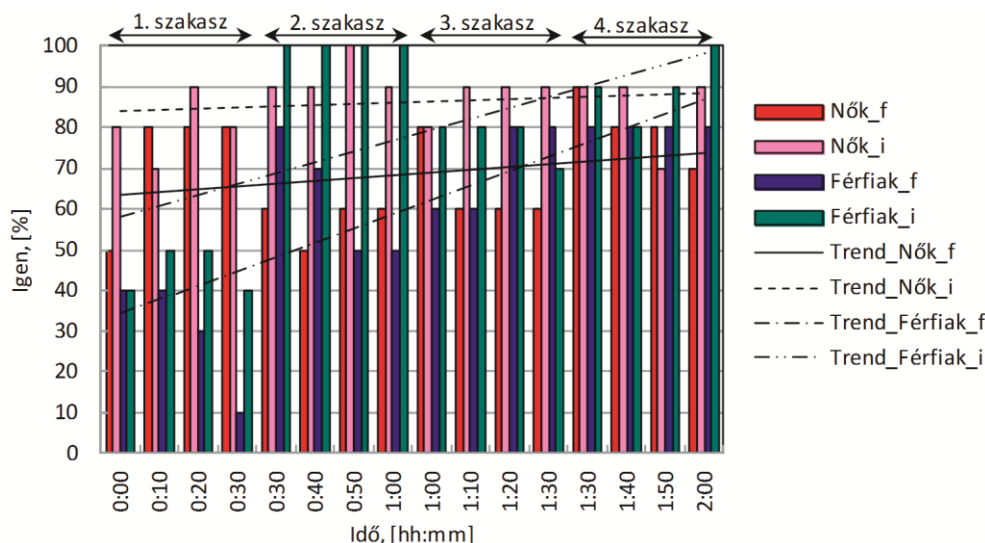


5.5 ábra A környezet elfogadhatósága

5.4.4 A légsebesség és a huzatérzet értékelése

A mérések első szakaszában (ALTAIR berendezés kikapcsolva) az alanyok 50%-a tartotta elfogadhatónak a levegő áramlási sebességét. Ebben a szakaszban mindegyik elégedetlen alany a légsebesség növelését kérte. Azokban az időszakokban, amikor az ALTAIR működött, az alanyok 70-80%-a tartotta megfelelőnek a levegő áramlási sebességét. Az elégedettek százalékos aránya folyamatosan növekedett a mérés során (5.6 ábra). Kiemelhető,

hogy az elégedettségi arányok trendvonalai nemenként csaknem párhuzamosak és mindkét nem esetében a fiatal korosztály volt az elégedetlenebb.



5.6 ábra A légsebességgel elégedettek százalékos aránya

Megjegyzendő, hogy még az ALTAIR berendezés működési időszakaiban is voltak, akik nagyobb légsebességet igényeltek.

5.6 Táblázat nagyobb légsebességet igénylő alanyok száma

Csop.	0:00	0:10	0:20	0:30	0:30	0:40	0:50	1:00	1:00	1:10	1:20	1:30	1:30	1:40	1:50	2:00
N_f	5	2	2	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N_i	2	2	1	2	0	0	0	1	2	1	1	1	1	1	1	0
F_f	6	6	7	9	1	2	3	3	2	2	1	1	1	1	1	1
F_i	6	5	5	6	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0

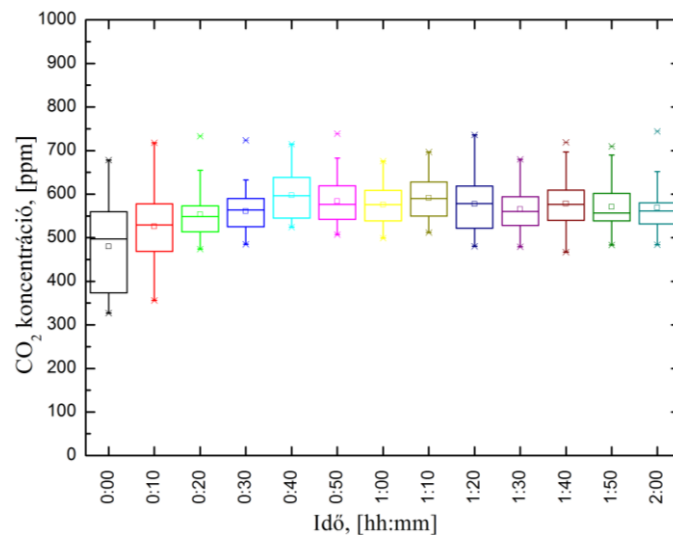
A mérések első szakaszában gyakorlatilag egyetlen alany sem tapasztalt huzatérzetet. Az ALTAIR berendezés bekapcsolása után az alanyok 70-100%-a jelezte, hogy érzékel huzatot. Ugyanakkor, az érzékelt huzatot nem mindenki fogta fel negatív jelenséggént. A huzatra panaszkodók száma jóval kisebb volt a huzatot érzékelők számánál (5.7 táblázat). Elmondható tehát, hogy gyakorlatilag az alanyok többsége a meleg környezetben a huzatot pozitív jelenséggént értékelte.

5.7 táblázat A huzatra panaszkodó alanyok száma

Csop.	Group	0:00	0:10	0:20	0:30	0:30	0:40	0:50	1:00	1:00	1:10	1:20	1:30	1:30	1:40	1:50	2:00
N_f	W_y	0	0	0	0	3	4	4	4	2	4	4	3	3	2	2	2
N_i	W_e	0	0	0	0	1	1	2	2	1	1	1	2	1	2	3	2
F_f	M_y	0	0	0	0	0	1	0	2	1	2	2	2	1	1	2	1
F_i	M_e	0	0	0	0	0	1	0	2	1	2	2	2	1	1	2	1

5.4.5 A levegő széndioxid tartalmának értékelése

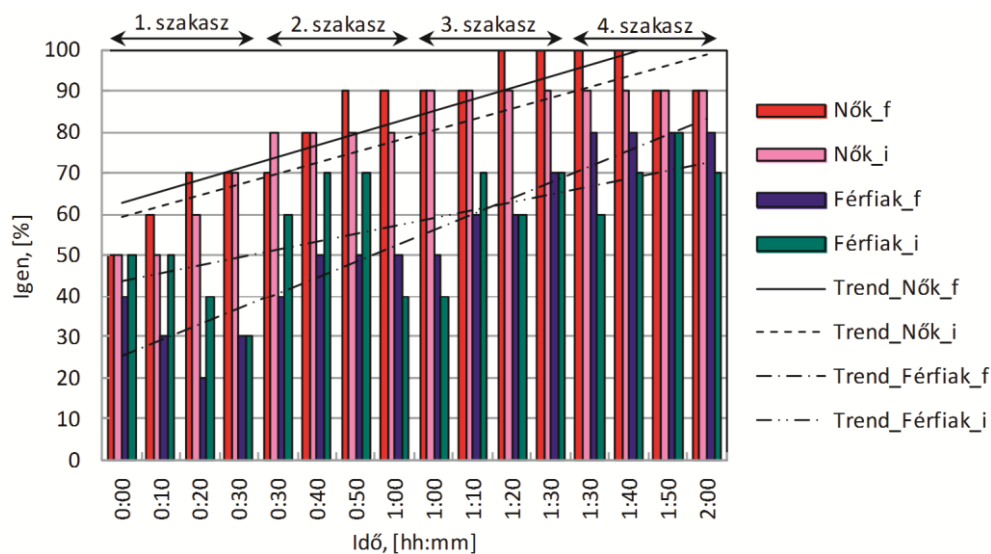
A mérések során a széndioxid koncentrációt folyamatosan mértem és regisztráltam. Az adatokat boxplot diagramban mutatom be (5.7 ábra).



5.7 ábra A széndioxid koncentráció alakulása a mérés során

A levegő frissességével elégedettek százalékos arányát csoportonként az 5.8 ábra mutatja be. Megállapítható, hogy a levegő frissességével legkevésbé a mérések első félórájában voltak elégedettek az alanyok.

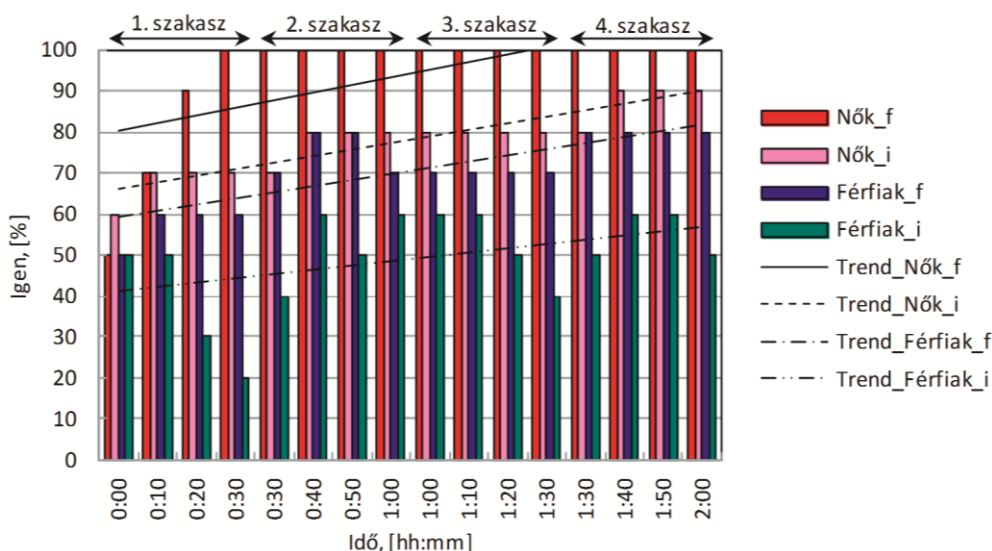
Ismét megállapítható tehát, hogy a hőérzeti értékelés és a levegő frissességének értékelése között összefüggés van. Az alanyok többsége ugyanis a levegő frissességét az szerint az elv szerint értékelte, hogy „ha túlságosan meleg van, akkor a levegő nem kellően friss”.



5.8 ábra A levegő frissességével elégedettek százalékos aránya

5.4.6 A felületi hőmérsékletek értékelése

A mérések során a közepes sugárzási hőmérséklet 30 °C volt. Ez az érték már elég magas ahhoz, hogy a test sugárzásos hőcseréje minimálisra csökkenjen. Felmerült a kérdés, hogy az ALTAIR berendezéssel lehetne-e semlegesíteni vagy legalább csökkenteni ezt a negatív hatást (gyakorlatilag konvektív hőelvonás növelésével javítani a kis sugárzásos hőleadás negatív hatását). A környező felületek hőmérsékleteivel elégedettek arányát az 5.9 ábra mutatja be.



5.9 ábra A felületi hőmérsékletekkel elégedettek aránya

Megállapítható, hogy az elégedettek aránya folyamatosan növekedett a két órás mérés során. Az ALTAIR működési időszakában megfigyelhető, hogy gyakorlatilag az elégedettek aránya növekedett, ahogy csökkent a légáramirány változásának léptetési ideje.

5.4.7 A mérési adatok bizonytalansága

A mért környezeti paraméterek bizonytalanságának a meghatározásához az A típusú, valamint a B típusú bizonytalanságokat is meghatároztam, majd ezek alapján az eredő bizonytalanság is kiszámításra került (Bell, 2001). A számítások során $k=2$ szorzófaktor alkalmaztam, ami 95% konfidenciaszinthez tartozik. A mért értékek bizonytalanságát a 5.8 táblázat tartalmazza.

5.8 Táblázat Mért adatok bizonytalansága

Mért paraméter	Standard bizonytalanság		Eredő bizonytalanság
	A típus	B típus	
Légsebesség (ALTAIR nélkül)	0,0027	0,01563	$\pm 0,03172$
Légsebesség (ALTAIR-el)	0,0071	0,02669	$\pm 0,05525$
Lég hőmérséklet	0,0899	0,2	$\pm 0,438$
Glóbusz hőmérséklet	0,0314	0,5	$\pm 1,002$
CO ₂ koncentráció	13,82	30,63	$\pm 67,22$

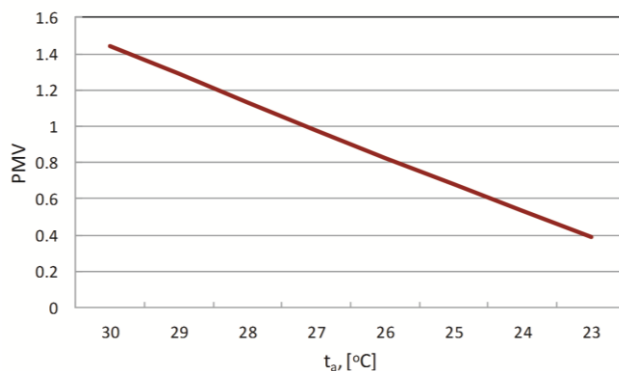
Figyelembe véve tehát az alkalmazott mérőműszerek és érzékelők mérési pontosságát a mért PMV értékek, valamint levegő és glóbuszhőmérséklet értékek kissé eltérhetnek a meghatározott 1,44, illetve 0,84 értékektől.

5.5 Egyszerűsített energetikai számítások

Az ALTAIR berendezés villamosenergia fogyasztását EM 03 fogyasztásmérővel mértem (feszültség mérési pontossága: $\pm 1\%$, áramerősség mérési pontossága: $\pm 1,5\%$). A méréseket elvégeztem 10 s, 20 s és 30 s léptetési időszakokra vonatkozóan. A méréseket háromszor ismételt meg mindegyik üzemeltetési mód esetében. Az ALTAIR berendezés villamosenergia fogyasztása 12 Wh óránként. Ez az érték nem változott a különböző

üzemeltetési módok mellett (a rendelkezésemre álló mérőeszköz 1 Wh pontossággal mér, ezért ennél kisebb eltéréseket nem volt lehetőségem kimutatni).

A PMV értékek alakulását a léghőmérséklet függvényében az 5.10 ábra mutatja be. A levegő áramlási sebességét a számítások során 0,1 m/s értékkel vettem figyelembe mivel a 3/2002. (II. 8.) SzCsM-EüM együttes Rendelet ezt az értéket határozza meg, mint maximális megengedhető légsebesség irodai munkavégzés esetében. A számításokhoz szükséges t_{cl} értéket iteratív módon határoztam meg (2.18-2.22 összefüggések).



5.10 ábra PMV érték a léghőmérséklet függvényében

Az utolsó mérési szakaszban az idős nők hőérzeti válaszainak átlaga 0,52, míg a férfiak esetében 0,78 volt. Ez az érték 23,9 °C, illetve 25,8 °C léghőmérsékletek mellett biztosítható. A hűtési energiaigény ($Q_{hű}$) tehát az 50 m³/h levegő térfogatáram hűtéséből határozható meg (30 °C hőmérsékletéről, 50% relatív nedvességtartalom mellett).

A hűtési primer energiafogyasztás számítását a hűtőgép szezonális átlagos teljesítménytényezőjének (SEER) és a hűtőrendszer hőmérsékletlépcsőjéből adódó érezhető és totál hűtőtelsítmény arányának ($\varepsilon_{hű}$) figyelembevételével végeztem el (Kajtár és Kassai, 2008; Kassai, 2011):

$$E_{hű} = \frac{\varepsilon_{hű} Q_{hű} e_{hű}}{SEER} \quad (5.1)$$

Ha kompresszoros hűtést feltételezünk ($SEER=3,6$, $\varepsilon_{hű}=1,3$), akkor az órai villamosenergia fogyasztás ($e_{hű}=2,5$) 92 Wh, illetve 64 Wh lesz. Ez az energiafogyasztás 7,66-szor, illetve 5,33-szor nagyobb, mint az ALTAIR által óránként fogyasztott 12 Wh villamosenergia.

5.6 Összefoglalás

Az egyének hőérzeti igényei személyi szellőző rendszerekkel energiatakarékosan elégíthetők ki. A hőérzeti értékelésnél az egyének kora és neme is szerepet játszik. A kifejlesztett ALTAIR berendezés biztosítja a légáramirányok időbeli váltakozását. A vizsgálatok célja az ALTAIR berendezéssel elérhető hőérzeti javulás meghatározása volt nemek és korosztály szerint. Megállapítottam, hogy:

- a TESTO 480 műszerrel mért és számított PMV érték (1,44 ALTAIR nélkül és 0,84 ALTAIR berendezéssel) igazolást nyert úgy a fiatal, mint az idős férfiak csoportjánál;
- a fiatal nők csoportja által adott hőérzeti válaszok a mérés mindegyik szakaszában szignifikánsan kisebbek voltak, mint a többi csoport válaszai;
- a kellemetlen illatokat a fiatal korosztály hasonlóan értékelte;

- az idős férfiak csoportja esetében a kellemetlen illatok értékelése gyakorlatilag nem változott a mérések két órás időtartama alatt;
- az egymással kapcsolatban nem álló közérzeti értékeléseket az alanyok összekötik (a vizsgálataim során a levegő frissességét a hőérzettel);

Megállapítható, hogy meleg környezetben az ALTAIR berendezés sikeresen alkalmazható a hőérzeti viszonyok javítása érdekében. A PMV összefüggésében a levegő áramlási sebessége nincs vektorként kezelve, így annak irányváltását nem lehet figyelembe venni a számítások során. A valóságban viszont a váltakozó légáram megvalósítható, így a szubjektív hőérzet értékelése meleg környezetben csökken (hűvösebbnek érzékeljük a környezetet). Ráadásul a légsebesség és a légáram irányának váltakozása a felhasználó által igény szerint beállítható. Így megvalósítható az a tér, amelyikben hőérzeti szempontból minden benntartózkodó kellemesnek értékeli a környezetet. Ez a tapasztalat viszont kihasználható a légkondicionáló berendezések energiatakarékos tervezésénél.

6. ASZIMMETRIKUS SUGÁRZÁS HATÁSÁNAK SEMLEGESÍTÉSE VÁLTAKOZÓ IRÁNYÚ LÉGÁRAMMAL

6.1 Bevezetés

Napjainkban egyre több nagy üvegezési aránnyal rendelkező épület épül. Úgy energetikai, mint közérzeti szempontból a nagy üvegfelületek előnyökkel és hátrányokkal is rendelkeznek. Az előnyök között említhetjük a természetes világítást, fűtési és átmeneti időszakban a sugárzásos hőnyereségeket, valamint jó vizuális kapcsolat teremt a környezettel. A hátrányok között említhetjük a sugárzási hőterheléseket a nyári időszakban. A hőterhelések árnyékolással természetesen csökkenthetőek, de csak a kilátás, illetve a természetes világítás hátrányára.

Az aszimmetrikus sugárzást a szabványok diszkomfort tényezőként kezelik, de a rövid és hosszú hullámú sugárzás nincs külön tárgyalva (MSZ EN ISO 7730, 2005). Az aszimmetrikus sugárzás határértékeit, melyeket a szabvány is tartalmaz, Fanger et al. (1985) határozta meg azonban ezek a kutatások és eredmények csak a tömör szerkezetekre vonatkoznak (fal, padló, mennyezet). A sugárzási aszimmetriával elégedetlenek arányát a sugárzási hőmérséklet aszimmetria alapján határozták meg és megállapították, hogy nincs szignifikáns különbség a férfiak és nők hőérzeti válaszai között. A sugárzási aszimmetriát és annak hőérzeti hatásait Ghali et al. is vizsgálták (2008). Ehhez egy hőtermelő berendezést (kályhát) helyeztek el a teszthelyiségben és vizsgálták, hogyan értékeli az emberek a térben kialakuló hőérzeti viszonyokat. Ahhoz, hogy a várható hőérzeti értéket, illetve a diszkomfort mértékét számszerűsítsék kidolgozták a „bioheat” hőérzeti modellt (Ghali et al, 2008; Al-Othmani, 2008). Az általuk kidolgozott modell által nyújtott eredményeket, különös tekintettel az átlagos és lokális bőrhőmérsékletekre vonatkozóan, élőalanyos tesztek is igazolták (Sakoi et al., 2007). Sakoi és társai (2007) 35 különböző paraméterekkel rendelkező környezetet vizsgált, melyekben a levegőhőmérséklete 25,5-30,5 °C volt, a sugárzó panelek felületi hőmérséklete pedig 11,5-44,5 °C közötti értéket vett fel. A relatív nedvességtartalom 40%-50% közötti értéken volt beállítva a légsebesség pedig nem haladta meg a 0,05 m/s értéket.

Mindezen kísérletek során tehát a hosszú hullámú sugárzás hatásait vizsgálták. Transzparens határolófelülettel rendelkező épület esetében viszont előfordulhat, hogy a benntartózkodók ki vannak téve úgy a hosszúhullámú, mint a rövidhullámú sugárzás hatásának, (Rabenseifer, 2016; Kalmár, 2016a). A transzparens felület tájolásától és minőségétől függően a zárt térben tartózkodók extrém hőérzeti viszonyokat is tapasztalhatnak (Kalmár, 2016a; Kalmár, 2016b). Arens és munkatársai (2015) megállapították, hogy a transzparens felületek miatt kialakuló sugárzási aszimmetria diszkomfortot okoz, amit csak légkondicionáló rendszerekkel és nagy energiafelhasználással lehet korrigálni. Kidolgozták a SolarCal számítási algoritmust és szoftvert annak érdekében, hogy meghatározható legyen a direkt, diffúz és belső téri reflektált sugárzás által okozott egyenértékű közepes sugárzási hőmérséklet növekmény. A direkt sugárzás az épület földrajzi elhelyezkedése, illetve a transzparens felület tájolásának függvénye. A közepes sugárzási hőmérséklet növekmény számításához viszont szükséges még a sugárzásnak kitett testfelület arányának is a meghatározása (Rizzo et al, 1991; Tanabe et al., 2000; La Gennusa et al., 2005; La Gennusa et al., 2007).

Felmerült a kérdés, hogy milyen eredő hőérzeti hatást lehetne elérni aszimmetrikus sugárzás és az ALTAIR berendezéssel biztosított váltakozó irányú légáram esetében. A korábbi

vizsgálatok bizonyították, hogy meleg környezetben (30 °C ambiens hőmérséklet) a váltakozó légárammal a vártnál nagyobb hűtőhatást érünk el. Aszimmetrikus sugárzás esetében, viszont a test sugárzásos hőcseréje a környezettel nem egyenletes még akkor sem, ha az egyén a tér középpontjában helyezkedik el. Az egyének viszont ritkán kapnak helyet a tér középpontjában. A transzparens épületszerkezetek által okozott sugárzási aszimmetria mértéke, így a közepes sugárzási hőmérséklet növekmény viszont így egyénenként eltérő lesz. Ezt a kérdést viszont az ALTAIR berendezés kezeli a személyre szabott beállítási módja által. A személyi szellőző berendezések mindegyik változata lehetővé teszi az egyéni légsebesség beállításokat (Amaia et al, 2007; Watanabe et al., 2009) ám a légáram irányának változtatása csak az ALTAIR berendezés esetében lehetséges. Az eddig elvégzett kutatások is bizonyítják, hogy a légsebességet körültekintően kell kiválasztani, mivel a személyi szellőző berendezéseknél huzatérzetet jelentkezhetsz. Ennek meleg környezetben természetesen akár pozitív hatása is lehet, ahogyan a korábbi mérések is bizonyították. Kérdés, hogy mi történik akkor a huzatérzettel, amikor a szabványok előírásainak megfelelő belső környezeti viszonyok állnak fenn (II vagy B komfortkategória esetében például 26 °C operatív hőmérséklet) fellép az aszimmetrikus sugárzás. A huzat hőérzeti hatásait számos kutató vizsgálta korábban (Fanger, 1988; Toftum és Nielsen, 1996; Griefahn, 2000), azonban ezek a vizsgálatok nem tértek ki a huzat és az aszimmetrikus sugárzás együttes vizsgálatára. Berglund és Fobelets (1987) vizsgálta először együttesen a két diszkomfort tényező együttes hatását, azonban a kísérleteiket semleges és hűvös környezetben végezték.

Az üvegezett szerkezetek hőérzeti hatásának pontos ismerete segíti a tervezőket abban, hogy hőérzeti szempontból megfelelő belső tereket alakítsanak ki az épületekben. Huizenga és társai (2006) egy összetett tanulmányt készítettek az üvegezett határolószerkezetekről annak érdekében, hogy lehetővé tegyék ezen szerkezetek hőérzeti értékelését. A kutatásaik során úgy a hosszúhullámú sugárzásos hőcserére, mint a rövidhullámú hőcserére is fókuszáltak. Ugyanakkor, a napsugárzás esetében csak a diffúz sugárzást vették figyelembe.

Tekintettel az eddigi kutatási eredményekre a kutatás célját tehát abban határoztam meg, hogy megvizsgáljam az aszimmetrikus sugárzás és a váltakozó irányú légáramok eredő hőérzeti hatását.

6.2 Cél és hipotézis

A cél a 105 W/m² intenzitással rendelkező aszimmetrikus sugárzás és a váltakozó irányú 0,48 m/s sebességű légáramok eredő hőérzeti hatásának vizsgálata élőalanyos mérések alapján.

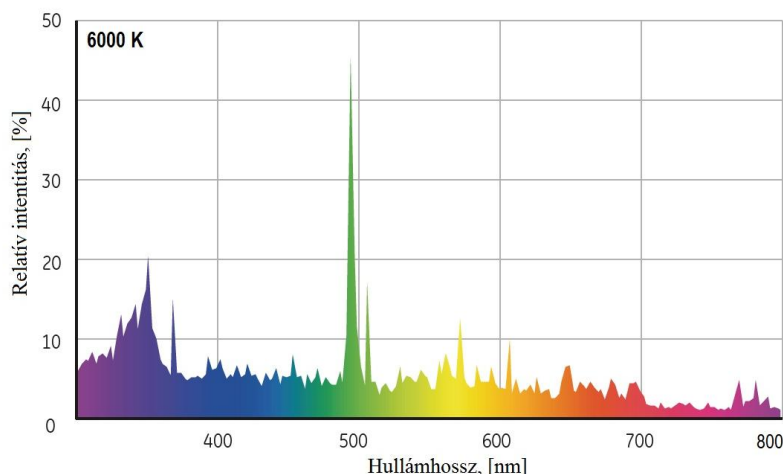
Azt feltételeztem, hogy ilyen mértékű aszimmetrikus sugárzás esetében az alanyoknak hőérzeti panaszai lesznek és ezzel egy időben a környezet hőérzeti értékelése időben növekszik (egyre melegebbnek értékelik a környezetet). Azt feltételeztem továbbá, hogy a váltakozó légáramok semlegesítik az aszimmetrikus sugárzás negatív hatását és a környezet hőérzeti értékelése a személyi szellőző berendezés működésével javulni fog.

6.3. A mérések helyszíne és berendezések

A méréseket a Debreceni Egyetem Belső Környezet Minősége laboratóriumában végeztem, ahol a klímakamrában és a teszhelyiségben a kívánt, kontrollált környezeti paraméterek állíthatók elő.

A korábbi mérésektől azonban a kutatási cél érdekében a teszhelyiségben az alanyok nem a helyiség közepén kaptak helyet, hanem a teszhelyiség ablaka mellett, az ablaktól 1,0 m távolságban. A PVC műanyagkeretes (90×120 cm méretekkel rendelkező) ablak 4-16-4 tiszta üvegezéssel rendelkezik (gáztöltet nincs). Az ablak hőátbocsátási tényezője a termék-leírás szerint $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$, az összesített sugárzásátbocsátó képessége $g=0,65$.

Az aszimmetrikus sugárzást az ablakon keresztül biztosítottam. Ehhez egy 6000 K színhőmérséklettel, 1000 W teljesítménnyel rendelkező GE Sportlight Tubular Clear fémhalogén lámpát és a hozzá tartozó reflektort alkalmaztam. Hasonló hősugárzóforrást alkalmazott Hodder és Parsons (2007) a kísérleteik során, amikor is a személygépkocsikban a szélvédő mögött ülő egyének hőérzeti körülményeit vizsgálták közvetlen sugárzásos terhelés mellett. Vizsgálataik célja a hőérzet és a különböző spektrummal rendelkező hősugárzás összefüggéseinek vizsgálata volt, különböző üvegezések mellett. Az alkalmazott fémhalogén lámpa által kibocsátott sugárzási energia spektrális eloszlása a 6.1 ábrában látható.



6.1 ábra Az alkalmazott GE Sportlight Tubular Clear 1000 W lámpa relatív spektrális teljesítmény eloszlása (bal oldali ábra) illetve felfutási ideje (jobb oldali ábra)

A sugárzási spektrum alapján megfigyelhető, hogy a kibocsátott sugárzási energia túlnyomó része a rövidhullámú tartományban kerül kibocsátásra. A lámpa felfutási idejét is megvizsgálva megállapítottam, hogy a névleges teljesítmény eléréséhez a lámpát legalább 6 perccel korábban be kell kapcsolni. A hőforrás és az üvegezés külső felülete között 0,65 m a távolság, míg az üvegezés és az egyén arca között 1,0 m volt a távolság. A lámpa 1,5 m magasságban került elhelyezésre. A belső térben az ablaktól 1,0 m távolságra 1,1 m magasságban Benning Sun2 sugárzás intenzitás mérővel mért sugárzási intenzitás 105 W/m^2 volt.

A belső tér elrendezését a 6.2 ábra mutatja be. Látható, hogy az egyént baloldaltól éri a sugárzás (ennek magyarázat az, hogy többnyire a természetes világítást bal oldaltól biztosítják), míg az $50 \text{ m}^3/\text{h}$ külső levegő (melyet a mérés során folyamatosan biztosítottam) elárasztásos légvezetési rendszerrel az egyén mögött kerül bevezetésre.



6.2 A teszhelyiség elrendezése

6.4 Alanyok

Az alanyok létszámának megállapításakor, hasonlóan az előző mérésekhez, Wyon és Bánhidi, (2003), illetve Lan és Lian (2010) által meghatározott csoportlétszámokat vettem figyelembe. Hőérzeti és fiziológiai mérésekhez a statisztikai hatásmagyság legalább 0,658 kell legyen. Az említett szakirodalmak azt ajánlják, hogy egy csoportban legalább 10 legyen az egyének létszáma. Ennek megfelelően a méréseket húsz fő (10 nő és 10 férfi) bevonásával végeztem el. Az alanyok egyetemista korosztályhoz tartoztak, gépészmérnök hallgatóként ismerik az SI mértékegységrendszert és tisztában vannak a hőcsere folyamatok elméleti alapjaival. Mivel a mérések célja a hőérzeti viszonyok vizsgálata volt aszimmetrikus sugárzás esetében, kiindulva egy 26 °C operatív hőmérséklet értékből, az alanyok kiválasztásánál egyik befolyásoló tényező az volt, hogy mindkét csoportban legyenek olyan alanyok, akik légkondicionált terekhez vannak szokva, illetve olyanok is, akik természetes szellőzési módot alkalmaznak. Mivel az ALTAIR berendezés hőérzeti hatását is vizsgáltam, fontos volt, hogy mindkét célcsoportban legyenek olyan alanyok, akik a huzatra érzékenyek. A kiválasztott alanyok antropometriai adatait a 6.1 táblázat tartalmazza.

6.1 Táblázat Az alanyok antropometriai adatai

Alanyok/Csoport	Adat	Életkor, [év]	Súly, [kg]	Magasság, [cm]	F_{Du} , [m ²]
Nők	Átlag	21.4	67.91	165.5	1.753
	Szórás	1.07	13.37	11.24	0.199
Férfiak	Átlag	22.5	86.24	181.4	2.075
	Szórás	1.08	10.96	6.47	0.130

Minkét csoportban fele-fele arányban oszlott meg azon személyek száma, akik légkondicionáló berendezést alkalmaznak a nyári időszakban, illetve azon személyek száma, akik természetes szellőzést alkalmaznak. Az alanyok a mérés előtt nyilatkoztak a hőmérséklet preferenciáikról a nyári időszakban. Ennek megfelelően mindkét csoportban az elvárt hőmérséklet 24,5 °C-ra adódott (6.2 táblázat). A férfiak csoportjában nem volt rendszeresen dohányzó, míg a nők csoportjában hárman rendszeresen dohányoztak.

6.2 Táblázat Huzatérzékenység, preferált hőmérséklet nyáron, dohányzók aránya

Alanyok/Csoport	Huzatérzékenység, [%]	Preferált t_i , [°C]	Dohányzók, [%]
Nők	40	24.5 (SD=1.27)	30
Férfiak	40	24.5 (SD=2.32)	0

6.5 Mérési terv

Az alanyok 30 perccel a mérés kezdési időpontja előtt megérkeztek és helyet foglaltak a BKM laboratóriumban, ahol a léghőmérséklet 26 °C volt. Ez alatt a 30 perc alatt az alanyok válaszoltak az általános kérdésekre, az adataik rögzítésre kerültek, továbbá ez a fél óra akklimatizációként volt figyelembe véve. A korábbi mérésekhez hasonlóan, ebben az esetben is mértem és rögzítettem a vérnyomást a mérések előtt és után. Bár ebben az esetben nem számítottam magas belső ambiens hőmérsékletekre, de az aszimmetrikus sugárzás miatt fontosnak tartottam a vérnyomások mérését is.

A mérések során az alanyok az ALTAIR munkaasztalnál foglaltak helyet és semmiféle információval nem rendelkeztek a belső környezeti paraméterek értékéről, illetve változásáról. A ruházat és a tevékenység, hasonlóképpen a korábbi mérésekhez, az ISO 9920:2007 szerint 0,5 clo volt:

- férfiak: alsónemű, rövid ujjú ing, vékony hosszú nadrág, zokni, cipő
- nők: alsónemű, melltartó, rövid ujjú ing, szoknya, szandál.

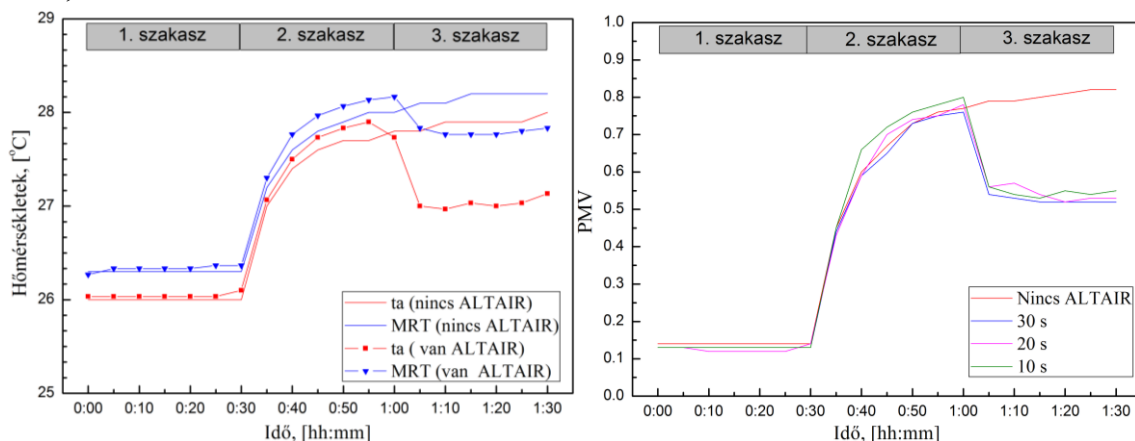
Az alanyok olvastak, tanultak vagy tableten dolgoztak. A tevékenységi szint az ISO 8996:2004 szerint 1,2 met (70 W/m^2) volt.

Az alanyok jobb és bal kézfejére, valamint az arcára a jobb és bal oldalon TESTO felületi hőmérsékletérzékelő került rögzítésre. A bőrhőmérsékleteket TESTO T2 adatgyűjtők regisztrálták. A leolvasás és adatrögzítés 10 másodpercenként történt.

A mérések 1,5 órát tartottak, mely időt három 30 perces szakaszra bontottam. Minden alannyal négyszer ismételt meg a méréseket. Az első két 30 perc mind a négy alkalom esetében teljesen hasonlóképpen zajlott: a teszhelyiségben a 0:00 időpontban 26 °C ambiens hőmérséklet volt beállítva. A relatív nedvességtartalom 50% volt. A szellőző levegő hőmérséklete 26 °C volt. Az ablakot kívülről teljesen letakartam egy 20 mm vastag fehér színű farostlemezzel. A mérés elindítása után 20 perccel bekapcsolásra került a fémhalogén lámpa. Mivel a lámpa az ablak előtt, de a teszhelyiségen kívül volt elhelyezve, ennek hatását az alanyok a belső térben nem érezték. A 30 percben a lemezt eltávolítottam az ablakból, így a belső térben hirtelen megjelent az aszimmetrikus hőforrás. Ez miatt a hőforrás miatt a belső térben (melyben a szellőző levegő hőmérséklete továbbra is 26 °C volt) emelkedni kezdett a hőmérséklet (úgy a léghőmérséklet, mint a közepes sugárzási hőmérséklet). Mind a négy mérésnél tehát ezek a folyamatok teljesen azonos módon zajlottak. Az utolsó 30 perc azonban mindegyik mérésnél másként zajlott. Az első mérés során semmilyen beavatkozás nem történt: a sugárzó hőforrás miatt folyamatosan emelkedett a belső lég- és közepes sugárzási hőmérséklet. A második mérés során az utolsó 30 percben bekapcsolásra került az ALTAIR berendezés. Ebben az esetben a légáramirány változásának léptetési idejét 30 másodpercre állítottam be. A harmadik méréssorozat esetében az utolsó 30 percben ismét bekapcsolásra került az ALTAIR berendezés, de a léptetési idő 20 s volt, míg a negyedik méréssorozatban a léptetési idő 10 s volt.

Hasonlóan a korábbi mérésekhez, ebben az esetben is $20 \text{ m}^3/\text{h}$ térfogatáramot keringtettem az ALTAIR berendezéssel. Az elárasztásos háttérszellőzés folyamatosan működött. Ugyanazokat

a befűvőelemeket alkalmaztam, mint az előző mérésnél (nem és kor szerinti hőérzeti vizsgálatok). A távolság a befűvő elemek és az alanyok feje között 0,6 m, így légsebesség az alanyok feje körül így 0,48 m/s értékre adódott. Különböző légáramirány változási idők mellett eltérő turbulenciák alakultak ki a mérési pontban, azonban ezek az eltérések nem jelentősek: 10 s léptetési idő mellett, $Tu_{10}=20,6\%$; 20 s léptetési idő mellett, $Tu_{20}=19,1\%$ és 30 s léptetési idő mellett, $Tu_{30}=18,8\%$. A mérések tervezése után tesztméréseket végeztem a laboratóriumban, alanyok nélkül. A környezeti paramétereket TESTO 480 műszerrel rögzítettem. A műszer érzékelői az ablak belső felületétől 1,0 m távolságban, a padlószinttől 1,1 m magasságban kerültek elhelyezésre. A mért lég- és közepes sugárzási hőmérséklet értékek, valamint a számított PMV értékek a 6.3 ábrában kerülnek bemutatásra.



6.3 ábra Lég- és közepes sugárzási hőmérsékletek és PMV értékek változása a tervezett mérések során

Megállapítható, hogy a mérések során a gépészeti berendezések hőtehetetlensége miatt, illetve a szabályozó rendszerek hiszterézise miatt kisebb eltérések kialakultak ($\pm 0,2$ K), azonban ezek az eltérések jóval kisebbek, mint a mérőműszerek érzékelőinek pontossága. Az is megállapítható, hogy a mérések utolsó szakaszában, amikor az ALTAIR berendezés működött, a légáramirány változtatásának nincs jelentős hatása az érzékelt hőmérsékletekre és a számított PMV értékre sem. Meg kell azonban jegyezni, hogy a mérőműszer nem rendelkezik olyan érzékelővel, amely a légsebesség irányváltását is figyelembe tudja venni.

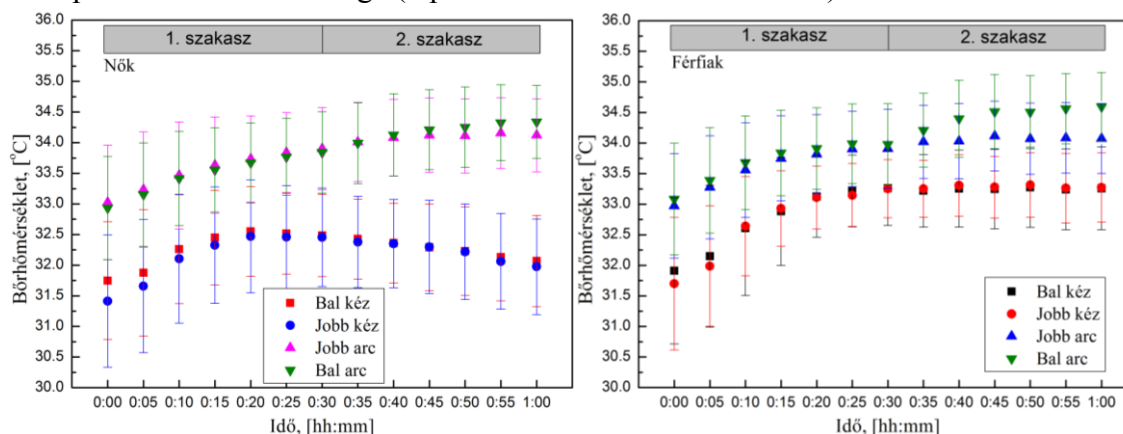
A mérések során az alanyok 10 percenként válaszoltak ugyanazokra a kérdésekre, melyet a korábban elvégzett mérések során is alkalmaztam a kérdőívekben (3.4.3 alfejezet). Meg kell jegyezni, hogy a kérdőívek kitöltésre kerültek egy adott mérési szakasz végén is és a következő szakasz kezdő időpontjában is. A felületi hőmérsékletek értékelésénél, az ablak, mint bal oldali függőleges határoló felületelem lett figyelembe véve.

6.6 Eredmények

6.6.1 Bőrhőmérsékletek

A bőrhőmérsékletet 10 másodpercenként mérte és regisztrálta a TESTO T2 adatgyűjtő. Ennek megfelelően egy mérés alkalmával 2160 bőrhőmérséklet adat állt rendelkezésre (négy adatgyűjtő: jobb kéz, bal kéz, az arc jobb oldala, az arc bal oldala). Mivel mindegyik mérés során az első két szakasz azonos volt, ebben a két mérési szakaszban (az első egy óra) a bőrhőmérsékletek célcsoportonként a 6.4 ábrában kerülnek bemutatásra. A számos adat miatt

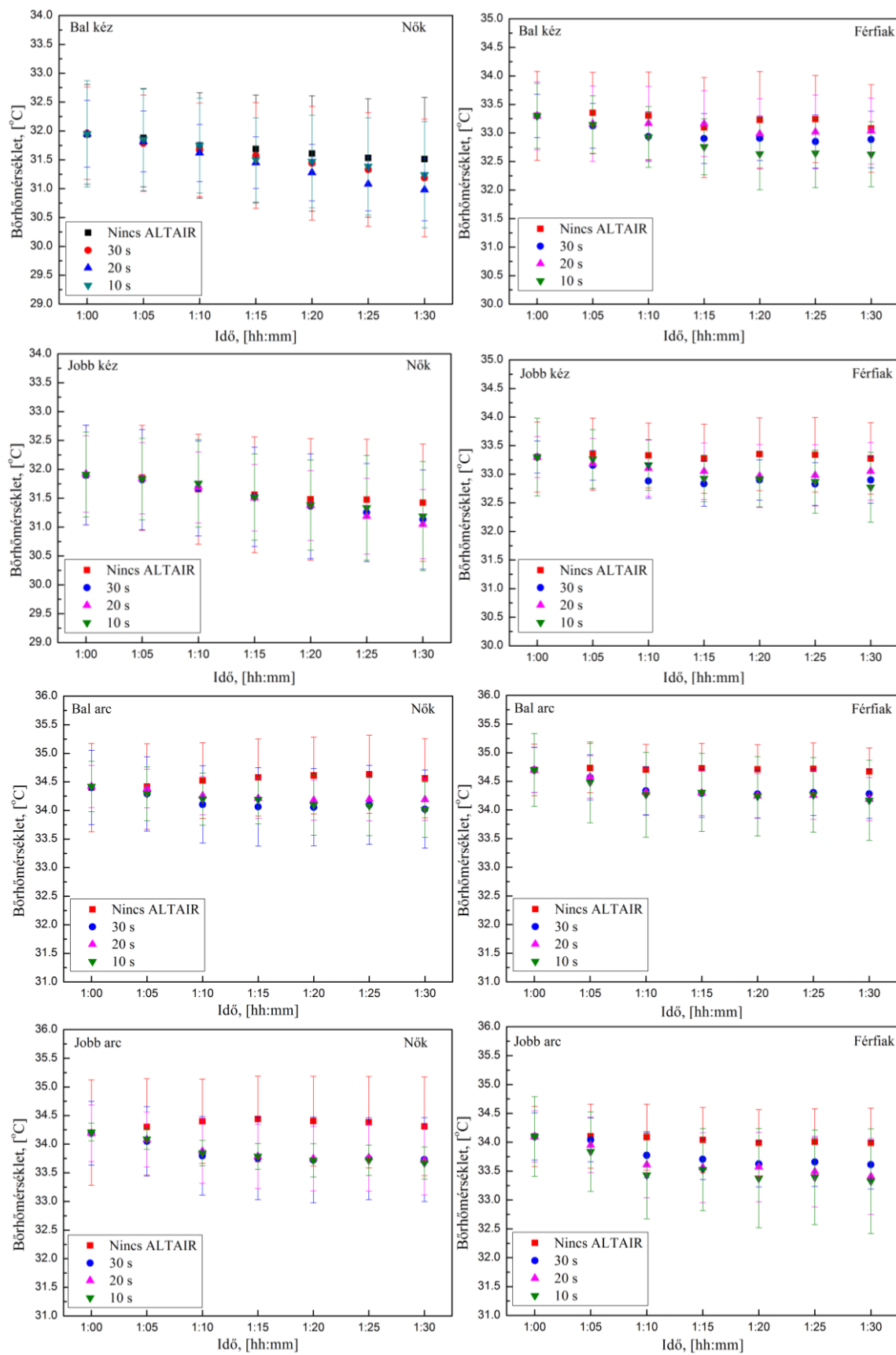
a diagramban 5 perc átlagértékei szerepelnek, kivéve a 0:00 időpont adatait, melyek a 10 fő esetében mért adatok átlagai (10 érték átlagértékei). Minden más időpontban a diagramban szereplő érték 300 adat átlaga (5 perc alatt mért 30 érték $\times$ 10 fő).



6.4 ábra Bőrhőmérsékletek a mérések első órájában

A diagramok alapján megállapítható, hogy az első 20 percben a bőrhőmérsékletek még növekedtek. Ez vélhetően annak köszönhető, hogy a laboratórium előterében töltött időszak nem volt elegendő az akklimatizációhoz, illetve abban a térben csak a léghőmérséklet szabályozható, a közepes sugárzási hőmérséklet nem. Továbbá ebben a térben a légsebességek nagyobbak voltak, mint a teszthelyiségben. Ennek megfelelően a férfiak esetében a bőrhőmérséklet értékek a mérések megkezdése után 20 perccel érték el a maximum értéküket és a kezek valamint az arc jobb oldali hőmérsékletei ettől az időpillanattól kezdődően állandónak tekinthetők. A nők esetében ez nem így történt. Ugyanis 20 perc után az archőmérsékletek (úgy a bal, mint a jobb oldalon) tovább növekedtek, míg a kézfejek hőmérsékletei csökkentek. Míg a férfiak esetében nagyon jól megfigyelhető a bal oldali archőmérséklet növekedése a sugárzó hőforrás bekapcsolása után, a nők esetében a jobb és bal oldali archőmérsékletek közötti különbség jelentéktelen. A bőrhőmérséklet értékek alapján arra lehet következtetni, hogy a nők ebben az esetben is hidegebbnek érzékelik majd a környezetet, mint a férfiak.

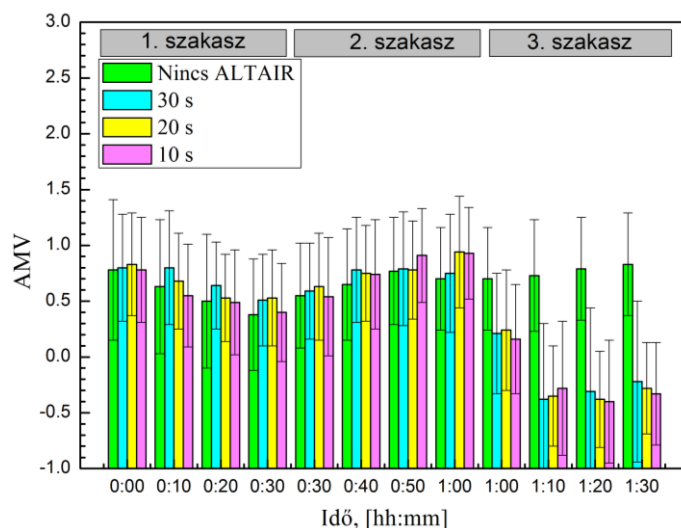
Az utolsó 30 percben mért bőrhőmérséklet értékeket a 6.5 ábra mutatja be. Megállapítható, hogy a kézfej bőrhőmérsékletei között nincs szignifikáns különbség a vizsgált csoportok között. megállapítható továbbá, hogy a légáramirány léptetési idejének nincs szignifikáns hatása a bőrhőmérsékletekre, ugyanakkor jelentősnek értékelhető a különbség a személyi szellőzés nélküli, illetve a személyi szellőzéssel mért esetek között (megközelíti a hőkamerával korábban mért 0,5 K értéket).



6.5 ábra Bőrhőmérsékletek a mérések utolsó szakaszában

6.6.2 A környezet hőérzeti értékelése

A szubjektív hőérzeti válaszok a 6.6 ábrában kerülnek bemutatásra. Jól látható a fiziológiai adaptáció a mérés első szakaszában (első 30 perc). Az aszimmetrikus sugárzás szakaszában jól kivehető a hőérzeti válaszok növekedése, azonban ez nem szignifikáns (átlagosan 0,3 körüli érték). A szubjektív hőérzeti válaszok az első mérés utolsó 30 percében növekedtek. Igaz, ez a növekedés sem vezetett szignifikáns különbségekhez. Ugyanakkor kijelenthető, hogy az aszimmetrikus sugárzás esetében az adaptáció nem jelentkezik.



6.6 ábra Szubjektív hőérzeti átlagértékek és a szórások

Megállapítható, hogy a mérések első szakaszában a szubjektív hőérzeti válaszok nagyobbak a számított értéknél (0,14). A második szakasz végén viszont a számított értékek (0,75) és a szubjektív válaszok között nincs számottevő különbség. Továbbá, nincs jelentős különbség az első mérés utolsó szakaszára vonatkozó számított érték (0,8) és a szubjektív hőérzeti válaszok között. Ugyanakkor, szignifikáns különbség van a számított PMV érték (0,52) és a szubjektív válaszok között a mérések utolsó szakaszában, amikor a személyi szellőző berendezés működött (az átlagérték -0,3). Ez arra utal, hogy a vizsgált környezetben intenzív hűtőhatást értem el az ALTAIR berendezéssel. A mérések során az ALTAIR berendezés légbevezetésénél (0,3 m magasságban van elhelyezve) is mértem a léghőmérséklet értékeket és megállapítottam, hogy 0,1-0,2 K különbség is kialakult az 1,1 m magasságban mért léghőmérsékletekhez viszonyítva. Az ALTAIR berendezés tehát a levegő hőmérsékletének rétegződését is kihasználja, ami hűtési szempontból szintén előnyös (hűtési energia megtakarítást eredményez).

A szubjektív hőérzeti válaszokat statisztikai szempontból is elemeztem. Az egyes mérési szakaszok végén regisztrált átlagértékeket a 6.3 táblázat mutatja be.

6.3 Táblázat Szubjektív hőérzet válaszainak átlagértékei, szórása és az átlagértékek hibái

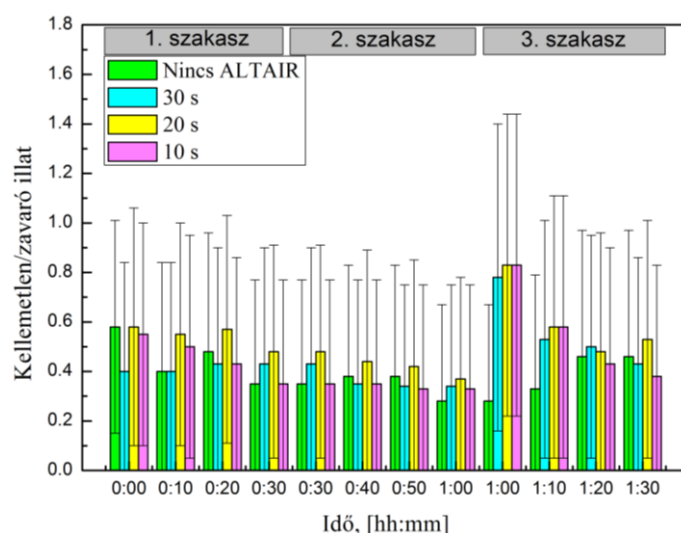
Csoport_időpont_mérés	Adatszám	Átlag	Szórás	Átlag hibája
Nők_0:30	40	0,5425	0,62466	0,09877
Nők_1:00	40	1,0175	0,61556	0,09733
Férfiak_0:30	40	0,3625	0,46668	0,07379
Férfiak_1:00	40	0,6375	0,50621	0,08004
Nők_1:30_ALTAIR nélkül	10	1,14	0,52536	0,16613

Nők_1:30_30 s	10	-0,16	1,04371	0,33005
Nők_1:30_20 s	10	-0,25	0,58926	0,18634
Nők_1:30_10 s	10	-0,25	0,58926	0,18634
Férfiak_1:30_ALTAIR nélkül	10	0,52	0,49844	0,15762
Férfiak_1:30_30 s	10	-0,28	0,68767	0,21746
Férfiak_1:30_20 s	10	-0,3	0,42164	0,13333
Férfiak_1:30_10 s	10	-0,4	0,45947	0,1453

A szignifikancia vizsgálatot ANOVA módszerrel végeztem el. $p=0,05$ szignifikancia szint mellett, a női csoport 0:30, illetve 1:00 időpontokban adott válaszaik között szignifikáns különbség van. Szignifikáns különbség van továbbá a nők és a férfiak válaszaiknak átlaga között az 1:00 időpontban. A Férfiak által adott válaszok között az első két mérési szakaszban nincs szignifikáns különbség. Ahogyan az várható volt, mindkét csoport esetében szignifikáns a különbség a személyi szellőző berendezés működési időszakában adott válaszok átlaga és azon válaszok átlaga között, amikor a személyi szellőző berendezés nem működött. Ugyanakkor a léptetési idő változtatásának nem volt szignifikáns hatása a szubjektív hőérzeti válaszokra.

6.6.3 Kellemetlen illatok értékelése

A korábban elvégzett mérésekhez hasonlóan, ebben az esetben sem alkalmaztam speciális szaganyagot a teszthelyiségben. A kellemetlen illatok csak az építőanyagokból, szellőző berendezésekből, illetve az ALTAIR munkaasztal anyagaiból származhattak. Természetesen mag az ember is szennyezőanyag forrásnak tekinthető. Az egyes mérések közötti időszakban a helyiséget intenzíven kiszellőztettem ($500 \text{ m}^3/\text{h}$). Így a korábban elvégzett mérésből a helyiségben nem maradhatott szaganyag. A helyiség levegőjét a kellemetlen illatok szempontjából 6 pontos skálán értékelték az alanyok. A válaszok átlagértékét és szórását a 6.7 ábra mutatja be.



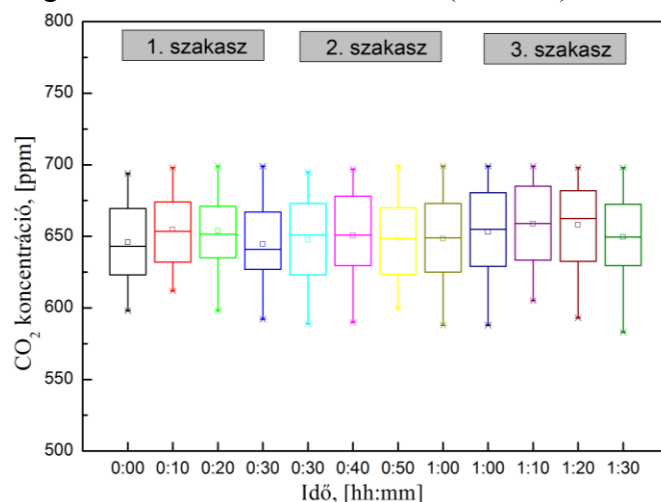
6.7 ábra Kellemetlen illatok értékelése

Megállapítható, hogy a mérések első két szakaszában elenyésző a különbség a válaszok átlagértékei között, valamint jelentkezik az adaptáció is. Látható azonban, hogy a mérések utolsó szakaszában, mikor az ALTAIR berendezés működött, a válaszok átlagértéke szignifikánsan megnövekedett az előző időszakban regisztrált válaszokhoz képest. Ez

véleményem szerint annak köszönhető, hogy az ALTAIR berendezés esetében jelentősen nagyobb szellőztetési hatásossággal számolhatunk. Ez egyrészt előnyös, hiszen a széndioxid eltávolítása az egyének környékéről sokkal jobb hatásfokkal történik, mint a hagyományos légvezetési módoknál, ugyanakkor bármilyen szennyezőanyag forrás is van a rendszerben, annak hatását intenzíven érzékelik az alanyok. Az ALTAIR berendezés működése során is tapasztalható az alanyok adaptációja.

6.6.4 A levegő CO_2 tartalma

A mérések során a CO_2 koncentráció TESTO 435 műszerrel mérésre és rögzítésre került. A mért adatok boxplot diagramban kerülnek bemutatásra (6.8 ábra).



6.8 ábra Széndioxid koncentráció változása a teszhelyiségben

Mindegyik időpontban a megadott medián, az interkvartilis terjedelem, illetve a legkisebb és a legnagyobb értéke 80 mért adat alapján került kiszámításra (4 mérés $\times$ 20 alany). Megfigyelhető, hogy a mérések során a széndioxid 580-710 ppm intervallumban vettek fel értékeket. Tekintettel arra, hogy 1000 ppm a „jó levegő” kritériuma (Pettenkofer szám) az volt várható, hogy az alanyok elégedettek lesznek a levegő frissességével (a légcsereszám 2.15 h^{-1} volt). Az alanyok közül azonban többen is elhasználnak tartották a helyiség levegőjét és több friss levegőre tartottak igényt (6.4 táblázat). Az ALTAIR berendezés bekapcsolása után az elégedetlenek aránya csökkent. Az eredmények összhangban vannak az előző fejezetekben bemutatott kísérletek során regisztrált értékelésekkel.

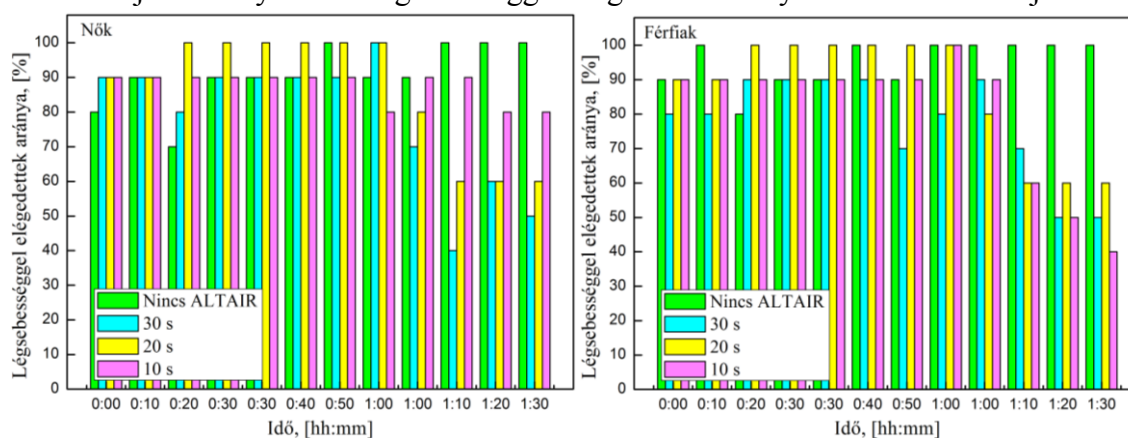
6.4 táblázat A széndioxid tartalommal elégedetlen alanyok száma

Mérés	Csoport	Időpont											
		0:00	0:10	0:20	0:30	0:30	0:40	0:50	1:00	1:00	1:10	1:20	1:30
1.	Nők	7	3	3	4	4	3	3	3	3	5	3	3
	Férfiak	6	6	4	4	4	4	5	3	3	3	2	3
2.	Nők	5	3	4	3	3	2	2	2	2	0	0	0
	Férfiak	3	3	2	3	3	4	4	4	4	3	2	2
3.	Nők	3	3	3	4	4	2	3	3	2	1	1	1
	Férfiak	3	3	3	3	3	3	4	5	4	2	2	2
4.	Nők	5	4	3	3	3	2	3	3	2	0	0	0
	Férfiak	3	3	3	2	2	2	2	4	2	1	0	0

6.6.5 A légsebesség és a huzatérzet

Az elárasztásos szellőzés során (1. mérés) az alanyok fejmagasságában a légsebesség $0,02 \pm 0,01$ m/s volt. A mérések kezdete után 1 órával úgy a léghőmérséklet, mint a közepes sugárzási hőmérséklet 1,8-2 K-el emelkedett (6.3 ábra). Az utolsó 30 percben ALTAIR berendezés a légsebességet 0,48 m/s-ra emelte. A mérések első 30 percében néhány alany nagyobb légsebességet igényelt. A mérések második harmadában, az aszimmetrikus sugárzás miatt is a nagyobb légsebességet igénylők száma növekedett. Az utolsó 30 percben viszont a légsebességgel elégedetlen alanyok túlnyomó többsége alacsonyabb légsebességet igényelt.

Várható volt, hogy a mérések utolsó harmadában az ALTAIR berendezés miatt többen huzatérzetre panaszkodnak, azonban a magas hőmérsékletek miatt a korábbi mérésekhez hasonlóan ebben az esetben is várható volt, hogy lesznek, akik a huzatot elfogadják, mint a hőérzetet javító tényezőt. A légsebességgel elégedettek arányát a 6.9 ábra mutatja be.



6.9 ábra A légsebességgel elégedettek aránya

Látható, hogy a mérések első és második szakaszában 80-100% a légsebességgel elégedettek aránya. Az ALTAIR berendezés bekapcsolása után, viszont ez az arány jelentősen csökkent. Megállapítható, hogy az előző fejezetben bemutatott mérésekhez viszonyítva (fiatal csoportok esetében 80-90%-os elégedettség), 20-30 %-al csökkent a légsebességgel elégedettek aránya (az ambiens hőmérséklet jelen esetben 2K-el alacsonyabb). A huzatérzetet jelző alanyok, valamint a huzatérzetet zavarónak érző alanyok számát a 6.5 táblázat mutatja be.

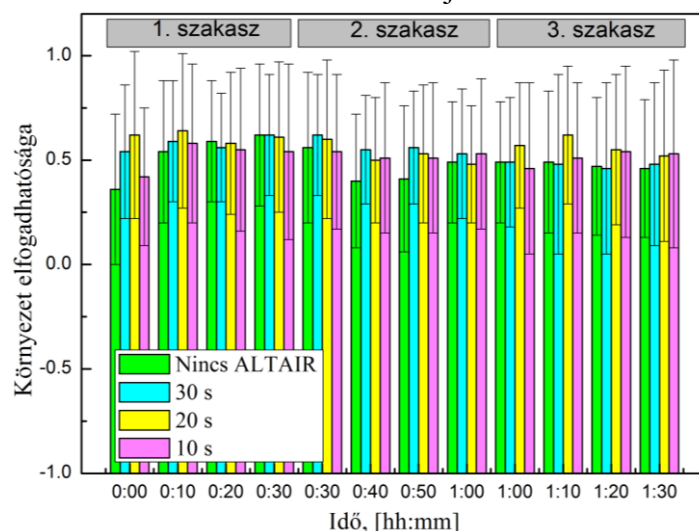
6.5 táblázat Huzatot észlelő és a huzatérzetre panaszkodó alanyok száma

Mérés	Csoport	Huzat - észlelés				Huzat - panasz			
		1:00	1:10	1:20	1:30	1:00	1:10	1:20	1:30
2.	Nők	4	6	7	7	3	4	3	5
	Férfiak	8	10	10	10	1	5	4	4
3.	Nők	3	5	7	7	0	2	3	4
	Férfiak	4	8	7	7	1	2	3	3
4.	Nők	4	4	4	4	1	2	2	2
	Férfiak	5	4	6	6	1	1	3	3

6.6.6 Aszimmetrikus sugárzás és a környezet általános értékelése

A mérések tervezése során, illetve az elsődleges adatok alapján azt feltételeztem, hogy mind a négy mérés esetében az első 30 percen nem lesz panasz a környező felületek hőmérsékletére és a környezetet az alanyok minden szempontból elfogadhatónak tartják majd. A mérések

második harmadában azt feltételeztem, hogy az alanyok az aszimmetrikus sugárzás miatt elégedetlenek lesznek és a környezetet éppen elfogadhatónak tartják (esetleg ez alatti értékek sem lettek volna meglepőek). Az első mérésnél, mivel az aszimmetrikus sugárzást semmi sem kompenzálta az utolsó 30 percben, azt vártam, hogy a környezet általános értékelése -1 legyen (minden szempontból elfogadhatatlan). A 2-4 méréssorozat esetében azt feltételeztem, hogy a váltakozó irányú légáram javít az aszimmetrikus sugárzás okozta diszkomfort érzeten és a környezet általános elfogadottsága 0 vagy ennél is nagyobb lesz. A környezet elfogadottságára adott értékeléseket a 6.10 ábra mutatja be.



6.10 A környezet általános értékelése

Megállapítható, hogy az ALTAIR berendezés alkalmazása esetében van javulás a környezet értékelésében, azonban ez a növekedés nem szignifikáns. A statisztikai elemzések alapján elmondható, hogy a környezet általános értékelését illetően nincs szignifikáns különbség a csoportok között. A környező felületek hőmérsékletére vonatkozó válaszok viszont azt mutatják, hogy az alanyok elégedetlenek voltak a bal oldali aszimmetrikus sugárzással (6.6 táblázat).

6.6 táblázat A környező felületek hőmérsékletével elégedettek száma

Mérés	Csoport	Időpont											
		0:00	0:10	0:20	0:30	0:30	0:40	0:50	1:00	1:00	1:10	1:20	1:30
1	Nők	10	10	10	10	10	10	8	7	7	5	4	3
	Férfiak	10	10	10	10	8	7	6	7	7	5	3	5
2	Nők	10	10	10	10	8	7	5	4	8	10	10	10
	Férfiak	10	10	10	10	7	5	5	5	9	10	10	10
3	Nők	10	10	10	10	8	8	4	1	9	9	10	10
	Férfiak	10	10	10	10	10	9	6	4	8	10	10	10
4	Nők	10	10	10	10	9	8	5	5	9	10	10	10
	Férfiak	10	10	10	10	10	8	6	4	10	9	10	10

A környező felületek hőmérsékletével elégedetlenek kivétel nélkül a bal oldali sugárzásra panaszkodtak. Megállapítható tehát, hogy míg a környezet általános elfogadhatósága szempontjából az alanyok értékelése nem mutat különbséget az ALTAIR nélküli és az ALTAIR berendezéssel végzett mérések között, addig a táblázat jól mutatja, hogy az

aszimmetrikus sugárzás hatását az ALTAIR megszüntette. Igaz, hogy a környezetet az alanyok továbbra sem minősítették nagyobb értékkel, de ez vélhetően a nagy légsebesség értéknek köszönhető. A környezet értékelését javította volna, ha alacsonyabb légsebességet biztosítok. Ez viszont azt jelentené, hogy $20 \text{ m}^3/\text{h}$ -nál kisebb térfogatáramot juttatunk az egyén mikrokörnyezetébe. Ez természetesen az ALTAIR berendezéssel könnyen megvalósítható, de a jelen kutatás során ezt az értéket alkalmaztam, mindegyik méréssorozat esetében.

6.7 Összefoglalás

Az elvégzett vizsgálatok keretében az aszimmetrikus rövid és hosszúhullámú sugárzás egyedi hőérzeti hatását, valamint a váltakozó irányú hőáramok és az aszimmetrikus sugárzás együttes hőérzeti hatását vizsgáltam 20 fő bevonásával. A mérések során a kéz és az arc bőrhőmérsékletek mérésre és rögzítésre kerültek. Az eredmények értékelése alapján az alábbi megállapításokat teszem:

- 105 W/m^2 aszimmetrikus sugárzás esetében a kéz és az arc hőmérsékletek eltérő módon változnak a nők és a férfiak esetében. A nők kézhőmérséklete az első 30 perc után csökkent, míg a férfiak kézhőmérséklete állandó maradt. Továbbá az arc bal és jobboldalán a bőrhőmérséklet a nők esetében közel azonos volt, míg a férfiak esetében $0,5 \text{ K}$ hőmérsékletkülönbség alakult ki.
- a számított hőérzeti érték és az alanyok válaszai között nincs szignifikáns különbség a mérések első két időszakában, míg a harmadik időszakban (működő ALTAIR berendezés mellett) a számított értékek szignifikánsan eltérnek az alanyok válaszaitól.
- az aszimmetrikus sugárzás okozta diszkomfort nem jelenik meg az alanyok által a környezet általános értékelésére adott válaszai között, ugyanakkor a második szakasz végén 30-90%-a az alanyoknak a bal oldali felületi hőmérséklet (vagyis a sugárzás) csökkentését kérte.
- az adott környezeti feltételek mellett az alanyok 30-60%-a túlságosan nagynak tartotta a légsebességet (ez az érték a $20 \text{ m}^3/\text{h}$ keringtetett térfogatáram miatt adódott).
- az ALTAIR berendezés működésével, a levegő frissességével elégedetlenek aránya csökkent.

Összességében elmondható, hogy a hipotézisben megfogalmazott feltételezéseket túlnyomórészt a mérések igazolták. Ugyanakkor, az adott környezeti paraméterek mellett, az alanyok hőérzeti szempontból nagyobb arányban fogadták el a sugárzási aszimmetriát és a magasabb hőmérsékletet, mint a váltakozó irányú nagysebességű légáramok által okozott huzathatást.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

Különböző építészeti paraméterekre kiterjedő érzékenyégvizsgálattal, szimulációval, műszeres méréssel és élőalanyos vizsgálatokkal igazoltam, hogy az energiafogyasztás és kibocsátás csökkentést célzó építészeti megoldások növelik az épületek túlzott nyári felmelegedésének és ezzel a termikus diszkomfortnak a kockázatát, amelyek kiküszöbölése a hőérzetet befolyásoló paraméterek egyenlőtlen térbeli eloszlása és az eltérő egyéni adottságok miatt tetemes energiaráfordítással sem lehetséges, különösen olyan terekben, ahol a tartózkodási hely és pozitúra hosszabb időre rögzített. Bevezettem egy vektor jellegű paramétert: a periodikusan, szabályozható frekvenciával változtatható irányú légsebességet és kifejlesztettem az ezt biztosító berendezés prototípusát. Élőalanyos vizsgálatokkal bizonyítottam, hogy az egyes alanyok körül így létrehozott, általuk szabályozható mikroklíma az egyéni hőérzeti igények kielégítésére alkalmas, a rövid- és hosszuhullámú sugárzás aszimmetriájának hatását is kompenzálja és energiaigénye a hagyományos szellőztetési-klimatizálási rendszerekénél lényegesen kisebb.

7.1 Új eredmények, tézisek

1. Számításokkal és mérésekkel is igazoltam, hogy épületekben az üvegezett határolószerkezetekkel rendelkező belső terek egyes pontjaiban, nyári időszakban, extrém forró lokális környezeti viszonyok alakulhatnak ki, melyeknek semlegesítése hőérzeti szempontból csak nagy mennyiségű energiafelhasználással lehetséges, ezzel azonban a térbeli egyenlőtlenségek nem szüntethetők meg.

Az elvégzett 320 szimuláció (4 g érték, 5 U érték, 4 tájolás, 2 ablakméret és 2 hőtároló tömeg) eredményei alapján megállapíthatjuk, hogy a hőátbocsátási tényező hatása növekszik, ha növeljük az ablakméretet és csökkentjük a hőtároló tömeget, de a hatás nem szignifikáns még akkor sem, ha az ablakméretet megduplázzuk és negyedére csökkentjük a hőtároló tömeget (maximum 0,5 K változás operatív csúcshőmérséklet tapasztalható egy adott tájolás esetében, ha az U értéket 1,9 W/m²K-ről, 0,7 W/m²K-re csökkentjük). Az összesített sugárzásátbocsátó képesség hatása hasonló módon érvényesül, de jóval nagyobb operatív hőmérsékletváltozást okoz. Nehéz szerkezet és kis ablakméret esetében viszont a g tényező hatása az operatív hőmérsékletre a vizsgált tájolások mellett még 1 K-nél kisebb marad. Ha megduplázzuk az ablakméretet, akkor a g tényező hatása növekszik (nehéz szerkezet mellett, 1,5 K amplitúdó csökkenést érhetünk el, ha a g tényezőt 0,8-ról, 0,2-re csökkentjük). Ha a hőtároló tömeget negyedére csökkentjük, akkor a g tényező hatása nagymértékben növekszik (D-i tájolás esetében a vizsgált peremfeltételek mellett az operatív hőmérséklet amplitúdóját 6 K-el csökkenthetjük, ha a g tényezőt 0,8-ról, 0,2-re módosítjuk).

2. Élőalanyos mérésekkel igazoltam, hogy a különböző termikus háttérrel rendelkező emberek fiziológiai szempontból eltérő módon adaptálódnak a meleg környezethez. Az adaptáció figyelembevételével energiamegtakarítás érhető el. Az eltérő adaptációs folyamatok és a térben kialakuló eltérő környezeti viszonyok miatt, hagyományos légvezetési móddal nem biztosítható minden benntartózkodó számára az eltérő igények kielégítése.

Mérésekkel bizonyítottam, hogy a magas ambiens hőmérsékletű térben az egyének szubjektív hőérzete változatlan környezeti paraméterek mellett is egyre jobb lett a mérések időtartama alatt. A vizsgált térre vonatkozó számított PMV érték jól közelíti a vizsgált csoportok által adott szubjektív hőérzeti válaszok átlagértékét. Ugyanakkor az időben végbemenő fiziológiai adaptáció csoportonként eltérő volt. Befolyásoló tényezőnek tekinthető az egyének származási helye, de a magyar csoportoknál megfigyelhető a nemek közötti eltérés is. $p=0,05$ szignifikancia szint mellett a nigériai csoport által a mérések kezdetén és végén adott válaszok között van szignifikáns különbség, továbbá a magyar férfiak csoportja és a nigériai csoport válaszai között is szignifikáns különbség állapítható meg.

A hőérzethez hasonlóan a kellemetlen/zavaró illatokkal kapcsolatos elégedetlenség is csökkent a mérések során. Speciális szaganyag nem került ugyan alkalmazásra, az építőanyagok, a szék és az íróasztal, valamint maga az egyén is szennyezőanyag forrásnak tekinthető. A mérések első felében a magyar nők csoportja, a mérések második felében a magyar férfiak csoportja értékelte legintenzívebbnek a kellemetlen illatokat a teszthelyiségben. A belső levegő minőségét befolyásoló tényezők közül a széndioxid koncentrációt külön vizsgáltam. Megállapítottam, hogy a viszonylag magas friss levegő térfogatáram ellenére az alanyoknak csupán 30-70%-a volt elégedett a levegő frissességével. Függetlennek tekintett tényezők között tehát a szubjektív ítéletben kapcsolat van. Ez igazolja a korábbi kutatások sejtését, miszerint egymástól független komfortszempontok (hőérzet-levegő minőség) között van egymásra hatás.

A levegő áramlási sebességével elégedetlen alanyok nagyobb áramlási sebességet igényeltek. Az áramlási sebességgel legkevésbé a magyar férfiak csoportja volt elégedett. A legnagyobb elégedettségi arány a nigériai csoport esetében volt tapasztalható. megállapítható továbbá, hogy amíg a férfiak csoportjainál az elégedettségi arány állandónak tekinthető a két órás mérés során, addig a magyar nők csoportjában az elégedettségi arány változott: 40%-ról 90%-ra növekedett a két óra alatt. Ez ismét a hőháztartás a nemek közötti különbségét bizonyítja.

A vizsgált magas ambiens hőmérséklettel rendelkező teret a magyar nők csoportja értékelte a leginkább elfogadhatónak, ugyanakkor másfél óra után mind a 40 alany az éppen elfogadhatónál jobb minősítést adott a környezetnek.

3. A preferált belső környezeti paraméterek értékeit befolyásolja a gazdasági környezet. Megfelelő gazdasági körülmények esetében a komfortigények növekednek (a preferált hőmérsékletek nyáron csökkennek, télen növekednek). Ha nem lehetséges a preferált környezeti paraméterek biztosítása, a termikus háttér és az adaptáció felülírja a gazdasági körülmények alapján preferált környezeti paraméterek értékeit.

A nigériai és a török alanyok többsége otthonában rendelkezett légkondicionáló berendezésekkel és számukra az energiafelhasználás csökkentése nem volt kiemelt célkitűzés. Mivel gazdasági körülményeik lehetővé tették számukra nagy teljesítményű berendezések telepítését és az üzemeltetési költségek sem okoztak számukra jelentős anyagi terhelést, nyári időszakban alacsony belső hőmérsékletet tartottak. Magyarországon való tartózkodásuk során, az oktatási intézményben kénytelenek voltak elviselni magasabb hőmérsékleteket. A mérés kezdetén az általános kérdőív kitöltésekor preferenciaként megjelölték azt a hőmérsékletet, amihez ők az otthonaikban hozzászoktak. Mivel a mérés során a kellemes hőérzetet biztosító hőmérsékletnél nagyobb, a preferált hőmérsékletnél jóval nagyobb érték volt beállítva, a mérés kezdetén a környezetet melegnek ítélték. A két óra során viszont az adaptáció miatt a

környezet értékelése hőérzeti szempontból esetükben jelentősen javult. Ez arra enged következtetni, hogy amennyiben a gazdasági körülmények, illetve az épületek felszereltsége arra kényszerítik őket, akkor preferenciájukat az új feltételekhez, a magasabb belső hőmérséklethez igazítják. Megkülönböztethetünk tehát rövid- és hosszú távú adaptációt. A rövid távú fiziológiai adaptáció során a környezet értékelése javul néhány óra tartózkodás után egy adott meleg környezetben. Ez nem vezet azonban a preferált hőmérséklet megváltoztatásához. A gazdasági körülmények viszont kényszeríthetik az egyéneket arra, hogy elfogadják a magasabb hőmérsékleteket és idővel a preferált hőmérsékletet is ehhez igazítsák.

4. *Tevékeny részvételemmel kifejlesztésre került az ALTAIR személyi szellőző berendezés, melynek segítségével szabályozható módon időben váltakozó irányú légáramokat lehet biztosítani az egyének feje és felsőteste körül. Olyan új tényezőt vezettem be: a megfűvás irányát és periodikus változásának frekvenciáját, amely a hőérzetet jellemző eddig ismert különböző jelzőszámok, diagramok egyikében sem szerepel. Az eljárás kedvező hőérzeti hatását előalanyos hőérzeti mérésekkel igazoltam. Az elérhető energiamegtakarítást mérésekkel és számítással bizonyítottam. A berendezés egyedi szabályozása lehetővé teszi az egyéni hőérzeti igények kielégítését.*

5. *Bebizonyítottam, hogy periodikusan váltakozó irányú légáramok esetében a kor és a nem hatással van az egyének kialakuló szubjektív hőérzetére.*

Fanger elmélete alapján kidolgozott számítási eljárások azt veszik alapul, hogy a nem és a kor nincs hatással egy adott környezet hőérzeti értékelésére. Kutatásaim alapján megállapítottam, hogy:

- a TESTO 480 műszerrel mért és számított PMV érték (1,44 ALTAIR nélkül és 0,84 ALTAIR berendezéssel) igazolást nyert úgy a fiatal, mint az idős férfiak csoportjánál;
- a fiatal nők csoportja által adott hőérzeti válaszok a mérés mindegyik szakaszában szignifikánsan kisebbek voltak, mint a többi csoport válaszai;
- a kellemetlen illatokat a fiatal korosztály hasonlóan értékelte;
- az idős férfiak csoportja esetében a kellemetlen illatok értékelése gyakorlatilag nem változott a mérések két órás időtartama alatt;
- az egymással kapcsolatban nem álló közérzeti értékeléseket az alanyok összevonják (a vizsgálataim során a levegő frissességét a hőérzettel).

Igazoltam, hogy meleg környezetben az ALTAIR berendezés sikeresen alkalmazható a hőérzeti viszonyok javítása érdekében. A PMV összefüggésében a légsebesség nincs vektorként kezelve, így annak irányváltását nem lehet figyelembe venni a számítások során. A valóságban viszont a váltakozó légáram megvalósítható, így a szubjektív hőérzet értékelése csökken (hűvösebbnek érzékeljük a környezetet). Ez a tapasztalat viszont kihasználható a légkondicionáló berendezések energiatakarékos tervezésénél.

6. *Nyári környezeti feltételek mellett bebizonyítottam, hogy az aszimmetrikus sugárzás negatív hőérzeti hatását a periodikusan váltakozó irányú légáramok semlegesítik. A légsebesség kiválasztásakor figyelembe kell venni a léghőmérsékletet a huzathatás elkerülése érdekében.*

- az aszimmetrikus sugárzás esetében, amely úgy hosszú- mint rövidhullámú tartományban is érvényesült, a kéz és az arc hőmérsékletek eltérő módon változtak a nők és a férfiak esetében.

A nők kézhőmérséklete az első 30 perc után csökkent, míg a férfiak kézhőmérséklete állandó maradt. Továbbá az arc bal és jobb oldalán a bőrhőmérséklet a nők esetében közel azonos volt, míg a férfiak esetében 0,5 K hőmérsékletkülönbség alakult ki.

- a számított hőérzeti érték és az alanyok válaszai között nincs szignifikáns különbség a mérések első két időszakában, míg a harmadik időszakban (működő ALTAIR berendezés mellett) a számított értékek szignifikánsan eltérnek az alanyok válaszaitól.
- az aszimmetrikus sugárzás okozta diszkomfort nem jelenik meg az alanyok által a környezet általános értékelésére adott válaszai között, ugyanakkor a második szakasz végén 30-90%-a az alanyoknak a bal oldali felületi hőmérséklet csökkentését kérte.
- az adott környezeti feltételek mellett az alanyok 30-60%-a túlságosan nagynak tartotta a légsebességet (ez az érték a $20 \text{ m}^3/\text{h}$ keringtetett térfogatáram miatt adódott).
- az ALTAIR berendezés működésével, a levegő frissességével elégedetlenek aránya csökkent.

ALKALMAZOTT JELÖLÉSEK LISTÁJA

g – az üvegezés összesített sugárzásátbocsátó képessége	[-]
ρ_a – a levegő sűrűsége	[kg/m ³];
c_{ap} – a levegő állandó nyomáson mért fajhője	[J/kgK]
q_v – a szellőző levegő térfogatárama	[m ³ /s]
t_a – a belső levegő hőmérséklete	[°C]
h_M – konvektív hőátadási tényező a hőtároló tömeg felülete és a levegő között	[W/m ² K]
A_j – a j határoló épületszerkezet felülete belméretek szerint	[m ²]
c_j – a j réteg anyagának fajhője	[J/kgK]
d_j – a j réteg vastagsága	[m]
ρ_j – a j réteg anyagának sűrűsége	[kg/m ³]
H_{ve} – szellőzési hőveszteség/hőnyereség tényező	[W/K]
$H_{tr,op}$ – tömör szerkezetek transzmissziós hőveszteségének/hőnyereségének tényezője	[W/K]
$H_{tr,w}$ – nyílászárók transzmissziós hőveszteségének/hőnyereségének tényezője	[W/K]
$H_{tr,em}$ – tömör szerkezetek transzmissziós hőveszteség/hőnyereség tényezőjének első tagja	[W/K]
$H_{tr,ms}$ – a tömör szerkezetek transzmissziós hőveszteség/hőnyereség tényezőjének második tagja	[W/K]
$H_{tr,is}$ – a t_a és a θ_s csomópontok közötti hőveszteség/hőnyereség tényező	[W/K]
θ_m – a hőtároló tömeg hőmérséklete	[°C]
θ_s – a központi csomópont hőmérséklete (figyelembe veszi a közepes sugárzási hőmérsékletet és részben a levegő hőmérsékletet)	[°C]
A_{wj} – a j nyílászáró felülete belméretek szerint	[m ²]
U_{wj} – a j nyílászáró hőátbocsátási tényezője	[W/m ² K]
h_{is} – a léghőmérséklet csomópont (t_a) és a központi csomópont (θ_s) közötti hőátadási tényező	[W/m ² K]
A_{tot} – a vizsgált helyisége(ke)t határoló összes épületszerkezet felülete belméretek szerint	[m ²]
b_{vj} – korrekciós tényező (j a befűvő sorszáma)	[-]
θ_e – a külső léghőmérséklet	[°C], [K]
θ_{sup} – szellőző levegő hőmérséklete	[°C]
Φ_{int} – a belső hőnyereségek teljesítménye	[W]
Φ_{sol} – a sugárzásos hőnyereségek teljesítménye	[W]
$\Phi_{HC,nd}$ – a hűtési teljesítményigény	[W]
A_{wj} – a j nyílászáró felülete, belméretek szerint	[m ²]
U_{wj} – a j nyílászáró hőátbocsátási tényezője	[W/m ² K]
A_j – a j hőtároló szerkezet felülete	[m ²]
d_j – a j réteg vastagsága	[m]
c_j – a j réteg anyagának fajhője	[J/kgK]
ρ_j – a j réteg anyagának sűrűsége	[kg/m ³]
A_m – a hőtároló tömeg levegővel érintkező effektív felülete	[m ²]
h_{ms} – az m és az s csomópontok közötti hőátadási tényező	[W/m ² K]
C_m – helyiség hőkapacitása	[J/K]
$A_{op,j}$ – a j tömör szerkezet felülete belméretek szerint	[m ²]
$U_{op,j}$ – a j tömör szerkezet hőátbocsátási tényezője	[W/m ² K]
l_j – a j lineáris hőhíd hossza	[m]
Ψ_j – a j lineáris hőhíd vonalmenti hőátbocsátási tényezője	[W/mK]
θ_{op} – operatív hőmérséklet	[°C]

A_f – a helyiség nettó alapterülete	[m ²]
PMV – a várható hőérzeti érték	[-]
AMV – az aktuális hőérzeti érték	[-]
PPD – a hőérzettel várhatóan elégedetlenek aránya	[-]
τ_e – az üvegezés transzmissziós tényezője	[-]
q_i – a belső oldali sugárzásos hőátadási tényezője	[-]
p_a – a vízgőz parciális nyomása a levegőben	[Pa]
t_{cl} – a ruházattal borított és nem borított testfelület hőmérséklete	[°C]
I_{cl} – a ruházat hőszigetelő képessége	[clo]
f_{cl} – a ruházattal borított és a ruha nélküli testfelületek aránya	[-]
$\bar{t}_r$, MRT – a közepes sugárzási hőmérséklet	[°C]
A_r/A_D – a sugárzásos hőcserében résztvevő testfelület és a teljes testfelület aránya	[-]
F_{Du} – a Du Bois összefüggéssel számított testfelület	[m ²]
h_c – konvekciós hőátadási tényező (emberi test és a levegő között)	[W/m ² K]
v_{ar} – relatív légsebesség	[m/s]
h_r – sugárzásos hőátadási tényező (az ember és környezete között)	[W/m ² K]
ε_t – ruházattal borított test emissziós tényezője	[-]
F_{P-Ai} – az ember és az A_i határolószerkezet közötti besugárzási tényező	[-]
T_{si} – az i határolószerkezet belső felületi hőmérséklete	[K]
q_{tot} – az összes szellőző levegő	[m ³ /h]
n – a személyek száma	[-]
c – a belső levegő minősége	[decipol]
μ – kontaminációs fok	[-]
ε – a szellőztetés hatásossága	[-]
$Q_{hű}$ – hűtési energiaigény	[Wh]
SEER – a hűtőgép szezonális átlagos teljesítménytényezője	[-]
$\varepsilon_{hű}$ – a hűtőrendszer hőmérsékletlépcsőjéből adódó érezhető és totál hűtőtelsítmény aránya	[-]
$e_{hű}$ – villamosenergia primer energia átváltási tényezője	[-]

További rövidítések:

LVR – légvezetési rendszer

F-F – a befűtés és az elszívás a mennyezet alatt van elhelyezve

F-L – a befűtés a mennyezet alatt, az elszívás a padlósínt felett van elhelyezve

FELHASZNÁLT SZAKIRODALOM

- Al-Othmani M., Ghaddar N., Ghali K. (2008), A multi-segmented human bioheat model for transient and asymmetric radiative environments, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **51**, 5522–5533.
- Amaia H., Tanabe S., Akimoto T., Genma T. (2007), Thermal sensation and comfort with different task conditioning systems, *Building and Environment*, **42**, 3955–3964.
- Ambler H.R. (1955), Notes on the climate of Nigeria with reference to personnel. *Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, **58**, 99–112.
- Arens E., Gonzalez R., Berglund L. (1986), Thermal comfort under an extended range of environmental conditions, *ASHRAE*, **92**, Part 1B., 18-26.
- Arens E., Turner S., Zhang H., Paliaga G., (2009), Moving Air For Comfort, *Ashrae Journal*, May, 18-29.
- Arens E., Hoyt T., Zhou X., Huang L., Zhang H., Schiavon S. (2015), Modeling the comfort effects of short-wave solar radiation indoors, *Building and Environment*, **88**, 3-9.
- Auliciems A. (1981), Towards a psycho-physiological model of thermal perception, *International Journal of Biometeorology*, **25** (2), 109-122.
- Bánhidi L., (1976), Zárt terek hőérzeti méretezése, Műszaki Könyvkiadó, Budapest. (p. 239)
- Bánhidi L., Kajtár L. (2000), *Komfortelmélet*, Tankönyvkiadó, Budapest.
- Bartal I., Bánhidi L., Garbai L. (2012), Analysis of the static thermal comfort equation, *Energy and Buildings*, **49**, 188-191.
- Becker R., Paciuk M. (2009), Thermal comfort in residential buildings – Failure to predict by Standard model, *Building and Environment*, **44**, 948–960.
- Bell S. (2001), A Beginner's Guide to Uncertainty of Measurement, Centre for Basic, Thermal and Length Metrology National Physical Laboratory, United Kingdom.
- Berglund L.G., Fobelets A.P.R. (1987), Subjective human response to low-level air currents and asymmetric radiation, *ASHRAE*, No. 3044 (RP-353), 497-523.
- Brasche S., Bischof W. (2005), Daily time spent indoors in German homes – Baseline data for the assessment of indoor exposure of German occupants, *Int. J. Hyg. Environ.-Health*, **208**, 247–253.
- Briggs D.J., Denman A.R., Gulliver J., Marley R.F., Kennedy C.A., Philips P.S., Field K., Crockett R.M. (2003), Time activity modelling of domestic exposures to radon, *Journal of Environmental Management* **67**, 107–120.
- Buratti C., Ricciardi P. (2009), Adaptive analysis of thermal comfort in university classrooms: Correlation between experimental data and mathematical models, *Building and Environment*, **44**, 674–687.
- Burse R.L. (2016), Sex Differences in Human Thermoregulatory Response to Heat and Cold Stress, *Human Factors*, **21**, 6, 687 – 699.
- Caterina M.J. (2007), Transient receptor potential ion channels as participants in thermosensation and thermoregulation, *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, **292**, 64–76.
- Campero M., Bostock H. (2010), Unmyelinated afferents in human skin and their responsiveness to low temperature, *Neuroscience Letters*, **470**, 188–192.

- Chau C.K., Tu E.Y., Chan D.W.T., Burnett J. (2002), Estimating the total exposure to air pollutants for different population age groups in Hong Kong, *Environment International*, **27**, 617–630
- Chau C.K., Hui W.K., Tse M.S. (2008), Valuing the health benefits of improving indoor air quality in residences, *Science of the Total Environment*, **394**, 25–38.
- Choi J, Aziz A, Loftness V. (2010), Investigation on the impacts of different genders and ages on satisfaction with thermal environments in office buildings, *Building and Environment*, **45**, 1529–1535.
- Chungyoon Chun C., Kwok A., Mitamura T., Miwa N., Tamura A. (2008), Thermal diary: Connecting temperature history to indoor comfort, *Building and Environment*, **43**, 877–885.
- Coley D., Kershaw T. (2010), Changes in internal temperatures within the built environment as a response to a changing climate, *Building and Environment*, **45**, 89–93.
- Crawley D. B., Lawrie L. K., Winkelmann F. C., Buhl W.F., Huang Y.J., Pedersen C. O., Strand R. K., Liesen R. J., Fisher D. E., Witte M. J., Glazer J. (2001), EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program, *Energy and Buildings*, **33**:4, p. 319–331.
- Csáky I. (2009a), Szellőztetés hatása a széndioxid koncentrációra lakóépületekben, *15th Building Services, Mechanical and Building Industry Days*, Debrecen, 2009.10.15-2009.10.16., p. 115-122.
- Csáky I. (2009b), Szennyező anyagok a belső környezet levegőjében, *I. Alpok-Adria Passzívház Konferencia – Pécs*, 2009.09.04-2009.09.05., p. 357-359.
- Csáky I., Kalmár T. (2014), Analysis of degree day and cooling energy demand in educational buildings, *Environmental Engineering and Management Journal*, **13**:(11), 2765-2770.
- Csáky I. (2015), Épületek nyári hőterhelésének energetikai vizsgálata, PhD értekezés, DE Földtudományi Doktori Iskola, Debrecen.
- Darian-Smith I., Johnson K.O. (1977), Thermal sensibility and thermal receptors, *Journal of Investigative Dermatology*, **69**, p: 146-153, 1977.
- de Dear R., Brager G. (1998), Developing an adaptive model of thermal comfort and preference, *ASHRAE Transactions*, **104** (1), 145-167.
- de Dear R. (1998), A global database of thermal comfort field experiments, *ASHRAE Transactions*, **104**, 1141–1152.
- de Dear R., Brager G.S. (2001), The adaptive model of thermal comfort and energy conservation in the built environment, *Int J Biometeorol*, **45**, 100–108.
- de Dear (2004), Thermal comfort in practice, *Indoor Air*, **14** (Suppl 7): 32–39.
- Dili A.S., Naseer M.A., Varghese T.Z. (2011), Passive control methods for a comfortable indoor environment: Comparative investigation of traditional and modern architecture of Kerala in summer, *Energy and Buildings*, **43**, 2–3, p. 653–664.
- Ellis F.P.(1953), Thermal comfort in warm and humid atmospheres, Observations on groups and individuals in Singapore, *J Hyg (Lond)*, Sep; **51**(3): 386–404.
- Fairey P., Vieira, R. K., Parker, D. S., Hanson, B., Broman, P. A., Grant, J. B., Fuehrlein, B., Gu, L. (2002). EnergyGauge USA: A Residential Building Energy Simulation Design Tool. Energy Systems Laboratory (<http://esl.tamu.edu>); Texas A&M University (<http://www.tamu.edu>). Available electronically from [http : //hdl.handle.net/1969.1/4562](http://hdl.handle.net/1969.1/4562).
- Fanger P.O. (1970), *Thermal comfort*, Danish Technical Press, Copenhagen, p. 68–106.

- Fanger P.O., Melikov A.K., Hanzawa H., Ring J. (1988), Air turbulence and sensation of draught, *Energy and Buildings*, **12**, 21-39.
- Fanger P. O., Ipsen B. M., Langkilde G., Olesen B. W., Christensen N. K., Tanabe S., (1985) Comfort limits for asymmetric thermal radiation, *Energy and Buildings*, **8**, 225 – 236.
- Fanger P.O., Toftum J. (2002), Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates, *Energy and Buildings*, **34**, 533–536.
- Fisk W., Rosenfeld A. (1997), Estimates of improved productivity and health from better indoor environments, *International Journal of Indoor Air Quality and Climate* **7**, 158–172.
- Fisk W., Rosenfeld A. (1998), Potential nationwide improvements in productivity and health from better indoor environments, in: *proceedings of the 1998 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*, American Council for an Energy-Efficient Economy.
- Ghali K., Ghaddar N., Salloum M. (2008), Effect of stove asymmetric radiation field on thermal comfort using a multisegmented bioheat model, *Building and Environment*, **43**, 1241–1249.
- Givoni B., (1976), *Man, climate _and architecture*, Second Edition. New York: Van Nostrand Reinhold Company.
- Goto T., Mitamura T., Yoshino H., Tamura A., Inomata E. (2007), Long-term field survey on thermal adaptation in office buildings in Japan, *Building and Environment*, **42**, 3944–3954.
- Griefahn B., Künemund C., Gehring U. (2000), The significance of air velocity and turbulence intensity for responses to horizontal drafts in a constant air temperature of 23 °C, *International Journal of Industrial Ergonomics*, **26**, 639-649.
- Griefahn B., Künemund C., Gehring U. (2001) The impact of draught related to air velocity, air temperature and workload, *Applied Ergonomics*, **32**, 407-417.
- Haldi F., Robinson D. (2008), On the behaviour and adaptation of office occupants, *Building and Environment*, **43**, 2163–2177.
- Haldi F., Robinson D. (2009), Interactions with window openings by office occupants, *Building and Environment*, **44**, 2378–2395.
- Haldi F., Robinson D. (2010), On the unification of thermal perception and adaptive actions, *Building and Environment*, **45**, 2440-2457.
- Havenith A, Holmér I, Parsons K. (2002), Personal factors in thermal comfort assessment: clothing properties and metabolic heat production, *Energy and Buildings*, **34**, 581-291.
- Herczeg L. (2009), Irodterek belső levegő minőségének értékelése. A szén-dioxid-koncentráció hatása az ember közérzetére és az irodai munka teljesítményére, *Magyar Épületgépészet*, **LVIII**, 5, 3-7.
- Herkel S., Knapp U., Pfafferott J. (2008), Towards a model of user behaviour regarding the manual control of windows in office buildings, *Building and Environment*, **43**, 588–600.
- Hodder S.G., Parsons K. (2007), The effects of solar radiation on thermal comfort, *Int J Biometeorol*, **51**, 233–250.
- Höppe P. (2002), Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort, *Energy and Buildings*, **34**, 661–665.
- Huizenga Ch., Zhang H., Mattelaer P., Yu T., Arens E., Lyons P. (2006), *Window performance for human thermal comfort*, Final Report to the National Fenestration Rating Council, USA.

- Humphreys M.A., Nicol J.F. (2002), The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments, *Energy and Buildings*, **34**, 667-684.
- Hwang R. L., Chen C. P. (2010), Field study on behaviours and adaptation of elderly people and their thermal comfort requirements in residential environments, *Indoor Air*, **20**, 235–245.
- Indraganti M, Daryani Rao K. (2010), Effect of age, gender, economic group and tenure on thermal comfort: A field study in residential buildings in hot and dry climate with seasonal variations, *Energy and Buildings*, **42**, 273–281.
- Jenkins D.P., Patidar S., Banfill P.F.G., Gibson G.J. (2011), Probabilistic climate projections with dynamic building simulation: Predicting overheating in dwellings, *Energy and Buildings*, **43**, 1723–1731.
- Jenkins P.L., Phillips Th.J., Mulberg E.J., P Hui S.P. (1992), Activity patterns of californians: use of and proximity to indoor pollutant sources, *Atmospheric Environment*, **26**:12, 2141-2148.
- Ji Y., Lomas K., Cook M. (2009), Hybrid ventilation for low energy building design in south China, *Building and Environment*, **44**, 2245–2255.
- Jones L. (2009), *Thermal touch*, Scholarpedia, 4(5):7955. http://www.scholarpedia.org/article/Thermal_touch, (Letöltés: 2012.07.13).
- Kajtár L., Kassai M., Klímatizált épületek energetikai elemzése, Magyar Épületgépészet, LVII. évfolyam, 2008/7-8, p. 3-7.
- Kajtar L, Herczeg L., (2012), Influence of carbon-dioxide concentration on human well-being and intensity of mental work, *Időjárás*, **116**:(2) p. 145-169.
- Kalmár T. (2013), Alacsony exergiaigényű fűtési-szellőzési rendszerek hőérzeti vizsgálata változó üzemállapotok során, Doktori disszertáció, DE Földtudományok Doktori Iskola.
- Kanizsai P. (2011), *Termoregulációs és energetikai változások műtéti és éhezési stressz hatására*, Doktori Disszertáció, Pécsi Tudományegyetem.
- Karlsson J., Roos A. (2000,) Modelling the angular behaviour of the total solar energy transmittance of windows, *Solar Energy*, **69**, 4, pp. 321–329.
- Karlsson J., Rubin M., Roos A. (2001), Evaluation of predictive models for the angle-dependent total solar energy transmittance of glazing materials, *Solar Energy*, **71**, 1, pp. 23–31.
- Kassai M., Klímaközpontok energiafelhasználásának elemzése valószínűségelméleti alapon, Doktori értekezés, BME, 2011.
- Kenshalo D.R., Scott H.A. (1966), Temporal course of thermal adaptation, *Science*, **152**, p: 1095-1096.
- Klug N., (1896), *Az érzékszervek élettana*, K.M. Természettudományi Társulat, Budapest. (<http://mek.oszk.hu/02900/02938/html/>) (Letöltés: 2012.07.12)
- Kosonen R., Tan F. (2004), The effect of perceived indoor air quality on productivity loss, *Energy and Buildings*, **36**, 981–986.
- Krausse B., Cook M., Lomas K. (2007), Environmental performance of a naturally ventilated city centre library, *Energy and Buildings*, **39**, 792–801.
- Kwok A.G., Rajkovich N.B. (2010), Addressing climate change in comfort standards, *Building and Environment*, **45**, 18–22.

- La Gennusa M., Nucara A., Rizzo G., Scaccianoce G. (2005), The calculation of the mean radiant temperature of a subject exposed to the solar radiation—a generalised algorithm, *Building and Environment*, **40**, 367–375.
- La Gennusa M., Nucara A., Pietrafesa M., Rizzo G. (2007), A model for managing and evaluating solar radiation for indoor thermal comfort, *Solar Energy*, **81**, 594–606.
- Lan L., Lian Z. (2010), Application of statistical power analysis – How to determine the right sample size in human health, comfort and productivity research, *Building and Environment* **45**, 1202–1213.
- Leaman A., Bordass B. (1999), Productivity in buildings: the “killer” variables, *Building Research and Information*, **27**(1):4-19.
- Leech J.A., Nelson W.C., Burnett R.T., Aaron Sh., Raizenne M.E. (2002), It’s about time: A comparison of Canadian and American time–activity patterns, *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, **12**, 427 – 432.
- Lin Z., Chow T.T., Tsang C.F., Fong K.F., Chan L.S. (2009), Stratum ventilation – A potential solution to elevated indoor temperatures, *Building and Environment*, **44**, 2256–2269.
- Liu J., Yao R., McCloy R. (2012), A method to weight three categories of adaptive thermal comfort, *Energy and Buildings*, **47**, 312–320.
- Lomas K. (2007), Architectural design of an advanced naturally ventilated building form, *Energy and Buildings*, **39**, 166–181.
- Lomas K., Cook M., Fiala D. (2007), Low energy architecture for a severe US climate: Design and evaluation of a hybrid ventilation strategy, *Energy and Buildings*, **39**, 32–44.
- Luo M., de Dear R., Ji W., Bin C., Lin B., Ouyang Q., Zhu Y. (2016a), The dynamics of thermal comfort expectations: The problem, challenge and implication, *Building and Environment*, **95**, 322–329.
- Luo M., Ji W., Cao B., Ouyang Q., Zhu Y. (2016b), Indoor climate and thermal physiological adaptation: Evidences from migrants with different cold indoor exposures, *Building and Environment*, **98**, 30–38.
- Luterbacher J., Dietrich D., Xoplaki E., Grosjean M., Wanner H. (2004), European Seasonal and Annual Temperature Variability, Trends, and Extremes Since 1500, *Science*, **303**, 1499 – 1503.
- Luton N. N. (2011), Climate and architectural traditions in Jamaica, *СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА*/1. Архитектурные решения объектов строительства и реконструкции, http://www.rusnauka.com/18_DSN_2011/Stroitelstvo/1_90439.doc.htm (Letöltés: 2012.08.08)
- Melikov A.K. Cermak, R., Majer, M. (2002), Personalized ventilation: evaluation of different air terminal devices, *Energy and Buildings*, **34**: 829-836.
- Melikov AK. (2004), Personalized ventilation, *Indoor Air*, **14** (Suppl 7), 157-167.
- Melikov A. (2006), „Personalized Ventilation. State of the art and Performance in practice”, KlimaForum 2006, 28 Sept., Godovic, Slovenija, p. 1-15.
- Melikov A. K., Popiolek Z., Silva M. C.G., Care I. and Sefker T., (2007) Accuracy Limitations for Low-Velocity Measurements and Draft Assessment in Rooms, *HVAC&R Research*, **13**, 971-986.
- Melikov AK. (2011), Advanced air distribution, *ASHRAE J.*, November, 73-78.

- Melikov AK. (2016), Advanced air distribution: improving health and comfort while reducing energy use, *Indoor Air*, **26**, 112-124.
- Moran M.M., Xu H., Clapham D.E. (2004), TRP ion channels in the nervous system, *Current Opinion in Neurobiology*, **14**, 362–369.
- Morgan C.A., de Dear R., Brager G. (2002), “*Climate, Clothing and Adaptation in the Built Environment*”, Proceedings: Indoor Air, p. 98–103.
- Morgan C., de Dear R. (2003), Weather, clothing and thermal adaptation to indoor climate, *Climate Research*, **24**, 267–284.
- Nelson Ph. (2004), *Biological Physics*, W. H. Freeman.
- Nicol J.F., Humphreys M.A. (2002), Adaptive thermal comfort and sustainable standards for buildings, *Energy and Buildings*, **34**, 563-562.
- Nilsson A. M., Roos A. (2009), Evaluation of optical and thermal properties of coatings for energy efficient windows, *Thin Solid Films*, **517**, 3173–3177.
- Olesen, B. W. (2012): Revision of EN 15251: Indoor Environmental Criteria, *REHVA Journal*, August 2012.
- Parsons KC. (2002), The effects of gender, acclimation state, the opportunity to adjust clothing and physical disability on requirements for thermal comfort, *Energy and Buildings*, **34**, 593-599.
- Parsons K. (2003), *Human Thermal Environments* (2nd ed.). Taylor & Francis.
- Pedersen S.F., Owsianik G., Nilius B. (2005), TRP channels: An overview, *Cell Calcium*, **38**, 233–252.
- Perez-Padilla R., Schilman A., Riojas-Rodriguez H. (2010), Respiratory health effects of indoor air pollution, *Int J Tuberc Lung Dis*, **14**(9):1079–1086.
- Rabenseifer R. (2016), Basic types of glazing with low-emissivity and their effects, *International Review of Applied Sciences and Engineering*, **7**, 45-50.
- Rao M.N. (1952), Comfort range in tropical Calcutta. A preliminary experiment., *Ind. J. Med. Res.*, **40**, 45–52.
- Rijal H.B., Tuohy P., Humphreys M.A., Nicol J.F., Samuel A., Clarke J. (2007), Using results from field surveys to predict the effect of open windows on thermal comfort and energy use in buildings, *Energy and Buildings*, **39**, 823–836.
- Rizzo G., Franzitta G., Cannistraro G. (1991), Algorithms for the calculation of the mean projected area factors of seated and standing persons, *Energy and Buildings*, **7**, 221-230.
- Rubin M., Von Rottkay K., Powles R., Window optics (1998), *Solar Energy*, **62**, 3, pp. 149–161.
- Rubin M., Powles R., Von Rottkay K. (1999), Models for the angle-dependent optical properties of coated glazing materials, *Solar Energy*, **66**, 4, pp. 267–276.
- Sakoi T., Tsuzuki K., Kato S., Ooka R., Song D., Zhu S. (2007), Thermal comfort, skin temperature distribution, and sensible heat loss distribution in the sitting posture in various asymmetric radiant fields, *Building and Environment*, **42**, 3984–3999.
- Schär Ch., Vidale P.L., Lüthi D., Frei Ch., Häberli Ch., Liniger M.A., Appenzeller Ch. (2004), The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves, *Nature*; **427**, 332-336.
- Seppanen O., Fisk W. (2005), A Model to Estimate the Cost-Effectiveness of Improving Office Work through Indoor Environmental Control, *ASHRAE Transactions*, **111**, 663-673.

- Short C.A., Cook M., Woods A. (2009), Low energy ventilation and cooling within an urban heat island, *Renewable Energy*, **34**, 2022–2029.
- Schepers R.J., Ringkamp M. (2009), Thermoreceptors and thermosensitive afferents, *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, **33**, 205–212.
- Stevens J.C., Choo K.K. (1998): Temperature sensitivity of the body surface over the life span, *Somatosensory & Motor Research*, **15**, 13–28.
- Sun W., Tham K.W., Zhou W., Gong N. (2007), Thermal performance of a personalized ventilation air terminal device at two different turbulence intensities, *Building and Environment*, **42**, 3974–3983.
- Tanabe S., Narita C., Ozeki Y., Konishi M. (2000), Effective radiation area of human body calculated by a numerical simulation, *Energy and Buildings*, **32**, 205–215.
- Tian L., Lin Z., Wang Q., Liu J. (2009), Numerical Investigation of Indoor Aerosol Particle Dispersion under Stratum Ventilation and under Displacement Ventilation, *Indoor Built Environ*, **18** (4), 360–375
- Toftum J., Nielsen R. (1996), Draught sensitivity is influenced by thermal sensation, *International Journal of Industrial Ergonomics*, **18**, 295–305.
- Tse M.S., Chau C.K., Lee W.L. (2004), Assessing the benefit and cost for a voluntary indoor air quality certification scheme in Hong Kong, *Science of the Total Environment*, **320**, 89–107.
- Wang Z. (2009), Modeling thermal comfort with radiant floors and ceilings, *4th International Building Physics Conference 2009*, June 15–18, Istanbul, 1–8.
- Watanabe S., Shimomura T., Miyazaki H. (2009), Thermal evaluation of a chair with fans as an individually controlled system, *Building and Environment*, **44**, 1392–1398.
- Watson D., Labs K. (1983), *Climatic Design*, New York : McGraw-Hill Book Company.
- Wetter M., Haugstetter Ch. (2006), “*MODELICA versus TRNSYS – A comparison between an equation-based and a procedural modeling language for building energy simulation*”, Second National IBPSA-USA Conference Cambridge, MA, August 2–4, 2006.
- Wyon D., Bánhidi L. (2003), A minta nagyságának kérdése a belső környezeti hatásokkal foglalkozó kutatásokban, *Magyar Épületgépészet*, **LII**, 12, 9–10.
- Yao R., Li B., Liu J. (2009), A theoretical adaptive model of thermal comfort – Adaptive Predicted Mean Vote (aPMV), *Building and Environment*, **44**, 2089–2096.
- Yun G.Y., Steemers K. (2008), Time-dependent occupant behaviour models of window control in summer, *Building and Environment*, **43**, 1471–1482.
- Zeng Q., Kaczmarczyk J., Melikov A., Fanger, P.O. (2002) “*Perceived air quality and thermal sensation with personalised ventilation system*”, *Proceedings of Roomvent 2002*, Copenhagen, 61–64.
- Zhang H., Huizenga C., Arens E., Yu T. (2005), Modeling thermal comfort in stratified environments, *Proceedings of Indoor Air 2005*, Beijing, 133–137.

A disszertációhoz alapjául szolgáló saját publikációk, illetve kapcsolódó publikációk melyeknél a társszerzőként vettem részt:

- Kalmár F.**, Kalmár T., Csáki I., Husi G. (2009), Interrelation between ACH and air temperature distribution in a room, In *ROOMVENT 2009: Proceedings of the 11th International ROOMVENT Conference, Busan, Dél-Korea, 2009.05.24-2009.05.29.* 911-917.
- Kalmár F.**, Kalmár T. (2011), A komfortkövetelmények, az épületek primer energiafogyasztása és az exergiaszemlélet, *Magyar Építőipar*, **LXI**:(4), 151-156.
- Kalmár F.**, Kalmár T. (2012), Interrelation between mean radiant temperature and room geometry, *Energy and Buildings*, **55**, 414-421.
- Csáky I., **Kalmár F.** (2012), Simulation of the internal temperature in the PASSOL Laboratory, University of Debrecen, *International Review of Applied Sciences and Engineering*, **3**:(1), 63-73.
- Kalmár F.**, Kalmár T., (2013), Alternative personalized ventilation, *Energy and Buildings*, **65**:(4), 37-44. (2013)
- Kalmár F.** (2013), A belső környezet minősége, Budapest: TERC Kft., 255 oldal, (ISBN:978-963-9968-58-5)
- Kalmár F.** (2013), Bőrzékelés, *Magyar Épületgépészet*, **62**:(4), 7-10.
- Csáky I., **Kalmár F.** (2014), Indoor temperature monitoring in east orientation offices, In: *Proceedings of Denzero International Conference: Sustainable energy by optimal integration of renewable energy sources*, Debrecen, 2014.10.09-2014.10.10. 2014, 155-164.
- Kalmár F.**, Nagy Á. (2015), Szén-dioxid-koncentráció alakulásának vizsgálata egy oktatási épületben, *Magyar Installateur*, **42**, p. 39-42.
- Csáky I., **Kalmár F.** (2015), Effects of thermal mass, ventilation and glazing orientation on indoor air temperature in buildings, *Journal of Building Physics*, **39**:(2), 189-204.
- Kalmár F.** (2015), Innovative method and equipment for personalized ventilation, *Indoor Air*, **25**:(3), 297-306. (2015)
- Kalmár F.** (2016a), Interrelation between glazing and summer operative temperatures in buildings, *International Review of Applied Sciences and Engineering*, **7**, 51-60.
- Kalmár F.** (2016b), Summer operative temperatures in free running existing buildings with high glazed ratio of the facades, *Journal of Building Engineering*, **6**, 236-242.
- Csáky I., **Kalmár F.** (2016), Effects of solar radiation asymmetry on buildings' cooling energy needs, *Journal of Building Physics*, **40**:(1), 35-54.
- Kalmár F.** (2016c), Személyi szellőző berendezés fejlesztése a Debreceni Egyetem Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszékén, *Magyar Épületgépészet*, **65**:(4), 3-7.
- Kalmár F.** (2016d), Investigation of thermal perceptions of subjects with diverse thermal histories in warm indoor environment, *Building and Environment*, **107**, 254-262.
- Kalmár F.**, Kalmár T., Zöld A., Csáky I., *Munkaasztal és eljárás egyedi munkahely lokális, személyi klimatizációjára*

NSZO: A47B 17/00, F24F 7/007

Lajstromszám: 229951

Ügyszám: P1200372

Benyújtás éve: 2012.

Közzététel éve: 2015

Benyújtás helye: Magyarország

Kalmár F. (2017a), An indoor environment evaluation by gender and age using an advanced personalized ventilation system, *Building Serv. Eng. Res. Technol.*, DOI: 10.1177/0143624417701985, **38** (5), p. 505-521.

Kalmár F. (2017b), Impact of elevated air velocity on subjective thermal comfort sensation in case of asymmetric radiation and variable air flow direction, *Journal of Building Physics*, (elfogadva, megjelenés alatt)

Csáky I., **Kalmár F.** (2017), Investigation of the relationship between the allowable transparent area, thermal mass and air change rate in buildings, *Journal of Building Engineering*, DOI: 10.1016/j.jobbe.2017.05.002, **12**, p. 1-7.

Szabványok, Rendeletek, Irányelvek

Az Európai Parlament és a Tanács 2010/31/EU irányelve (2010. május 19.) az épületek energiahatékonyságáról.

MSZ EN ISO 13790:2008, Épületek energetikai teljesítőképessége. A fűtési és hűtési energiaigény számítása.

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 (ISO 7730:2005).

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

MSZ CR 1752:2000, Épületek szellőztetése. Épületek belső környezetének tervezési alapjai.

MSZ EN 15251:2007 Épületek energia-teljesítőképességének tervezésére és becslésére, levegőminőségére, hőmérsékletére, fény- és akusztikai viszonyaira vonatkozó beltéri bemeneti paraméterei.

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

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

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

MSZ EN 410:2012, Építési üveg. Az üvegezés fénytechnikai és napsugárzási jellemzőinek meghatározása.

MSZ EN 673:2012, Építési üveg. A hőátbocsátási tényező (U-érték) meghatározása. Számítási módszer.

7/2006. (V. 24.) TNM rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról.

Internet:

web-1: <http://uk.saint-gobain-glass.com/trade-customers/glass-and-solar-radiation>, (Letöltés: 2016.02.16)

web-2: <http://www.greenspec.co.uk/building-design/windows/> (Letöltés: 2016.02.17)

- web-3: <http://www.kislexikon.hu/borerzekletek.html> (Letöltés: 2012.07.16)
- web-4: <http://pmr-science.wikispaces.com/1.2+The+Sense+of+Touch> (Letöltés: 2012.07.16)
- web-5: <http://www.neurophysiology.ws/receptors.htm> (Letöltés: 2012.07.16)
- web-6: www.duhs.edu.pk/.../lec11-sem2-hnsweek4-201109 (Letöltés: 2012.07.16)
- web-7: http://www.abujacity.com/abuja_and_beyond/climate-and-weather.html#sthash.kyFMeCGr.dpuf (Letöltés: 2016.01.26)
- web-8: Sensoy S., Demircan M., Ulupinar Y., Balta I., Climate of Turkey, Turkish State Meteorological Service, <http://www.mgm.gov.tr/files/en-US/climateofturkey.pdf> (Letöltés: 2016.01.26)
- web-9: http://portal.debrecen.hu/gazdasag/koncepciok/varosfejlesztesi/varosfejleszt2007_koncepciok.html?page=1 (Letöltés: 2017.03.16)
- web-10: http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/varosok_jellemzoi/Debrecen/ (Letöltés: 2017.03.16)
- web-11: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/biology/metab.html>
- web-12: <http://www.vital.hu/anyagcsere-metabolizmus>
- web-13: <http://tudasbazis.sulinet.hu/hu/termesztudomanyok/biologia/emberi-test/legzoszervek/a-legzes>
- web-14: <http://uj szo.com/cimkek/egeszsegunkre/2006/10/07/a-legzes-kemiaja>
- web-15: <http://www.ehvacdesign.com/> (letöltés: 2012.05.10)

A kutatási munka az alábbi projektek keretében valósult meg:

2009-2011, MTA Bolyai János Kutatási ösztöndíj (Hőérzeti viszonyok vizsgálata alacsony exergiaigényű fűtési rendszerek esetében).

2010-2012, A felsőoktatás minőségének javítása a kutatás-fejlesztés-innováció-oktatás fejlesztésén keresztül a Debreceni Egyetemen, TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0007

2013-2014, Fenntartható energetika megújuló energiaforrások optimalizált integrálásával TÁMOP-4.2.2.A-11-1-KONV-2012-0041