

# PMV érték mérés termikus mérőbábuval

## Measuring PMV values using a thermal manikin

LOCH Gábor<sup>1</sup>, CAKÓ Balázs<sup>2</sup>

Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Épületgépész- és Létesítménymérnöki Tanszék,  
7624 Pécs, Boszorkány út 2., +36 72 503 650, <https://mik.pte.hu/>

<sup>1</sup>gaborloch@gmail.com

<sup>2</sup>cako.balazs@mik.pte.hu

### Abstract

*The breathing thermal manikin presented in the article is a scale model manufactured by PT Technik that simulates the human body in regard to thermal comfort. The manikin can be used to assess thermal comfort conditions. It can measure the expected dry heat exchange of the human body in a given environment, thus predicting the expected thermal comfort characteristics of a building under laboratory conditions, even if it has not yet been completed. To facilitate the evaluation of the simulated space, the manikin is able to calculate the Predicted Mean Vote (PMV) values directly. The procedure of measurement is presented in this article.*

**Keywords:** PMV, thermal manikin, thermal comfort, comfort spaces, comfort lab

### Kivonat

*A PT Technik lélegző mérőbábu egy a hőkomfort szempontjából az emberi szervezetet szimuláló méretarányos modell. A mérőbábu termikus komfort vizsgálatára alkalmas, képes mérni adott környezetben az emberi test várható száraz hőcseréjét, ezáltal labor körülmények között mérhető egy akár még meg sem valósult épület helyiségeinek hőkomfort jellemzője. A szimulált tér értékelésének megkönnyítését szolgálja, hogy a mérőbábu képes közvetlen a várható hőérzeti érték (PMV) számítására, melynek menetét jelen cikkkel kívánjunk bemutatni.*

**Kulcsszavak:** PMV, termikus mérőbábu, hőkomfort, komfort terek, komfort labor

## 1. PT TECHNIK LÉLEGZŐ TERMIKUS MÉRŐBÁBU BEMUTATÁSA

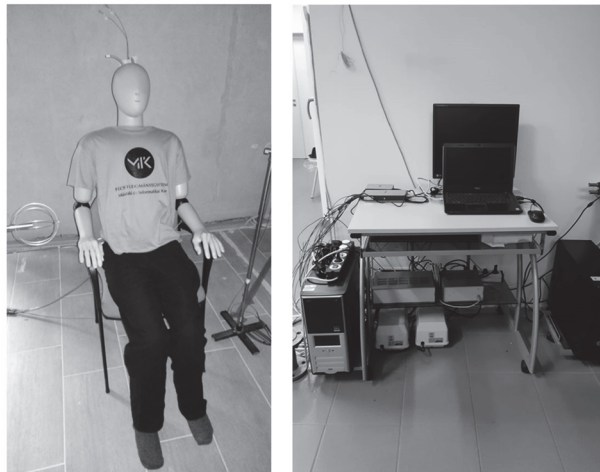
### 1.1. A mérőbábu felépítése

A termikus mérőbábu egy modell, mely termikus mérőtestből, vezérlőegységből, és az adatgyűjtést, adatfeldolgozást, valamint megjelenítést segítő számítógépből áll.

A termikus mérőtest egy átlagos testalkatú embert modellez, melynek Du Bois felülete  $A_{Du} = 1,8 \text{ m}^2$ . A testfelülete 22 szegmensre van osztva, melyek felületi hőmérséklete külön-külön szabályozható. A szegmensek felületi hőmérsékletét és fűtési teljesítményét a mérés adatgyűjtő folyamatosan rögzíti. A mérőbábu feje úgy van kialakítva, hogy légzést is tud szimulálni. A fejben kialakított száj és orrreg a fejtetőn lévő csőcsatlakozással vannak összekötve. A karok és lábak külön mozgathatók, így a bábu ülő, álló, vagy bármilyen köztes állapotot is felvehet, és az adott pozícióban rögzíthető. Ez a kialakítás az öltöztetést is nagyban megkönnyíti. [1]

A központi vezérlőegység egy villamos tápellátással és egy kommunikációs vezetékkel csatlakozik a mérőbábuhoz. Az egység feladata a mérőbábu fűtési energiájának biztosítása, annak szabályozása és mérése. Kiegészítőként csatlakoztatható hozzá a légzést vezérlő egység. A légzés vezérlője irányítja a ki- és belégzés térfogatáramát biztosító Thomas YP-70VC olajmentes dugattyús kompresszorokat. [1]

A kommunikáció a vezérlőegység, és a számítógép között teljesen digitálisan USB porton keresztül történik. A főbb alapbeállításokat a mérőbábu és a vezérlője tartalmazza, így akármilyen PC csatlakoztatása lehetséges, csupán a gyártó által közzétett szoftver telepítése szükséges. A szoftver a mérési adatok feldolgozását, megjelenítését és rögzítését végzi. Ezenkívül itt tudjuk beállítani a méréshez szükséges egyéb paramétereket.



1. ábra

*PT Technik lélegző termikus mérőbábu, adatrögzítő és feldolgozó számítógép, alatta vezérlő egységek és „lélegző” kompresszorok*

## 1.2. Légzési funkció

A mérőbábu fején kialakított száj és orrnyílásokon keresztül a bábu a rácsatlakoztatott kompresszorokon keresztül képes lélegezni. A ki és belégzést két külön kompresszor végzi. A száj és orrüregnek külön-külön csatlakozása van, ezáltal külön esetként kezelhető az orron, illetve a szájon való be- és kilégzés. A szoftverben beállítható a légzés térfogatarama, időtartama, a be és kilégzés közötti szünet ideje, így gyakorlatilag bármilyen aktivitási szint légzési folyamata szimulálható a berendezéssel. További kiegészítők csatlakozásával a légzési levegő fűthető, párasítható.

A légzési funkcióval a bábu körüli áramlástechnikai vizsgálatokat, és a légzéssel összefüggő komfort vizsgálatokat is el lehet végezni.

## 1.3. Ruházat hőszigetelő képességének vizsgálata

A ruházat clo értékének mérését a mérőbábu kétféle módon képes mérni. A két féle mód mérési folyamata azonos, a különbség a számítás háttérében van. A folyamat során először meg kell mérni a mezítelen állapot clo értékét, mely a környezetétől függően sosem teljesen zérus. A mezítelen clo méréssel képesek vagyunk figyelembe venni a bábuval esetlegesen érintkező tárgyakat. Ez különösen fontos ülő testhelyzetben való méréskor, mivel egy szék viszonylag nagy felületen is érintkezhet a bábuval. Érdekes azonban olyan széket választani, ami jól szellőzik, és kis felületen van vele közvetlen kapcsolatban.

A mérést felöltözöttség állapotban kell folytatni. Fontos, hogy a ruházat nélküli méréssel megegyező testhelyzetben legyen elvégezve a mérés. A mezítelen állapotban mért clo értékek beimportálását követően, azt a felöltözött állapotban mért értékekkel összevetve meghatározza a ruházat hőszigetelő képességét.

A kétféle számítási mód Ózdi András és Cakó Balázs „Clo érték mérés termikus mérőbábuval” című cikkében részletesen van elemezve. [2]

## 1.4. Hőkomfort vizsgálatok

Hőkomfort vizsgálatokra négyféle üzemmód is rendelkezésre áll.

*No heat* üzemmóddal a mérőbábu nem kerül felfűtésre, csupán a bőrhőmérsékleteket rögzíti. Ez az üzemmód alkalmas a mérőbábu kalibrálására. A *no heat* funkcióval a bábu környezetének sugárzása is vizsgálható, úgymint a sugárzási aszimmetria és a bábu besugárzási tényezője.

*Locked Power* funkcióval a mérőbábu hőleadását konstans értékre vehetjük fel. Így konkrét aktivitási szinthez tartozó hőleadás esetén megvizsgálható, hogy milyen termikus környezet a legkomfortosabb.

*PI* üzemmód a legelterjedtebb a termikus mérőbábuk alkalmazásában. Azon a feltételezésen alapul, hogy az emberi szervezet a bőr felületi hőmérsékletét adott körülmények között igyekszik konstans értéken tartani. [3] A konstans bőrhőmérséklet szabályozás a szegmensenként elhelyezett fűtőszálakkal van megoldva. A vizsgált környezetben kialakuló hőérzetre a bőr felületi hőmérsékletének fenntartására szükséges felvett teljesítményből lehet következtetni.

A PI szabályozás az alábbi egyenlet szerint működik: [1]

$$P = K(\Delta T + \frac{1}{\tau} \int \Delta T dt) \quad P \geq 0 \quad (1)$$

$$\Delta T = T_{skin} - T$$

P	Teljesítmény [W]
$T_{skin}$	Bőr hőmérséklet [°C]
T	Mért hőmérséklet [°C]
K	Konstans (alapértelmezett 100)
$\tau$	Konstans (alapértelmezett 20)

A bőr felületi hőmérséklete testrészenként eltérő, komfort térben az alábbi táblázatban foglalt értékek tekinthetők irányadónak. [4]

	Testrész	$T_{skin}$
1	bal lábfej	31°C
2	jobb lábfej	31°C
3	bal lábszár	32°C
4	jobb lábszár	32°C
5	bal comb elől	33°C
6	bal comb hátul	33°C
7	jobb comb elől	33°C
8	jobb comb hátul	33°C
9	medence	34°C
10	fenék	34°C
11	fej	33°C
12	koponya	33°C
13	bal kézfej	31°C
14	jobb kézfej	31°C
15	bal alkar	32°C
16	jobb alkar	32°C
17	bal felkar	33°C
18	jobb felkar	33°C
19	mellkas bal oldal	34°C
20	mellkas jobb oldal	34°C
21	hát bal oldal	34°C
22	hát jobb oldal	34°C

2. ábra

Mérőbábu testrészenkénti bőrhőmérséklete

Comfort üzemmód a termikus mérőbábuk szabályozási módjának a legmodernebb változata. A szabályozás arra a feltevésre épül, hogy az egészséges szervezet maghőmérséklete állandó 36,4°C-os. [5] Ez a funkció lehetővé teszi akár lázas emberek hőérzetének vizsgálatát is.

$$P = \frac{T_{db} - T}{R_t} \quad P \geq 0 \quad (2)$$

P	Teljesítmény [W]
$T_{db}$	Test maghőmérséklete [°C]
T	Mért hőmérséklet [°C]
$R_t$	Test hővezetési ellenállása [°C m <sup>2</sup> /W] (alapértelmezett 0,054)

A PT Technik mérőbábuval lehetőség van közvetlen komfort jellemzők számítására is, úgy, mint a PMV, illetve PPD értékeket, valamint az ekvivalens hőmérsékletet.

## 2. PMV MÉRÉS PT TECHNIK TERMIKUS MÉRŐBÁBUVAL

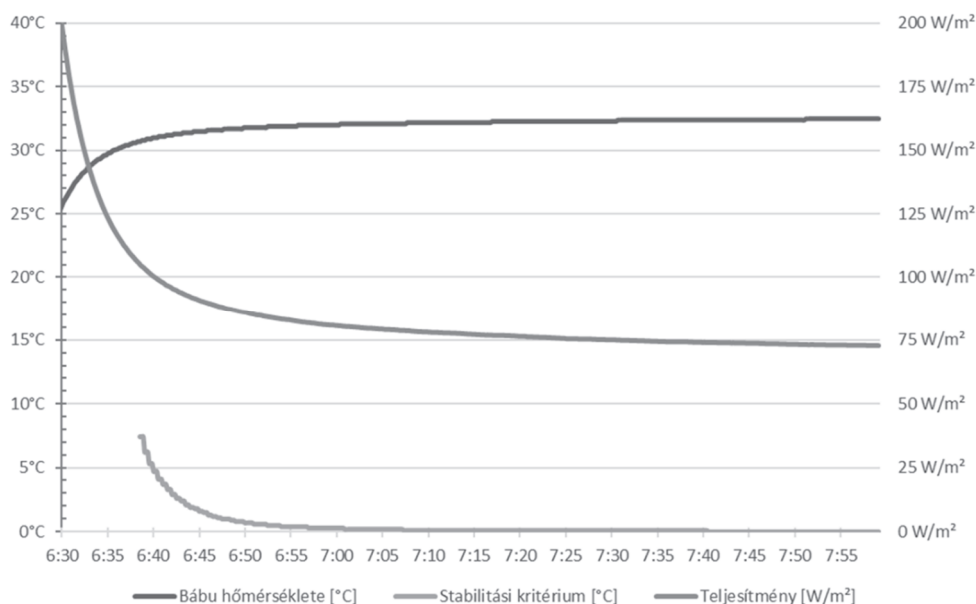
### 2.1 A mérés körülményei

A PMV számítás bemutatásához a Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Karának hőkomfort laborját használtuk. A mérőkamra felületi hőmérsékletei külön-külön állíthatóak. A mérés során a cél a közel azonos közepes sugárzási és ambiens hőmérséklet elérése volt, így az ambiens és az operatív hőmérséklet azonosnak tekinthető. A hőmérsékletet a PMV előzetes becslésével választottuk meg úgy, hogy a mezítelen állapotban mért PMV érték is értelmezhető legyen a Fanger féle szubjektív hőérzeti skálán. [3] [6] A cél ruházat nélkül a minimális -3 PMV érték volt, amely alapján az operatív hőmérsékletet 23°C-ra kellett beállítani. Ahhoz, hogy a méréshez a hőmérsékletek stabilan a kívánt értéken legyenek, legalább 36 órával korábban el kell indítani a mérőkamrát.

### 2.2 Mérőbábu felfűtése

A mérést *comfort* módban végeztük. Első lépésként a bábút ruházat nélkül kell felfűteni, hogy az adott testhelyezethez tartozó mezítelen clo érték meghatározható legyen. Az egyensúlyi állapotot a szoftverben a stabilitási kritérium funkcióval lehet ellenőrizni, az elmúlt időszakban a bábun bekövetkezett hőmérsékletváltozást jellemezve. A vizsgált időszak hossza megválasztható, alapbeállításaként 10 percet vizsgál, és a cél maximum 0,1°C hőmérsékletváltozás.

A stabilitási kritériumot az első 10 percben nem jelzi ki a szoftver, mivel még nem áll rendelkezésre megfelelő mennyiségű adat. Induláskor a felfűtési teljesítmény 200 W/m<sup>2</sup> körül indul, amely folyamatosan csökken. 10 perc elteltével a stabilitási kritérium 7,4°C-ot jelez, ekkor a felvett teljesítmény már csak 105 W/m<sup>2</sup>. A cél 0,1°C stabilitási kritériumot a bábu 37 perc után érte el, az átlagos hőmérséklete 32,2°C, a teljesítmény 79 W/m<sup>2</sup>. Pontosabb mérések esetén érdemes megvárni 10 perces időszakra vizsgált stabilitási kritérium esetén a 0,1°C-nál alacsonyabb értéket, illetve a vizsgált időszak hosszát növelni, mivel 0,1°C-os 10 perces kritérium beállta után még észlelhető némi átlagos hőmérséklet emelkedés, illetve teljesítmény csökkenés. 80 perccel az indítás után a stabilitási kritérium 0°C, az átlagos hőmérséklet 32,5°C és a teljesítmény 73 W/m<sup>2</sup>.



3. ábra  
Felfűtés beállási ideje

### 2.3 Ruházat nélküli PMV számítás

A PMV számításhoz a mérőbábu által mért értékeken kívül szükséges még megadni a tevékenységhez tartozó aktivitási szintet, a hasznos munka esetleges értékét, a bábu DuBois felületét, a szimulált test tömegét. Továbbá külső eszközzel mérendő a bábu környezetében a légsebesség, páratartalom és a légnyomás. Erre azért van szükség, mert a bábu nem képes mérni a légzés száraz és nedves hőleadását, a bőr nedves- és az izzadás

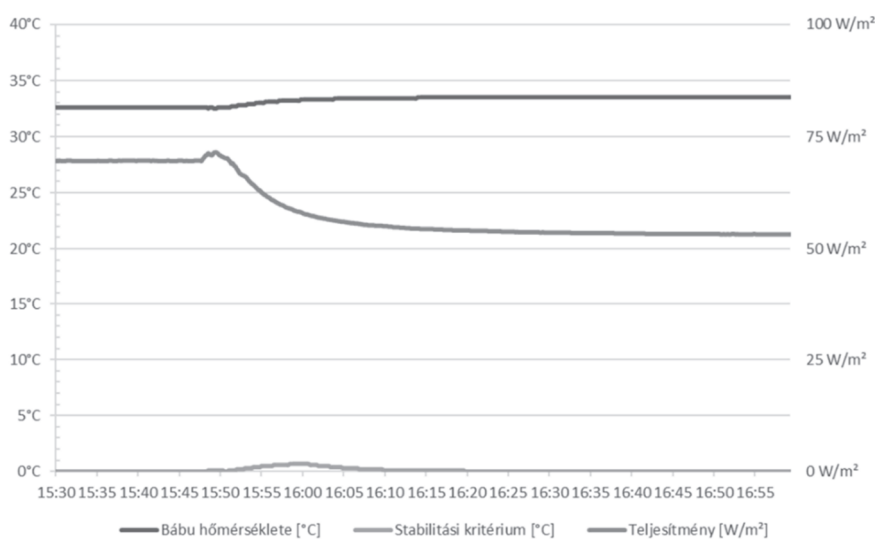
hőleadását. Ezeket a szoftver számolja a megadott értékek alapján. A külső eszköz által mért adatokat az MSZ EN ISO 7726:2003 szabványban rögzítetteknek megfelelően kell mérni.

A mérés előtt el kell végezni az aktuális clo érték meghatározását, mely annak ellenére, hogy a bábun nincsen ruházat, nem nulla. Ez az érték függ a bábuval érintkező tárgyak hőszigetelő képességüktől és az érintkezés felületének nagyságától. A mérés során a 0,08 clo-ra adódott a „ruházat” hőszigetelőképesége.

Az értékek megadása után a PMV-t azonnal képes számolni a szoftver, melyet a beállított intervallumonként rögzít is. A mért PMV érték -3,0, amely az előzetesen becsült értéknek éppen megfelel. Amennyiben a mérés során a stabilitási kritérium a kívánt érték alatt van, úgy a mérőbábu felvett teljesítményét tekinthetjük a bábu hőleadásának. Ez az érték  $71,1 \text{ W/m}^2$   $32,6^\circ\text{C}$ -os átlagos hőmérséklet mellett.

## 2.4 PMV számítás felöltötöttség állapotban

A bábút megvizsgáltuk egy hosszú szövetnadrág, egy rövidujjas póló és pamut zokniban. Az öltöztetése során a bábu nem lett kikapcsolva, így az folyamatosan rögzítette az adatokat. A diagramon látható, hogy az öltöztetés után a bábu hőmérséklete elkezdett emelkedni, miközben a teljesítmény csökkent. A stabilitási kritériumot körülbelül egy óra elteltével érte el újra a bábu.



4. ábra

*Öltöztetést követő beállási idő*

Amint a hőmérséklet és a hőleadás újra állandó értéket vett fel, meghatározható az öltözet clo értéke. A számított érték 0,39 clo. A bábu környezetében a külső eszköz által mért légsebességet, páratartalmat és légnyomást ellenőrizni kell, változás esetén a mérés folytatása előtt azokat a szoftverben frissíteni szükséges. A megadott adatok alapján a PMV értékek azonnal frissülnek, és rögzítésre kerülnek. A számított PMV érték -1,3. A számított PMV érték mellett  $33,5^\circ\text{C}$ -os átlagos bábuhőmérsékletet és  $53,2 \text{ W/m}^2$  hőleadást mértünk.

A mérést célszerű legalább 15 percig futtatni. Lényegesen hosszabb mérést a külső eszközök által mért adatok folyamatos rögzítése mellett lehet elvégezni. Amint lényegesen változnak a környezet paraméterei, a mérést az adatok frissítésével kell folytatni. Folyamatban lévő mérés során nincsen lehetőség a külső mérési adatokat automatikusan frissíteni.

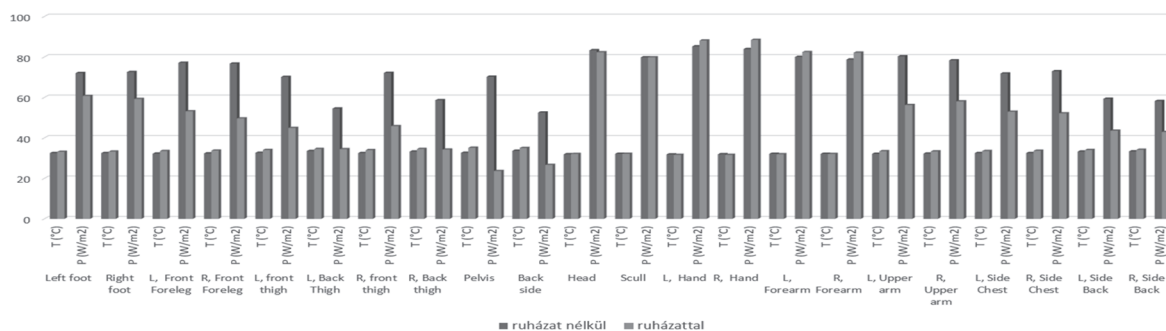
## 2.5 Eredmények

### Értékek összehasonlítása 1. táblázat

	ruházat nélkül	ruházattal	változás
T (°C)	$32,6^\circ\text{C}$	$33,5^\circ\text{C}$	+0,9°C
P (W/m <sup>2</sup> )	$71,1 \text{ W/m}^2$	$53,2 \text{ W/m}^2$	-17,9 W/m <sup>2</sup>
Clo (clo)	0,08 clo	0,39 clo	+0,31 clo
PMV	-3,0	-1,3	+1,7
PPD (%)	99%	40%	-59%

A ruházat nélküli állapothoz képest a ruházattal végzett mérés során a mérőbábu átlagos felületi hőmérséklete növekedett, a hőleadása lényegesen csökkent. A PMV érték és ezáltal a PPD nagymértékben javult a mezítelen állapothoz képest. Ebből látható, hogy a mérőbábu által mért bőrfelületen keresztüli konvektív és sugárzásos hőleadás milyen nagy mértékben befolyásolja a várható hőérzet alakulását.

A mérőbábu ezen túl lehetővé teszi a hőcsere testrészenkénti összehasonlítását is. Az előbbieken részletezett megállapítás testrészenként külön-külön vizsgálva még markánsabban látható. Azokon a testrészeken jelentős a hőleadás változása, amelyek ruházattal lettek borítva, míg azon testrészeken, amelyek a második mérés során sem kerültek lefedésre, kismértékben ugyan, de megnőtt a hőleadás, mely azzal magyarázható, hogy az átlagos felületi hőmérséklet is növekedett.



5. ábra

Testrészenkénti bőrhőmérsékletek és hőleadások alakulása

## 2.6 Következtetések

Az elvégzett mérésből látható, hogy a PT Technik termikus mérőbábu jól alkalmazható laborkörülmények között szimulált terek hőkomfort elemzésére, azon belül is közvetlen a PMV meghatározására. Kompakt komfortmérő műszerekhez képest a mérőbábuval való PMV mérés hosszabb ideig tart a bábu beállási ideje miatt, azonban a kompakt eszközökkel ellentétben a mérőbábuval testrészenként is lehet elemezni az adatokat, amely adott esetben kedvezőtlen PMV értékre is magyarázatul szolgálhat.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg, *EFOP-3.6.1.-16-2016-00004 - Átfogó fejlesztések a Pécsi Tudományegyetemen az intelligens szakosodás megvalósítása érdekében* projekt keretében.

## IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] \*\*\*, *Technical manual – PT Technik breathing thermal manikin - Manikin Version 3.X October 2018*, <https://manikin.dk/download/manual.pdf> - 12 May 2021.
- [2] Ózdi A., Cakó B., *Clo érték mérés termikus mérőbábuval*, XXV. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia – ÉPKO, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, 2021
- [3] Fanger P.O., *Thermal Comfort Analysis and Applications in Environmental Engineering*. McGraw-Hill, New York, USA, 1970
- [4] Magyar Z., *Termikus műember alkalmazási lehetőségei hőkomfort vizsgálatoknál - Doktori (Ph.D.) értekezés*, Szent István Egyetem, Gödöllő, Hungary. 2011
- [5] Bánhidi L., *Zárt terek hőérzeti méretezése*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, Hungary. 1976
- [6] ISO Standard 7730:2005 *Ergonomics of the thermal environment - analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. International Organisation for Standardisation, Geneva. 2005