

# A hőkomfort elemzése télen, irodai környezetben

Dr. Kajtár László Ph.D.\*

## Abstract

The PMV-PPD theory is the internationally accepted and used method for the investigations of thermal comfort in closed spaces. Professor Fanger has worked out the theory for the temperate zone through extensive human subject laboratory experiments conducted with college students. The results give the foundation for international standards (e.g. ISO 7730, MSZ CR 1752). Later, numerous scientists investigated the applicability of PMV in the temperate zone. The comfort parameter determined based on subjective votes given in an actual comfort environment is called AMV ("Actual Mean Vote"). International experiences triggered the start of investigations about PMV and AMV in Hungary too. In order to carry out the desired thermal comfort investigations, an office building had been chosen during winter conditions, where PMV-PPD parameters were measured. AMV was determined based on the thermal comfort votes of 278 persons. Results of the investigation are collected in this paper.

## 1. Bevezetés

A hőkomfort értékelésére a nemzetközi gyakorlatban alkalmazott módszer a PMV-PPD elmélet, amelyet *Fanger* professzor laboratóriumi körülmények között, egyetemi hallgatók, mint élőalanyok bevonásával dolgozott ki. Az eredmények nemzetközi szabványok (pl. ISO 7730, MSZ CR 1752) alapját képezik. A kapott eredményeket a mérsékelt égövi hőmérsékletviszonyok mellett határozták meg.

Több kutató vizsgálta melegövi környezetben a PMV érték alkalmazhatóságát. Az adott komforttérben komfort kérdőívek alapján meghatározott hőérzeti számot AMV-nek nevezték el (AMV, „actual mean vote”, aktuális hőérzeti érték). Hazánkban erre vonatkozó kutatások még nem folytak. A nemzetközi tapasztalatok indokolták a hazai kutatás beindítását a PMV és AMV témakörében. Szükségesnek és indokoltan tartottuk a hazai kutatómunkát.

A célul kitűzött helyszíni hőkomfort vizsgálatokhoz a téli időszakot választottuk. Ekkor a klimatizált 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.



\* BME Épületgépészeti és Gépészeti Eljárás-technika Tanszék.  
Lektorálta: Prof. Emeritus Dr. Bánhidi László

Nyári esetben is végeztünk komfortelemzést. Ekkor a hőkomforttal kapcsolatos elégedetlenséghez további hatások adódnak hozzá. Hűtött levegővel végzett szellőztetés esetében a huzathatás elkerülése gondos tervezést, kivitelezést és szakszerű üzemeltetést igényel, egyes személyek fokozott huzatérzékenysége ekkor sem zárható ki. Nyáron a hűtési igény és a hőérzet szempontjából meghatározó szerepe van a közvetlen napsugárzásnak, árnyékolás alkalmazása célszerű. Nyári esetre vonatkozóan is végeztünk helyszíni méréseket és elméleti elemzéseket. Ennek eredményeit a nyári esetre vonatkozó kutatómunka befejezése után tudjuk összegezni. A kutatómunka kapcsolódik a vezetésemmel folyó PhD témákhoz.

Kétféle hőkomfort vizsgálatot végeztünk. Egyrészt a PMV mérés meghatározásával, másrészt az ASHRAE hőérzeti skála alapján hőkomfort kérdőívekkel értékeltük a hőérzetet. A kapott eredményeket feldolgoztuk és kiértékeljük a tudományos kutatás módszereit alkalmazva. Jelen cikk ezeket az eredményeket mutatja be. A kutatómunkát támogatta a TÁMOP Kutató egyetem pályázat (TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002. Fenntartható energetika. Klimatechnikai rendszerek hatékonyság-növelése. Témavezető: dr. Kajtár László).

## 2. A hőkomfort értékelése

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

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

A mechanikai munka határfoka is kifejezhető:

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

A termelő hő az ember négy különböző módon tudja leadni. Optimális esetben az ember hőháztartása egyensúlyban van, a termelt és a leadott hő megegyezik. Ezt fejezhetjük ki az alábbi egyenlettel:

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

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 többlet hőt kellemes bőrfelületi hőmérséklet mellett tudja leadni.

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

- $H/F_{Du}$  – az egységnyi testfelület 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.

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

$$H - E_d - E_{sw} - E_{re} - L = K = S + C \quad (4)$$

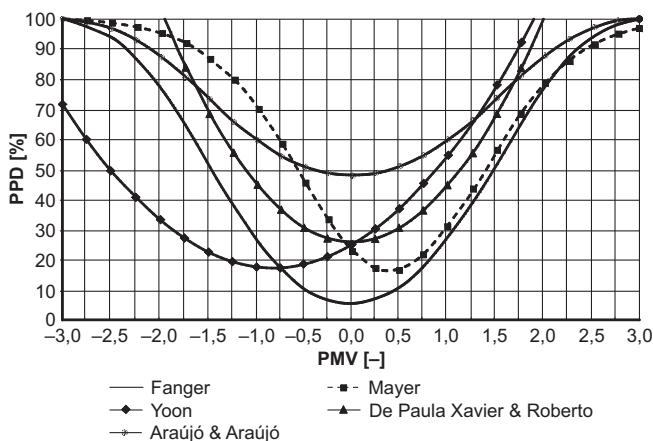
ahol:

- $H$  – az emberi test belső hőtermelése,  
 $E_d$  – a bőrön keresztül kialakuló páradiffúziós hővesztés,  
 $E_{sw}$  – a bőr felszínéről az izzadás következtében párolgá-sos hővesztés,  
 $E_{re}$  – a kilégzés rejtett hője okozta hővesztés,  
 $L$  – a kilégzés útján leadott, ún. száraz hővesztés,  
 $K$  – a hőátadás a bőr felületéről a felöltözött emberi test külső felületére (hővezetés a ruházaton keresztül),  
 $S$  – a sugárzásos hővesztés a ruházattal borított test külső felületéről,  
 $C$  – a konvekciós hővesztés a ruházattal borított test külső felületéről.

*Fanger* az előzőekben bemutatott elméletét továbbfejlesztve kidolgozott egy módszert, amely alapján a zárt tér adott pont-jában a hőérzeti értékelés elvégezhető. Meghatározható a PMV (a várható hőérzeti érték) és a PPD (a kedvezőtlen hő-érzet várható százalékos valószínűsége) értékek.

Több kutató vizsgálta élőalanyokkal a PMV – PPD kap-csolatot a saját országának éghajlati, öltözködési és munka-kultúra adottságai mellett. A hőérzeti értékelést műszeres méréssel, valamint hőérzeti skálán felméréssel végezték el. A PMV-mérés eredményeivel párhuzamosan meghatározható volt az aktuális hőérzeti érték (AMV, „actual mean vote”) is.

Az eredményeket az **1. ábra** szemlélteti. A kutatók érté-



**1. ábra.** A PMV és PPD közötti kapcsolat [8]

kelése alapján *Fanger* egyenletétől és diagramjától az eltérés elsődleges indokai az alábbiak:

- a méréseket helyszíni körülmények között végezték,
- természetes szellőzés volt a helyiségekben,
- nem mérsékelt, döntően meleg égővi környezetben végezték a kutatást.

### 3. A 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 értékeléssel, amelynek eredményeként meghatározható az aktuális átlagos hőérzeti érték (AMV).

A kérdéskör tudományos igényű vizsgálata céljából az iroda-épületben 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 levegőminőségi komfort értékelése kérdőíves felmérés alapján.

A helyszíni méréseket 1996. január - február hónapokban végeztük. A külső hőmérséklet értéke a mérések alatt  $-1,5\text{ °C}$  és  $-2,0\text{ °C}$  volt.

A kilencszintes irodaépület alapterülete  $45 \times 65\text{ m}$ , a beépített térfogat  $\sim 70\,000\text{ m}^3$ . Az öt irodaszinten nagyteryes irodák és 1-2 fős kisebb irodahelyiségek voltak. Az irodatereken kívül megtalálhatók voltak a további kiszolgáló területek, mint közlekedők, előcsarnok, garázs, illetve más szervizterületek. A hőmérséklet-, a nedvességtartalom- és a frisslevegő térfogatáram mérés kiterjedt az egész épületre. A lényegesen nagyobb időigény miatt a közvetlen hőérzeti méréseket (PMV, PPD) az épületet jól jellemző közbelső irodaszinten (3. emelet) végeztük el.

A levegőhőmérsékletet és nedvességtartalmat THERM 2246 és TESTO 610 műszerekkel, míg a PMV és PPD értéket Thermal Comfort Meter (típus: 1212) műszerrel mértük. A kérdőíves felmérés valamennyi személyre kiterjedt (422 fő), 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:

- az 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.

#### 4. Az épületre jellemző 3. emeleti adatok kiértékelése alapján kapott eredmények

##### Levegő hőmérséklet és nedvességtartalom

A mérési eredmények kiértékelését az **1. táblázat** tartalmazza:

**1. 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
A mérések száma	32	32

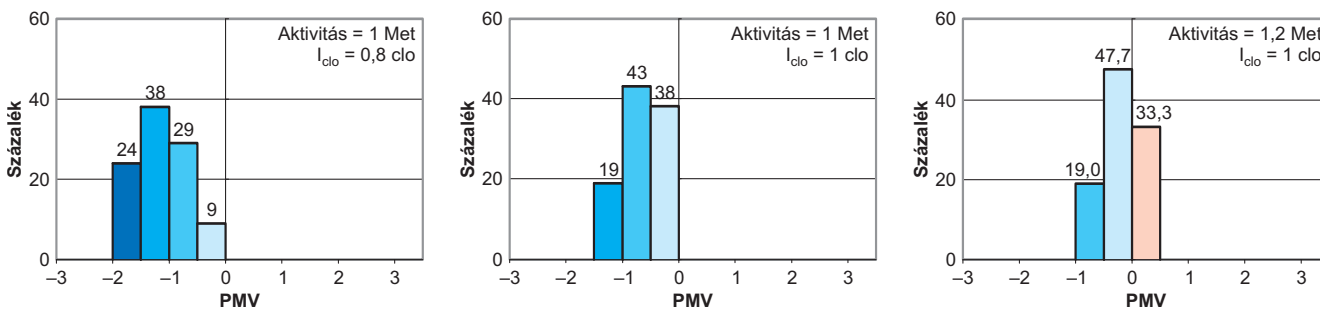
##### A PMV és PPD mérés eredményei

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 (a mérőhelyek száma 21). A mérési eredményeket a matematikai statisztika módszereivel feldolgozva a **2. táblázat** mutatja.

**2. 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 mérési eredmények histogramjait a **2. ábra** szemlélteti.



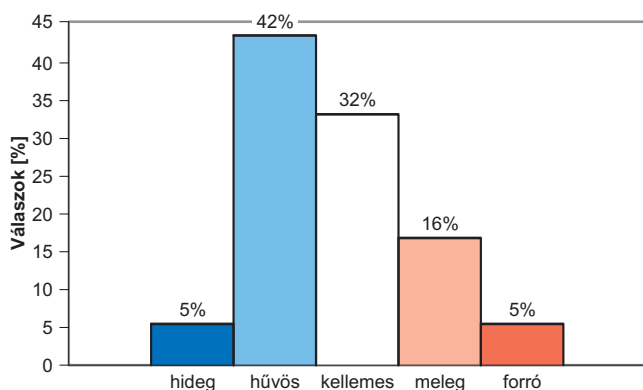
**2. ábra. A PMV mérési eredmények histogramjai (3. emelet)**

##### A hőkomfort kérdőívek eredményei

A hőkomfortra vonatkozó kérdőívek eredményeit az alkalmazott ötfokozatú skálának megfelelően a **3. táblázat**, míg a 3. emeletre vonatkozóan a **3. ábra** tartalmazza.

**3. táblázat. A komfort kérdőívben kapott válaszok**

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	



**3. 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).

## 5. A mérési eredmények elemzése

### 5.1. 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 homogen választ adtak-e az épület többi helyiségében dolgozókkal. PMV méréseket ugyanis csak a 3. emeleten végeztünk.

A homogenitás vizsgálatot  $\chi^2$ -próbalával 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 null-hipotézis.

### 5.2. A PMV mérési helyiségek hőmérséklet-, illetve páratartalom adatainak összehasonlítása az összes többi helyiségi mérési eredményeivel

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

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

### 5.3. A valószínűségi változók összehasonlítása

A kutatások során felmerült, hogy különböző mérésekhez tartozó adatokat hasonlítsunk össze. A mérési adatokat valószínűségi változóknak tekintve, a probléma a homogenitásvizsgálat témakörébe tartozik. Diszkrét változót diszkrét változóval vagy folytonos változót folytonos változóval hasonlíthatunk össze, például  $\chi^2$ -négyzet próbalával vagy egymintás *Kolmogorov-Szmirnov*-próbalával. Ilyenkor a szignifikancia-próbalával 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,  $p_i = P(X=i)$  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. táblázatban láthatók.) Innen kiolvasható az átlag és a szórás, amivel:

$$m = E Y = -0,67, \quad \sigma = \sigma Y = 0,31.$$

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:

$$\mu = E \tilde{X} = 1,5 (E X - 3) = -0,405, \\ d = \sigma \tilde{X} = 1,5 \sigma X = 1,095.$$

Megállapítható, hogy

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

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.

### 5.4. A 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.  $Y$  az értékeit 90%-os valószínűséggel az  $m$  körüli  $\sigma \cdot 1,65/\sqrt{n}$  félhosszúságú konfidenciaintervallumban veszi fel. Így  $X$  értékeit 90% megbízhatósággal az

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

intervallum tartalmazza.

**$Y$  (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  $N(\mu; d/\sqrt{n})$  eloszlást követ, vagyis az értékeit 90%-os megbízhatósággal a  $(\mu - 1,65 \cdot d/\sqrt{n}, \mu + 1,65 \cdot d/\sqrt{n})$  tartományba esnek, így a becsült  $Y \approx \tilde{X} - 0,265$  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

## 6. Összegzés, levonható következtetések

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

– A hőérzeti kérdőív eredménye nagyon jól közelíti az irodai munkát reprezentáló tevékenységi szintre (1 met) 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, klimatizált 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 kutatást, helyszíni hőkomfort elemzést még nem végeztek. A bemutatott eredmények egyértelműen igazolták a módszer alkalmazhatóságát.

## 7. Felhasznált irodalom:

1. Bánhidi L. - Kajtár L.: Komfortelmélet. Budapest, 2000. Műegyetemi Kiadó 436 p.
2. Épületgépészet 2000 Alapismertetek Szerkesztő Zöld A. Budapest, 2000. Épületgépészet Kiadó Kft.
3. Épületgépészet a gyakorlatban. Szerkesztő: Bánhidi L. Budapest, Verlag Dashöfer Kiadó
4. Erdősi I. - Kajtár L. - Bánhidi L.: Thermal Comfort in Climatized Office Building in Winter. Atlanta, USA. 1998. Design, Construction and Operation of Healthy Buildings / ASHRAE. 179-185 p.
5. Erdősi I. - Kajtár L. - Bánhidi L.: Thermal Comfort in Climatized Office Buildings. Washington, 1997. Healthy Buildings/IAQ konferencia. Kiadvány Volume 2. 207 - 213 p.
6. Kajtár L.-Erdősi I.-Bakó-Biró Zs.: Thermal and Air Quality Comfort in the Hungarian Office Buildings. Miami Beach, USA. 2001. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> NSF International Conference on Indoor Air Health, 270-278 p.
7. Ketskemény L. - Kajtár L.: Légállapot és hőérzeti mérések adatainak statisztikai elemzése. Kutató egyetem pályázat (TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002. Fenntartható energetika. Klimatechnikai rendszerek hatékonyság növelése.
8. von Hoof, J.: Forty years of Fanger's model of thermal comfort: comfort for all? Singapore, 2008. Indoor Air 2008. 18. 182 – 201.
7. CIB Hungária Bank székház légtechnikai rendszerének vizsgálata. Budapest, 1996. jan. 2 kötet, 150 p., 40 p. Szerző: Erdősi I. - Kajtár L.