

MTA Doktori értekezés tézisei

OPTIMÁLIS LOKÁLIS MIKROKLÍMA KIALAKÍTÁSA ÉPÜLETEKBEN VÁLTAKOZÓ IRÁNYÚ LÉGÁRAMOKKAL

Dr. Kalmár Ferenc

Debrecen, 2017

1. A kutatási téma időszerűsége. Célkitűzések.

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.

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.

Kérdés, 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, 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 munkasztalnál 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?

2. Innovatív szellőző berendezés fejlesztése

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

A berendezés kialakításánál a műszaki paraméterek mellett elsődleges szempont volt a megfelelő, belső környezetbe befogadható design. 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 munkalapja 1200x700 mm-es munkateret biztosít (1. 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 befűvési pontoktól.

A légeosztó dobozban kapott helyet a ventilátor és a befűvési pontok váltását végző szeleprendszer. 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.



1. ábra Az ALTAIR berendezés

3. Tudományos eredmények. Tézisek

T1. 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 megállapítottam, 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 $1,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ -ról, $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ -re csökkentjük). Az összesített sugárzásátbocsátó képesség hatása hasonló módon érvényesül, de jóval nagyobb operatív hőmérsékletváltozást okoz.

T2. 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.

T3. 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.

T4. 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 periódikus változásának frekvenciáját, amely a hőérzetet jellemző eddig ismert különböző jelzőszámok, diagramok egyikében sem szerepel. Az eljárás kedvező hőérzeti hatását élőalanyos hőérzeti mérésekkel igazoltam. Az elérhető energiamegtakarítást mérésekkel és számítással bizonyítottam. A berendezés egyedi szabályozása lehetővé teszi az egyéni hőérzeti igények kielégítését.

T5. 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.

T6. 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 jobboldalán 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 időszakaszában, míg a harmadik időszakaszban (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 m³/h keringtetett térfogatáram miatt adódott).

- az ALTAIR berendezés működésével, a levegő frissességével elégedetlenek aránya csökkent.

4. Eredmények lehetséges hasznosítása

A kutatások során elért eredmények az épületek energiatudatos tervezése során hasznosíthatók (elsősorban olyan épületekben ahol a tevékenység rögzített munkahelyen történik).

Nyári időszakban az üvegezett határolószerkezetekkel rendelkező belső terek egyes pontjaiban termikus szempontból nagy eltérések alakulhatnak ki a környezeti paraméterek között. Nagy kiterjedésű terekben ez hangsúlyosan érvényesülhet. Ezekben az épületekben a megfelelő hőkomfort, hagyományos épületgépészeti rendszerekkel, csak nagy energiabefektetéssel valósítható meg és még ebben az esetben is az eltérő igények miatt (kor, nem, adaptáció, genetika) várhatóan nagy lesz a hőérzettel elégedetlenek aránya.

A kutatások során kifejlesztett eljárás és berendezés lehetővé teszi a hőérzetet vektorként befolyásoló légsebesség nagyságának és irányának lokális beállítását egy termikus szempontból inhomogén térben is, és ezzel, jelentős energiamegtakarítás mellett, lehetővé válik az egyéni hőérzeti igényeket kielégítő környezeti feltételek kialakítása.

5. 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), Bőrérzékelés, *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., *Munkasztal és eljárás egyedi munkahely lokális, személyi klimatizációjára*
 NSZO: A47B 17/00, F24F 7/007; Benyújtás helye:
 Magyarország
 Lajstromszám: 229951; Ügyszám: P1200372;
 Benyújtás éve: 2012; Közzététel éve: 2015;

- 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.jobee.2017.05.002, **12**, p. 1-7.

6. Témához kapcsolódó jelentősebb hazai és nemzetközi publikációk

- Auliciems A. (1981), Towards a psycho-physiological model of thermal perception, *International Journal of Biometeorology*, **25** (2), 109-122.
- Bánhidí L., Kajtár L. (2000), *Komfortelmélet*, Tankönyvkiadó, Budapest.
- de Dear R., Brager G. (1998), Developing an adaptive model of thermal comfort and preference, *ASHRAE Transactions*, **104** (1), 145-167.
- Fanger P.O. (1970), *Thermal comfort*, Danish Technical Press, Copenhagen.
- Fisk W., Rosenfeld A. (1997), Estimates of improved productivity and health from better indoor environments, *Int. 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.
- Haldi F., Robinson D. (2010), On the unification of thermal perception and adaptive actions, *Building and Environment*, **45**, 2440-2457.
- 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.
- Kosonen R., Tan F. (2004), The effect of perceived indoor air quality on productivity loss, *Energy and Buildings*, **36**, 981–986.
- 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.
- 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. 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.
- Nicol J.F., Humphreys M.A. (2002), Adaptive thermal comfort and sustainable standards for buildings, *Energy and Buildings*, **34**, 563-562.
- 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.
- 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.
- 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.
- Wyon D., Bánhidi L. (2003), A minta nagyságának kérdése a belső környezeti hatásokkal foglalkozó kutatásokban, *Magyar Épületgépészet*, **LII**, 12, 9-10.

7. 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