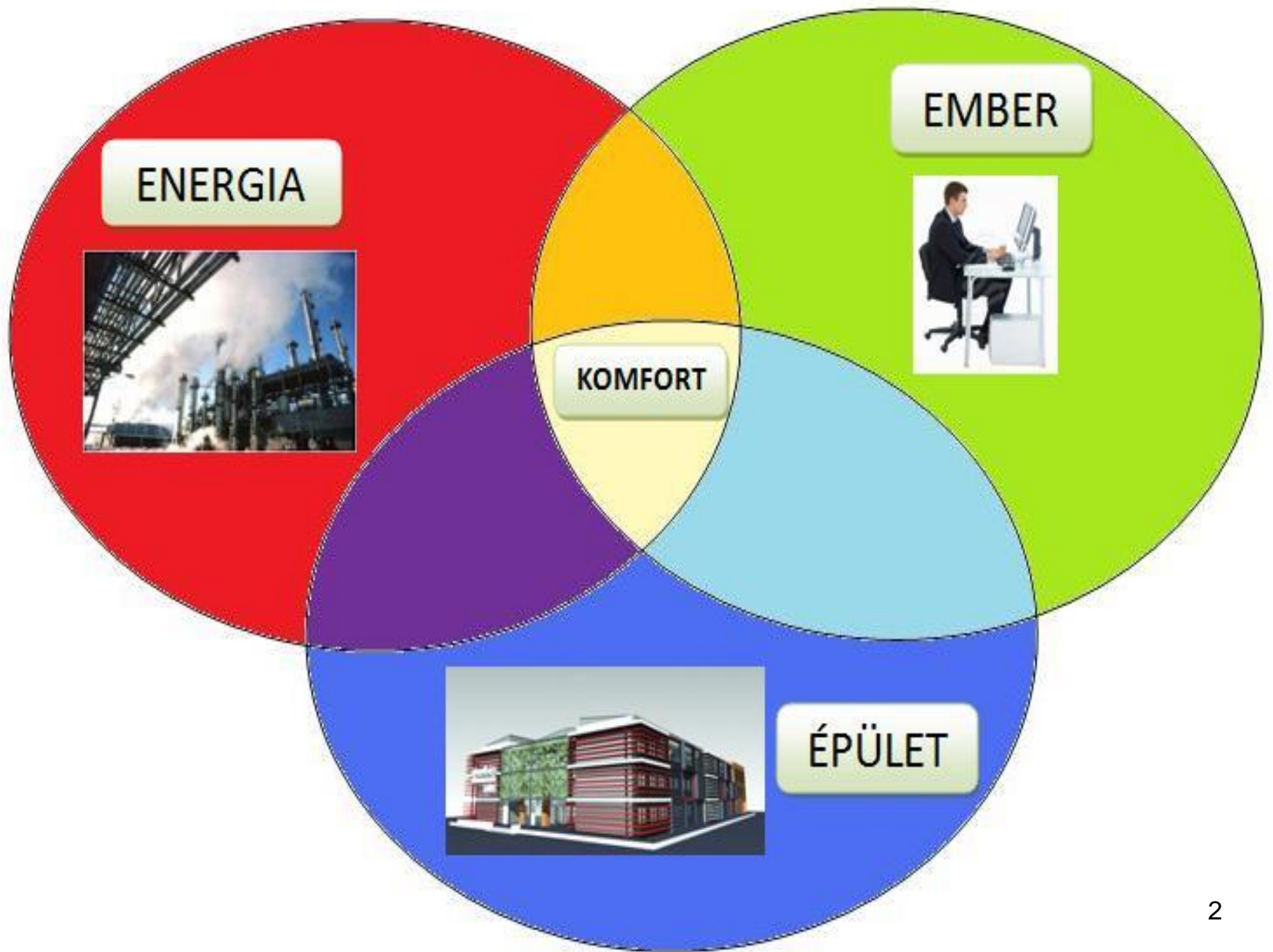


ÉPÜLETEK KOMFORTJA

Hőkomfort 1

Dr. Magyar Zoltán

**BME Épületenergetikai és
Épületgépészeti Tanszék**



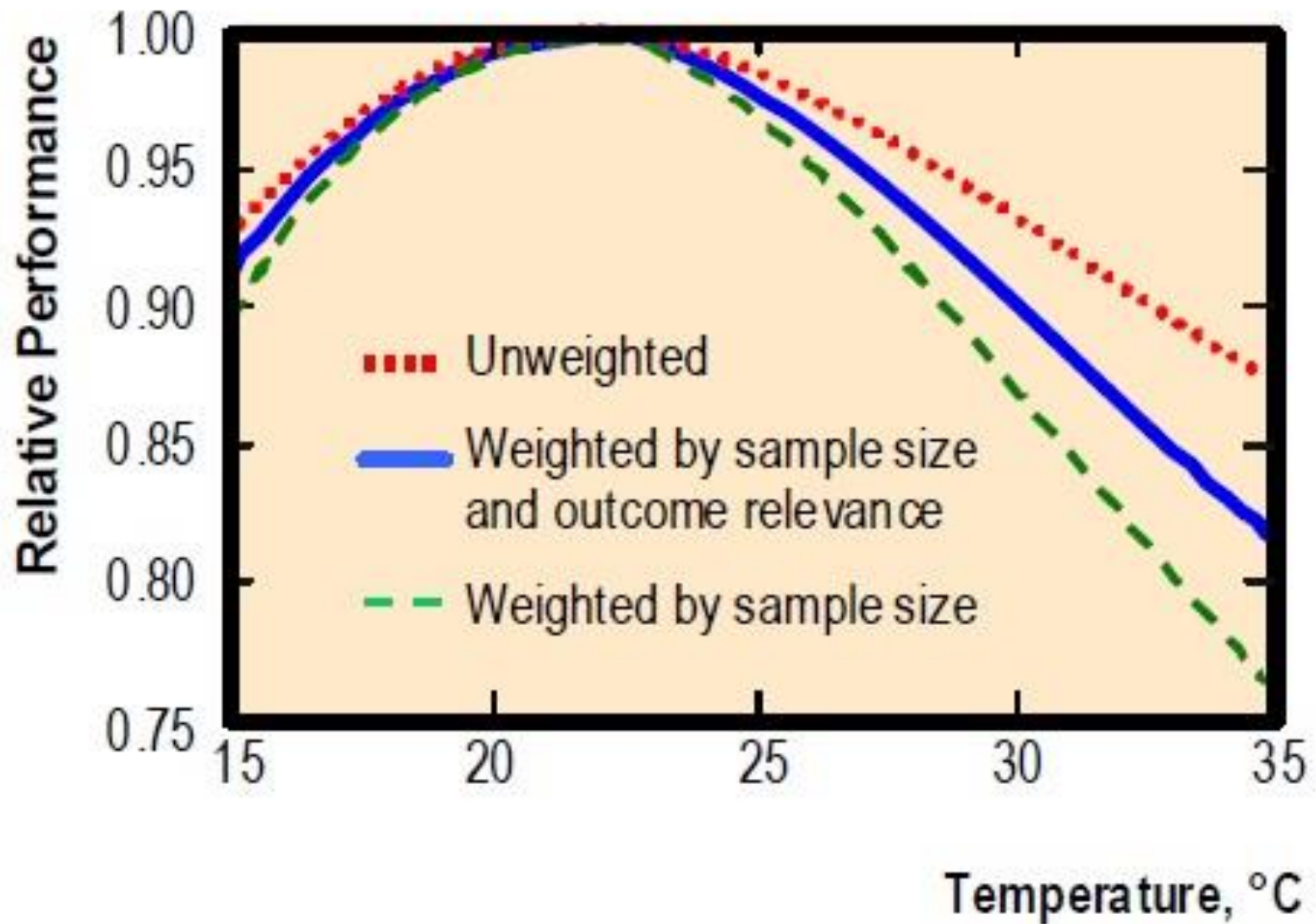
Általános bevezetés

A „Komfortelmélet” mindössze néhány évtizedes múltra visszatekintő szaktárgy.

Létrejöttének okai:

- az ember-épület-energia kapcsolatrendszer sok paraméter befolyásolja
- ezeket nem elég külön vizsgálni; ismernünk kell a befolyásoló paraméterek közös hatásmechanizmusát

- az emberi követelményértékek kielégítési lehetőségeit, valamint azok gazdasági és energetikai vonatkozásait komplex módon kell kezelni
- a legújabb kutatások szerint az emberek legnagyobb része élete 85-90%-át zárt terekben tölti
- a zárt tereknek biztosítaniuk kell az optimális körülményeket
 - a szellemi és fizikai munkavégzéshez
 - a szórakozáshoz, kikapcsolódáshoz, pihenéshez, regenerálódáshoz



A komfortelmélet főbb témakörei:

- hőkomfort
- levegő minősége
- akusztika
- természetes és mesterséges megvilágítás

Az ember és a környező világ kapcsolata:

- szubjektív
- objektív

Hőérzet

A hőérzetet befolyásoló tényezők:

- levegő hőmérséklete, annak térbeli, időbeli eloszlása, változása
- környező felületek közepes sugárzási hőmérséklete
- levegő rel. nedvességtartalma, ill. a levegőben lévő vízgőz parciális nyomása
- levegő sebessége
- emberi test hőtermelése, hőleadása, hőszabályzása
- ruházat hőszigetelő képessége, párolgást befolyásoló hatása

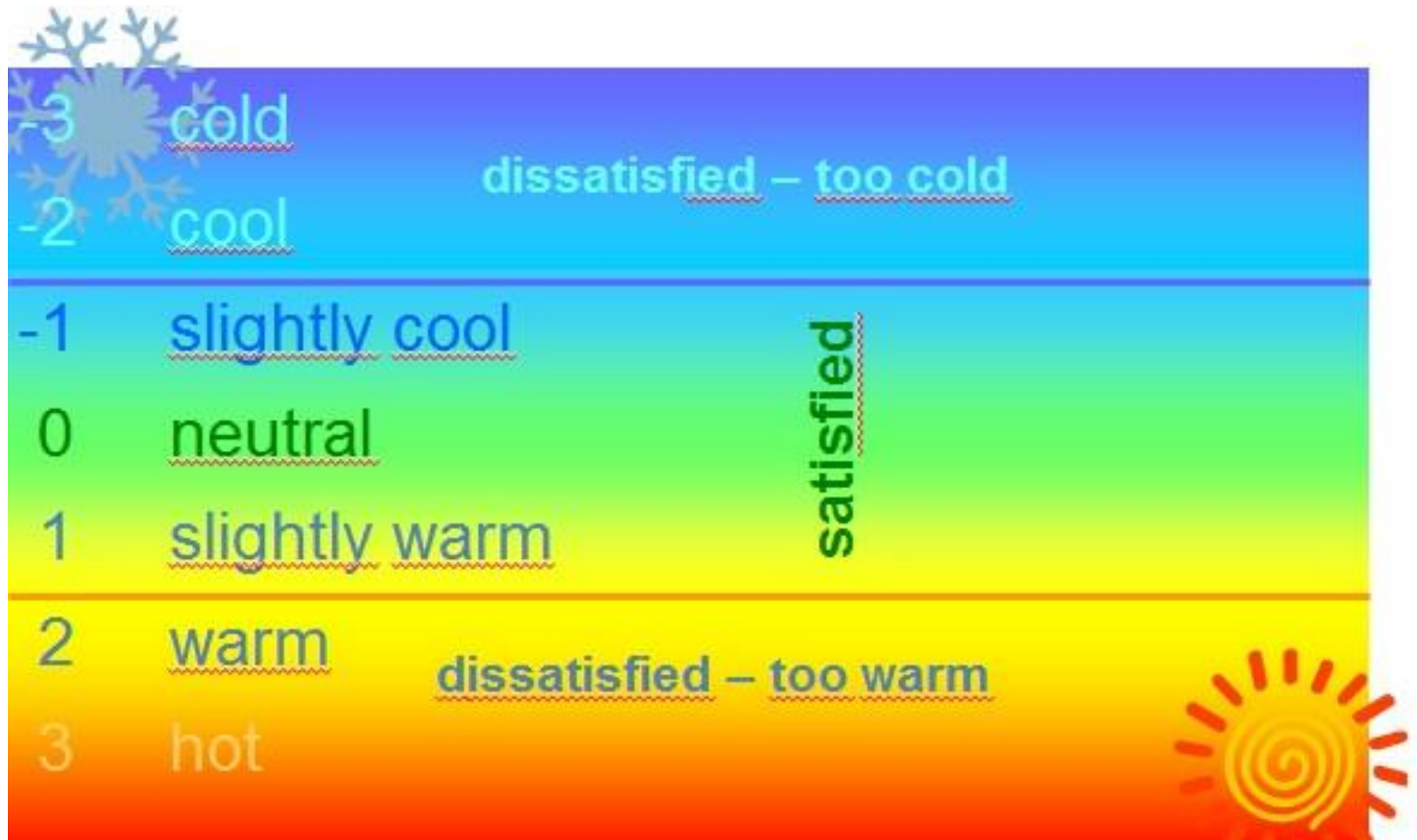
Szubjektív hőérzeti skála

ASHRAE (1981) 55-81 szabvány szerint:

„... A kellemes hőérzet az a tudati állapot, amely a termikus környezettel kapcsolatos elégedettséget fejez ki. ...”

Forró	+3
Meleg	+2
Kellemesen meleg	+1
Neutrális	0
Kellemesen hűvös	-1
Hűvös	-2
Hideg	-3

PMV érték



A várható szubjektív hőérzet: PMV és PPD érték

Fanger kidolgozott egy olyan módszert, amely alapján a zárt tér adott pontjára, különböző paraméterek ismeretében meg lehet határozni a várható hőérzeti értékeket.

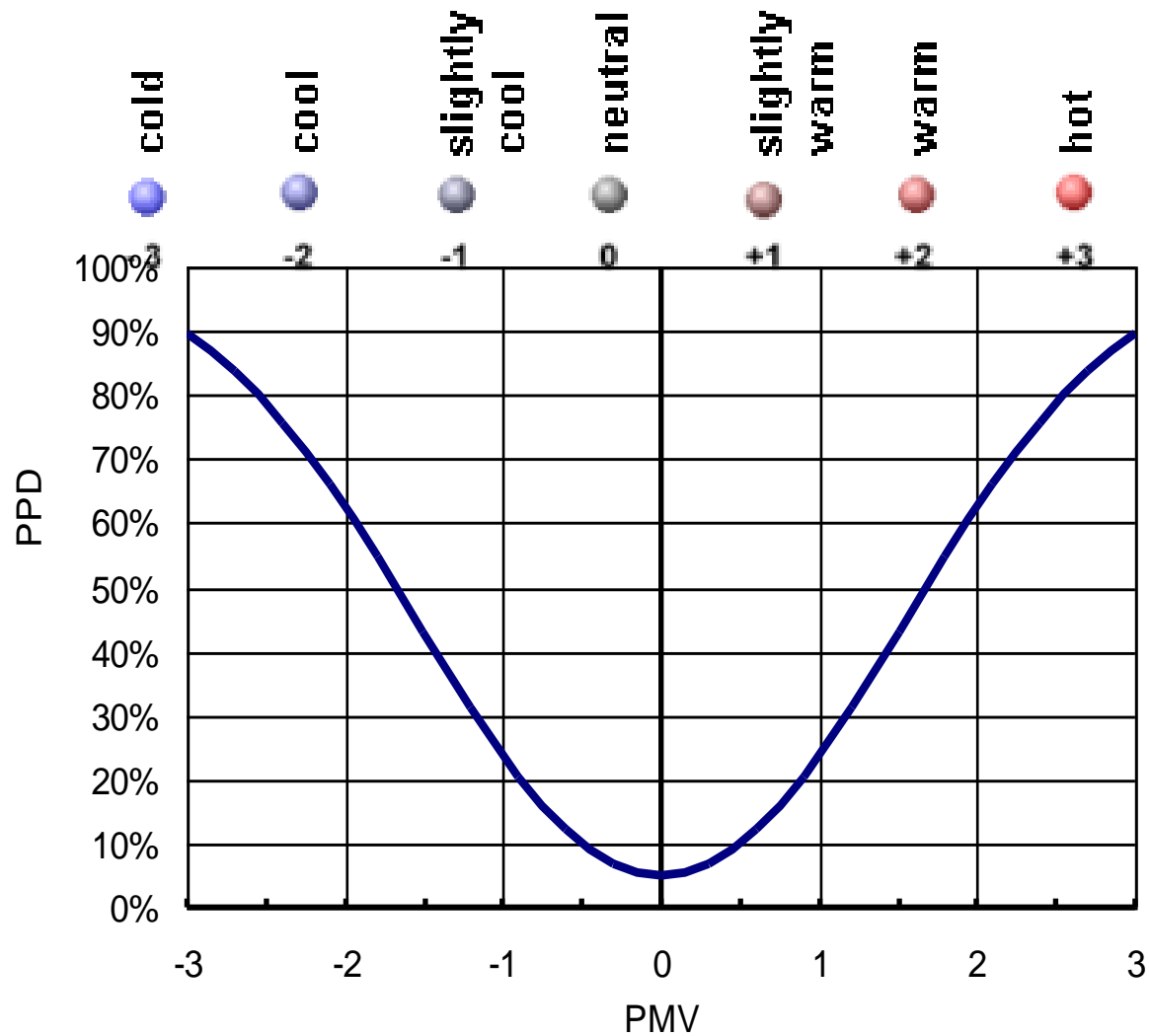
PMV érték várható hőérzeti érték

Predicted Mean Vote

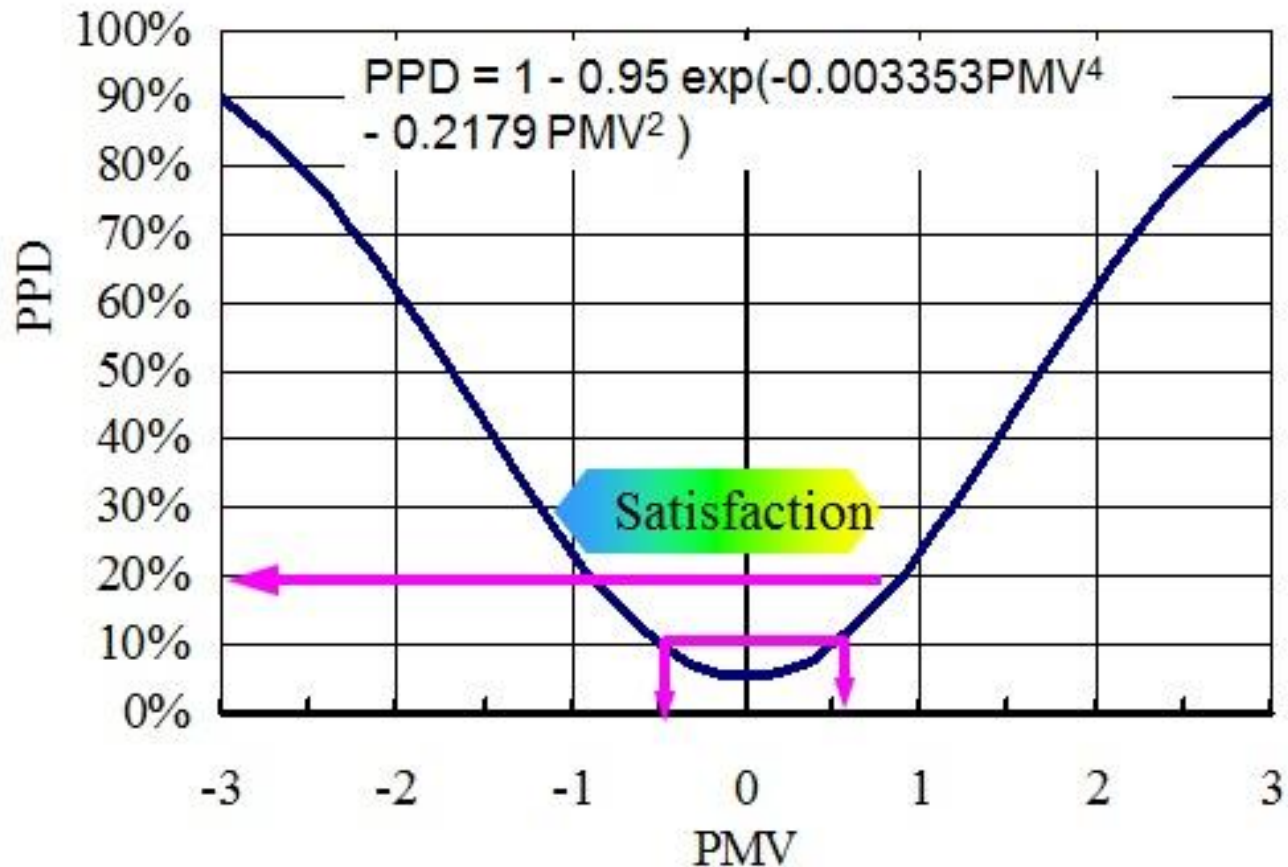
PPD érték kedvezőtlen hőérzet várható százalékos
valószínűsége

Predicted Percentage of Dissatisfied

PMV és PPD érték

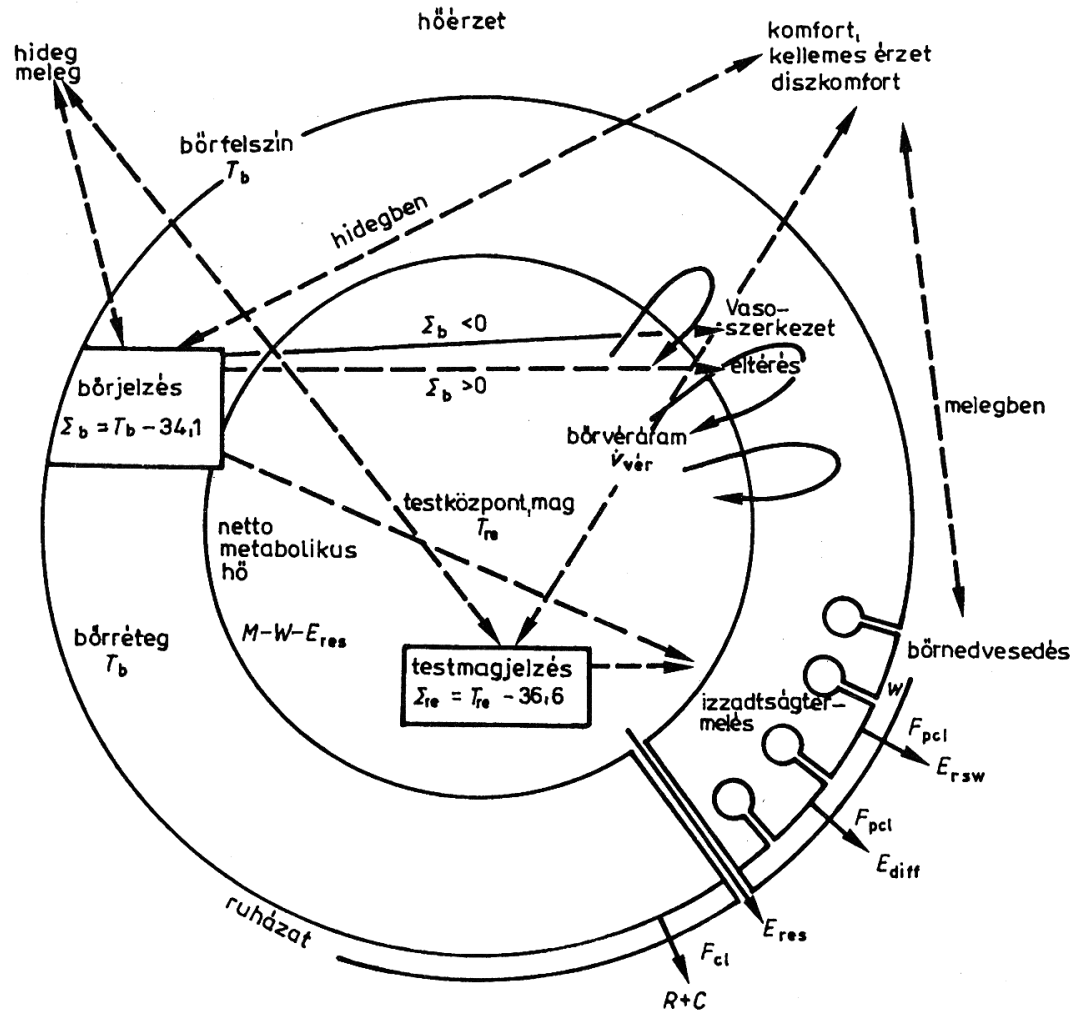


PMV és PPD érték



A hőkörnyezetükkel várhatóan elégedetlenek százalékos aránya (PPD) a PMV érték függvényében (Fanger 1982)

Ember és környezete közti kapcsolat



1.1. ábra

Egy koncentrikus „héj” modell az ember és környezete között
(ASHRAE 1967, 1972)

Az emberi test hőtermelése

égési folyamat → hő + izommunka

Nyugalmi állapotban lévő felnőtt ember:

- 0,25 l/min oxigént fogyaszt
- 88 W hő szabadul fel

Izommunka végzésével az oxigénfogyasztás és vele együtt az emberi hőleadás a többszörösére nőhet.

A munkák intenzitás szerinti osztályozása:

- könnyű
- közepes
- nehéz

A metabolikus hő

$M=H+W$, ahol

M	metabolikus hő
H	belső hőtermelés
W	külső mechanikai munka

$$\eta = W/M$$

$$H = M(1 - \eta)$$

A különböző munkavégzés számszerű hőegyenértékének meghatározására a nemzetközi gyakorlat a „**met**” egységet használja.

$$1 \text{ met} = 58 \text{ W/m}^2$$

Az emberi test hőtermelése

Egységnyi testfelszínre kifejezve:

$$\frac{H}{F_{Du}} = \frac{M}{F_{Du}} \cdot (1 - \eta) \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Az emberi test Du Bois felülete:

$$F_{Du} = 0,203 \cdot G^{0,425} \cdot L^{0,725} [m^2]$$

(figyelembe veszi az egyéni legfontosabb metrikus adottságokat)

G az egyén tömege (kg)

L az egyén magassága (m)

Az emberi test hőtermelése

$$1\text{Met} = 58,15 \text{ W/m}^2$$



2.5 Met



6.5 Met

Néhány tevékenység metabolikus értéke

Tevékenység	M/F_{Du} [W/m ²]	met	η	V_{rel} [m/s]
<i>Pihenés</i>				
Alvás	41	0,7	0	0
Pihenés	47	0,8	0	0
Nyugodt ülés	58	1,0	0	0
Állás laza testtartással			0	0
<i>Gépi munka</i>				
könnyű (pl. elektromos ipar)	116–140	2,0–2,4	0–0,1	0–0,2
gépszerelő	163	2,8	0–0,1	0–0,9
nehéz (pl. festőipar)	232	4,0	0–0,1	0–0,2
<i>Nehéz munka</i>				
targoncatolás (57 kg, 4,5 km/h)	145	2,5	0,2	1,4
50 kg-os zsák hordása	232	4,0	0,2	0,5
kubikus munka	232–280	4,0–4,8	0,1–0,2	0,5
árokásás	350	6,0	0,2	0,5
<i>Irodai munka</i>				
Számítógépes	70	1,2	0	0
Különböző irodai munka (pl. ívek kitöltése, ellenőrzés)	58–70	1,0–1,2	0	0–0,1
Rajzolás	70	1,2	0	0–0,1

A ruházat hőszigetelő képessége

A ruházat hőszigetelő képességének meghatározására az ún. „clo” egységet használják:

$$1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2\text{C/W}$$

Az egyes öltözékek eltérő szigetelőképességét táblázatos formában mutatjuk be.

(f_{cl} = a ruházattal borított és a mezítelen test felületének aránya, tehát 1,0 -nél nagyobb érték)

Különböző ruházatra vonatkozó adatok Fanger szerint

Ruházat	I_{clo}	f_{cl}
Mezítelen	0	1,0
Short	0,1	1,0
Tipikus trópusi ruházat: short, nyitott nyakú ing rövid ujjal, könnyű zokni és szandál	0,3-0,4	1,05
Könnyű nyári ruházat: hosszú szárú nadrág könnyű anyagból, nyitott nyakú ing, rövid ujjak	0,5	1,1
Könnyű munkaruha: short, gyapjú zokni, pamut munkaing és munkanadrág	0,6	1,1
Tipikus üzletember-ruházat	1,0	1,15
Tipikus üzletember-ruházat + pamutkabát	1,5	1,15
Nehéz tradicionális európai üzletember-ruházat: pamut alsónemű hosszú ujjakkal és szárral, ing, gyapjú zokni, cipő, öltöny, beleértve nadrágot, kabátot és mellényt	1,5	1,15-1,2

Egyes ruhadarabok „clo” értékei (I_{cli} értékei) ASHRAE 1985

Férfiak		Nők	
ruhadarab	I_{cli} [clo]	ruhadarab	I_{cli} [clo]
Alsónemű			
Atlétatrikó	0,06	Melltartó és alsó	0,05
Póló	0,09	Rövid kombiné	0,13
Alsónadrág	0,05	Hosszú kombiné	0,19
Felsőruházat			
Ing		Blúz	
könnyű, rövid ujjú	0,14	könnyű	0,20
hosszú ujjú	0,22	vastag	0,29
Nadrág		Pantalló	
könnyű	0,26	könnyű	0,26
vastag	0,32	vastag	0,32
Pulóver		Pulóver	
könnyű	0,2	könnyű	0,17
vastag	0,37	vastag	0,37
Zakó		Blézer	
könnyű	0,22	könnyű	0,17
vastag	0,49	vastag	0,37
Cipők		Cipők	
szandál	0,02	szandál	0,02
félcipő	0,04	félcipő	0,04
csizma	0,08	csizma	0,08

A ruházat hőszigetelő képessége

1 clo=0,155m².K/W



clo <0,5

0,6-1,2



>3,5



Hőérzet

A hőérzetet befolyásoló tényezők:

- levegő hőmérséklete, annak térbeli, időbeli eloszlása, változása
- környező felületek közepes sugárzási hőmérséklete
- levegő rel. nedvességtartalma, ill. a levegőben lévő vízgőz parciális nyomása
- levegő sebessége
- emberi test hőtermelése, hőleadása, hőszabályzása
- ruházat hőszigetelő képessége, párolgást befolyásoló hatása

Az emberi test hőleadása, hőcseréje, hőmérsékletek definíciója

Az emberi test a benne fejlődő hőt négy módon tudja leadni:

- konvekcióval (32-35%)
- sugárzással (42-44%)
- párolgással (21-26%)
- vezetéssel (2-4%)

A sugárzás és a konvekció egyaránt lehet pozitív és negatív – azaz hőfelvétel és hőleadás, míg a párolgás csak negatív – tehát hőleadás – lehet.

1. levegő hőmérséklet

jele: t_i

2. közepes sugárzási hőmérséklet

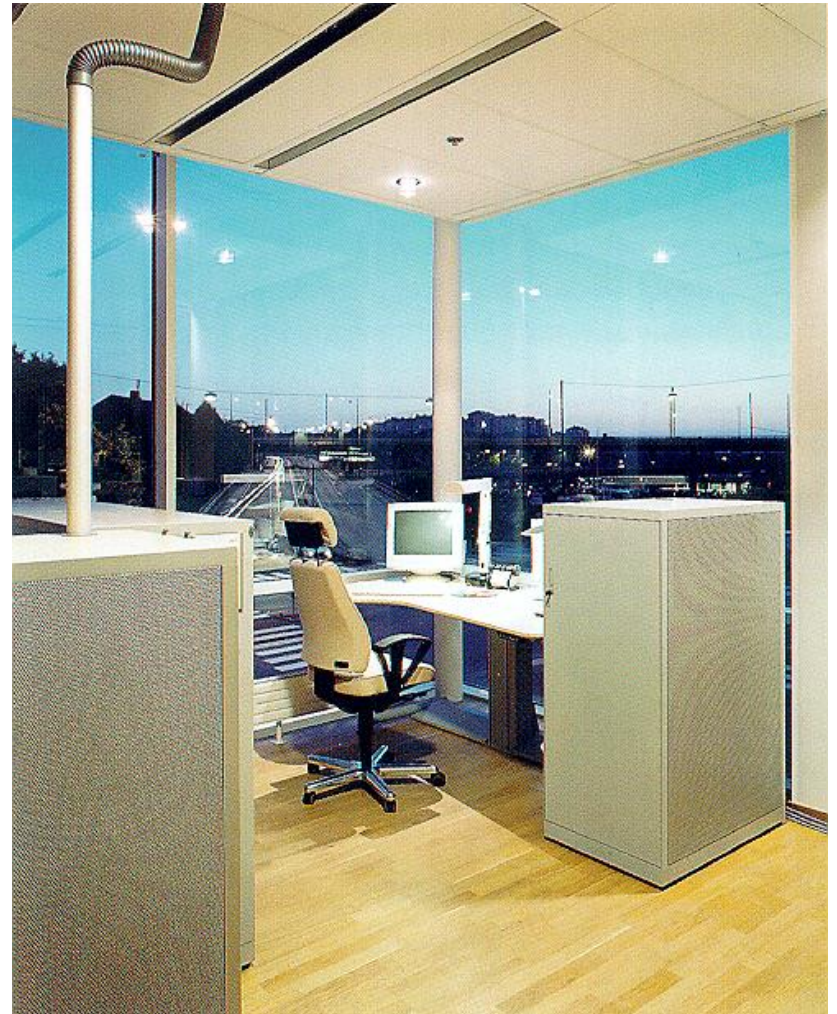
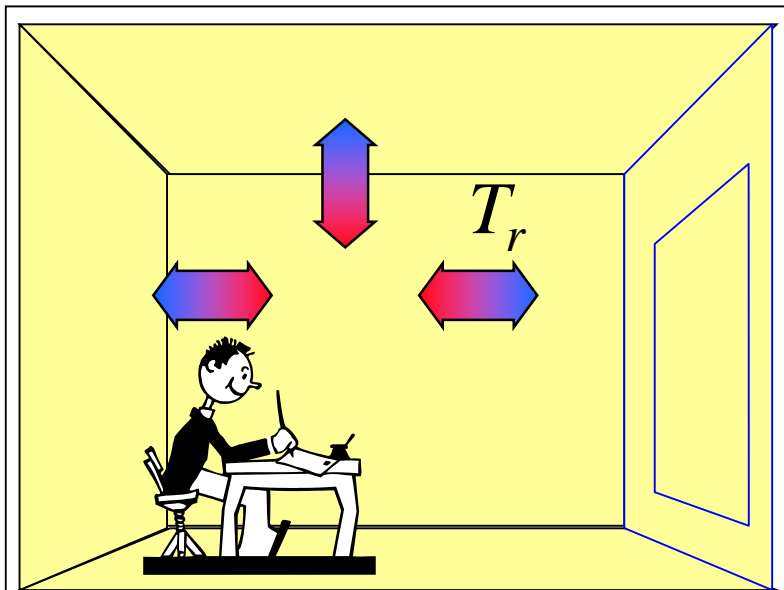
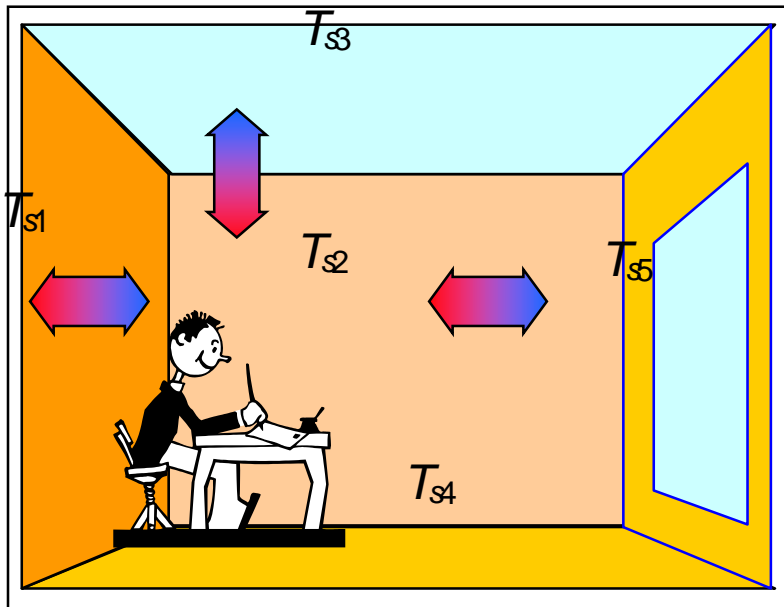
$$t_{ks} = \frac{F_1 \cdot t_1 + F_2 \cdot t_2 + \dots + F_n \cdot t_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n} [^{\circ}C]$$

ahol F a környező felületek területe
 t a felületek hőmérséklete

$$t_{ks} = \sqrt[4]{\sum_{i=1}^n \varphi_{EFi} \cdot T_{Fi}^4 - 273} [^{\circ}C]$$

ahol φ_{EFi} a test súlypontjába helyezett függőleges felületelem és a határoló felületek közti besugárzási tényező
 T a környező határoló felületek hőmérséklete

Közepes sugárzási hőmérséklet



3. operatív hőmérséklet

$$t_o = \frac{(\alpha_s \cdot t_{ks} + \alpha_c \cdot t_1)}{\alpha_s + \alpha_c} [^{\circ}C]$$

ahol α_s a sugárzásos hőátadási tényező

α_c a konvekciós hőátadási tényező

t_1 a levegő hőmérséklete

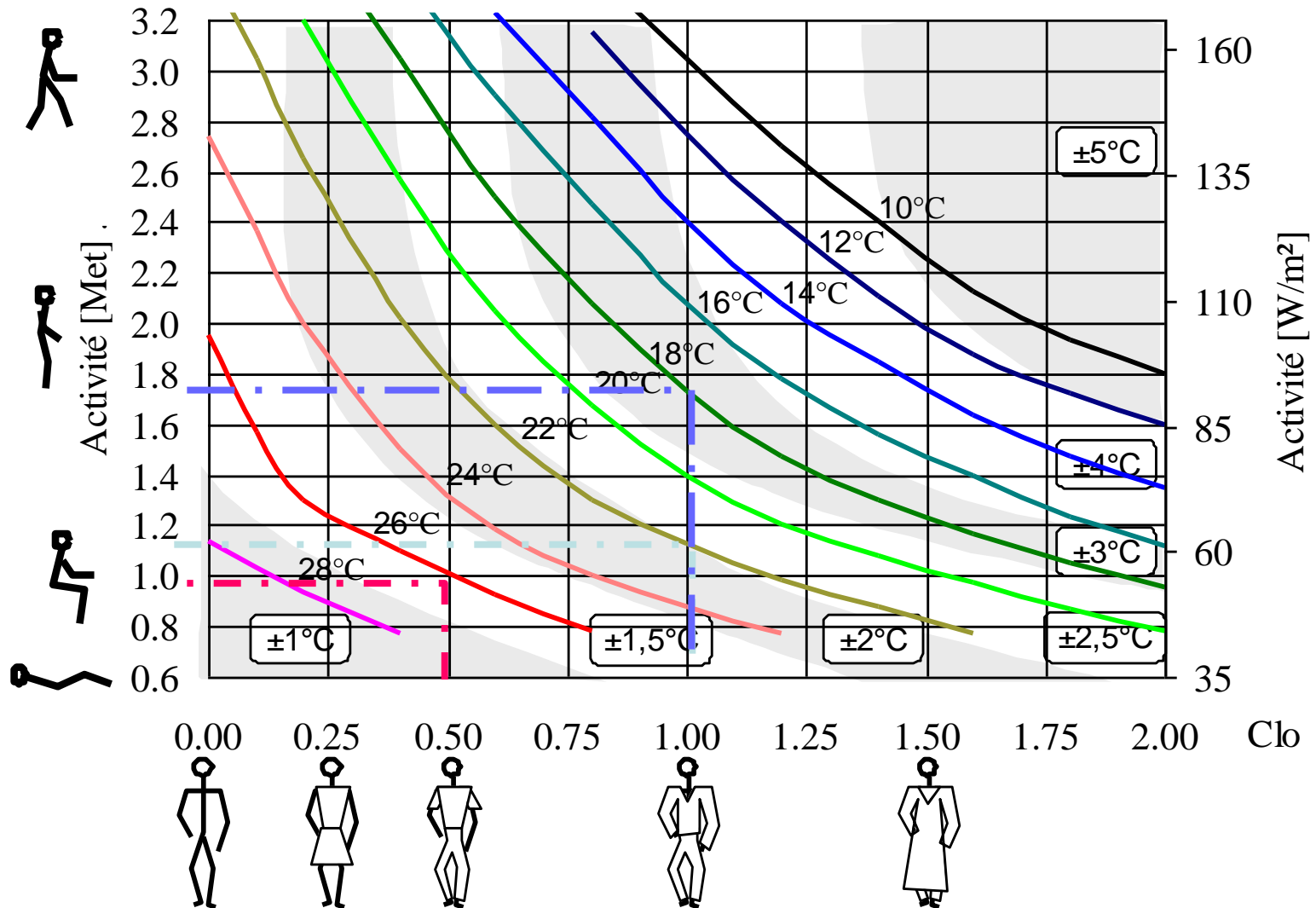
4. eredő hőmérséklet

$$t_R = (1 - R) \cdot t_1 + R \cdot t_{ks}$$

$$R \approx 0,5$$

magyar előírás: $t_R = 0,5 \cdot t_1 + 0,5 \cdot t_{ks}$

Operatív hőmérséklet

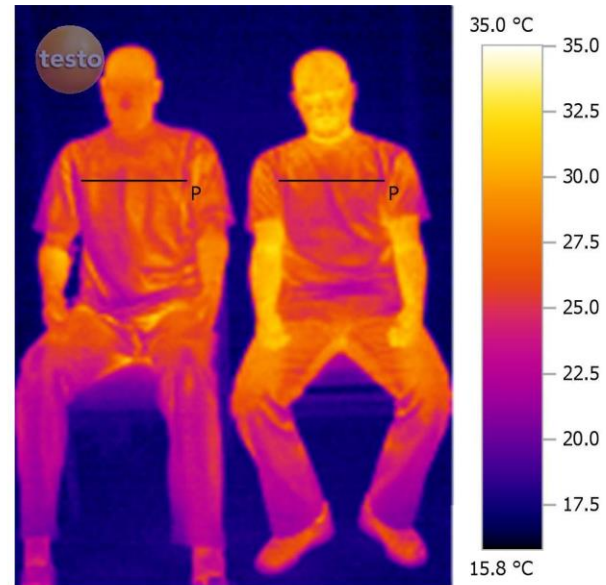


5. ruházat közepes hőmérséklete

jele: t_{cl}

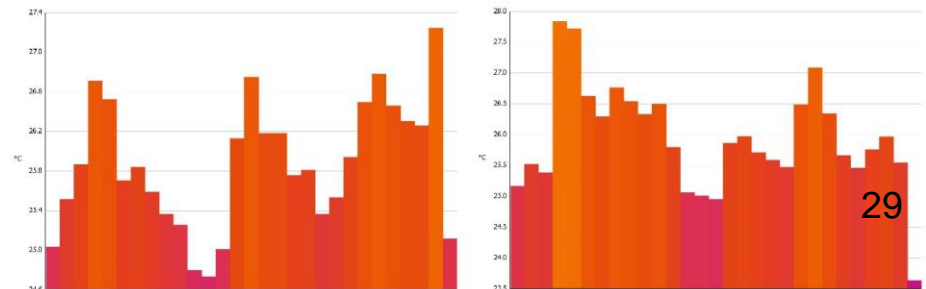
6. bőrhőmérséklet

- termovíziós felvételekkel
- méréssel
- számítással
- diagramból

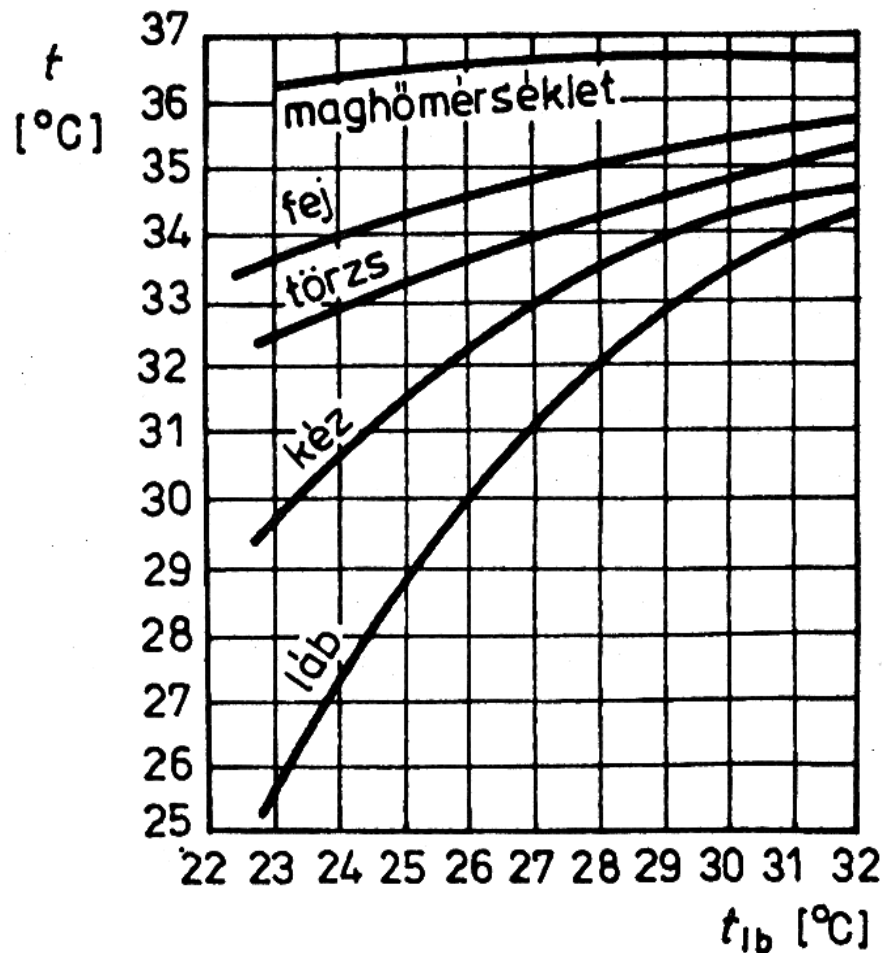


Minimum 24.7 °C Maximum: 27.2 °C
Középtérték: 25.9 °C

Minimum 23.6 °C Maximum: 27.8 °C
Középtérték: 25.9 °C



A test és bőrhőmérséklet összefüggése a levegő-hőmérséklettel



Bőrhőmérsékletek értékei sugárzó és konvektív fűtés esetén a léghőmérséklet függvényében (Bradtke és Liese, 1952)

A hőérzetet befolyásoló tényezők:

- Levegő hőmérséklete, annak térbeli, időbeli eloszlása, változása
- Környező felületek közepes sugárzási hőmérséklete
- Levegő rel. nedvességtartalma, ill. a levegőben lévő vízgőz parciális nyomása
- Levegő sebessége
- Emberi test hőtermelése, hőleadása, hőszabályzása
- Ruházat hőszigetelő képessége, párolgást befolyásoló hatása

A hőérzetet befolyásoló tényezők:

- Levegő rel. nedvességtartalma, ill. a levegőben lévő vízgőz parciális nyomása 30 – 70 %
- Levegő sebessége kisebb 0,2 m/s

Hőegyensúlyi vagy komfortegyenlet

$$H - E_d - E_{sw} - E_{re} - L = K = S + C$$

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

Hőegyensúlyi vagy komfortegyenlet

$$H - E_d - E_{sw} - E_{re} - L = K = S + C$$

Belső hőtermelés:
$$H = \frac{M}{F_{Du}} \cdot (1 - \eta)$$

Bőrön keresztül a hőveszteség (páradiffúzió, izzadás)

$$E_d = 0,41 \cdot F_{Du} \cdot (1,92 \cdot t_b - 25,3 - p_{vg}) \quad E_{sw} = 0,49 F_{Du} \left[\frac{H}{F_{Du}} - 50 \right]$$

Kilégzés hővesztesége:

$$E_{re} = 0,027 \cdot M \cdot (44 - p_e) \quad L = 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_l)$$

Hőegyensúlyi vagy komfortegyenlet

$$H - E_d - E_{sw} - E_{re} - L = K = S + C$$

A hőátadás a bőr felületéről a felöltözött emberi test külső felületére (hővezetés a ruházaton keresztül)

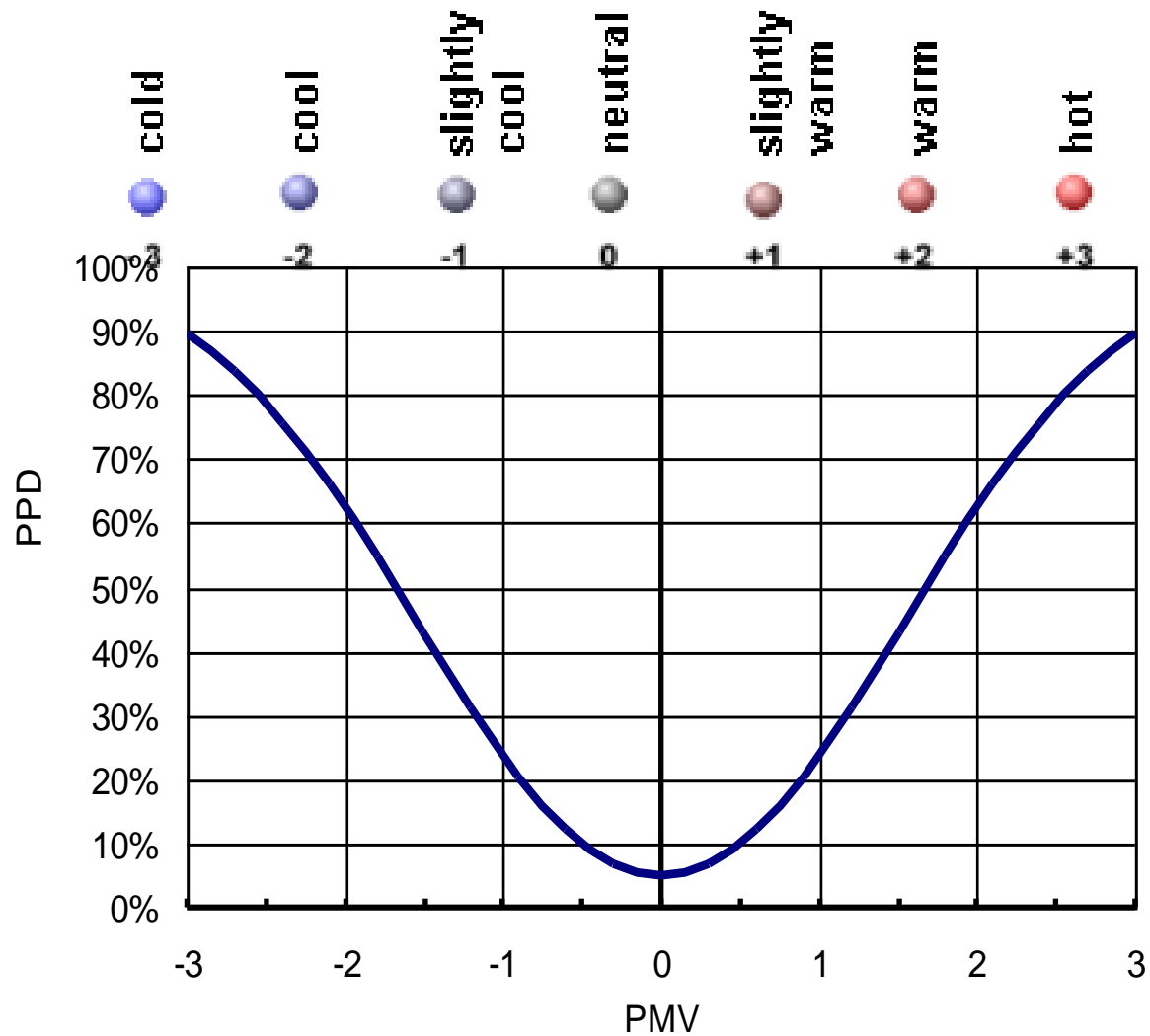
$$K = 0,163 \cdot F_{Du} \cdot \frac{t_b - t_{cl}}{0,18 \cdot I_{cl}} [W]$$

Sugárzásos és konvekciós hőveszteség a ruházattal borított test külső felületéről

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

$$C = F_{Du} \cdot f_{cl} \cdot \alpha_c \cdot (t_{cl} - t_l)$$

PMV és PPD érték



PMV érték meghatározása

$$PMV = [0.303 \exp(-0.036m) + 0.028]$$

$$\bullet \left[\begin{array}{l} m - w - 0.00305(5733 - 6.99(m - w) - p) \\ -0.42(m - w - 58.15) - 0.000017m(5867 - p) \\ -0.0014m(307 - T_a) - F \end{array} \right]$$

$$F = 3.96 \cdot 10^{-8} f(T_{cl}^4 - T_{mrt}^4) + f h(T_{cl} - T_a)$$

$$h = \max \left\{ 2.38(T_{cl} - T_a)^{1/4}; 12.06\sqrt{v} \right\}$$

$$T_{cl} = 308.9 - 0.028(m - w) - R F$$

Összegzés

- Komfortelmélet területei
- Hőkomfort
 - PMV és PPD
 - Hőkomfortot befolyásoló tényezők
 - Operatív hőmérséklet
 - Komfortegyenlet