

BUDAPESTI MŰSZAKI
ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
Gépészmérnöki kar
Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék

2016. 10. 22.

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Habilitációs Pályázat

Gépészmérnöki Kar Habilitációs Bizottsága

IRODAHÁZAK HŐ- ÉS LEVEGŐMINŐSÉGI KOMFORT ELEMZÉSE

Írta

Kajtár László

**aki a Műszaki Tudományág Gépészmérnöki Tudományszakán
habilitáció elnyerésére pályázik.**

2016. november

1. A feladat megfogalmazása

A PhD fokozat megszerzése (1995) után már egyértelműen az oktatási és kutatási munkám súlypontja a komfort és klímatechnika területén állandósult. Foglalkoztam energetikai témákkal is. Ezen belül elsősorban klímatechnikai rendszerek, levegőkezelő központok energetikai elemzésével, valószínűségelméleti alapon új energetikai elemző módszer kidolgozásával. A klímatechnikához kapcsolódva a makroklímaváltozás - a nyári méretezési állapotot tartósan meghaladó külső hőmérséklet - miatt indítottam a klímatechnikai rendszerek, levegőkezelő központok kockázati elvű méretezésével foglalkozó kutatásokat, új méretezési módszer kidolgozását. A kutatómunkába sikerült eredményesen PhD doktoranduszokat, TDK-zó hallgatókat bevonnom.

A komfort témakörön belül a hőkomfort és a levegő minőségi komfortkutatásokat vezettem. Ezen belül elsősorban az irodák hő- és levegő minőségi komfortjával foglalkoztam. A műszaki – tudományos problémát maga az „élet” vetette fel. Budapesten sok bér irodaház épült az elmúlt húsz évben. Létesítésük és üzemeltetésük során jól elkülönültek a tulajdonosi, építői, üzemeltetői és bérlői szempontok, probléma megközelítések. Természetesen abban közös volt az érdekeltségük, hogy az irodai dolgozók kellemes komfort mellett, jó irodai környezetben végezhessek hatékony munkát. Több projektnél a már elkészült épületben az irodai komfort objektív értékelésére, fejlesztési javaslat kidolgozására vonatkozóan kaptam felkérést. Volt példa, amikor a létesítés munkáiba is bekapcsolódtam. Az elméleti alapok kidolgozását, általános érvényű, következtetések levonását segítette a témakörben elnyert OTKA pályázatok és nagyobb volumenű K+ F megbízások teljesítése.

Az uralkodó építészeti stílusnak megfelelően az irodaépületek üvegfelületei nagyok, az üvegezési arány jellemzően 45-55% közötti, esetenként ezt is meghaladja. Ma már gyakran találkozunk a padlótól a mennyezetig terjedő üvegfelületekkel is. Az épületek határoló szerkezetei szükségszerűen megfelelnek a vonatkozó hővédelmi követelményeknek, melyek szigorodnak.

A másik jellegzetesség az épületgépészeti rendszerre vonatkozik. A nagy üvegfelületek miatt megnövekszik a nyári instacioner hőterhelés, mely a hagyományos módon szellőző levegővel már nem szállítható el gazdaságosan. A tervezők szükségszerűen egymást kiegészítő két rendszert alkalmaznak. A hőterhelés döntő részét közvetlen elpárologtatós beltéri egységekkel, fan-coil készülékekkel, klímagerendákkal, vagy hűtő mennyezettel kompenzálják. A központi klímatechnikai rendszer feladata pedig a frisslevegő ellátás.

Az elmúlt évtizedben, kezdetben elsősorban télen, hőérzeti panaszokkal találkoztunk. Az irodai dolgozók télen hidegérzetre panaszkodtak az akkori vonatkozó hazai előírásoknak megfelelő ablakok közelében. A panaszok másik köre a belső levegő minőségre vonatkozott. A dolgozók a frisslevegő hiányt említették gyakran. A magasabb belső levegő hőmérséklet és frisslevegő térfogatáram megvalósítása nagyobb beruházási és üzemeltetési költséget jelentenek. Jellemzően az irodaházak tulajdonosai, üzemeltetői és használói (bérlői) mind más-más jogi személyek. Ezért a belső levegő hőmérséklet és frisslevegő térfogatáram növelése nem csupán elhatározás kérdése, hiszen a tulajdonos és a bérlő ebben ellenérdekű fél. Ugyanakkor a bérlő a kifizetett bérleti díjért elvárja a megfelelő szolgáltatást, a megfelelő hő- és levegőminőségi komfortot.

Az EU 2002/91EK direktívához kapcsolódó hazai előírások a külső határoló szerkezetek hőtechnikai tulajdonságainak jelentős javulását eredményezték. A falak esetében a hőátbocsátási tényező $0,7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ értékről a TNM rendeletben (2006) lecsökkent $0,45 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ - re. Az új EU 2010/31/EU irányelv a határoló szerkezetek hőtechnikai tulajdonságainak további javítását írta elő. A TNM rendelet tervezett módosítása szerint 2018-ban tovább csökken a hőátbocsátási tényező értéke ($0,24 \text{ W/m}^2 \text{ K}$). Hőtechnikai és hőérzeti szempontból még nagyobb szerepe van a külső üvegfelületek hőátbocsátási tényező értékében bekövetkezett változásnak. A korábban (2000 előtt) alkalmazott ablakok, üvegporthalok hőátbocsátási tényezője jellemzően $2,5 - 2,9 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ volt. A TNM rendelet 2006 - ban ezt csökkentette fa illetve műanyag keretű nyílászáróknál $1,6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ - re. Az új tervezet 2018-ban $1,15 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ értéket ír elő. Az üvegfelület esetében a követelmény $1,0 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ lesz.

A falaknál már csak $4 - 5 \text{ }^\circ\text{C}$ - al hidegebb üvegfelületek esetében már kevesebb hidegérzeti (aszimmetrikus sugárzás) panaszok jelentkeznek. **Ennek ellenére újra és újra megfogalmazódik az a kérdés, hogy milyen belső hőkomfort esetén kellemes az irodai dolgozók hőérzete. Nyári esetben a huzatérzeti és a direkt napsugárzás miatti panaszokkal találkozunk.**

Hangsúlyosan kerül előtérbe az „A” kategóriának megfelelő levegő minőség biztosítása. **Hogyan oldható meg a feladat, mennyi frisslevegőt kell a komforttérbe bejuttatni. Mely klímatechnikai rendszer megoldásokkal teljesíthető az „A” komfortkategória követelményrendszere.**

A fentiek alapján a kutatómunka fő célkitűzései:

- a. Irodaépületekben télen milyen belső hőkomfort feltételek biztosítják a komfort megelégedettséget. Az irodai munkavégzés feltételei mikor a legkedvezőbbek. A kutatómunka során szükséges elemezni a szubjektív hőérzet és a PMV modell eredményeit. Ezen belül az épületek új hőtechnikai követelményei milyen hatással vannak a hőkomfortra.
- b. A hőkomfort értékelésénél alkalmazott PMV és a tényleges hőkomfort megelégedettség hogyan értelmezhető és számszerűsíthető a hazai gyakorlatban irodák esetében.
- c. A belső levegő minőség biztosítása új kihívást jelent az épületgépész mérnököknek. Hiányosak a tapasztalatok a belső levegő minőség biztosításához. Ezen belül mit jelent az érzékelhető belső levegő minőség, illetve az egészségügyi követelmények biztosítása. A szén-dioxid koncentráció alakulásának kiemelt szerepe van. A komfortkategóriák (A, B, C) biztosítása milyen épületgépészeti feladatot jelent.

A feladat megoldása során alkalmazott kutatások és módszerek:

- a. A hőkomfort méréses értékelése, elemzése irodákban és a mérési eredmények elméleti elemzése.
- b. A hőkomfort értékelése a nemzetközi gyakorlatban is alkalmazott tudományos kérdőíves felméréssel.
- c. A műszeres mérés és a kérdőíves felmérés együttes elemzése.
- d. A belső levegő minőség laboratóriumi és helyszíni értékelése.

2. A szakirodalom áttekintése

A hazai és nemzetközi szakirodalom áttanulmányozása alapján elmondható, hogy hazai szakirodalomnál lényegesen bőségebb a nemzetközi. Továbbá a hőkomfort és a belső levegő minőségi komfort irodalmát összevetve, -mivel a belső levegő minőség kisebb kutatási múlttal rendelkezik- ennek megfelelően a szakirodalma is kisebb.

A hazai és különböző külföldi hő- és levegőminőségi komfort méretezési módszereket értékelve további lényeges különbségek tapasztalhatók. A nemzetközi gyakorlatban a hőkomfort vizsgálatánál ma már általános az ember tevékenységi szintjét és ruházatát is figyelembe vevő méretezési módszerek alkalmazása. Ugyanakkor a hazai méretezési gyakorlatban ez még nem általános. A vonatkozó fontosabb komfort szabványokat (MSZ CR 1752-2000, MSZ EN 15251-2007) honosítottuk.

Meg kell említeni, hogy a hazai és a nemzetközi szakmai gyakorlatban a hő- és levegőminőségi komfort biztosításánál a méretezés adott elégedetlenségi szintre (a komforttal elégedetlenek százalékos aránya) történik. Ennek megfelelően különböző kategóriájú komfortterek biztosíthatók, értelemszerűen ennek megfelelően drágább és olcsóbb rendszerekkel. Ennek alkalmazása a szakmai gyakorlatban nálunk még nem tekinthető általánosnak.

A belső levegő minőség Magyarországon rövid szakmai múlttal rendelkezik. A kutatómunka során ki kellett dolgozni a szakterület fogalom rendszerét. A témakörhöz kapcsolódó magyar nyelvű irodalom döntő többségének szerzője, illetve társszerzője voltam. Legátfogóbban a Komfortelmélet c. egyetemi tankönyv dolgozza fel a belső levegő minőség (BLM) elméleti alapjait (szerzők: Bánhidi L., Kajtár L.).

A nemzetközi gyakorlatban kidolgozott és alkalmazott hő- és levegő minőségi komfort méretezési módszerek általában nem tesznek különbséget az etnikai sajátosságok, a nem és a kor tekintetében. Ugyanakkor sok kutató van azon a véleményen, hogy az értékelés, illetve a méretezési alapadatok nem függetleníthetők a fenti tényezőktől. Kutatómunkám egyik fontos célja az volt, hogy a hazai sajátosságokat figyelembe vegyem. Az irodaépületek hő- és levegőminőségi komfortjának vizsgálata során a hazai méretezési gyakorlatnak megfelelően tervezett létesítményeket vettem alapul. Az alkalmazott alanyok is a hazai életmód, szokás, öltözködési és munkakultúrát reprezentálták.

2.1. A hőkomfort méretezésének szakirodalma

Az irodalmi összefoglaló keretében először a lényegesebb különböző méretezési és értékelési módszereket dolgoztam fel. A bőséges szakirodalomból elsősorban azokat mutatom be, melyek a hőkomfortra vonatkozóan hat paramétert tartalmaznak. A nemzetközi és a hazai gyakorlatban a hőkomfort méretezésére és értékelésére alkalmazott PMV és PPD elméletet már negyven éves múlttal rendelkezik. Az irodalmi összefoglaló keretében kitérek a tapasztalatokra.

Fanger (1967) az ember hőegyensúlyi egyenletéből kiindulva dolgozta ki a komfort-diagrammokat. Ezek három tevékenységi szintet és négy ruházatot vesznek alapul. A

diagrammok derékszögű koordináta rendszerben mindig két paraméter függését fejezik ki, a többi jellemző állandóként szerepel. A diagrammok száma 28, mely három csoportba sorolható. Ebből két diagram csoport esetében (összesen 16 diagram) a levegő hőmérséklet a felületek közepes sugárzási hőmérsékletével azonos. Szakterületünkön a harmadik diagram csoport (12 diagram) használható legáltalánosabban. Ezeknél a közepes sugárzási hőmérséklet van ábrázolva a levegőhőmérséklet függvényében. Alkalmazhatóságuknak az szab határt, hogy a levegő relatív nedvességtartalma mindig 50%. Fanger további 15 segéd diagrammot dolgozott ki, hogy az állandónak tekintett jellemzők változását is figyelembe vehessük. A komfort diagrammok közös jellemzője, hogy 5%-os elégedetlenségi szintet vesznek figyelembe.

A módszer továbbfejlesztéseként Fanger (1970) kidolgozta a zárt tér tetszőleges pontjára vonatkozóan a „várható hőérzeti érték” (PMV) és a „kedvezőtlen hőérzet százalékos valószínűsége” (PPD) meghatározásának összefüggéseit. A PMV érték kidolgozásakor a hőegyensúlyi alapegyenletből és az ASHRAE - féle pszicho fiziológiai szubjektív hőérzeti skálából indult ki. Továbbá felhasználta saját, valamint Nevins és McNall laboratóriumi és helyszíni mérési eredményeit.

Az ASHRAE kiadványban publikálta (1985) a komfortméretezéshez használható adatait és diagramjait. Ezek közül kiemelendők: komfortdiagrammok nyugalomban lévő emberre és az ún. méretezési alapdiagram a komfortzónák előzetes meghatározására, téli és nyári állapotra vonatkoznak.

A hőérzeti értékelésre felhasználhatók a különböző mutatószámok is. Ezek általában a levegő és a környező felületek sugárzó hőmérsékletét veszik figyelembe matematikai összefüggés, vagy diagram formájában:

- Raber és Hutchinson (1947) ún. kényelmi száma,
- Missenard (1959) féle eredő hőmérséklet,
- Rietschel és Raiss (1968) szerinti érzékelt hőmérséklet és kellemes hőérzet diagramja,
- Bedford (1948) kellemes hőérzet diagram,
- Macskásy (1972) hőérzeti diagram.

A levegő hőmérsékletét és sebességét is figyelembe vevő értékelési módok között megemlítenő Bratke és Liese (1952) hőérzeti mérőszámok diagramja, valamint a Rietschel-féle diagram (1969).

A levegő hőmérsékletét, a környező felületek hőmérsékletét és a levegő sebességét veszik figyelembe a mutatószámok következő csoportja. Közülük megemlítenő a gömbhőmérséklet (Vernon és Missenard) és a munkavédelmi vonatkozásban alkalmazott WBGT index (ASHRAE 1985).

A levegő hőmérsékletét, relatív nedvességtartalmát és sebességét figyelembe véve dolgozta ki Leusden - Freymark kellemes hőérzeti diagramjait, Frank kényelmi diagramját.

A mutatószámok közül a levegő hőmérsékletét, a környezeti felületek hőmérsékletét, a levegő sebességét és relatív nedvességtartalmát egyaránt figyelembe veszi az effektív hőmérséklet. Normál ruházat és fedetlen felsőtestű emberre dolgozta ki Houghton és Yaglou (1923), Yaglou és Miller (1925).

Bradke, Rietschel és Raiss (1952) alkalmazta a száraz, nedves és ezüstözött Katahőmérőt a hőérzeti értékeléshez, mellyel figyelembe vehető a levegő hőmérséklet, levegő sebesség, levegő nedvességtartalom és a környező felületek sugárzási hőmérséklete. A Katahőmérőt napjainkban már csak nagyon ritkán alkalmazzák a mérés körülményessége és a műszer pontatlansága miatt. Ma már csak munkaegészségügyi vizsgálatoknál szerepel.

Az ISO 7730 szabvány (1984) – melyet 14 ország, köztük Magyarország is elfogadott – javasol komfort követelmény értékeket. Megadja a kellemes hőérzetet (PMV = 0) biztosító operatív hőmérsékletet a tevékenységi szint és a ruházat hőszigetelő képessége függvényében.

Hazánkban a korszerűsített MSZ 04 140/3 tartalmaz módszert a hőérzeti méretezésre. Az üvegezett felületek hatását hőérzeti növekménnyel kompenzálja. Jelentős hátránya, hogy nem veszi figyelembe a tevékenységi szintet és a ruházatot és a felületi közepes hőmérsékletet is közelíti.

A PMV-PPD elmélet és módszer alkalmazásával kapcsolatban bőséges szakirodalom áll rendelkezésre. Áttekintésük alapján fogalom össze a fontos megállapításokat.

A PMV modell kidolgozása és értelmezése

Fanger (1970) úgy definiálta a PMV-t, mint egy mutató szám, mely megmutatja, hogy az emberek nagy csoportja, illetve egy fiktív átlagos ember várhatóan hogyan érzi magát adott hőkönyezetben, adott ruházat és tevékenységi szint mellett. A PMV Fanger komfortegyenletén alapul (1967). A komfort egyenlet teljesülése esetén biztosított az emberi test hőegyensúlya. Hogy kellemes hőkomfortról beszélhessünk, több feltételnek teljesülnie kell. Fanger szerint az állandósult kellemes hőkomfort feltételei:

- a test hőegyensúlyban legyen,
- az átlagos bőrhőmérsékletnek és az izzadási hőleadásnak bizonyos határokon belül kell lenni,
- ne legyen helyi diszkomfort.

Fanger a hőkomfort egyenletet laboratóriumi feltételek mellett dolgozta ki. A laboratóriumi mérések jellemzői:

- klímakamrában, állandósult állapotban történt,
- egyetemista hallgatók voltak az alanyok,
- a mérések időtartama 3 óra,
- a méréseket télen végezték mérsékelt égövi környezetben,
- tengerszint magasságban történt (1 013 hPa),
- standard ruházat mellett (0,6 clo, „KSU clotng combination”),
- standard tevékenységi szint (irodai munka).

A gyakorlati alkalmazáshoz a komfortegyenletet ki kellett terjeszteni a hő semlegességen kívüli környezetre. Ehhez felhasználta különböző tanulmányok adatait (n=1 396 fő). Így alkotta meg a PMV egyenletet, mely már nem csak a hősemlegesség, hanem a hideg és meleg környezetre is használható. A PMV eredményeket társította az ASHRAE hét pontos hőérzeti skálájával, azon értelmezte. A skála értékei: hideg, hűvös, kellemesen hűvös, semleges, kellemesen meleg, meleg, forró, melyek -3 és +3 közötti számokkal vannak

jellemezve. Fanger véleménye szerint, mivel a mérések laboratóriumi körülmények között történtek, a PMV -2 és + 2 között alkalmazható teljes bizonyossággal, azon kívül csak különös gondossággal. A nemzetközi szakirodalomban általánosan elfogadott, hogy akkor értékeli a személyek megfelelőnek a hőkönyezetet, ha a hétpontos skála közepső három kategóriája áll elő: kellemesen hideg, semleges, kellemesen meleg. Más megközelítésben PMV értéknek -0,5 és + 0,5 között kell lenni (pl. ISO 2005a).

Hősemlegesség – kellemes hőkönyezet

A PMV-PPD modell alapján $PMV = 0$ esetén beszélhetünk hősemlegességről, a szervezet hőegyensúlyi állapotban van. Fanger és más kutatók is foglalkoztak a PMV modell megalkotása után azzal, hogy a kellemes hőérzet valóban a hősemlegesség ($PMV=0$) esetén biztosított-e. Avagy, az emberek jobban érzik magukat kicsit hidegebb, vagy melegebb környezetben. A vizsgálatoknál két értéket határoztak meg, mely a szakirodalmi terminológia szerint:

- PMV: predicted mean vote (várható hőérzeti érték)
A PMV modell szerint számítható.
- AMV: actual mean vote (aktuális hőérzeti érték)
A személyek szavazata a hőérzeti skála alapján.

Több kutató foglalkozott ezzel a kérdéssel, ezek közül mutatok be néhányat a szakirodalom alapján.

Howell és Kennedy (1979) azt tapasztalták méréseik alapján, hogy a kellemes hőérzet nem a közepső skála egység, hanem eltolódik a hidegtartomány fele. Parson (2002) kutatásai szerint az eltérés 0,5 skála egység lehet és a hidegebb hőkönyezetet érzékelik kellemesnek.

Wyon (1994) kutatásai alapján megállapította, hogy normál eloszlású populáció esetében a semleges komfortot értékelők 95%-a a négyszeres szórás tartományon belül van és ez 6,4 K értéknek felel meg.

Williems (1996) helyszíni mérései alapján azt találta, hogy az emberek a hűvösebb hőmérsékletet jobban preferálják. Ez az eltérés 2,5 K is lehet a semleges környezettől.

Pountain (1996) megismételt vizsgálatokat végzett ugyanazon, illetve különböző csoportokkal változatlan hőkönyezetben. Megállapította, hogy ugyanazon személyek ugyan azt a hőkönyezetet más alkalommal eltérően értékelhetik (intra-individual variance). Továbbá különböző csoportok is eltérően értékelhetik ugyan azt a hőkönyezete (inter-individual variance).

Humphreys és Nicol (2002) az ASHRAE RP-884 adatbázisa alapján azt állapította meg, hogy a PMV egy nagyon jó index. A kiértékelései alapján a PMV és AMV közötti eltérés $0,11 \pm 0,01$ skála egység.

A PMV modell bemeneti hat paramétere közül négy az adott helyszínen műszerrel pontosan mérhető (levegő hőmérséklete, nedvessége, sebessége és az eredő sugárzási hőmérséklet). A ruházattal illetve a tevékenységi szinttel kapcsolatos műszaki jellemzők mérési eredmények alapján táblázatokban állnak rendelkezésre. A PMV-PPD közvetlen mérésére alkalmas

műszereken ezen utóbbi értékek skálán állíthatók be. Termikus műembert alkalmazva a ruházat hatásának vizsgálata során Olesen és Nilsen (1982, 1984) arra a következtetésre jutott, hogy a levegő sebességének nagyon behatárolt szerepe van a ruházat hőszigetelésére.

Földrajzi és éghajlati eltérések

Ázsiai tanulmányok azt bizonyították, hogy a semleges és kellemes hőkörnyezet magasabb hőmérséklet mellett teljesül, mint a PMV modell szerint adódó érték.

Épülettípus hatása

Fanger kutatásait klímatisztált klímakamrában végezte. Kutatók természetes szellőzésű épületben azt tapasztalták, hogy a kellemes belső hőmérséklet meleg égővi környezetben magasabb, hideg égővi környezetben alacsonyabb, mint a PMV egyenletből adódó érték.

Összegzés

Fanger a módszer megalkotásakor is jelezte, hogy a PMV modell klímatisztált épületekben, nem szélsőséges hőkörnyezetben ($-2 < PMV < +2$) és mérsékelt égővön használható nagy pontossággal. A kiterjesztése további kutatásokat igényel. A modell megalkotása óta eltelt 46 év igazolta eredményes alkalmazhatóságát. Különböző kutatók eredményei is ezt igazolták, illetve a modell kiterjesztését próbálták megoldani. Ebben igazi változás a szabványok felülvizsgálata során sem történt, ezt tartalmazza az ISO 2005a. Az ASHRAE Standard 55-ben a PMV modell használatát kiterjesztették minden komfort épület típusra, amennyiben a bemenő adatok megfelelőek.

Individual komfort

Az utóbbi időben különös hangsúlyt kapott az egyéni igényeket figyelembe vevő komfort – individual komfort. A központi klímatechnikai rendszernek kell biztosítani a PMV modell szerinti hőkörnyezetet. Helyi szabályozással kell lehetővé tenni az egyéni igényeknek megfelelő után állítást.

A szabványok betartása nem jelenti azt, hogy mindenkinek mindig jó hőérzete van. Fanger megfogalmazása szerint (1994) a szabvány a „szolga”, nem pedig a „mester” („The standard should be a servant, not a master”).

2.2. A levegőminőség méretezésének szakirodalma

A belső levegő minőség kutatása az elmúlt három - négy évtizedben fejlődött jelentősen. A témakör első kutatójának Max von Pettenkofert tekintik, aki a széndioxid-koncentráció élettani, közérzeti hatásait vizsgálta. A komforttér levegőjének vizsgálata alapján jutott arra a következtetésre (1858), hogy a 0,1 tf % (1 000 ppm) maximális CO₂ tartalom a „jó levegő” kritériuma, amit Pettenkofer számnak nevez a szakirodalom.

Szintén a XIX. század közepén a szagérzékelés mechanizmusát vizsgálta Weber és Fecher. Fecher a korábbi kutatási eredmények felhasználásával a ingererősség és az érzetintenzitás kapcsolatára vonatkozóan állította fel a Weber-Fecher törvényt (1860). A témakör kutatásával foglalkozott Stevens, és alkotta meg a róla elnevezett hatványfüggvényt az ingererősség és az érzetintenzitás összefüggéséről.

A belső levegő minőség értékeléséhez először Yaglou dolgozott ki szubjektív módot (1936-37) és állította fel téziseit.

Különböző „szagos” gázokra vonatkozóan határozta meg Chain és Miskowitz (1974) az exponenciális kitevő értékét.

A belső levegő minőség kutatása robbanásszerűen fejlődött a 80-as években. A kutatómunka Fanger (Technical University of Denmark) nevéhez fűződik. Eredményei alapján 1983-ban megdöntötte Yaglou téziseit és új alapokra helyezte a belső levegő minőség kutatását. Új mértékegységeket dolgozott ki a belső levegő minőség (decipol) és a szennyezőanyag forrás erősség (olf) értékelésére. Kidolgozta a levegő minőség méretezésének és mérések alapjait.

A kutatómunkában jelentős eredményeket értek el Fitzner és munkatársai (Technische Universität Berlin). Finke új összefüggést dolgozott ki a különböző szennyezőanyag források összegzésére.

A belső levegő minőség méretezésére már külföldi és nemzetközi szervezetek műszaki előírásai, szabványai rendelkezésre állnak. Magyarország jelentősen elmaradt ezen a területen. Az érvényes és hatályos szabványok még csak említés szintjén sem foglalkoznak a belső levegő minőséggel. Megemlítendőek Bánhidi (1994, 2000) és Kajtár (2000) szakkönyvei, melyek részletesen feldolgozzák a témakör szakirodalmát. A belső levegő minőség biztosításához frisslevegő alapadatokat dolgoztam ki (1995).

A témakörben jelentős előrelépést jelentett a CR 1752: 2000 irányelv honosítása 2000-ben, valamint az EN 15251: 2007 szabvány honosítása 2007-ben.

Külön meg kell említeni a belső levegő minőség mérésének szakirodalmát. Szinte bármely levegőszennyező anyag szelektív méréséhez megfelelő műszerek állnak rendelkezésre. Azonban a különböző levegő minőséget befolyásoló szennyező anyagok együttes hatásának méréséhez még nem áll rendelkezésre mérőműszer. A méréshez szubjektív módszert alkalmaznak, az emberi orr segítségével történik az értékelés. A mérés történhet tréningelt személyekkel (olf-tester) vagy nem felkészített személyekkel (naív-panel). A két szubjektív mérési módszer előnyeinek és hátrányainak értékelése a nemzetközi szakmai-tudományos vita egyik kitüntetett témaköre volt. A kutatási-mérési tapasztalatok a naív-panel

alkalmazását javasolják. Előnye, hogy nincs szükség hosszadalmas és költséges laboratóriumi tréningre. Hátránya, hogy lényegesen több (közel hatszoros) alanyra van szükség.

2.3. A szakirodalmi áttekintés értékelése

A hazai és döntően a nemzetközi szakirodalom értékelése alapján az alábbi következtetéseket vontam le:

- Irodaházak hőkomfortját értékelő nemzetközi szakirodalom még nincs teljes körűen feldolgozva. A témakör nagyon aktuális. Az intenzív, folyamatos szellemi munkavégzés miatt irodaépületekben a komfortfeltételek biztosítása kiemelten fontos.
- Irodaházak esetében az aktuális komfortkövetelmények alkalmazása, - melyek a tevékenységi szintet és a ruházatot is figyelembe veszik – nem volt általános nálunk. Ezzel a témakörrel foglalkozni kell. A kutató munka során figyelembe kell venni a hazai építészeti és hőtechnikai sajátosságokat. Elemezni kell, hogy a hazai sajátosságok mellett hogyan alakul a szubjektív (AMV) és az objektív (PMV) hőérzet.
- A belső levegő minőségre vonatkozóan már vannak honosított követelmények (MSZ CR 1752, MSZ EN 15251). Különösen fontos a napi nyolc órás munkaidőben folyamatos koncentrációt igénylő irodai tevékenység megfelelő feltételeinek biztosítása. Feltétlenül szükséges a fajlagos frisslevegőre vonatkozó alapadatok kidolgozása és alkalmazása.
- A szubjektív értékelési módszerek alkalmazása során elsősorban a nem tréningelt személyekkel történő vizsgálatot célszerű előnyben részesíteni az eddigi nemzetközi tapasztalatok alapján.
- A hő- és belső levegő minőség komfort méretezésénél és értékelésénél jelenleg alkalmazott módszerek döntően Fanger kutatási eredményeit alkalmazzák. A módszerek nem veszik figyelembe az etnikum, nem, kor eltéréseiből adódó sajátosságokat. Ez változó intenzitással szakmai viták tárgyát képezi a nemzetközi tudományos életben. Kutatómunkám a hazai öltözködési, munka és építési kultúra mellett szolgáltató eredményeket, melyek ma még hiányosak.

Ezen célkitűzések alapján állítottam össze a kutatási tervet.

3. Az elvégzett tudományos kutató munka, vizsgálatok

Az irodalomkutatás és az irodaépületek helyszíni komfort mérési tapasztalatai alapján a kutatómunka fő célkitűzései:

- A hőkomfort elméleti és méréses elemzése alapján a PMV – PPD elmélet vizsgálata a hazai sajátosságok mellett. Ennek során értékelni kell, hogy a hazai életmód, öltözködési és munkakultúra, valamint szokások mellett hogyan érvényesül a skandináv egyetemi hallgatók, mint „alanyok” bevonásával kidolgozott elmélet.
- Az épületek, épületszerkezetek hőtechnikai tulajdonságainak javulása, a hőtechnikai követelmények növekedése milyen hatással van a hőkomfortra.
- A hazai irodai környezetben alkalmazott belsőépítészeti anyagok hogyan befolyásolják a levegő minőségi komfortot és a szükséges frisslevegő térfogatáramot.

Az elméleti méretezés során az ember hőforgalmából kell kiindulni. A metabolikus hő Fanger elmélete szerint a külső mechanikai munkából (W) és a belső hőszükségletből (H) tevődik össze:

$$M = H + W \quad (1)$$

A mechanikai munka hatásfoka is kifejezhető:

$$\eta = \frac{W}{M} \quad (2)$$

A termelődő hőt az ember négy különböző módon tudja leadni. Az ember hőmérlegét fejezi ki az alábbi egyenlet:

$$\dot{Q}_w = M - W - E \pm S \pm C \quad (3)$$

ahol:

- \dot{Q}_w - az emberi test hőtárolása,
- M - a metabolikus hő,
- W - a mechanikai munka,
- E - a teljes párolgásos hőleadás,
- S - a sugárzásos hőleadás,
- C - a konvekciós hőleadás.

Hőegyensúly esetén $\dot{Q}_w = 0$. Kellemes hőérzetet akkor tapasztal az ember, ha a termelt hőt kellemes bőr felületi hőmérséklet mellett tudja leadni.

A kellemes hőérzet esetére az ember hőegyensúlyát leíró (3) egyenlet egyes tagjai a hőátszármaztatás fizikai modelljei alapján behelyettesíthetők, a hőegyensúly hat paraméter függvénye:

$$f\left(\frac{H}{F_{Du}}, I_{cl}, t_{lb}, t_{ks}, p_{vg}, v\right) = 0 \quad (4)$$

ahol:

- $\frac{H}{F_{Du}}$ - a testfelület-egység belső hőtermelése,
 I_{cl} - a ruházat termikus ellenállása,
 t_{lb} - a levegőhőmérséklet,
 t_{ks} - a közepes sugárzási hőmérséklet,
 p_{vg} - a nyugvó levegőben a vízgőz parciális nyomása,
 v - a relatív légsebesség.

Ezen tényezők alapján írható fel az állandó környezetben huzamosabb ideig tartózkodó, adott tevékenységet folytató egyén hőegyensúlyi egyenlete. Így a (3) egyenlet továbbfejlesztett változata:

$$H - E_d - E_{sw} - E_{re} - L = K = S + C \quad (5)$$

ahol:

- H - az emberi test belső hőtermelése,
 E_d - a bőrön keresztül páradiffúziós hőveszteség,
 E_{sw} - a bőr felszínéről az izzadás következtében párolgásos hőveszteség,
 E_{re} - a kilégzés rejtett hője okozta hőveszteség,
 L - a kilégzés ún. száraz hőveszteség,
 K - a hőátvitel a bőr felületéről a felöltözött emberi test külső felületére, (hővezetés a ruházaton keresztül),
 S - a sugárzásos hőveszteség a ruházattal borított test külső felületéről,
 C - a konvekciós hőveszteség a ruházattal borított test külső felületéről.

Fanger az előzőekben bemutatott elméletét továbbfejlesztve kidolgozott egy módszert, mely alapján a zárt tér adott pontjában a hőérzeti értékelés elvégezhető. Meghatározható a PMV (a várható hőérzeti érték) és a PPD (kedvezőtlen hőérzet várható százalékos valószínűsége) értékek.

Több kutató vizsgálta élő alanyokkal a PMV – PPD kapcsolatot a saját országuk, éghajlati, öltözködési és munkakultúra adottságai mellett. A hőérzeti értékelést elvégezték műszeres méréssel, valamint hőérzeti skálán felméréssel. A PMV mérés eredményeivel párhuzamosan meghatározható volt az aktuális hőérzeti érték (AMV, „actual mean vote”) is.

Araújo & Araújo (1999)

Brazíliában középiskolai és egyetemi épületekben végzett helyszíni vizsgálatokat 1866 fő részvételével, az átlagos ruházat 0,6 clo, az épületeknek természetes szellőzéssel rendelkeztek. PMV = 0 esetén az elégedetlenek aránya 47,5 % volt, a függvény szimmetrikus. Eredményei alapján:

$$PPD = 100 - 52,5 \cdot \exp [-(0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2)] \quad (6)$$

Yoon (1999)

Koreában, klímakamrában végezte a vizsgálatokat 40 hallgató részvételével nyáron, az átlag ruházat 0,4 clo, a tevékenységi szint 1,2 met volt. Azt állapította meg, hogy a minimális PPD érték 18 %, PMV = - 0,8 esetén. A vizsgálati alanyok előnyben részesítették a hűvösebb környezetet. A leíró egyenlet:

$$PPD = 11,37 \cdot PMV^2 + 18,34 \cdot PMV + 24,42 \quad (7)$$

Mayer (1997)

Németországban 100 fő részvételével végezte a kutatómunkát. Eredményei alapján PMV = 0,5 esetén minimális a PPD, értéke 16 %. A Fanger görbe jobbra és felfele toródik. A hideg oldalon az elégedetlenek aránya magasabb, a meleg oldalon közel azonos. A leíró egyenlet:

$$PPD = 100 - 84,3 \cdot \exp [0,01 \cdot (PMV - 0,4)^4 + 0,5479 \cdot (PMV - 0,4)^2] \quad (8)$$

De Paula Xavier & Roberto (2000)

A helyszíni vizsgálatokat Brazíliában, iskolában végezte 1200 fő részvételével. A PMV – nek megfelelő hőérzeti index (S) meghatározásához az alábbi egyenletet dolgozta ki:

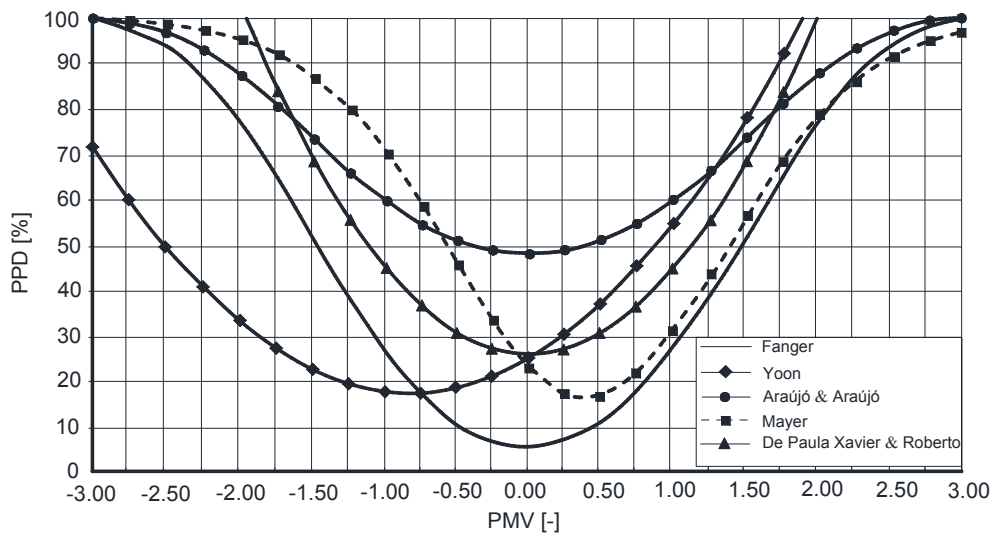
$$S = 0,219 \cdot t_0 + 0,012 \cdot RH - 0,547 \cdot v_a - 5,83 \quad (9)$$

Az egyenletben szereplő jelölések a levegő hőmérséklete, nedvességtartalma és a sebessége. A PPD – nek megfelelő elégedetlenségi ráta (I) minimuma 25,4% semleges hőérzet esetén (S = 0):

$$I = 18,94 \cdot S^2 - 0,24 \cdot S + 25,41 \quad (10)$$

Az eredményeket az 1. ábra szemlélteti. A kutatók értékelése alapján Fanger egyenletétől és diagramjától az eltérés elsődleges indokai az alábbiak:

- a méréseket helyszíni körülmények között végezték,
- természetes szellőzés volt a helyiségekben,
- nem mérsékelt égövi környezetben történt a kutatás.



1. ábra A PMV és PPD közötti kapcsolat

A fenti nemzetközi tapasztalatok indokolták a hazai kutatást a PMV és AMV témakörében. Hazánkban ilyen kutatások még nem folytak. Szükségesnek és indokoltak tartottam a hazai kutatómunkát.

A célul kitűzött helyszíni hőkomfort vizsgálatokhoz a téli időszakot választottam. Ekkor a klímatisztított épületek frisslevegő ellátása fűtött, kezelt levegővel történik, emiatt a huzathatás nem jellemző. A hőkomforttal kapcsolatos elégedetlenség függetleníthető a huzathatástól. A hőkomfortot télen befolyásolja a külső határoló szerkezetek (falak, ablakok) hőátbocsátási tényezője, az ebből adódó sugárzásos hőcsere. Nyári esetben is végeztünk komfortelemzést. Ekkor a hőkomforttal kapcsolatos elégedetlenséghez hozzáadódnak további hatások. Hűtött levegővel történő szellőztetés esetében a huzathatás elkerülése gondos tervezést, kivitelezést és szakszerű üzemeltetést igényel, egyes személyek fokozott huzatérzékenysége ekkor sem zárható ki. Nyáron meghatározó szerepe van a hűtési igény és a hőérzet szempontjából a közvetlen napsugárzásnak, árnyékolás alkalmazása célszerű. Nyári esetre vonatkozóan is végeztünk helyszíni méréseket és elméleti elemzéseket. A kutatómunka befejezése után tudjuk összegezni az eredményeket. A kutatómunka kapcsolódik vezetésemmel folyó PhD doktorandusz témához.

A hőkomfortot befolyásoló hat paraméter között szerepel a személyek ruházata és tevékenységi szintje. Irodaházak esetében speciális a helyzet. A dolgozók jellemzően ülő munkát végeznek, fokozott szellemi igénybevétel, koncentráció mellett. A metabolikus hőtermelés szűk tartományban változik. Az irodai munkavégzés metabolikus értékeit az 1. táblázat tartalmazza. A ruházat hőszigetelő képessége szintén szűk tartományban változik irodai dolgozók esetében, télen. A tipikus üzletember ruházatát az öltöny (kosztüm) jelenti, a hőszigetelő képessége $I_{clo} = 1$ clo. (1 clo = 0,155 m² C/W), zakó levetésével, vagy a zakó alatt pulóver hordásával 0,8 – 1,2 clo között változhat a ruházat hőszigetelő képessége. Így a téli helyszíni mérések eredményei biztonsággal kiértékelhetők.

1. táblázat
Az irodai munka metabolikus értékei

Irodai munka	M/F _{Du}		Q; W
	W/m ²	met	
Gépelés	52 – 58	0,9 – 1,0	93,6 – 104,4
Számítógépes	70	1,2	126
Rajzolás	70	1,2	126
Különböző irodai munka (pl. ívek kitöltése, ellenőrzés)	58 – 70	1,0 – 1,2	104,4 – 126

Megjegyzés: F_{Du} = 1,8 m² felnőtt ember esetében

3.1. PMV elmélet elemzése a hazai sajátosságok mellett

A PMV elmélet elemzése során két párhuzamos hőkomfort értékelést végeztünk:

- műszeres méréssel a PMV érték és légállapot jellemzők meghatározása,
- kérdőíves hőkomfort értékelés, melynek eredményeként meghatározható az aktuális átlagos hőérzeti érték (AMV).

A kérdéskör tudományos igényű vizsgálata céljából az irodaépületben az alábbi vizsgálatokat végeztük:

- a levegő hőmérséklet és páratartalom objektív műszeres mérése,
- a hőkomfort (PMV és PPD) objektív műszeres mérése,
- a levegőminőség értékelése a frisslevegő ellátás műszeres mérése útján,
- a hőkomfort értékelése kérdőíves felmérés alapján,
- a levegő minőségi komfort értékelése kérdőíves felmérés alapján.

Az elmúlt évtizedekben végzett helyszíni mérések közül a kiválasztott méréseket 1996. január - február hónapokban végeztük. A külső hőmérséklet értéke a mérések alatt – 1,5°C és –2,0°C volt.

A kilencszintes irodaépület alapterülete 45x65 m, a beépített térfogat ~ 70 000 m³. Az öt irodaszinten nagyterezes irodák és 1-2 fős kisebb irodahelyiségek voltak. Az irodatereken kívül megtalálhatók voltak a további kiszolgáló területek, mint közlekedők, előcsarnok, garázs, illetve más szerviz területek. A hőmérséklet-, nedvességtartalom- és frisslevegő térfogatáram mérés kiterjedt az egész épületre. A lényegesen nagyobb időigény miatt a közvetlen hőérzeti méréseket (PMV, PPD) az épületet jól jellemző közbenső irodaszinten (3. emelet) végeztük el.

A levegő hőmérsékletet és nedvességtartalmat THERM 2246 és TESTO 610 műszerekkel, míg a PMV és PPD értékeket Thermal Comfort Meter (Típus: 1212) műszerrel mértük. A kérdőíves felmérés kiterjedt valamennyi (422 fő) személyre, a válaszadás önkéntes volt, a kérdőívet kitöltők száma 278 fő (66%). Közülük 84 fő dolgozott a 3. emeleten, itt 57 kitöltött kérdőív érkezett vissza (66%).

A hőérzeti értékelésnél a helyszíni felmérés alapján az alábbi aktivitás és ruházati adatokat vettük alapul:

- aktivitás szintje: 1 met (nyugodt ülés)
1,2 met (irodai munka, számítógép használat)
- ruházat: I_{cl} = 1,0 (öltöny, tipikus üzletember ruházat)
I_{cl} = 0,8 (öltöny zakó nélkül)

A hőkomfortra vonatkozó kérdőíves értékelésnél a nemzetközi tudományos kutatásoknál is alkalmazott ötfokozatú skálát használtuk.

Az épületre jellemző 3. emeleti adatok kiértékelése alapján kapott eredmények:

Levegő hőmérséklet és nedvességtartalom

A mérési eredmények kiértékelését a 2. táblázat tartalmazza:

2. táblázat
A levegő hőmérséklet és nedvességtartalom mérési eredményei

	Hőmérséklet; °C	Nedvességtartalom; %
Átlag	23,1	53,9
Szórás	0,77	2,4
Maximum érték	24,7	58
Minimum érték	21,8	48
Mérési helyek száma	32	32

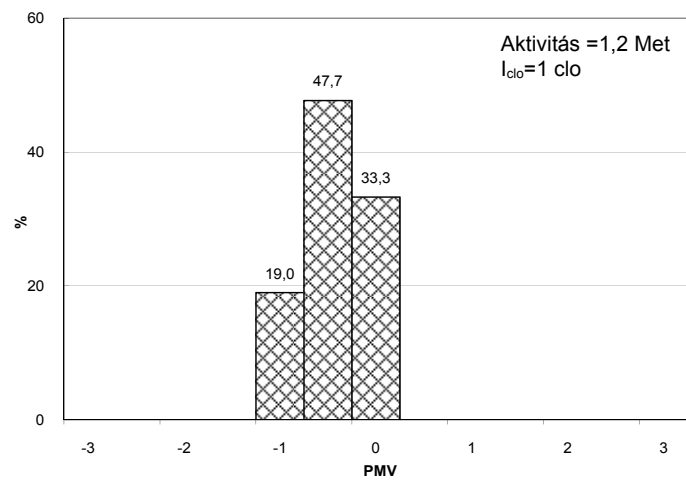
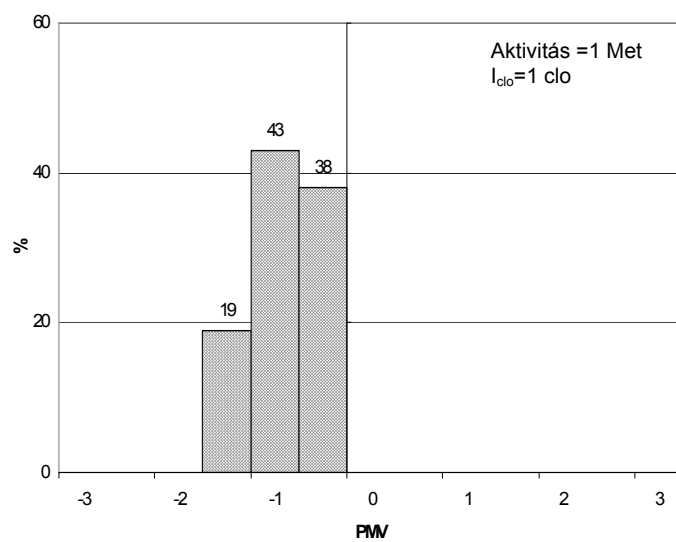
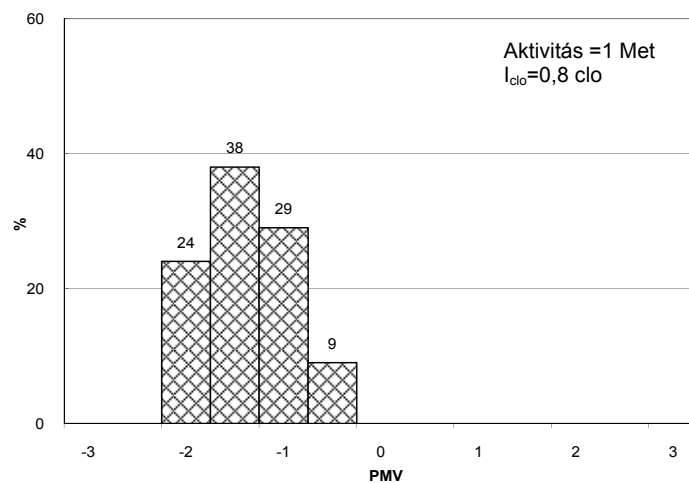
PMV és PPD mérés eredményei

A PMV és PPD méréseket a harmadik emelet jellegzetes irodáiban (12 iroda) végeztük el. A mérési helyeket a munkahelyeknél választottuk ki, 3-4 mérési pont a nagyterem és 1-2 mérési pont a kisebb irodákban (mérőhelyek száma 21). A mérési eredményeket a matematikai statisztika módszereivel feldolgozva a 3. táblázat tartalmazza.

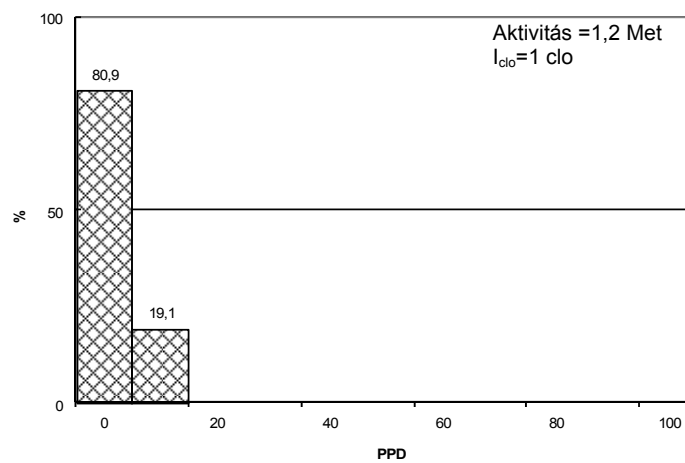
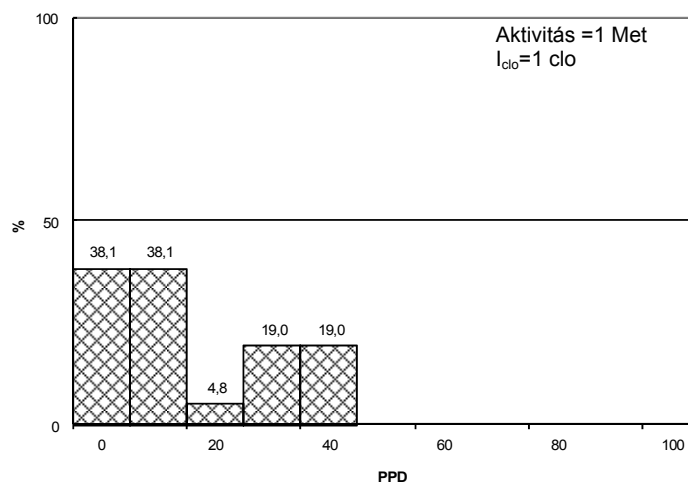
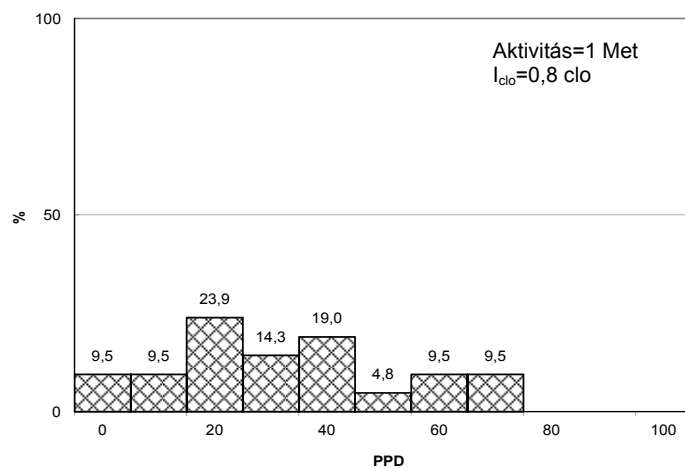
3. táblázat
A hőkomfort mérés eredményei

		Aktivitás és ruházat		
		1 met 0,8 clo	1 met 1 clo	1,2 met 1 clo
PMV	átlag	-1,13	-0,67	-0,17
	szórás	0,38	0,31	0,25
	maximum	-0,39	-0,12	0,28
	minimum	-1,7	-1,2	-0,59
PPD	átlag	38,4	17,5	6,9
	szórás	19,8	9,9	2,5
	maximum	72,0	38,0	12,4
	minimum	9,0	5,8	5,01

A PMV és PPD hisztogramjait az 2-3. ábrák szemléltetik:



2. ábra
A PMV mérési eredmények hisztogramjai (3. emelet)



3. ábra
A PPD mérési eredmények hisztogramjai (3. emelet)

A hőkomfort kérdőívek eredményei

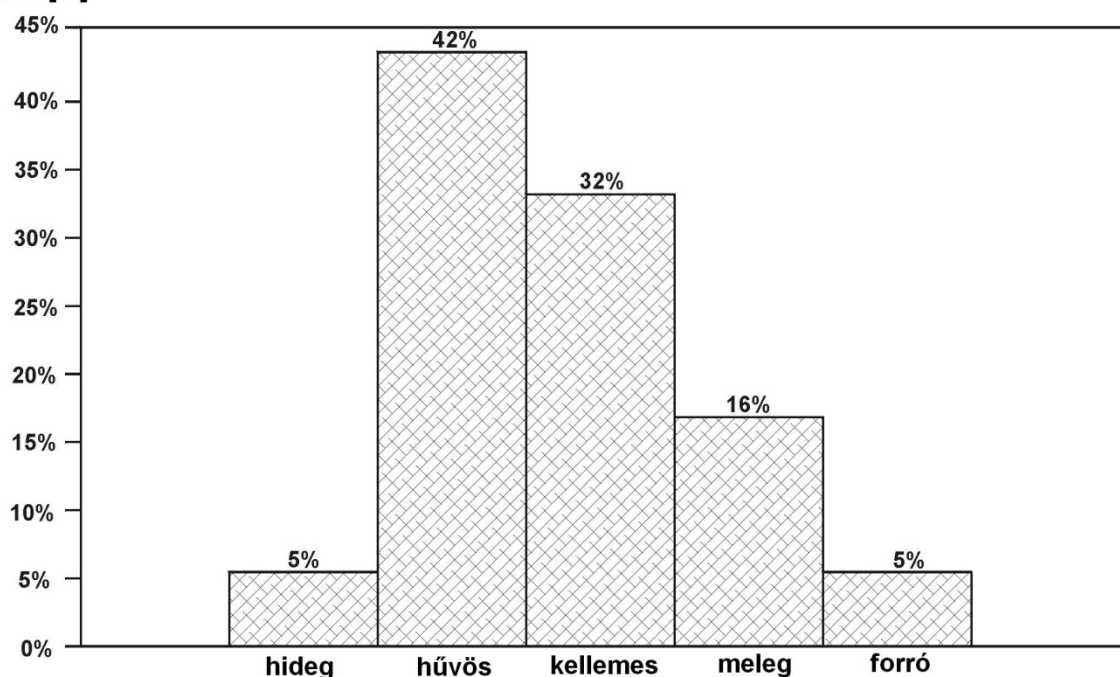
A hőkomfortra vonatkozó kérdőívek eredményeit az alkalmazott ötfokozatú skálának megfelelően a 4. táblázat, míg hisztogramban feldolgozva a 4. ábra tartalmazza.

4. táblázat
Komfort kérdőív válaszai

Komfort	III. emelet		Teljes épület	
	fő	%	fő	%
Hideg (1)	3	5	50	18
Hűvös (2)	24	42	106	38
Kellemes (3)	18	32	72	26
Kissé meleg (4)	9	16	31	11
Meleg (5)	3	5	19	7
Válaszadók	57	100	278	100
Összes létszám	84		424	

A III. emelet hőérzeti hisztogramja:

Válaszok [%]



4. ábra
A hőkomfort kérdőívek eredményei

A kérdőívekre adott válaszok eredményei a matematikai statisztika módszerével kiértékelhetők és átszámolhatók a PMV értéknek megfelelő skálára. A kérdőívekre adott válaszok eredményei (hideg = 1, forró = 5) az aktuális hőérzeti értéket adják (AMV).

A mérési eredmények elemzése

Homogenitás vizsgálatok

A komfort kérdőívre adott válaszok esetében a 3. emeleti és az egész épületi adatok összehasonlítása volt az egyik feladat. Ellenőriztük, hogy a 3. emeleten a dolgozók a komfort kérdőívre homogén választ adtak-e az épület többi helyiségében dolgozókkal. PMV mérések ugyanis csak a 3. emeleten történtek.

A homogenitás vizsgálatot χ^2 -próbával végeztük el. A 3. emeleti válaszok és a komplementer (azaz az összes többi) válaszok esetében a próbastatisztika számított értéke 9,28-ra adódott, a kritikus értéket a 4 szabadságfokhoz és a 0,05 szignifikancia szinthez táblázatból határoztuk meg: 9,49. Megállapítható, hogy elfogadható a válaszok homogenitására vonatkozó nullhipotézis.

A PMV mérési helyiségek hőmérséklet illetve páratartalom adatainak összehasonlítása az összes többi helyiség mérési eredményeivel

Ezúttal folytonos adatok eloszlásait kell összehasonlítani, amit kétmintás Kolmogorov-Szmirnov-próbával, Mann-Whitney-, Moses- és Wald-Wolfowitz-próbával is ellenőriztünk.

Mindegyik próba igazolja a homogenitást, igaz a hőmérsékletek azonosságát kisebb szignifikancia szinten, mint a páratartalmak esetében. Az eredményekből megállapítható, hogy 0,01-es szignifikancia szinten mindegyik próba elfogadja azt, hogy a PMV mérési helyeken a hőmérséklet és a páratartalom azonos eloszlást követett.

Valószínűségi változók összehasonlítása

Kutatások során felmerül, hogy különböző mérésekhez tartozó adatokat összehasonlítsunk. A mérési adatokat valószínűségi változóknak tekintve, a probléma a homogenitás vizsgálat témakörébe tartozik. Diszkrét változót diszkrét változóval vagy folytonos változót folytonos változóval hasonlíthatunk össze pl. chi-négyzet próbával vagy egymintás Kolmogorov-Szmirnov-próbával. Ilyenkor a szignifikancia-próbával arról a null-hipotézisről döntünk, hogy a vizsgált változók eloszlása azonosnak tekinthető-e. A próbáknak van olyan változata, amikor független minták homogenitását kell eldönteni, és olyan is, amikor szimultán mérési adatokat (ún. összetartozó mintákat) kell összehasonlítani.

Nem ilyen egyértelmű azonban a helyzet, amikor egy *diszkrét* és egy *folytonos* valószínűségi változót kell összehasonlítani. Ilyenkor eleve nem lehet a két változó azonos eloszlású. Viszont az összehasonlításnak van értelme, mert mindkét változó ugyanazt a jelenséget méri, csak más-más skálán kifejezve. A problémát összetartozó minták esetében valamilyen regressziós módszerrel lehetne elemezni. Amikor a minták függetlenek, akkor viszonylag kevés matematikai eszköz áll rendelkezésünkre. Ez a helyzet az általunk tárgyalt esetben is. A hőérzetet lehet 1-5 skálán kérdőíves módszerrel (AMV), és műszerrel (PMV) mérni. Az AMV adat egy öt-értékű diszkrét változó, a PMV pedig egy [-3,+3] tartományba eső folytonos változó. Ekkor a változók momentumainak összehasonlításával próbálkozhatunk.

Jelöljük a dolgozók aktuális hőérzeti értékét (AMV) X -szel, amit az épület összes emeletei helyiségeiben kérdőíves felméréssel vettek fel. Irodai munka közben (1 met) és szokásos irodai öltözetben (1 clo) a dolgozók a hőérzetet egy ötfokozatú skálán fejezhetik ki: 1=*hideg*, 2=*hűvös*, 3=*kellemes*, 4=*kissé meleg*, 5=*meleg*. Az X tehát egy diszkrét valószínűségi változó $R_X = \{1,2,3,4,5\}$ értékészlettel, $p_i = \mathbf{P}(X = i)$ eloszlással (3. táblázat).

Ezt a változót hasonlítjuk össze a várható hőérzeti értékkel (PMV), amit Y -nal jelölünk. Az Y folytonos valószínűségi változó (feltehetőleg jól közelíthető normális eloszlással), értékeit a -3 és $+3$ között veszi fel. Az Y adatait az épület harmadik emeleti helyiségeiben az X mérésével azonos időben, megegyező külső feltételek mellett mértük. A két mintát függetlennek kell tekintenünk, mert a minták elemszámai mérés helyszíne nem egyezett meg. (Az Y -ra vonatkozó statisztikai adatok a 2.sz. táblázatban láthatóak.) Innen kiolvasható az átlag és a szórás, amivel:

$$m = \mathbf{E}Y = -0,67, \sigma = \sigma Y = 0,31.$$

Első lépésben az X -et lineáris transzformációval leképezzük a $[-3, +3]$ tartományba, az Y folytonos változó tartományába.

$$\tilde{X} = 1,5(X - 3).$$

A transzformált változó várható értéke:

$$\begin{aligned} \mu &= \mathbf{E}\tilde{X} = 1,5(\mathbf{E}X - 3) = -0,405 \\ d &= \sigma\tilde{X} = 1,5\sigma X = 1,095 \end{aligned}$$

Megállapítható, hogy

$$\mathbf{E}\tilde{X} = \mathbf{E}Y + 0,265 \text{ és } 3,53\sigma Y = \sigma\tilde{X}.$$

A műszeres mérés kisebb értéket állapított meg a kérdőíves értékhez képest. Viszont a műszeres mérés szórása jóval kisebb a kérdőíves méréséhez képest, amint azt várni is lehet.

Valószínűségi változók átváltása

A következőben megvizsgáljuk, miként lehet az említett két változót egymásba „átváltani”, azaz hogyan lehet X -et (AMV) kifejezni Y -nal (PMV), és fordítva.

X (AMV) kifejezése Y -nal (PMV):

Feltesszük, hogy Y normális eloszlást követ $m = -0,67$ és $\sigma = 0,31$ paraméterekkel. Y 90%-os valószínűséggel az értékeit az m körüli $\frac{\sigma \cdot 1,65}{\sqrt{n}}$ félhosszúságú konfidencia intervallumban veszi fel. Így X értékeit 90% megbízhatósággal az

$$\left(\frac{2}{3} \left(Y - \frac{\sigma \cdot 1,65}{\sqrt{n}} + 0,265 \right) + 3, \frac{2}{3} \left(Y + \frac{\sigma \cdot 1,65}{\sqrt{n}} + 0,265 \right) + 3 \right) \text{ intervallumban fogja felvenni.}$$

Y (PMV) kifejezése X -szel (AMV):

Diszkrét változóval nehezebb egy folytonos változót közelíteni. Azonban, ha X -re nagy elemszámú mintát veszünk, akkor a minta átlaga a centrális határeloszlás tétel alapján már közelítőleg normális eloszlást követ, így lehetőség nyílik az Y becslésére. Ha X -re n elemű

mintánk van, akkor a transzformált $\tilde{X} = 1,5(X - 3)$ átlaga $N(\mu; \frac{d}{\sqrt{n}})$ eloszlást követ, vagyis 90%-os megbízhatósággal az értékei a $\left(\mu - 1,65 \cdot \frac{d}{\sqrt{n}}, \mu + 1,65 \cdot \frac{d}{\sqrt{n}} \right)$ tartományba esnek, vagyis a becslt $Y \approx \tilde{X} - 0,265$ értékeit a $\left(\frac{3}{2}(X - 3) - 0,265 - 1,65 \cdot \frac{d}{\sqrt{n}}, \frac{3}{2}(X - 3) - 0,265 + 1,65 \cdot \frac{d}{\sqrt{n}} \right)$ intervallumban kell keresnünk.

A hőérzeti kérdőívek alapján az aktuális hőérzeti érték (AMV):

átlag: 2,73
szórás: 0,73

A PMV skálára átszámolt értékek:

átlag: -0,405
szórás: 1,095

Összegzés, levonható következtetések

Az irodaépületben összetett hőkomfort méréseket végeztünk télen állandósult egyensúlyi állapotban. A mérési eredményeket feldolgoztuk és az elméleti kiértékeléseket, elemzéseket is elvégeztük. Magyarországon még nem történt hasonló hőérzeti mérés és elméleti kiértékelés. A eredményeket az alábbi fő, általánosítható következtetésekben foglalom össze:

- A hőérzeti kérdőív eredménye nagyon jól közelíti az irodai munkát reprezentáló tevékenységi szintre (1met) és ruházatra (1 clo) vonatkozó műszeres mérés eredményét (átlag -0,67). Az AMV érték magasabb:

$$AMV = PMV + 0,265$$

- Megállapítható, hogy a kérdőíves felmérés esetében a szórás lényegesen nagyobb (3,53-szoros) mint a műszeres mérés esetében. Ez a valószínűség elmélete alapján várható volt, a különbséget számszerűsítettük.
- Hazai adottságok mellett, klímatisztált irodatermek mérési eredményei alapján megállapítható, hogy Fanger PMV – PPD hőérzeti értékelő módszere jól használható. A PMV és AMV értékek eltérése minimális, $AMV = PMV + 0,265$. Magyarországon ilyen komplex hőérzeti kutatás, helyszíni hőkomfort elemzés még nem történt. Kutatómunkánk igazolta a PMV modell alkalmazhatóságát és hazai viszonyokra meghatároztuk a PMV és AMV eltérését.

3.2. Az épületszerkezetek hőtechnikai követelményeinek hatása a hőkomfortra

Az EU 2002/91EK direktívához kapcsolódó hazai előírások a külső határoló szerkezetek hőtechnikai tulajdonságainak jelentős javulását eredményezte.

A falak esetében a hőátbocsátási tényező változása:

- korábbi követelmények: $0,7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$,
- TNM rendeletben (2006.) $0,45 \text{ W/m}^2 \text{ K}$,
- TNM rendelet módosítása miatt alacsonyabb hőátbocsátási értékeket is vizsgáltam: $0,3, 0,24, 0,2 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Az üvegfelületek, fa illetve műanyag keretű nyílászárók hőátbocsátási tényezője:

- korábban alkalmazott ablakok esetében $2,5 - 2,9 \text{ W/m}^2 \text{ K}$,
- TNM rendeletben (2006.) $1,6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$,
- TNM rendelet módosítása miatt alacsonyabb hőátbocsátási értékeket is vizsgáltam: $1,3, 1,15, 1,0 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Az ember hőkomfortja a PMV elmélet alapján értékelhető. A fizikai modellben az ember hőegyensúlyát befolyásoló hőmérsékletek:

- t_l ; °C: - a levegőhő mérséklete, száraz hőmérséklet,
- t_{fi} ; °C: - az i -edik fal-födém felület hőmérséklete,
- t_p ; °C: - a padlófelület hőmérséklete,
- $t_{ü}$; °C: - az üvegfelület hőmérséklete,
- t_{ks} ; °C: - a közepes sugárzási hőmérséklet.

Elméleti úton a felület és ülő ember közötti sugárzásos hőcsere modelljét alkalmazva meghatároztuk a külső fal és üveg felületi hőmérsékleteket és a PMV – PPD értékeket. A belső levegő hőmérsékletet 22 °C , a belső falfelületi hőmérsékleteket 20 °C , illetve 22 °C értékkel vettük figyelembe.

Az emberi test sugárzásos hőcseréje számítható:

$$Q_S = F_e \sum_{i=1}^4 b_i C_i \varphi_{E_{Fi}} (t_{cl} - t_{Fi}) \quad (6)$$

ahol:

- F_e ; m^2 : - az ember testfelülete, pontos értéke számítható
a műszaki gyakorlatban felnőtt emberek esetében $\approx 1,8 \text{ m}^2$,

b_i ; -: - az ún. hőmérséklet átszámítási tényező, amely meghatározható a

$$b_i = \frac{\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4}{t_1 - t_2}$$

C_i ; -: - a kölcsönös sugárzási együttható,

t_{cl} ; °C: - a ruházat felületi hőmérséklete,

t_{Fi} ; °C - a határoló felületek hőmérséklete °C,

$\varphi_{E_{Fi}}$; -: - az emberi testnek az egyes felületekre vonatkoztatott besugárzási tényezője.

Fanger (1982) a sugárzásos hőcsere közvetlen meghatározására - Gagge és munkatársai (1964), valamint Stolwijk és Hardy (1965) kutatásai alapján - egy egyszerű összefüggést dolgozott ki:

$$Q_S = 3,94 \cdot 10^{-8} F_{DU} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{ks} + 273)^4] \quad (W) \quad (7)$$

ahol: f_{cl} a mezítelen és ruházattal borított testfelület aránya.

A hőérzeti elemzéseinknél a felületi közepes hőmérsékletre vonatkozóan három esetet vizsgáltunk:

a., $t_{ks} = t_{ablak}$

b., $t_{ks} = (t_{ablak} + t_{fal})/2$ falak átlagos hőmérséklete 20 °C,

c., $t_{ks} = (t_{ablak} + t_{fal})/2$ falak átlagos hőmérséklete 22 °C.

A számított eredményeket az 5.-7. táblázatok tartalmazzák. A PMV eredményeket az 5., míg a PPD eredményeket a 6. ábra szemlélteti.

5. táblázat
PMV-PPD ablak közelében

Ablak – k W/m²K	Ablakfelület °C	PMV --	PPD %
2,9	9,46	-2,55	94,4
2,5	11,19	-2,08	80,2
1,6	15,08	-1,01	26,5
1,3	16,38	-0,64	13,6
1,15	17,03	-0,45	9,2
1,0	17,67	-0,27	6,5

Megjegyzés: $t_{ks} = t_{ablak}$

6. táblázat
PMV-PPD ablak közelében

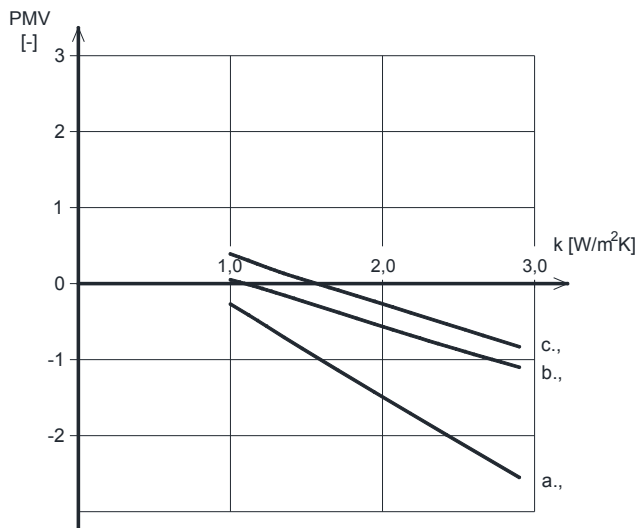
Ablak – k W/m²K	t_{ks} °C	PMV --	PPD %
2,9	14,73	-1,11	31,0
2,5	15,59	-0,87	21,0
1,6	17,54	-0,31	7,0
1,3	18,19	-0,12	5,3
1,15	18,51	-0,03	5,0
1,0	18,83	+0,07	5,1

Megjegyzés: $t_{ks} = (t_{ablak} + t_{fal})/2$, falak hőmérséklete 20 °C

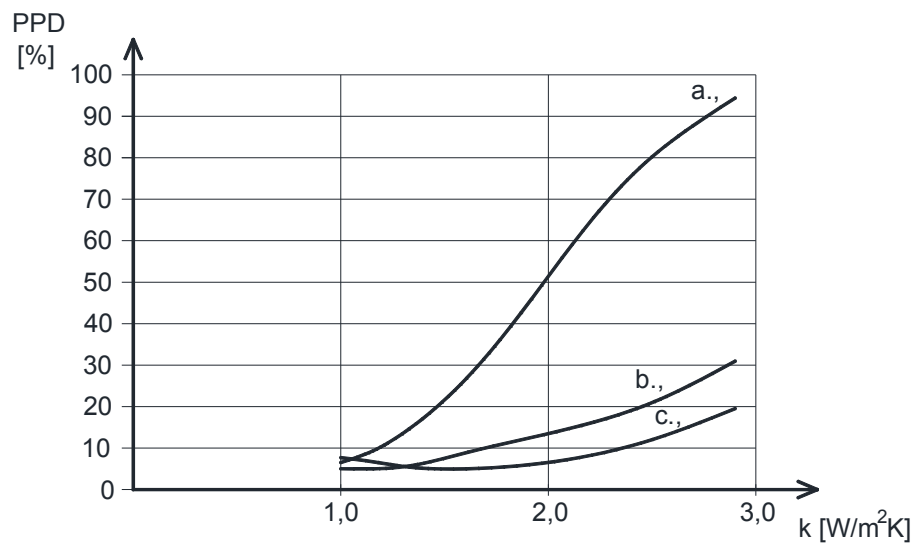
7. táblázat
PMV-PPD ablak közelében

Ablak – k W/m²K	t_{ks} °C	PMV --	PPD %
2,9	15,73	-0,83	19,5
2,5	16,59	-0,58	12,0
1,6	18,54	-0,02	5,0
1,3	19,19	+0,17	5,6
1,15	19,51	+0,29	6,7
1,0	19,83	+0,36	7,7

Megjegyzés: $t_{ks} = (t_{ablak} + t_{fal})/2$, falak hőmérséklete 22 °C



5. ábra
PMV eredmények az ablak hőátbocsátási tényezője függvényében.



6. ábra
PPD eredmények az ablak hőátbocsátási tényezője függvényében

Az elméleti vizsgálatok alapján levonható következtetések:

- a TNM 2006 ablakra vonatkozó hőtechnikai követelményei ($k=1,6 \text{ W/ m}^2 \text{ K}$) alapján a belső ablakfelület hőmérséklete legalább $15 \text{ }^\circ\text{C}$,
- a TNM tervezett szigorítása ($k=1,0 - 1,3 \text{ W/ m}^2 \text{ K}$) következtében az ablakfelület hőmérséklete $16,4 - 17,7 \text{ }^\circ\text{C}$, illetve ennél magasabb,
- az ablak közelében a hőkomforttal elégedetlenek aránya jelentősen csökkent a hőtechnikai szempontból jobb ablakok alkalmazásával, a hőátbocsátási tényező csökkenése és a felületi hőmérséklet növekedése következtében.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy $k = 1,19 \text{ W/ m}^2 \text{ K}$ ablak hőátbocsátási tényező esetén a $PMV = -0,5$ biztosítható. Ez már a kellemes komfortot jelenti a nemzetközi értékelés szerint, a $PPD = 10 \%$.

3.3 Belső levegő minőség irodai környezetben

A belső levegő minőség kutatása hazánkban rövid múlttal rendelkezik. Az első feladat a témakör fogalomrendszerének kidolgozása volt, mely elsősorban Bánhidi és Kajtár tevékenységéhez kötődik. A megjelent magyar nyelvű publikációk döntő többségének a szerzői ők voltak.

A belső levegő minőség alatt – a hazánkban használatos definíció értelmében – a komfort terek levegőjének minden olyan nem termikus jellemzőjét értjük, melyek az ember közérzetét befolyásolják (Kajtár, 1995). A „belső levegő minőség” szakterület rokon a „levegő tisztaság védelemmel” és a „munkahelyi egészségvédelemmel”. Mindhárom szakterület az ember egészségének védelmével, alapvetően a jó közérzet biztosításával foglalkozik, a kutatások célja azonos. Azonban mindhárom szakterület más és más zárt terekre, illetve a külső levegőre vonatkozik. A 7. ábra két zárt teret és a körülvevő külső teret szemlélteti a terminológia és a követelmények szempontjából.



7. ábra

A belső levegő minőség értelmezése (Kajtár, 2000.)

A komforttérben a szennyezőanyag koncentrációjának változása és a szükséges frisslevegő térfogatáram számolható tetszőleges levegőszennyező anyagra, illetve az olf-decipol rendszerben (Fanger) a levegőszennyezők együttes hatása alapján.

A jelenség vizsgálatánál az időben állandó szennyezőanyag kibocsátású forrás modellje használható.

Feltételezve, hogy a szellőztetés folyamatos, a külső levegőben lévő szennyezőanyag koncentrációja állandó, a tér homogén és nincs helyi szennyezőanyag elszívás, felírható a szennyezőanyag koncentráció változása:

$$k = k_k + \frac{\dot{K}}{V_{sz}} \cdot (1 - e^{-n\tau}) \quad (7)$$

kezdeti feltétel: $\tau = 0$ esetén $k = k_k$

ahol: n ; 1/h : - légcsereszám,
 V_h ; m^3 : - a helyiség térfogata,
 k ; mg/ m^3 : - szennyezőanyag koncentráció,
 V_{sz} ; m^3/h : - szellőző levegő térfogatárama,
 K ; mg/s: - a szennyezőanyag forráserevése.

Az érzékelhető levegő minőség szempontjából a szükséges frisslevegő térfogatáram (Fanger):

$$\dot{V} = 10 \cdot \frac{G}{(c_b - c_k) \cdot \varepsilon}; \quad l/s \quad (9)$$

ahol:
 G ; olf : az érzékelhető szennyezőanyag terhelés,
 c_b ; dp : az érzékelhető belső levegő minőség a tartózkodási zónában,
 c_k ; dp : az érzékelhető levegő minőség a külső levegőben,
 ε ; -- : a szellőztetés hatásossága.

A frisslevegő igényt természetesen alapvetően befolyásolja a légzés frisslevegő igénye. A frisslevegő igényt jelentősen befolyásolja az ember tevékenysége és a belélegzett levegő (külső levegő) szén-dioxid koncentrációja.

A különböző jellegű munkavégzés esetén adódó frisslevegő igényt az 8. táblázat tartalmazza (Kajtár, 2000).

8. táblázat
Frisslevegő igény ($m^3/h, f\ddot{o}$)

Tevékenységi szint	\dot{Q} W/fő	\dot{K}_{CO_2} l/h	Külső CO ₂ koncentráció térfogat %		
			0,03	0,04	0,05
I. ül, olvas	120	15	13	14	15
II. nagyon könnyű munka	150	23	19	21	23
III. könnyű munka	190	30	25	27	30

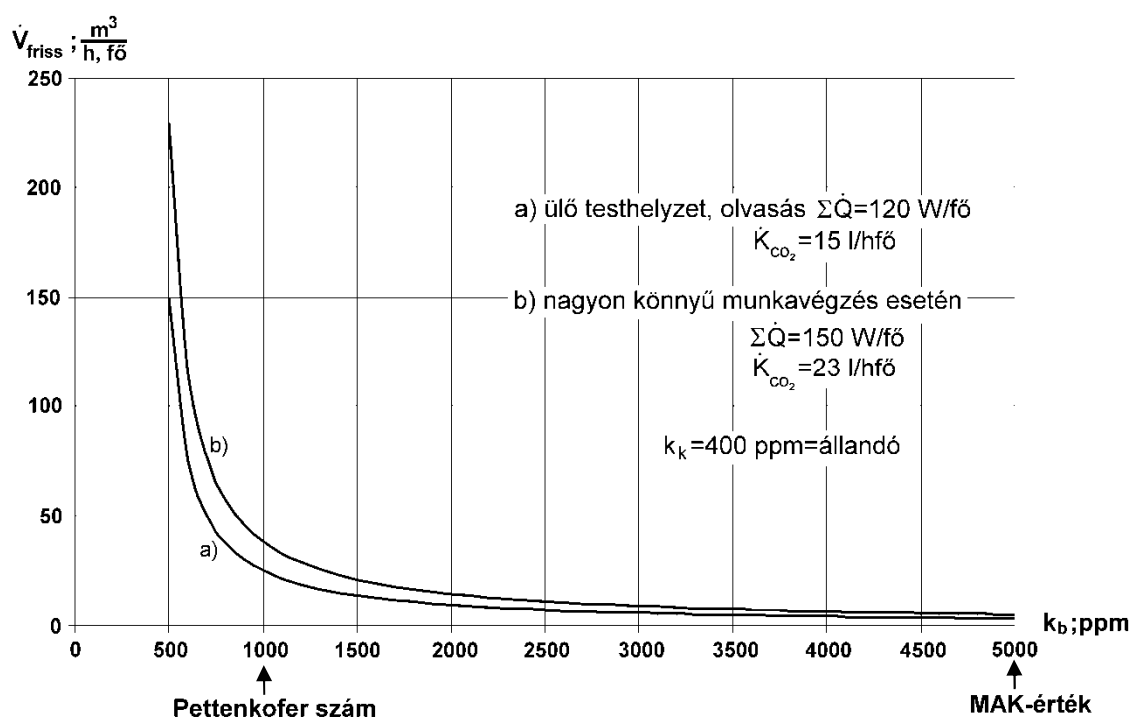
A régi, már nem érvényes hazai MSZ.04. 135/1-1982 szabvány szerint a kötelező frisslevegő igény:

20 $m^3/h, f\ddot{o}$ dohányzás nélkül,
 30 $m^3/h, f\ddot{o}$ dohányzás esetén.

A később megjelent MSZ. 21875-2-1991 szabvány a frisslevegő igényt pontosította a munkavégzés jellege alapján:

szellemi munka	30 m ³ /h,fő,
könnyű fizikai munka	30 m ³ /h,fő,
közepesen nehéz fizikai munka	40 m ³ /h,fő,
nehéz fizikai munka	50 m ³ /h,fő.

A zárt térben megengedett szén-dioxid koncentráció (k_b) jelentősen befolyásolja a légzés frisslevegő igényét. Ezt szemlélteti a 8. ábra (Kajtár, 2000).



8. ábra
A légzés frisslevegő igénye

További hasznos következtetésekre jutunk a szükséges frisslevegő térfogatáramra vonatkozóan az érzékelhető belső levegő minőség követelmények elemzése alapján. A számított eredményeket a 9. táblázat tartalmazza (Kajtár, 1995.). Vizsgálatainknál közepes minőségű városi levegőt (0,2 dp) és tökéletes hígításos szellőzést vettünk alapul.

9. táblázat

Frisslevegő igény különböző emberi tevékenység és belső levegő minőségkövetelmény esetén

Ember		Csak ember (0,1 fő/m ²)			Ember + épület + légtech. (ép. + légtech. = 0,2 olf/m ²)		
		\dot{V} , m ³ /h,fő					
Tevékenység	olf	c _b = 1,0 PD≤15%	c _b = 1,4 PD≤20%	c _b = 2,5 PD≤30%	c _b = 1,0 PD≤15%	c _b = 1,4, PD≤20%	c _b = 2,5, PD≤30%
Aktivitás: 120W	1	45	30	15,6	135	90	46,8
Aktivitás: 150W	1,5	68	45	23,5	158	105	54,8
20% dohányzik	2	90	60	31,3	180	120	62,6
40% dohányzik	3	135	90	47,0	225	150	78,3
dohányzó átl.	6	270	180	94	360	240	125,3

A számított eredmények alapján megállapítható:

- a belső levegő minőség a vizsgált esetek döntő többségénél a légzéshez szükséges frisslevegő rátával (30 m³/h,fő) nem biztosítható,
- a belső levegő minőségi követelmények fokozása jelentősen megnöveli a szükséges frisslevegő igényt,
- a dohányzás hatásának kompenzálása további frisslevegő igénynövekedést eredményez, illetve 20% feletti dohányzó részarányánál már a megfelelő belső levegő minőség csak irreálisan magas frisslevegő rátával biztosítható. Ezt a problémát megszüntette a dohányzás betiltása zárt terekben.

Összehasonlítás céljából bemutatom különböző nemzeti és nemzetközi szabványokban, műszaki irányelvekben rögzített fajlagos frisslevegő értékeket a 10. táblázatban.

10. táblázat

Különböző külföldi fajlagos frisslevegő előírások

Épület kategória	Terhelés	ASHRAE 62-89	DIN 1946 CEC No. 11 Irányelv			NKB 61E	CR 1752		
			A*	B	C		A	B	C
m ² /fő	fő/m ²	m ³ /h fő	m ³ /h fő			m ³ /h fő	m ³ /h fő		
Egyszemélyes iroda nemdohányzó (10 m ² /fő)	0,1	36	118,8	50,4	28,8	39,6	72,0	50,4	28,8
Nagyterés iroda nemdohányzó (14,3 m ² /fő)	0,07	36	144,0	61,7	36	36	87,4	61,7	36

Elégedetlenek aránya

A* = 10%

B = 20%

A = 15%

C = 30%

Megjegyzés: a burkoló és építőanyagokból származó szennyezőanyag terhelés 0,1 olf/m²,

$\varepsilon = 1$

A belső levegő minőség vizsgálatával, a szennyezőanyag forrás értékelésével és a szükséges frisslevegő igény meghatározásával három OTKA kutatási munkában foglalkoztunk, melyek azonosítói:

T 029451	1999-2001,	Zárójelentés: Bp. 2002, 2 kötet
T 037596	2002-2004,	Zárójelentés: Bp. 2005, 2 kötet
T 049598	2005-2007,	Zárójelentés: Bp. 2008, 2 kötet

A kutatási zárójelentésben részletesen ismertettük a kutatási eredmények alapján a frisslevegő eredményeket. A hazai sajátosságokat figyelembe véve meghatároztam a belső levegő minőség biztosításához javasolt frisslevegő térfogatáramot (11. táblázat).

11. táblázat
Javasolt fajlagos frisslevegő térfogatáramok
a levegő minőségi követelmények alapján.

Épület kategória m ² /fő	V̇ m ³ /h fő			V̇ l/s m ²		
	A	B	C	A	B	C
Egyszemélyes iroda nemdohányzó (10 m ²)	112	75	40	3,1	2,1	1,1
Nagyteres iroda nemdohányzó (14,3 m ²)	140	95	50	2,7	1,8	1,0

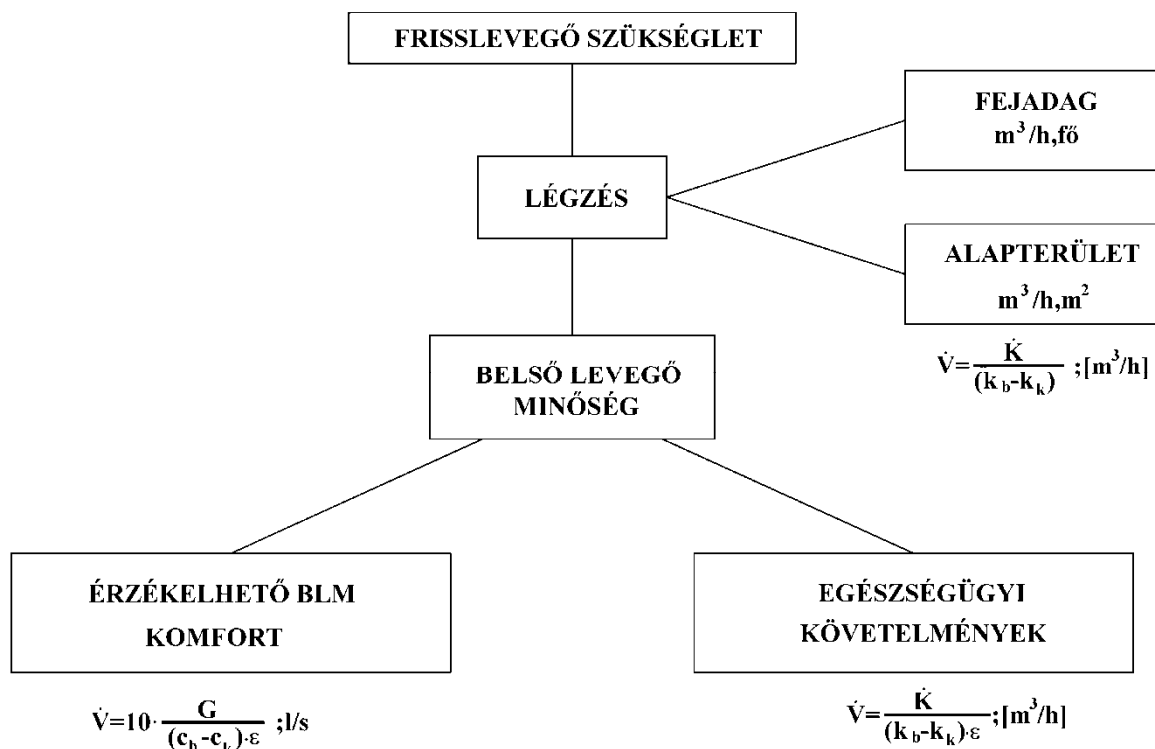
A frisslevegő térfogatáramának növelése nem csak komfort, hanem energetikai kérdés is. Mindezt figyelembe véve az „A” kategória (PD < 15%) követelményeinek biztosítása nagyon költséges. A pontos méretezéshez teljes körű alap adatsor a nemzetközi szakirodalomban sem áll rendelkezésre. Kutatómunkám elsődleges célja a hazai sajátosságokat figyelembe vevő új eredmények kidolgozása.

Kutatómunkám eredményei alapján a hazai sajátosságok figyelembe vételével a tervezői praxis számára javasolt irányadó frisslevegő térfogatáram a belső levegő minőség követelmények szempontjából:

- alacsony követelmény (C) : 50 m³/h fő,
- közepes követelmény (B) : 80 m³/h fő,
- magas követelmény (A) : 110 m³/h fő.

Fenti értékek megállapításánál figyelembe vettem az energetikai szempontokat.

Összefoglalva a frisslevegő szükséglet meghatározásának blokkvázlatát szemlélteti a 9. ábra (Kajtár, 2000).



9. ábra
A frisslevegő szükséglet meghatározásának blokkvázlata

Szükséges kiemelni, hogy az érzékelhető belső levegő minőség kategóriák biztosításához szükséges frisslevegőnél kevesebb frisslevegő elegendő a szén-dioxid koncentráció alapján meghatározott kategóriák biztosításához.

12. táblázat
A szén-dioxid koncentráció alapján meghatározott levegőminőségi kategóriák biztosításához szükséges frisslevegő.

Kategória	Δk ; ppm	\dot{V} ; m ³ /h fő
A	460	43,5
B	660	30,0
C	1190	16,8

Megjegyzés: Δk ; ppm a koncentráció növekmény a külső levegő szén-dioxid koncentrációja felett.

4. Az új tudományos eredmények megfogalmazása tézisekben

1. Tézis

A kutatásaim során a hőkomfort elméleti és mérési eredményei alapján elemeztem a PMV – PPD elméletet a hazai sajátosságok mellett. Ennek során értékeltem, hogy a hazai életmód, öltözködési és munkakultúra, valamint szokások mellett hogyan érvényesül a skandináv egyetemi hallgatók, mint „alanyok” bevonásával kidolgozott elmélet.

1/a

Irodaépületben állandósult téli időszakban elméleti vizsgálatok, helyszíni mérési eredmények, valamint komfort kérdőívekre adott válaszok eredményei alapján a matematikai statisztika módszerével meghatároztam:

A PMV kérdőív eredménye nagyon jól közelíti az irodai munkát reprezentáló tevékenységi szintre (1met) és ruházatra (1 clo) vonatkozó műszeres mérés eredményét. Az AMV érték magasabb:

$$AMV = PMV + 0,265$$

1/b

A nemzetközi hő- és levegőminőségi tudományos komfortkutatásokban a szubjektív értékelés során két eltérő módszert alkalmaznak. Az egyik lehetőség a nem tréningelt személyek („naív panel”), a másik a tréningelt személyek („olf tester) alkalmazása. Mindkét módszer előnyökkel és hátrányokkal rendelkezik. A levegő minőség kutatásoknál alkalmazható mindkét módszer, a hőkomfort esetében csak a nem tréningelt személyekkel történő vizsgálatok.

Kutatómunkám eredményei azt is igazolták, hogy a „naív panel”-ek eredményesen alkalmazhatók hőkomfort értékelésnél. A hőkomfort szubjektív értékelése során alkalmazott ötfokozatú skála alapján meghatározott hőérzeti jellemző:

AMV átlag: -0,405

AMV szórás: 1,095

A műszeres mérés eredményei szerint:

PMV átlag: -0,67

PMV szórás: 0,31

- **Megállapítottam, hogy a kérdőíves felmérés esetében a szórás lényegesen nagyobb, mint a műszeres mérés esetében. Az eltérést számszerűsítettem, 3,53-szoros.**

Publikációs lista: T1, T2.

2. Tézis

A hőérzetet változtatlan egyéb paraméterek esetén az aktivitási szint és a ruházat befolyásolja.

Kutatómunkám eredményei alapján bizonyítottam, hogy a ruházat hőszigetelő képességének, valamint az ember munkavégzésének (aktivitási szint) növelésével adott populáció esetén a várható hőérzeti érték (PMV) és az elégedetlenek arányának (PPD) szórása csökken. A külföldi szakirodalmak erre vonatkozóan nem tartalmaznak adatokat. **A hazai viszonyokra vonatkozóan a helyszíni mérések alapján meghatároztam a szórás csökkenésének mértékét.**

A szórás csökkenésének mértéke:

	Aktivitási szint, ruházat		
	1 met 0,8 clo	1 met 1 clo	1,2 met 1 clo
PMV szórás; -	0,38	0,31	0,25
PPD szórás; %	38,4	17,5	6,9

A helyszíni mérések során vizsgált irodahelyiségekben a levegőhőmérséklet átlagértéke 23,1°C, szórása 0,77°C.

Publikációs lista: T1, T2.

3. Tézis

Az EU 2002/91EK direktívához kapcsolódó hazai előírások a külső határoló szerkezetek hőtechnikai tulajdonságainak jelentős javulását eredményezték.

A falak esetében a hőátbocsátási tényező:

- korábbi követelmények: 0,7 W/m² K,
- TNM rendeletben (2006.) 0,45 W/m² K,
- TNM rendelet tervezett módosítása: 0,24 (2018) W/m² K a zárójelben szereplő évtől.

Az üvegfelületek, fa illetve műanyag keretű nyílászárók hőátbocsátási tényezője:

- korábban (2000. előtt) alkalmazott ablakok esetében $2,5 - 2,9 \text{ W/m}^2 \text{ K}$,
- TNM rendeletben (2006.) $1,6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$,
- TNM rendelet tervezett módosítása: $1,15 (2018) \text{ W/m}^2 \text{ K}$
az előzőekben már említett hatályba lépéssel.

Az elméleti vizsgálatok alapján levonható következtetések:

- **a TNM ablakra vonatkozó követelményei alapján a belső ablakfelület hőmérséklete legalább $15 \text{ }^\circ\text{C}$, illetve ennél magasabb,**
- **a TNM tervezett szigorítása következtében az ablakfelület hőmérséklete $16,4 - 17,7 \text{ }^\circ\text{C}$,**
- **az ablak közelében a hőkomforttal elégedetlenek aránya jelentősen csökkent.**

Kutatómunkám eredményei alapján meghatároztam az épület hőtechnikai követelmények szigorításának hatását a hőkomfortra. Megállapítottam, hogy az üvegfelületek közelében korábban jelentkező hidegérzeti panaszok jelentősen lecsökkennek. A változást számszerűsítettem. Az eredményeket a 20. és 21. ábrák mutatják.

A hőérzeti elemzéseimnél a levegőhőmérséklet $22 \text{ }^\circ\text{C}$ volt, a felületi közepes hőmérsékletre vonatkozóan három esetet vizsgáltam:

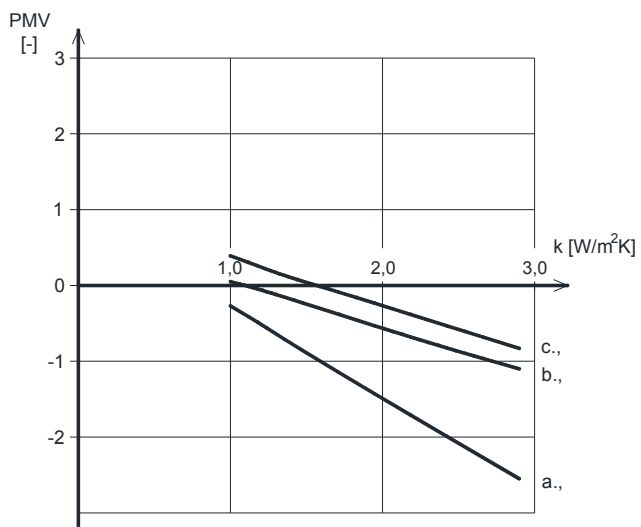
a., $t_{ks} = t_{ablak}$

b., $t_{ks} = (t_{ablak} + t_{fal})/2$, falak átlagos hőmérséklete $20 \text{ }^\circ\text{C}$

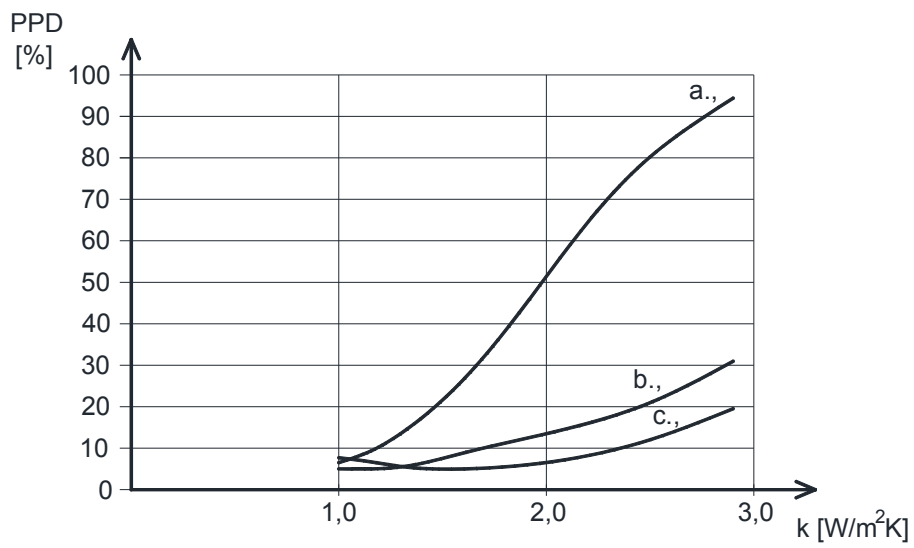
c., $t_{ks} = (t_{ablak} + t_{fal})/2$, falak átlagos hőmérséklete $22 \text{ }^\circ\text{C}$

A kidolgozott modell alapján más adatokra vonatkozóan is meghatározhatók az eredmények.

Publikációs lista: T1, T2, T3, T8.



20. ábra
PMV eredmények



21. ábra
PPD eredmények

4. Tézis

Kutatómunkám eredményeként kidolgoztam a **belső levegő minőség hazai terminológia, fogalom rendszerét, illeszkedve a kapcsolódó határterületekhez (levegő tisztaságvédelem, munkahelyi egészségvédelem)**. Kidolgoztam a frisslevegő igény meghatározásának komplex rendszerét, mely magában foglalja a légzés, érzékelhető belső levegőminőség és az egészségügyi követelmények alapján szükséges frisslevegőt. Ez a komplex méretezés együttesen a nemzetközi szakirodalomban nem található. A témakört átfogóan egyetemi tankönyvben és szakkönyvben foglaltam össze és a BME Gépészmérnöki Karon kötelező államvizsga tárgyban előadom. A laboratóriumi vizsgálatok céljából vezetésemmel felépítettük 2000-ben a BME Épületgépészeti Tanszéken, majd átépítve és bővítve 2014-ben az Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszéken belső levegő minőség vizsgáló laboratóriumot, amely megfelel a nemzetközi gyakorlatnak, de figyelembe veszi a hazai adottságokat is.

Publikációs lista: T9, T10.

5. Tézis

Irodaterekben végzett helyszíni méréseim és elméleti vizsgálataim alapján megállapítottam, hogy irodaterekben a belső levegő minőségi követelmények a hazai szabványban rögzített 30 m³/h fő frisslevegő térfogatárammal nem biztosítható. A belső levegő minőség miatt várhatóan elégedetlenek aránya várhatóan legalább 33%. A légzési frisslevegő biztosításához tervezési alapadatnak 45 m³/h,fő értéket javasolok. Ez az érték alacsonyabb a külföldi szabványokban megtalálható értékeknél (pl. 60 m³/h fő). Ez egyúttal energiamegtakarítást is jelent. Ez okozza részben a hazai szabványok szerint tervezett klímatisztított tereknél az elégedetlenek panaszait, függetlenül a kellemes hőkönyezetűtől, hőkomforttól.

Publikációs lista: T4, T5, T6, T7.

6. Tézis

A kutatómunkám során vizsgáltam a kellemes belső levegő minőség biztosításához szükséges frisslevegő térfogatáramot. Eredményeimet részletesen bemutattam publikációkban.

A hazai sajátosságokat figyelembe véve meghatároztam irodaépületekben a belső levegő minőség biztosításához figyelembe veendő frisslevegő térfogatáramot.

Épület kategória m ² /fő	\dot{V} m ³ /h fő			\dot{V} l/s m ²		
	A	B	C	A	B	C
Egyszemélyes iroda nemdohányzó (10 m ²)	112	75	40	3,1	2,1	1,1
Nagyteres iroda nemdohányzó (14,3 m ²)	140	95	50	2,7	1,8	1,0

A frisslevegő térfogatáramának növelése nem csak komfort, hanem energetikai kérdés is. Mindezt figyelembe véve az „A” kategória (PD < 15%) követelményeinek biztosítása nagyon költséges. A pontos méretezéshez teljes körű alapadatsor a nemzetközi szakirodalomban sem áll rendelkezésre. Kutatómunkám elsődleges célja a hazai sajátosságokat figyelembe vevő új tudományos eredmények kidolgozása volt.

Kutatómunkám eredményei alapján a tervezői praxis számára javasolt irányadó frisslevegő térfogatáram a belső levegő minőség követelmények szempontjából:

alacsony követelmény (C) : 50 m³/h fő

közepes követelmény (B) : 80 m³/h fő

magas követelmény (A) : 110 m³/h fő

Fenti értékek megállapításánál figyelembe vettem az energetikai szempontokat.

Publikációs lista: T4, T5, T6.

5. Publikációk

5.1 Felhasznált szakirodalom

- [1] ASHRAE Handbook 1977.
Fundamentals. New York.
- [2] ASHRAE Handbook 1993.
Fundamentals. New York.
- [3] Araújo, V.M.D-Araújo, E. H. S: The applicability of ISO 7730 for the assessment of the thermal conditions of users of the buildings in Natal-Brazil
Proceedings of Indoor Air '99. Vol. 2. Edinburg, 1999.
- [4] Bálint P.: Orvosi élettan.
Medicina Könyvkiadó, Bp. 1981.
- [5] Bánhidi L.: Zárt terek hőérzeti méretezése.
Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1976.
- [6] Berg-Munch, B.-Clausen, C.-Fanger, P.O.: Ventilation Requirements for the Control of Body Odor in Spaces Occupied by Women.
Environment International, Vol. 12. 1986.
- [7] Bánhidi L.: Ember, épület, energia.
Akadémiai Kiadó, Bp. 1994.
- [8] Bánhidi L., Kajtár L.: Komfortelmélet
Műegyetemi Kiadó, Bp. 2000.
- [9] Bánhidi L.-Kajtár L.-Magyar T.: Épületek szellőzésének tervezése az új európai normák tükrében.
Magyar Épületgépészet, Bp. 1996/3.
- [10] Bálint P.: Orvosi Élettan.
Medicina Könyvkiadó. Bp. 1981.
- [11] Bluysen, P.M.: A Trained Panel to Evaluate Perceived Air Quality.
CLIMA 2000 Konferencia, Sarajevo, 1989.
- [12] Busch, J. F.: A tale of two populations: thermal comfort in airconditioned naturally ventilated offices in Thailand.
Energy and Buildings, 18. 1992.
- [13] Chan, D.W. T.-Burnett,J.-De Dear, R.J.-Ng, S.C.H.: A large-scale survey of thermal comfort in office premises in Hong Kong
ASHRAE Transactions, 104.
- [14] De Dear, R.J.-Auliciems, A.: Validation of the predicted mean vote model of thermal comfort in six Australian field studies.
ASHRAE Transactions, 91.
- [15] Fanger, P.O.: Calculation of thermal comfort: introduction of a basic comfort equation.
ASHRAE Transactions, 73. 1967.
- [16] Fanger, P.O.: Thermal Comfort.
Robert E. Krieger Publ. Co. Malabar, Florida, 1982.

- [17] Fanger, P.O.: Introduction of the Olf and Decipol Units to Quantify Air Pollution Perceived by Humans Indoors and Outdoors. Energy and Buildings, 1988.
- [18] Finke, U.: Ein Beitrag zu Fragen der Empfundenen Luftqualität in Gebäuden. Disszertáció, TU Berlin, 1996.
- [19] Fitzner, K.-Finke, U.: Bestimmung der Empfundenen Luftqualität in Bürogebäuden-Ergebnisse und Wertung. Gesundheits Ingenieur, 1996.
- [20] Hasan, A.-Kurnitski, J.-Jokiranta, K.: Thermal comfort assessment of radiator and floor heating systems. Indoor Air 2008. Copenhagen 915 N.
- [21] Herberger, S.-Herold, M.-Ulmer, H.:Demand controled ventilation for improved perceived air quality. Healthy Buildings 2009. Syracuse, NY USA, P1-10C, 19.
- [22] Van Hoof, J.: Forty years of Fanger's model of thermal comfort: comfort for all? Wiley Online Library, Indoos Air Issue 3, 2008.
- [23] Knudsen, H. N.-Wargocki, P.: The effect of using low-polluting building materials on perceived air quality and ventilation requirements in real rooms. Indoor Air 2008. Copenhagen 221 N.
- [24] Lee, J. Y.-Song, G-S.-Isoda, N.:Evaluaton of thermal comfort in wall cooling system. Indoor Air 2008. Copenhagen 1049 S.
- [25] Loewer, H.: Die Raumluftqualität in der nationalen und internationalen Normung. Ki Luft- und Kaltetechnik, 1995/9.
- [26] Mayer, E.-Schwab, R.: Geruchsbewertung in Gebäuden nach unterschiedlichen Methoden. IBP Mitteilung. Stuttgart, 1995.
- [27] Melikov, A. K.-Kaczmarczyk, J.-Sliva, D.:Impact of air movement on perceived air quality at different level of relative humidity. Indoor Air 2008. Copenhagen 1037 N.
- [28] Melikov, A. K.-Kaczmarczyk, J.-Sliva, D.:Impact of air movement on perceived air quality at different pollution level and temperature. Indoor Air 2008. Copenhagen 1033 N.
- [29] Mui, K.W.-Wong, L.T.-Hui, P.S.: IAQ benchmarks of air-conditioned offices in Hong Kong. Indoor Air 2008. Copenhagen 20 S.
- [30] Olesen, B.W.-Nielsen, R.: A comparison of the thermal insulation measured on a thermal manikin and on human subjects. Proceedings of Indoor Air '84. Vol. 5. Stockholm, 1984.

- [31] Pariaskova, J.-Müller, D.-Müller, B.: Transfer functions for perceived air quality, acceptability and hedonic tone measurements. Indoor Air 2008. Copenhagen 869 N.
- [32] De Paula Xavier, A.A.-Roberto, L.: Indices of thermal comfort developed from field survey in Brazil. ASHRAE Transactions, 106.
- [33] Pettenkofer, M.v.: Über den Luftweschel in Wohngebäuden. Literarisch-Artistische. Anstalt der J. G. Gottaschen Buchhandlung. München, 1858.
- [34] Russa, J.-Khalifa, H. E.-Dang, T.: Computational study of personal ventilation jets using a sweating, breathing, thermal manikin. Healthy Buildings 2009. Syracuse, NY USA, P1-10C, 368.
- [35] Sateri, J.: New target values for indoor environment in the Finnish Classification of indoor climate 2008. Indoor Air 2008. Copenhagen 477 N.
- [36] Seppanen, O.: Scientific basis for design of ventilation for health, productivity and good energy efficiency. Indoor Air 2008. Copenhagen 744 N.
- [37] Spiess, T.: Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben "Steigerung der Luftqualität durch verbesserte Lüftungsgeräte. Berlin, 1996.
- [38] Tian, L.-Wang, Q.-Liu, J.-Lin, Z.: Measurements of indoor air quality and thermal comfort of an office ventilated by stratum ventilation. Indoor Air 2008. Copenhagen 583 N.
- [39] Wang, Z. J.-Lian, L.M.: A field study of the thermal environment in residential buildings in Harbin. ASHRAE Transactions, 109.
- [40] Williems, R. N.: A field investigation of thermal comfort, environmental satisfaction and perceived control levels in UK office buildings. Proceedings of Healthy Buildings '95. Vol. 3. Milan, 1995.
- [41] Witthauer, J.-Horn, H.-Bischof, W.: Raumluftqualität. Verlag C.F. Müller, Karlsruhe, 1993.
- [42] Zeiler, W.-Noom, P.-Houten, R.-Fokko Haan, J.-van der Velden, J.: Thermal comfort in office practice: Theory versus practice. Healthy Buildings 2009. Syracuse, NY USA, P1-10E, 91.
- [43] Yoon, D.W.-Sohn, J. Y.-Cho, K.H.: The comparison on the thermal comfort sensation between the results of questionnaire survey and the calculation of the PMV values. Proceedings of Indoor Air '99. Vol. 2. Edinburgh, 1999.

- [44] MSZ CR 1752:2000 Épületek szellőztetése. Épületek belső környezetének tervezési alapjai (Forrás: CR 1752:1998 Ventilation for buildings. Design criteria for the indoor environment.)
- [45] EUR 13216 EN Report No.7.
Indoor Air Pollution by Formaldehyde in European Countries.
1990. EUR 14449 EN Report No.11.
Guidelines for Ventilation Requirements in Buildings.
- [46] EUR 13216 EN Report No.7.
Indoor Air Pollution by Formaldehyde in European Countries.
1990. VDI 3881: Olfaktometrie. Geruchsschwellenbestimmung.
1986.
- [47] DIN 1946/2 Raumluftechnik. Gesundheitstechnische Anforderungen. 1994.
- [48] MSZ-04. 135/1-82. Légtechnikai berendezések.
Általános előírások. Bp. 1983.
- [49] MSZ EN 15251:2007 Épületek energia-teljesítőképességének tervezésére és becslésére, levegőminőségére, hőmérsékletére, fény- és akusztikai viszonyaira vonatkozó beltéri bemeneti paraméterei (Forrás: EN 15251:2007 Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics)

5.2 Saját publikációk a habilitáció témakörében a kandidátusi (PhD)-fokozat megszerzése után

5.2.1 Szakcikkek idegen nyelven

1. Janos Szabo, Laszlo Kajtar, Jozsef Nyers, Balazs Bokor
A new approach and results of Wall and Air Temperature Dynamic Analysis in Underground Spaces
ENERGY 106: pp. 520-527. (2016)
2. Kajtar László, Nyers József, Szabó János, Ketskemény László, Herczeg Levente, Leitner Anita, Bokor Balázs
Objective and subjective thermal comfort evaluation in Hungary
THERMAL SCIENCE (2016)
3. Laszlo Kajtar, Jozsef Nyers, Janos Szabo
Dynamic thermal dimensioning of underground spaces
ENERGY 87: pp. 361-368. (2015)
4. Nyers József, Kajtar Laszlo, Slavica Tomic, Nyers Arpad
Investment-savings Method for Energy-economic Optimization of External Wall Thermal Insulation Thickness
ENERGY AND BUILDINGS 86: pp. 268-274. (2014)
5. Szabó J, Kajtar L
Comfort measurements in offices
POLLACK PERIODICA: AN INTERNATIONAL JOURNAL FOR ENGINEERING AND INFORMATION SCIENCES 9: pp. 81-90. (2014)
6. Kajtar L, Szabó J
Vplyv zasklených fasád na spotrebu energie: The Influence of Glass Facades on Energy Consumption
TZB HAUSTECHNIK XXI:(3) pp. 12-15. (2013)
7. Kajtar L, Herczeg L
Influence of carbon-dioxide concentration on human well-being and intensity of mental work
IDŐJÁRÁS / QUARTERLY JOURNAL OF THE HUNGARIAN METEOROLOGICAL SERVICE 116:(2) pp. 145-169. (2012)
8. Kajtar László, Hrustinszky Tamás
Indoor air quality analysing with naive panels
PERIODICA POLYTECHNICA-MECHANICAL ENGINEERING -: Paper -. (2009)
9. Kajtar L, Hrustinszky T
Investigation and influence of indoor air quality on energy demand of office buildings
WSEAS TRANSACTIONS ON HEAT AND MASS TRANSFER 4:(3) pp. 219-228. (2008)

10. Herczeg L, Hrustinszky T , Kajtár L
Comfort in closed spaces according to thermal comfort and indoor air quality
PERIODICA POLYTECHNICA-MECHANICAL ENGINEERING 44:(2) pp. 249-264. (2000)
11. Kajtár L, Erdosi I
Nonstationary dimensioning of thermal comfort and energetical optimization of underground spaces
PERIODICA POLYTECHNICA-MECHANICAL ENGINEERING 44:(2) pp. 237-248. (2000)
12. Kajtár L, Erdosi I, Bakó-Bíró Z
Thermal and air quality comfort of office buildings based on new principles of dimensioning in Hungary
PERIODICA POLYTECHNICA-MECHANICAL ENGINEERING 44:(2) pp. 265-274. (2000)

5.2.2 Lektorált szakcikkek magyar nyelven

1. András Balázs, Kajtár László
Irodaépületek levegő hőmérsékletének optimalizálása hőkomfortra
MAGYAR ÉPÜLETGÉPÉSZET 15:(2) pp. 12-16. (2015)
2. Herczeg Levente, Kajtár László
Közérzet és szellemi teljesítőképesség
MÉRNÖK ÚJSÁG 22:(11) pp. 30-31. (2015)
3. Kajtár László, Ketskemény László, Szabó János, Herczeg Levente, Leitner Anita
A PMV modell alkalmazásának tapasztalatai Magyarországon
MAGYAR ÉPÜLETGÉPÉSZET LXIV:(12) pp. 3-8. (2015)
4. Kajtár László, Szabó János
Intelligens épületek komfortja
MAGYAR INSTALLATEUR 24:(11-12) pp. 25-27. (2014)
5. Kajtár László, Szabó János
Klimatizált terek komfortjának minősítése I.
MAGYAR INSTALLATEUR 22:(5) pp. 20-21. (2012)
6. Kajtár László, Szabó János
Klimatizált terek komfortjának minősítése II.
MAGYAR INSTALLATEUR 22:(6-7) pp. 34-35. (2012)
7. Kajtár László, Szabó János
Komfort - intelligens épületek
MAGYAR INSTALLATEUR 22:(11-12) pp. 26-27. (2012)

8. Kajtár László, Bánhidi László
Az épületenergetikai követelmények hatása a hőkomfortra
MÉRNÖK ÚJSÁG 18:(11) pp. 26-30. (2011)
9. Kajtár László
A hőkomfort elemzése télen, irodai környezetben
MAGYAR ÉPÜLETGÉPÉSZET 60.:(12) pp. 3-7. (2011)
10. Kajtár László
Egészséges épület
MAGYAR INSTALLATEUR 19. (2-3) pp. 18-19. (2009)
11. Kajtár László
Klímatechnika - komfort - energetika
FŰTÉSTECHNIKA KORSZERŰ FŰTÉSI RENDSZEREK XI:(171) pp. 8-11. (2008)
12. Kajtár László
Igényes "A" komfortkategória irodákban
MAGYAR INSTALLATEUR 17: pp. 38-40. (2007)
13. Kajtár László, Herczeg Levente, Hrustinszky Tamás
Épületek vizsgálata a levegőminőség oldaláról
MAGYAR ÉPÍTŐIPAR LV:(I.) pp. 43-47. (2005)
14. Kajtár L., Hrustinszky T, Herczeg L
Épületek vizsgálata a levegőminőség oldaláról
TÉGLA SZAKLAP 4:(2) p. 14. (2004)
15. Kajtár László, Herczeg Levente
A szén-dioxid hatása az ember közérzetére és munkavégzés teljesítményére
HKL-HŰTŐ KLÍMA ÉS LÉGTECHNIKAI ÉPÜLETGÉPÉSZETI SZAKLAP II:(7) pp. 14-17. (2004)
16. Kajtár László, Hrustinszky Tamás
A belső levegő minőség. A szükséges frisslevegő -igény vizsgálata
HKL-HŰTŐ KLÍMA ÉS LÉGTECHNIKAI ÉPÜLETGÉPÉSZETI SZAKLAP II.:(8) pp. 16-19. (2004)
17. Kajtár László
Klímatechnika Magyarországon: Energiatakarékos és komfortos
VEGYIPAR: A MAGYAR VEGYIPAR SZAKMAPOLITIKAI KÉTHAVI MAGAZINJA 3: pp. 4-10. (2004)
18. Kajtár László, Herczeg Levente, Láng E
A szén-dioxid hatása az ember közérzetére és munkavégzés teljesítményére
MAGYAR ÉPÜLETGÉPÉSZET 7: pp. 11-24. (2004)
19. Kajtár László, Herczeg Levente, Láng E
A szén-dioxid hatása az ember közérzetére és munkavégzés teljesítményére
EGÉSZSÉGTUDOMÁNY XLVIII:(4.) pp. 270-282. (2004)

20. Leitner Anita, Kajtár László
Gáztűzhelyek hatása lakóépületek levegőminőségére
HKL-HŰTŐ KLÍMA ÉS LÉGTECHNIKAI ÉPÜLETGÉPÉSZETI SZAKLAP II:(6) pp. 14-17. (2004)
21. Fitzner, K, Kajtár L
Az elárasztásos szellőzés levegőminőségi előnyei a forrásszellőzés áramkép kialakulásakor
MAGYAR ÉPÜLETGÉPÉSZET 1: pp. 3-6. (1999)
22. Herczeg Levente, Kajtár László
Komfortterek hőérzeti méretezése és számítógépes szimulációja
MAGYAR ÉPÜLETGÉPÉSZET 6: pp. 11-14. (1999)
23. Kajtár L, Hrustinszky T
A belső levegő minőség számítógépes szimulációja
MAGYAR ÉPÜLETGÉPÉSZET 4: pp. 9-12. (1999)
24. Kajtár László, Bánhidi László, Magyar Tamás
Épületek szellőzésének tervezése az új európai normák tükrében: A belső levegő minőség és az akusztikai méretezés követelményei
MAGYAR ÉPÜLETGÉPÉSZET 3: pp. 7-10. (1996)

5.2.3 Konferencia kiadványokban megjelent idegen nyelvű lektorált publikációk

1. András Balázs, Kajtár László
Usability of CFD modeling in thermal comfort researches
Konferencia helye, ideje: Temesvár, Románia, 2016.04.13-2016.04.15.
Temesvár: 2016. 6 p. 25., Installation for buildings and ambient comfort
2. Szabó J, Kajtár L
Expected thermal comfort in underground spaces
EXPRES 2016, 8th International Symposium on Exploitation of Renewable Energy Sources and Efficiency. 156 p.
Konferencia helye, ideje: Szabadka, Szerbia, 2016.03.31 -2016.04.02.
Szabadka: V3ME-Vajdasági Magyar Mérnökök és Műszakiak Egyesülete, 2016. pp. 76-80.
(ISBN:978-86-919769-0-3)
3. András Balázs, Dr Kajtár László András Balázs
Winter overheating of public buildings
Konferencia helye, ideje: Temesvár, Románia, 2015.04.13-2015.04.15.
Temesvár: 2015. 15 p.
24., Installation for buildings and ambient comfort

4. Szabó J, Kajtár L
 Comfort Analyzing Based On Probability Theory In Office Building
 EXPRES 2015 Subotica, 7th International Symposium on Exploitation of Renewable Energy Sources and Efficiency. Konferencia helye, ideje: Szabadka , Szerbia , 2015.03.19 -2015.03.21. Subotica: Inzenjersko-tehnicko udruzenje vojvodanskih Madara, 2015. pp. 40-45.
 (ISBN:978-86-82621-15-7)
5. Kajtár L, Szabó J
 The impact of the energy requirements for buildings on the thermal comfort
 Internationale symposium "EXPRES 2014" Subotica: 6th International Symposium of Renewable Energy Sources and Effectiveness. Konferencia helye, ideje: Szabadka , Szerbia , 2014.03.27 -2014.03.29. Szabadka: Visoka Technicka skola strukovnih studija u Subotici, 2014. pp. 129-131.
 (ISBN:978-86-85409-96-7)
6. Kajtár László, Szabó János
 Analysis of PMV Method in Hungarian Environment
 International Symposium on Indoor Climate and Thermal Manikin, Bp.2012. március 2. (2012)
7. Kajtár László, Szabó János
 Comfort measurements in office buildings
 10th International Scientific Conference – Indoor Air and Environmental Quality .
 Konferencia helye, ideje: Budapest , Magyarország , 2012.05.13 -2012.05.20.
 Volgograd: [s. n.], 2012. pp. 132-139.
 (ISBN:978-5-98276-492-8)
8. Kajtár László, Szabó János
 Effect of Large Window Surfaces in Office Buildings
 10th International Conference on Healthy Buildings 2012 . 2697 p.
 Konferencia helye, ideje: Brisbane , Ausztrália , 2012.07.08 -2012.07.12.
 Brisbane: Curran Associates, Inc., 2012. pp. 977-982.
 (10th International Conference on Healthy Buildings 2012)
 (ISBN:978-162748075-8)
9. Szabó János, Kajtár László
 Thermal Comfort Measurements In Large Window Offices
 4th International Symposium on Exploitation of Renewable Energy Sources: EXPRES 2012. Konferencia helye, ideje: Subotica , Szerbia , 2012.03.09 -2012.03.10.
 Subotica: Subotica Technical College of Applied Sciences, 2012. pp. 79-82.
 (ISBN:978-86-85-85409-70-7)
10. Szabó János, Kajtár László
 Comfort measurements in offices
 Eight International PhD & DLA Symposium: Architectural, engineering and information sciences : abstracts book . 154 p.
 Konferencia helye, ideje: Pécs , Magyarország , 2012.10.29 -2012.10.30.
 Pécs: University of Pécs Pollack Mihály Faculty of Engineering and Information Technology, 2012. p. 133.
 (ISBN:978-963-7298-48-6)

11. Kajtár László, Szabó János
Thermal Comfort In Office Buildings With Large Window Surfaces
The 12 th International Conference on Indoor Air Quality and Climate: INDOOR AIR
2011. Konferencia helye, ideje: Austin , Amerikai Egyesült Államok , 2011.06.05 -
2011.06.10. Austin: pp. 1356-1361.
12. Kajtár L., Hrustinszky T, Herczeg L
Indoor air quality and energy demand of buildings
Healthy buildings 2009: Proceedings of the 9th International Healthy Buildings
Conference and Exhibition. Konferencia helye, ideje: Syracuse, USA, 2009.09.13 -
2009.09.17. pp. 1-4.
13. Kajtár L., Hrustinszky T
Influence of indoor air quality on energy performance of HVAC
PROCEEDINGS OF THE 6TH IASME/WSEAS INTERNATIONAL CONFERENCE
ON HEAT TRANSFER, THERMAL ENGINEERING AND ENVIRONMENT
(HTE'08): PTS I AND II. Konferencia helye, ideje: Rhodes , Görögország , 2008.08.20
-2008.08.22. Athens: World Scientific and Engineering Society Press, 2008. pp. 360-
364. (WSEAS Mechanical Engineering Series)
(ISBN:978-960-6766-97-8)
14. Kajtar L., Hrustinszky T , Herczeg L , Ketskemety L , Leitner A
Indoor air quality investigation with naive panels
Indoor Air 2008 - 11th International Conference on Indoor Air Quality and Climate .
Konferencia helye, ideje: Copenhagen , Dánia , 2008.08.17 -2008.08.22. Paper CD.
(ISBN:978-87-7877-270-1)
15. Kajtár László, Leitner Anita, Bánhidi László
Evaluation of ventilation systems and IAQ in domestic kitchen
Indoor Air 2008 - 11th International Conference on Indoor Air Quality and Climate .
Konferencia helye, ideje: Copenhagen , Dánia , 2008.08.17 -2008.08.22. pp. 1-6.
(ISBN:978-87-7877-270-1)
16. Kajtár L., Herczeg L , Hrustinszky T , Leitner A
High Quality Thermal Environment by Chilled Ceiling in Office Building
International Conference WellBeing Indoors CLIMA 2007. 616 p.
Konferencia helye, ideje: Helsinki, Finnország, 2007.06.10 -2007.06.14. pp. 1-6.
(ISBN:978-952-99898-2-9)

17. Kajtár László, Leitner Anita
CFD Modelling of Indoor Air Quality Affected by Gas Stoves
International Conference WellBeing Indoors CLIMA 2007. 616 p.
Konferencia helye, ideje: Helsinki, Finnország, 2007.06.10 -2007.06.14. Helsinki: pp.
1-6.
(ISBN:978-952-99898-2-9)

18. Kajtár László, Leitner Anita
CFD Modelling of Indoor Air Quality and Thermal Comfort
Konferencia helye, ideje: Portoroz, Szlovénia , 2007.05.15 -2007.05.17. pp. 1-6.
Proceedings of the 2nd IASME / WSEAS International Conference on Continuum
Mechanics

19. Kajtár L., Herczeg L, Hrustinszky T , Bánhidi L
Influence of Carbon-Dioxide Pollutant on Human Well-Being and Work Intensity
HB 2006 Healthy Buildings, Proceedings. Konferencia helye, ideje: Lisboa, Portugália,
2006.06.04 -2006.06.08. pp. 85-90.
(ISBN:978-989-95067-0-1)

20. Kajtár László, Leitner Anita, Bánhidi László
Evaluation of IAQ in Residential Kitchens Based on Laboratory and Field Studies
HB 2006 Healthy Buildings, Proceedings. Konferencia helye, ideje: Lisboa, Portugália,
2006.06.04 -2006.06.08. pp. 33-36.
(ISBN:978-989-95067-0-1)

21. Kajtár László, Bánhidi László, Leitner Anita
Air quality and thermal comfort in kitchens
INDOOR AIR 2005: PROCEEDINGS OF THE 10TH INTERNATIONAL
CONFERENCE ON INDOOR AIR QUALITY AND CLIMATE. Beijing: Tsinghua
University Press, 2005. pp. 2371-2375.
(ISBN:978-7-89494-830-4) Cd. 6.

22. Kajtár László, Leitner Anita
Effect of Gas Range on Air Quality of Living Spaces
GÉPÉSZET 2004. Proceedings of the Fourth Conference on Mechanical Engineering.
781 p.
Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2004.05.27 -2004.05.28.
Budapest: Budapest University of Technology and Economics, 2004. pp. 280-284.
(ISBN:963 214 7480)

23. Leitner Anita, Kajtár László
Air quality of living spaces with gas range
5th International Conference Indoor Climate of Buildings: '04 Health, Comfort and Safety by Operation of HVAC . Konferencia helye, ideje: Strbske Pleso , Szlovákia , 2004.11.21 -2004.11.24. pp. 1-5.
24. Kajtár L., Hrustinszky T
Investigation of indoor air quality and emission of indoor used materials in Hungary
7th International Conference Healthy Buildings 2003. Konferencia helye, ideje: Singapore , Szingapúr , 2003.12.07 -2003.12.11. pp. 752-757.
25. Kajtár L., Herczeg L , Láng E
Examination of influence of CO2 concentration by scientific methods in the laboratory
7th International Conference Healthy Buildings 2003. Konferencia helye, ideje: Singapore, 2003.12.07 -2003.12.11. pp. 176-181.
26. Kajtár L., Hrustinszky T
Measurements of Indoor Air Quality and Emission of Indoor Materials
Gépészet 2002. Proceedings of the Third Conference on Mechanical Engineering.
881p.
Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2002.05.30 -2002.05.31. pp. 362-366.
(ISBN:963 699 1650)
27. Kajtár L., Herczeg L, Láng E
Influence of CO2 Concentration on Office Work Intensity and Human Well-being
Gépészet 2002. Proceedings of the Third Conference on Mechanical Engineering
Konferencia helye, ideje: Budapest, 2002.05.30 -2002.05.31. pp. 357-361.
(ISBN:963 699 1650)
28. Kajtár L., Herczeg L, Láng E
Examination of Influence of CO2 Concentration by Scientific Methods in Laboratory
International Conference „Quality of Indoor Air and Environment" . Konferencia helye, ideje: Volgograd , Oroszország , 2002.09.25 -2002.09.29. pp. 1-6.
29. Kajtár László., Hrustinszky Tamás
New Hungarian Measurement Method for Emission of Indoor Materials
International Conference „Quality of Indoor Air and Environment" . Konferencia helye, ideje: Volgograd , Oroszország , 2002.09.25 -2002.09.29. pp. 1-6.
30. Bánhidi László, I Erdősi, L Kajtár
Field Studies of Indoor Air Quality in Office Buildings in Hungary
ISBE International Conference on Airborne Infectious Diseases: Prevention by Air Hygiene. Budapest, 2001. p. 6.

31. Herczeg Levente, Kajtár László
Influence of CO2 Concentration on Comfort Places
Nemzetközi Szimpózium Kiadvány. Konferencia helye, ideje: Timisoara, Románia ,
2001 pp. 67-71.
32. Hrustinszky T, Kajtár L
Evaluation of Indoor Air Quality
Instalatii pentru Constructii si Confortul Ambiental. Konferencia helye, ideje:
Timisoara, Románia, 2001.04.26 -2001.04.27. pp. 35-39.
(ISBN:973-8247-20-9)
33. Kajtár L, Hrustinszky T
Measurements of Indoor Air Quality and Emission of Indoor Materials
Indoor Climate of Buildings 2001. Konferencia helye, ideje: Strbske Pleso, Szlovákia ,
2001 pp. 323-330.
34. Kajtár László, Erdősi István, Bakó Biró Zsolt
Thermal and Air Quality Comfort in the Hungarian of Office Buildings
2nd NSF International Conference on Indoor Air Health. Konferencia helye, ideje:
Miami Beach, USA, 2001.01.29 -2001.01.31. Ann Arbor: NSF International, 2001. pp.
270-278.
(ISBN:0-9675817-1-0)
35. Herczeg Levente, Kajtár László
Measurement of air quality comfort in closed spaces
Gépészet 2000: Proceedings of Second Conference on Mechanical Engineering.
Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2000.05.25 -2000.05.26. pp. 378-
382.
(ISBN:963-699-117-0)
36. Hrustinszky T, Kajtár L
Computerized simulation of indoor air quality
Gépészet 2000: Proceedings of Second Conference on Mechanical Engineering .
Konferencia helye, ideje: Budapest , Magyarország , 2000.05.25 -2000.05.26.
pp. 383-387.
(ISBN:963-699-117-0)
37. L Kajtár, I Erdősi, Zs Bakó-Biró, L Herczeg, T Hrustinszky
Thermal And Air Quality Comfort In The Hungarian Office Buildings
Healthy Buildings 2000. Helsinki, Finnország, 2000.08.06-10.
38. Kajtár László, Erdősi István, Bánhidi László
Thermal and air quality comfort of office buildings in Budapest
Instalatiile Pentru Constructii Si Confortul Ambiental Konferencia: Nemzetközi
Szimpózium Kiadvány. Konferencia helye, ideje: Timisoara, Románia , 2000 pp. 147-
152.
39. Kajtár László, Bánhidi László
Situation of IAQ technical problems in Hungary: from education to prescriptions
Indoor Air 99: Proceedings of the 8th International Conference on Indoor Air Quality
and Climate held in Edinburgh, Scotland, 8-13 August 1999. pp. 582-587.

40. Erdősi I , Kajtár L , Bánhidi L
Thermal Comfort in Climatized Office Building in Winter
Design, Construction and Operation of Healthy Building: Solutions to global and regional concerns. Konferencia helye, ideje: Atlanta, USA , 1998.09.27 -1998.10.02. ASHRAE, pp. 179-195.
41. Bánhidi L, Erdősi I, Kajtár L
Thermal comfort in climatized office buildings
Healthy Buildings/IAQ'97: Global Issues and Regional Solutions; Conference September 27 - October 2, 1997. Washington. pp. 207-212.
(ISBN:0929900251)
42. Kajtár László , Erdősi István, Bánhidi László
Insuring Thermal comfort in climatized office buildings
CLIMA 2000 konferencia. Konferencia helye, ideje: Brussels, Belgium , 1997.08.31 - 1997.09.03. p. 180.
43. Kajtár László , Bánhidi László
Effect of the external air pollution on indoor air quality and selecting mechanical ventilation system
The 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate: Indoor Air '96 .
Konferencia helye, ideje: Nagoya , Japán , 1996.07.21 -1996.07.26. pp. 211-216.

5.2.4 Konferencia kiadványokban megjelent magyar nyelvű lektorált publikációk

1. Kajtár László, Leitner Anita
Levegőminőség vizsgálata CFD szimuláció alapján
V. Országos Kéménykonferencia. Konferencia helye, ideje: Kecskemét, Magyarország ,
2008.03.27 -2008.03.28. pp. 1-12.
2. Kajtár László, Leitner Anita
A gáztűzhelyek szennyezőanyag emissziója, hatása a komfortra
Klímaváltozás – Energiatudatosság – Energiahatékonyság. IV. Nemzetközi Konferencia.
Konferencia helye, ideje: Visegrád, Magyarország , 2005.06.08 -2005.06.10. pp. 111-
117.
3. Kajtár László, Leitner Anita
A gáztűzhelyek hatása a belső környezetre
38. Nemzetközi Gázkonferencia és Szakkiállítás. Konferencia helye, ideje: Siófok,
Magyarország , 2005.10.05 -2005.10.06. pp. 1-14.
4. Kajtár L., Hrustinszky T
Belső levegő minőség és a szükséges frisslevegő arány vizsgálata
16. Fűtés- és Légtechnikai Konferencia. Konferencia helye, ideje: Budapest,
Magyarország , 2004.03.04 -2004.03.05. pp. 1-9.
5. Kajtár L., Herczeg L, Láng E
A szén-dioxid hatása az ember közérzetére és a munkavégzés teljesítményére
16. Fűtés- és Légtechnikai Konferencia. Konferencia helye, ideje: Budapest,
Magyarország , 2004.03.04 -2004.03.05. pp. 1-15.
6. Kajtár László, Leitner Anita
Nyílt égésterű gázkészülékek hatása lakóépületek levegő minőségére
16. Fűtés- és Légtechnikai Konferencia. Konferencia helye, ideje: Budapest,
Magyarország , 2004.03.04 -2004.03.05. pp. 1-15.
7. Kajtár László, Leitner Anita
A belső levegő minőség vizsgálata légcsereszám mérése alapján
OGÉT 2003 – XI. Nemzetközi Gépész Találkozó: 11th International Conference in
Mechanical Engineering. Konferencia helye, ideje: Kolozsvár, Románia, 2003.05.08 -
2003.05.11. Kolozsvár: Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), pp.
116-119. (ISBN:973-86097-2-0)
8. Herczeg Levente, Kajtár László
Zárt Terek Levegőminőségi Komfortjának Mérési Lehetőségei
microCAD 2001, B szekció: International Scientific Conference. Konferencia helye,
ideje: Miskolc, Magyarország , 2001.03.01 -2001.03.02. Miskolc, pp. 141-145.
9. Kajtár László, Erdősi István
A kellemes komfort biztosítása klimatizálással
III. Hűtés és klimatizálás konferencia.
Konferencia helye, ideje: Siófok, Magyarország , 1996.03.19 -1996.03.20. pp. 29-38.

5.2.5 Válogatott publikációk a tézisekhez

T1.

Thermal Science

Kajtár László, Nyers József, Szabó János, Ketskemény László, Herczeg Levente, Leitner Anita, Bokor Balázs: Objective and subjective thermal comfort evaluation in Hungary
Thermal Science 2016 OnLine-First Issue 00, Pages: 95-95

[doi:10.2298/TSCI151005095K](https://doi.org/10.2298/TSCI151005095K)

T2.

Kajtár László, Ketskemény László, Szabó János, Herczeg Levente, Leitner Anita
A PMV modell alkalmazásának tapasztalatai Magyarországon
MAGYAR ÉPÜLETGÉPÉSZET 2015/12 pp. 3-8.

T3.

Kajtár László

A hőkomfort elemzése télen, irodai környezetben
MAGYAR ÉPÜLETGÉPÉSZET 2011/12 pp. 3-7. 2011

T4.

Kajtár L., Hrustinszky T

Investigation and influence of indoor air quality on energy demand of office buildings
WSEAS TRANSACTIONS ON HEAT AND MASS TRANSFER 4:(3) pp. 219-228. (2008)

T5.

Kajtár L., Hrustinszky T, Herczeg L, Ketskemény L, Leitner A

Indoor air quality investigation with naive panels
Indoor Air 2008 - 11th International Conference on Indoor Air Quality and Climate.
Copenhagen, Dánia, 2008.08.17-2008.08.22. pp. 1-6.

T6.

Kajtár L., Hrustinszky T, Herczeg L

Indoor air quality and energy demand of buildings
Healthy buildings 2009. Proceedings of the 9th International Healthy Buildings Conference and Exhibition. Konferencia helye, ideje: Syracuse, New York, USA, 2009.09.13-2009.09.17.
pp. 1-4.

T7.

Kajtár L., Herczeg L, Lang E, Hrustinszky T, Bánhidi L

Influence of Carbon-Dioxide Pollutant on Human Well-Being and Work Intensity
HB 2006 Healthy Buildings, Proceedings. Lisboa, Portugália, 2006.06.04-2006.06.08. pp. 85-90.

T8.

Kajtár László , Bánhidi László

Az épületenergetikai követelmények hatása a hőkomfortra

MÉRNÖK ÚJSÁG 2011/11 pp. 26-30.

T9.

Kajtár L

Klímatizált terek levegőminőségének biztosítása

MAGYAR ÉPÜLETGÉPÉSZET 1995/5 pp. 3-6.

T10.

Bánhidi László, Kajtár László

Komfortelmélet

Budapest: Műegyetemi Kiadó, 2000. 436 p. sajtórész 187-352p.