

KLIMATIZACIJA

Tema:

-TOPLINSKA UGODNOST

Doc.dr.sc. Igor BALEN

Toplinska ugodnost – što je to?

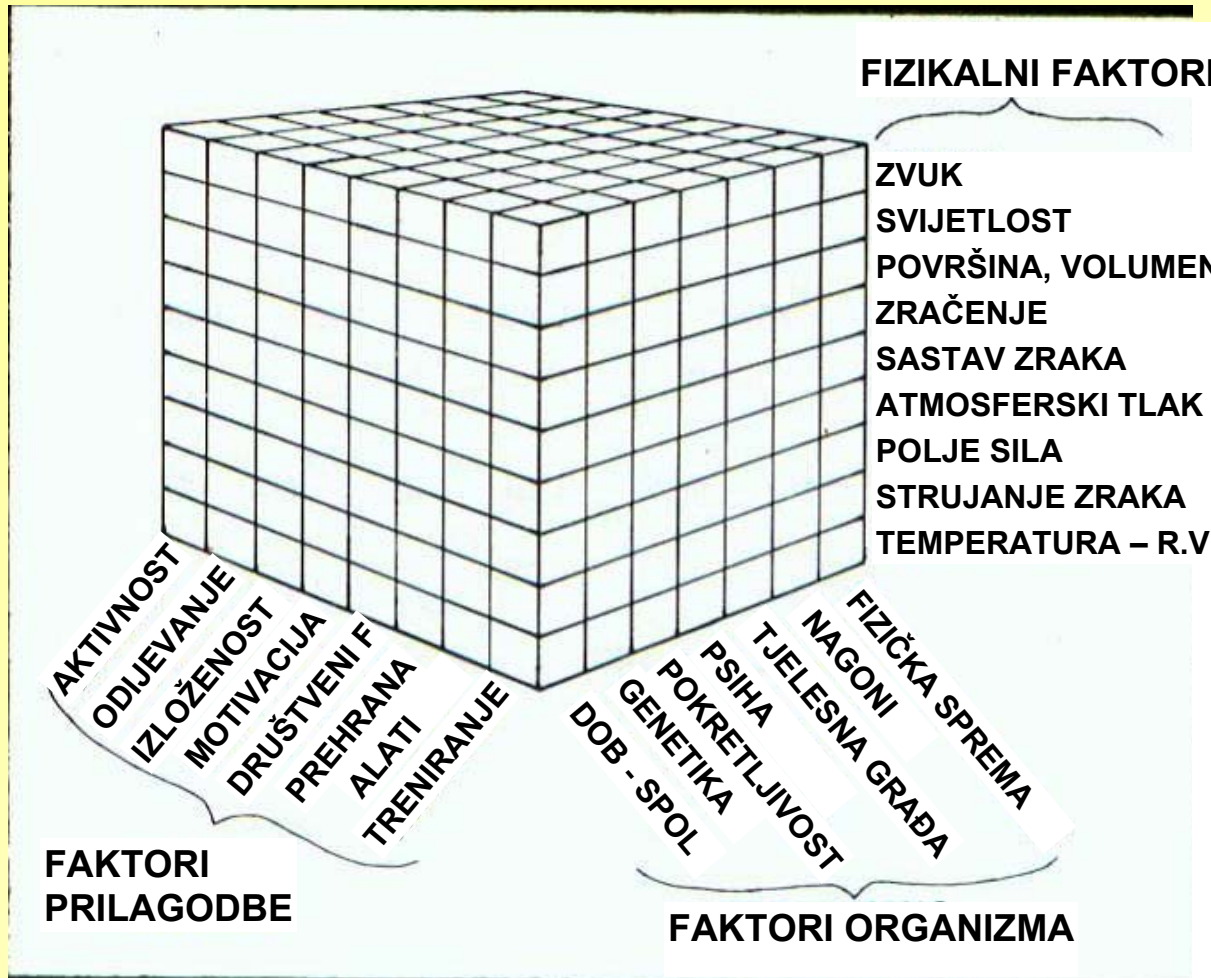


ISO 7730

Stanje svijesti koje izražava zadovoljstvo toplinskim stanjem okoliša.

Toplinska ugodnost – što je to?

- međudjelovanje velikog broja faktora:



Definicija toplinske ugodnosti

OSJEĆAJ UGODNOSTI NUŽNO JE INDIVIDUALAN! → Ne postoji neki određeni skup stanja okoliša u kojem bi baš svaka osoba iskazala zadovoljstvo (u skupu osoba koje borave ili obavljaju iste aktivnosti u određenom prostoru uvijek se javlja izvjestan broj nezadovoljnih).

UGODNOST – realno - skup stanja okoliša u kojem postotak nezadovoljnih ne prelazi određenu vrijednost!

TOPLINSKA UGODNOST – skup vrijednosti u okviru toplinskih parametara prostora koji se ostvaruju nekim GViK sustavom.

ZADATAK GViK SUSTAVA

- stvaranje uvjeta koji odgovaraju **najvećem mogućem** broju osoba!

Analiza toplinske ugodnosti

Osnovni faktori koji utječu na toplinsku ugodnost osoba u prostoru:

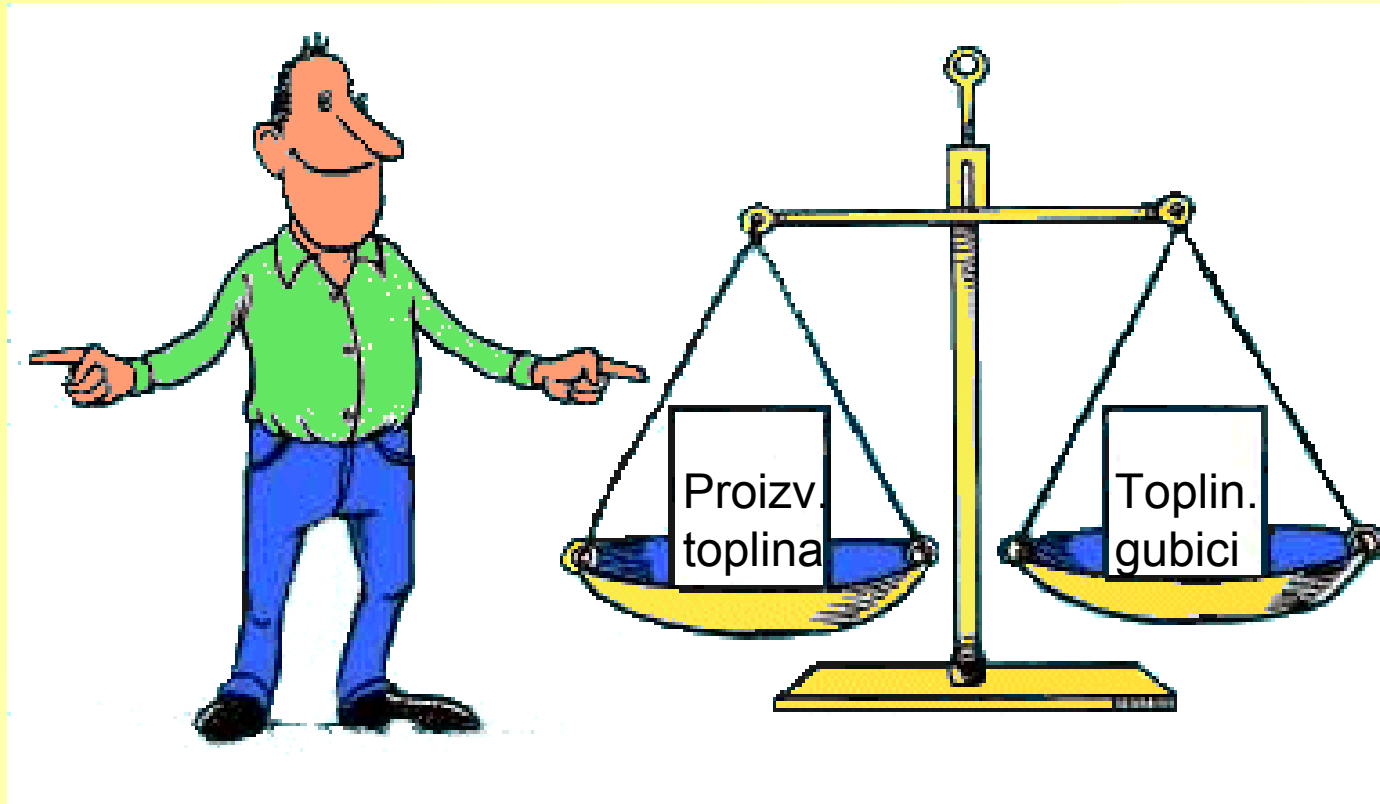
1. Temperatura zraka u prostoriji
2. Temperatura ploha prostorije
3. Vlažnost zraka
4. Strujanje zraka (brzina, smjer)
5. Razina odjevenosti
6. Razina fizičke aktivnosti
7. Ostali faktori (kvaliteta zraka, buka, namjena prostora, dob...)

VAŽNO!

TOPLINSKA UGODNOST REZULTAT JE ZAJEDNIČKOG DJELOVANJA NAVEDENIH FAKTORA!

→ Pri promjeni jedne veličine, istu ili sličnu razinu ugodnosti moguće je održati samo uz promjenu i neke druge. Promjene pojedinih veličina moguće je ostvariti u određenim međuzavisnim rasponima koji tvore područje toplinske ugodnosti.

Toplinska ravnoteža tijela



ODRŽAVANJE TOPLINSKE UGODNOSTI

- uvjetovano toplinskom ravnotežom tijela u odnosu na okoliš
- toplina proizvedena metabolizmom jednaka toplinskim gubicima prema okolišu umanjnim za izvršeni rad.

Jednadžba toplinske ugodnosti

$$M - W = H + E_{sk} + C_{res} + E_{res}$$

gdje je

M – metabolički učinak, W/m^2

W – efektivna mehanička snaga, W/m^2

H – izmjenjena osjetna toplina, W/m^2

E_{sk} – izmjenjena toplina ishlapljivanjem s površine kože, W/m^2

C_{res} – konvektivno izmjenjena toplina disanjem, W/m^2

E_{res} – izmjenjena toplina ishlapljivanjem pri disanju, W/m^2

Mjeri se:

Temperatura zraka + Srednja temperatura zračenja ploha + Brzina strujanja zraka + Relativna vlažnost

ILI

Operativna temperatura + Brzina strujanja zraka + Relativna vlažnost

ILI

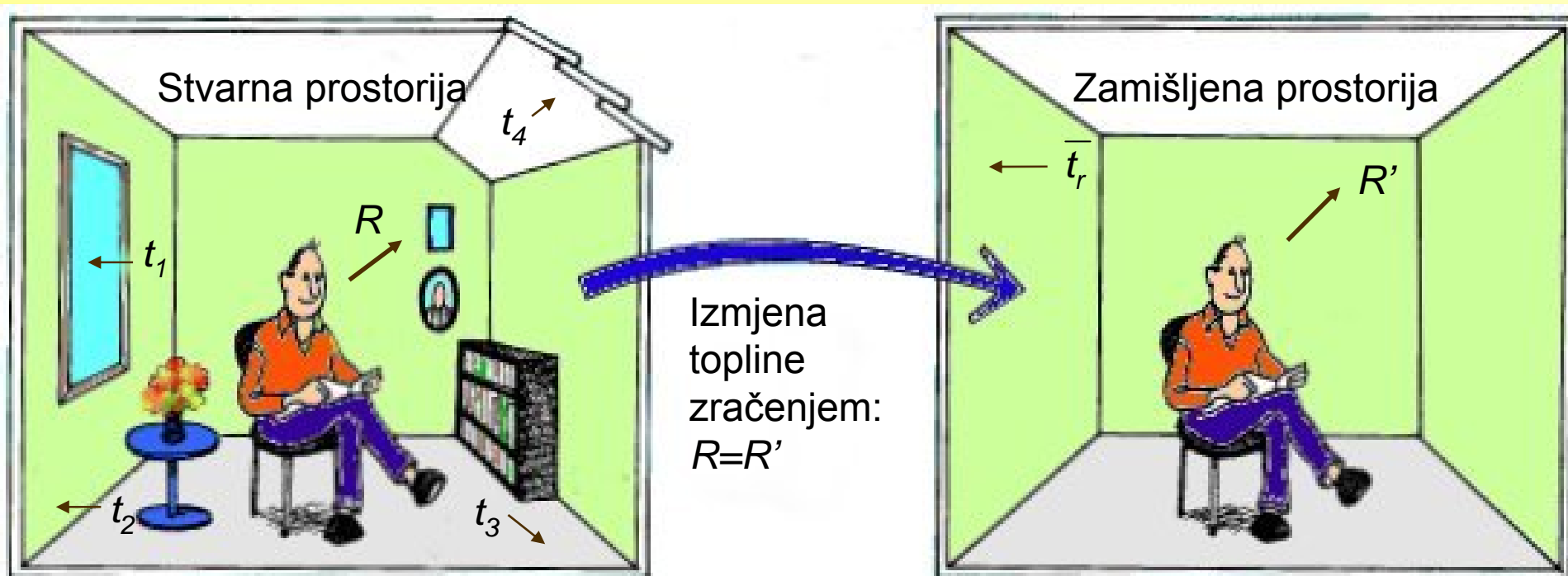
Ekvivalentna temperatura + Relativna vlažnost

Procjenjuje se:

MET vrijednost (metabolizam)

CLO vrijednost (razina odjevenosti)

Srednja temperatura zračenja ploha



- srednja temperatura zračenja \bar{t}_r je jednolika temperatura ploha zamišljenog crnog zatvorenog prostora kod koje se događa jednak gubitak topline zračenjem kao i za stvarni zatvoreni prostor s nejednolikim temperaturama ploha.

Srednja temperatura zračenja ploha

- prvo treba odrediti temperature svih ploha prostorije i pripadne faktore konfiguracije, a zatim provesti proračun prema jednadžbi:

$$\bar{T}_r^4 = T_1^4 F_{p-1} + T_2^4 F_{p-2} + \dots + T_n^4 F_{p-n} \quad [\text{K}^4]$$

- ako su razlike između temperatura pojedinih ploha relativno male, gornja jednadžba se može pojednostaviti u linearni oblik:

$$\bar{T}_r = T_1 F_{p-1} + T_2 F_{p-2} + \dots + T_n F_{p-n} \quad [\text{K}]$$

- najjednostavniji, ali i najmanje precizan oblik jednadžbe se dobije ako se zanemare utjecaji faktora konfiguracije (koje je komplicirano izračunati):

$$\bar{T}_r = \frac{\sum_i A_i T_i}{\sum_i A_i} \quad [\text{K}]$$

gdje je:

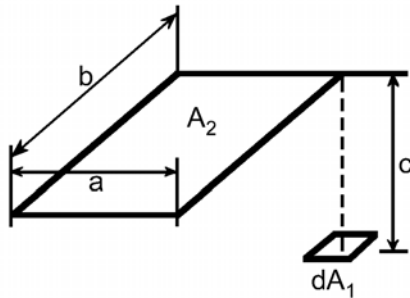
T_1, \dots, T_n – temperatura plohe i , K

F_{p-1}, \dots, F_{p-n} – faktori konfiguracije, -

A_i – površina plohe i , m^2



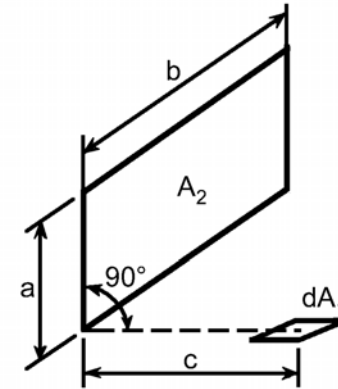
Faktor konfiguracije



$$x = \frac{a}{c}$$

$$y = \frac{b}{c}$$

$$F_{d1-2} = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{x}{\sqrt{1+x^2}} \tan^{-1} \frac{y}{\sqrt{1+x^2}} + \frac{y}{\sqrt{1+y^2}} \tan^{-1} \frac{x}{\sqrt{1+y^2}} \right)$$



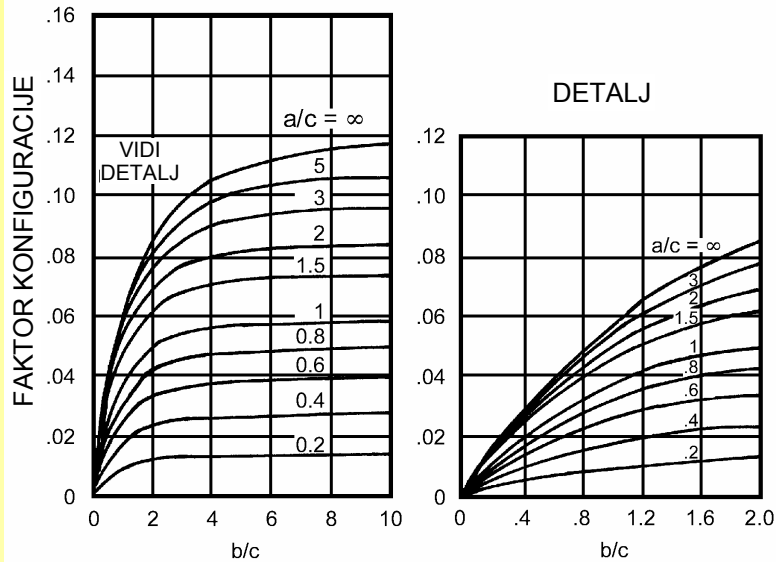
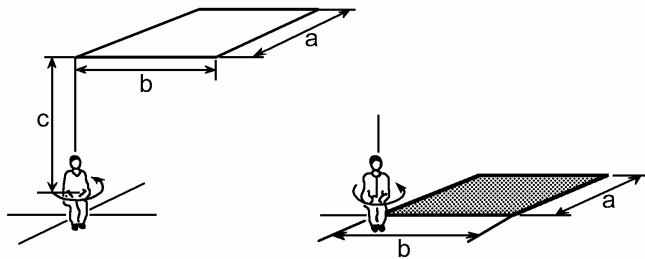
$$x = \frac{a}{b}$$

$$y = \frac{c}{b}$$

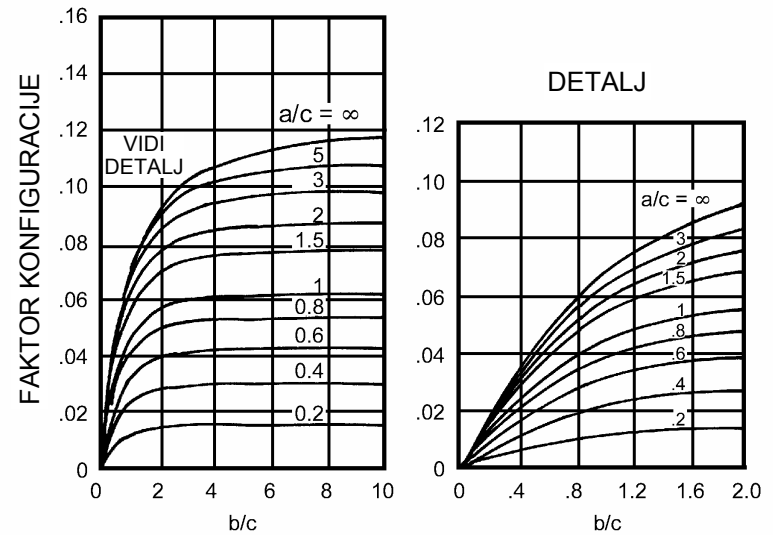
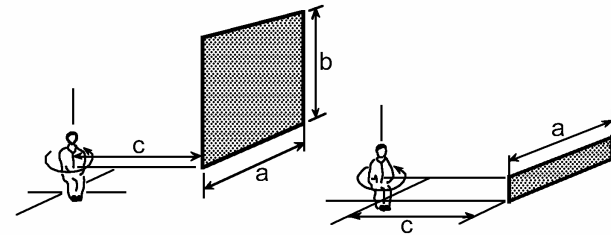
$$F_{d1-2} = \frac{1}{2\pi} \left(\tan^{-1} \frac{1}{y} - \frac{y}{\sqrt{x^2+y^2}} \tan^{-1} \frac{1}{\sqrt{x^2+y^2}} \right)$$

Analitičke formule za izračunavanje faktora konfiguracije za infinitezimalnu površinu

Faktor konfiguracije



A. VODORAVNI PRAVOKUTNIK (NA STROPU ILI NA PODU)



B. OKOMITI PRAVOKUTNIK (IZNAD ILI ISPOD SREDIŠTA OSOBE)

Srednja vrijednost faktora konfiguracije između osobe koja sjedi i vodoravnog ili okomitog pravokutnika kada se osoba okreće oko okomite osi (Fanger 1982)

Temperatura sfere

- (eng. Globe Temperature) zbog svoje jednostavnosti najčešće korišten instrument za određivanje srednje temperature zračenja je termometar sa crnom sferom (Vernon 1932, Bedford i Warmer 1935).
- instrument se sastoji od šuplje sfere od bakrenog lima obojenog crnom bojom, promjera 150 mm sa termoparom ili vrhom termometra u njenom središtu.
- temperatura koju sfera poprimi rezultat je toplinske ravnoteže između dovedene i predane topline zračenjem i konvekcijom.
- srednja temperatura zračenja može se izračunati iz izraza:

$$\bar{t}_r = 4 \sqrt{(t_g + 273)^4 + \frac{1.1 \times 10^8 w_a^{0.6}}{\varepsilon D^{0.4}} (t_g - t_a)} - 273 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

gdje je:

t_g – temperatura sfere, $^{\circ}\text{C}$

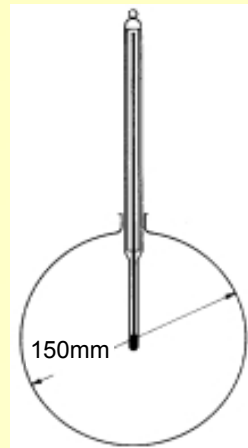
t_a – temperatura suhog termometra (zraka), $^{\circ}\text{C}$

w_a – brzina strujanja zraka, m/s

D – promjer sfere, m

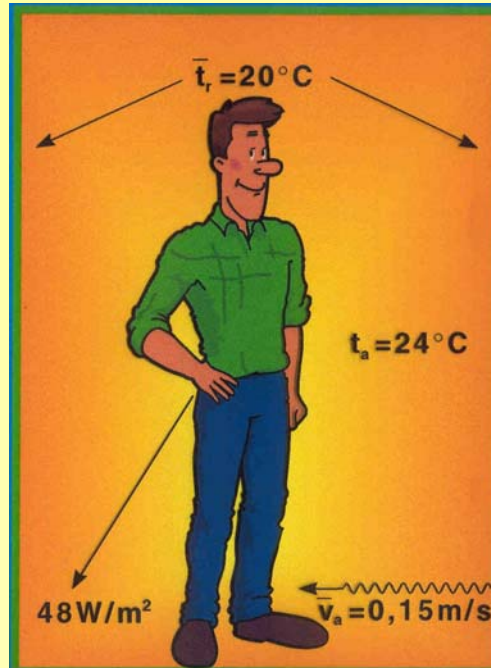
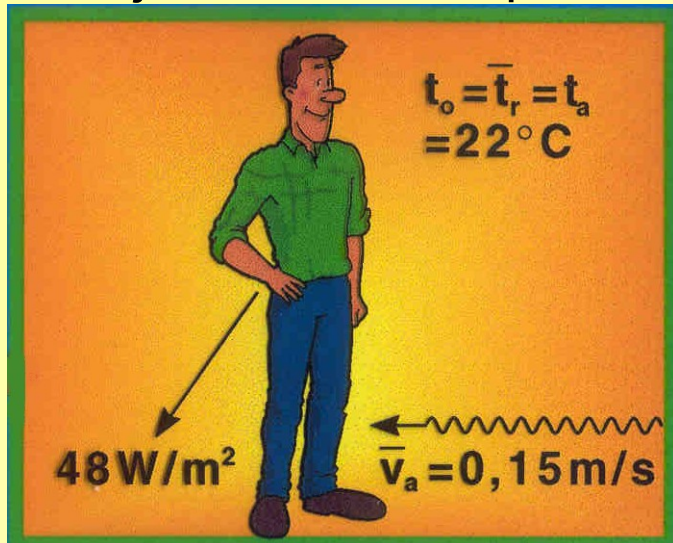
ε – emisijski faktor

(0.98 za crnu sferu)

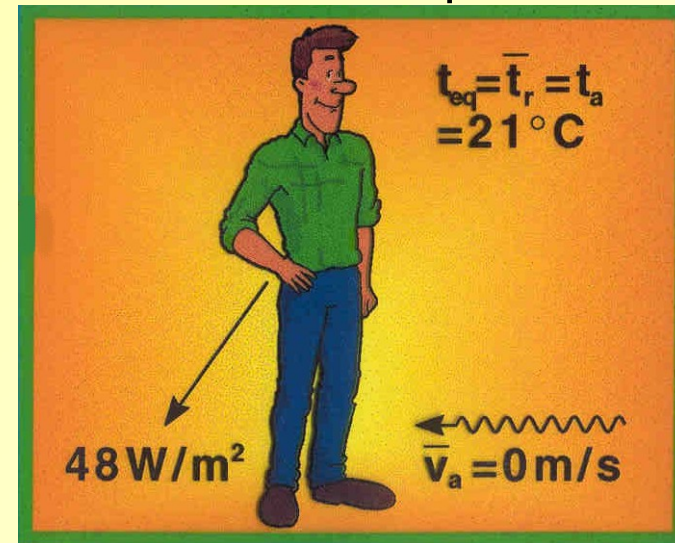


Osjetna/radna temperatura

Osjetna/radna temp.



Ekvivalentna temperatura



Osjetna/radna temperatura

- temperatura crnog zatvorenog prostora kod koje bi osoba izmjenila jednak iznos energije zračenjem i konvekcijom s okolišem, a uz jednaku relativnu vlažnost i brzinu strujanja zraka kao i u stvarnom nejednolikom okruženju:

$$t_o = \frac{\bar{t}_r + t_a}{2} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad - \text{ za } t_a = \bar{t}_r \pm 4^{\circ}\text{C} \text{ i } w_a < 0.2 \text{ m/s}$$

$$t_o = (1 - a)\bar{t}_r + a t_a$$

- $a=0.5$ $w_a < 0.2$ m/s
 $a=0.6$ $0.2 < w_a < 0.6$ m/s
 $a=0.7$ $0.6 < w_a < 1.0$ m/s

gdje je:

t_a – temperatura suhog termometra (zraka), $^{\circ}\text{C}$

w_a – brzina strujanja zraka, m/s

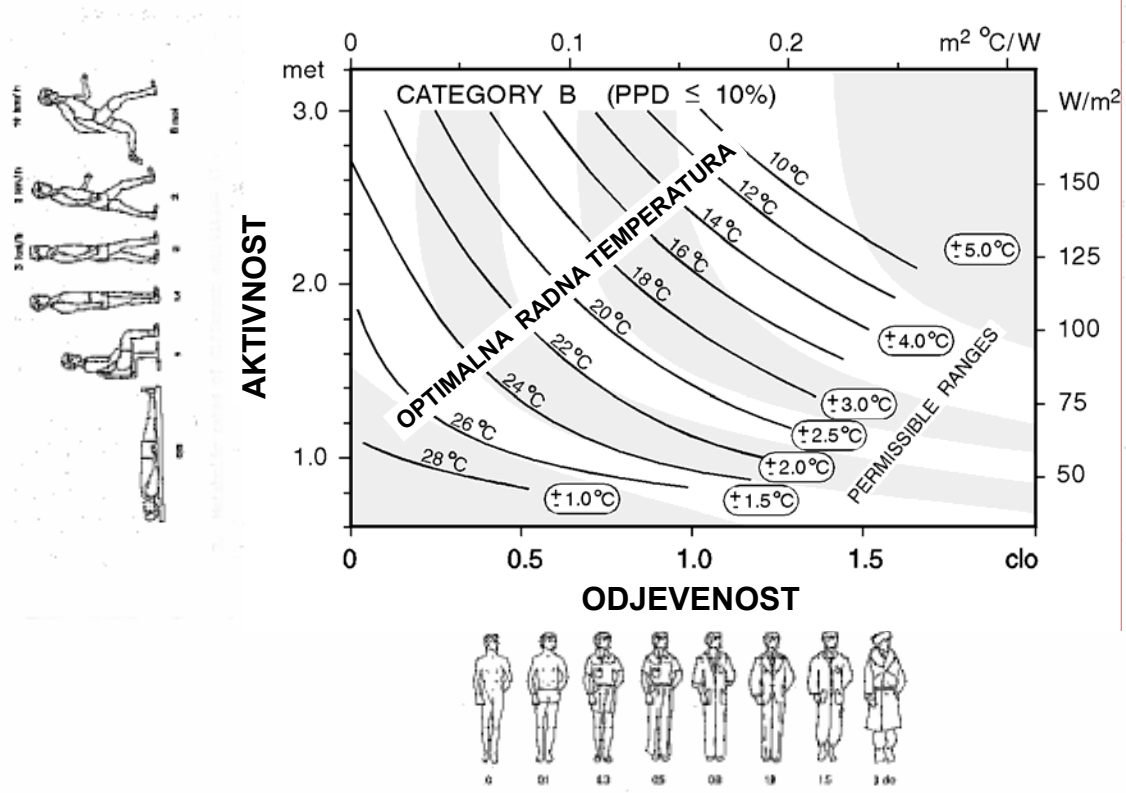


Osjetna/radna temperatura

- primjer kriterija ugodnosti PMV-PPD i osjetnih temperatura za tipične prostore (CR 1752, 1998, ASHRAE 55-94R, 2001, revidirani ISO 7730, 2001):

Class	Comfort requirements		Temperature range	
	PPD [%]	PMV	Winter(1.0clo/1.2met)	Summer(0.5clo/1.2 met)
	[%]	[/]	[°C]	[°C]
A	< 6	-0.2 < PMV < + 0.2	21-23	23.5-25.5
B	< 10	-0.5 < PMV < + 0.5	20-24	23.0-26.0
C	< 15	-0.7 < PMV < + 0.7	19-25	22.0-27.0

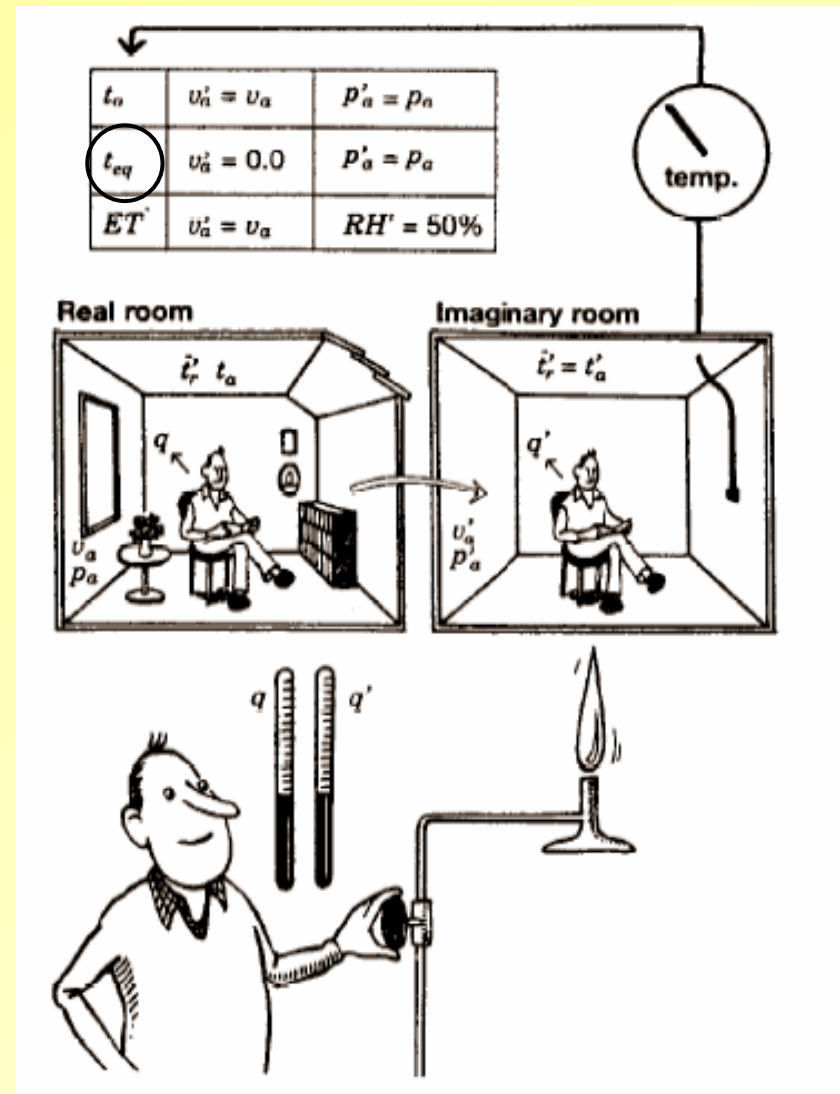
Osjetna/radna temperatura



Optimalna temperatura odgovara predviđenom vrednovanju ugodnosti (PMV indeksu) kao funkcija aktivnosti i odjevenosti. Osjenčana područja prikazuju raspon ugodnosti $\pm \Delta t$ oko optimalne unutarnje temperature, koji odgovara rasponu $-0.5 < PMV < +0.5$

Ekvivalentna temperatura

- temperatura prostora kod koje bi osoba izmjenila jednak iznos energije zračenjem i konvekcijom s okolišem s uključenim utjecajem brzine strujanja zraka, a uz jednaku relativnu vlažnost kao i u stvarnom nejednolikom okruženju.



Efektivna temperatura

- temperatura prostora kod koje bi osoba izmjenila jednak iznos energije s okolišem, a uz relativnu vlažnost od 50%, kao i u stvarnom nejednolikom okruženju
→ osjetna temperatura uz relativnu vlažnost od 50%.
- standardni uvjeti:
 - razina aktivnosti 1.1 met,
 - razina odjevenosti 0.6 clo,
 - brzina strujanja zraka <0.2 m/s.
- približno vrijedi:

$$t_e = 0.4t_a + 0.5\bar{t}_r + 0.1t_{wt} - 3.2w_a$$

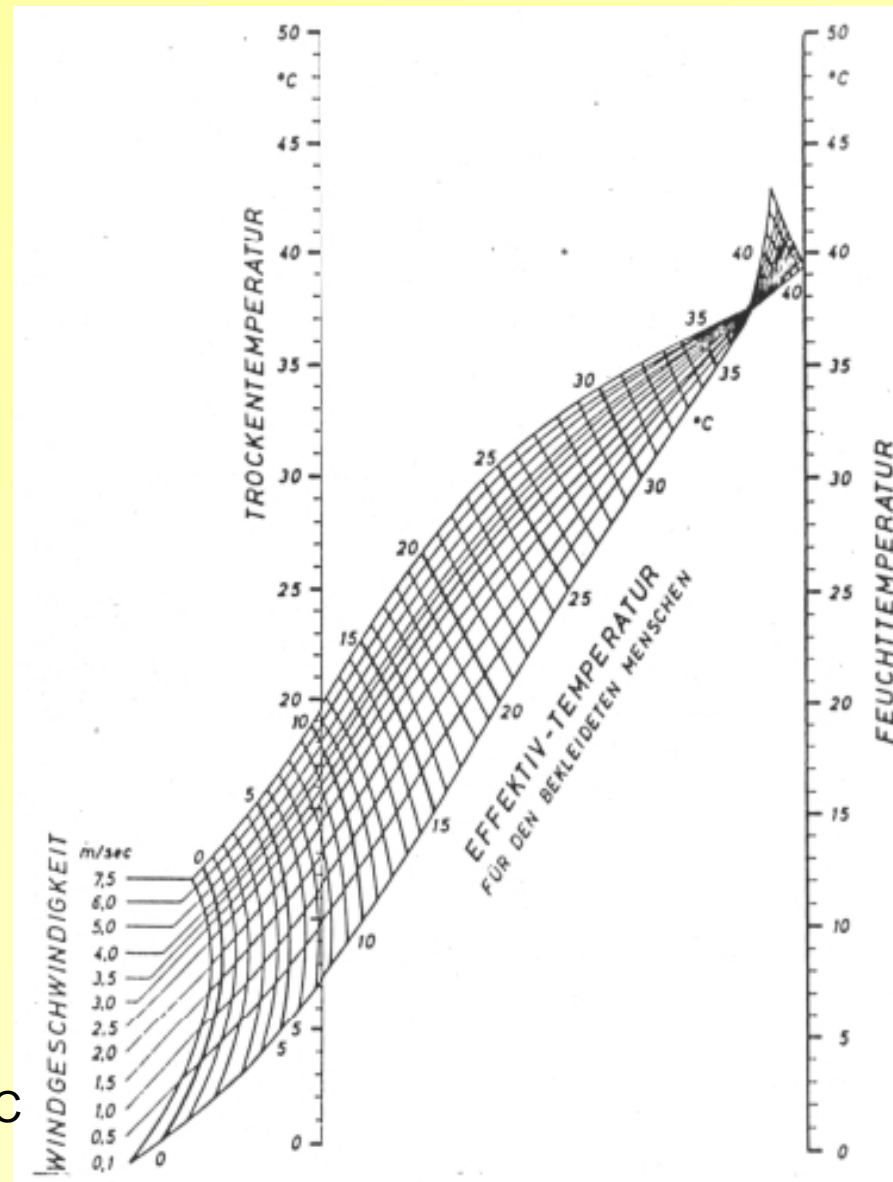
gdje je:

t_a – temperatura suhog termometra (zraka), °C

\bar{t}_r – srednja temperatura zračenja, °C

t_{wt} – temperatura vlažnog termometra, °C

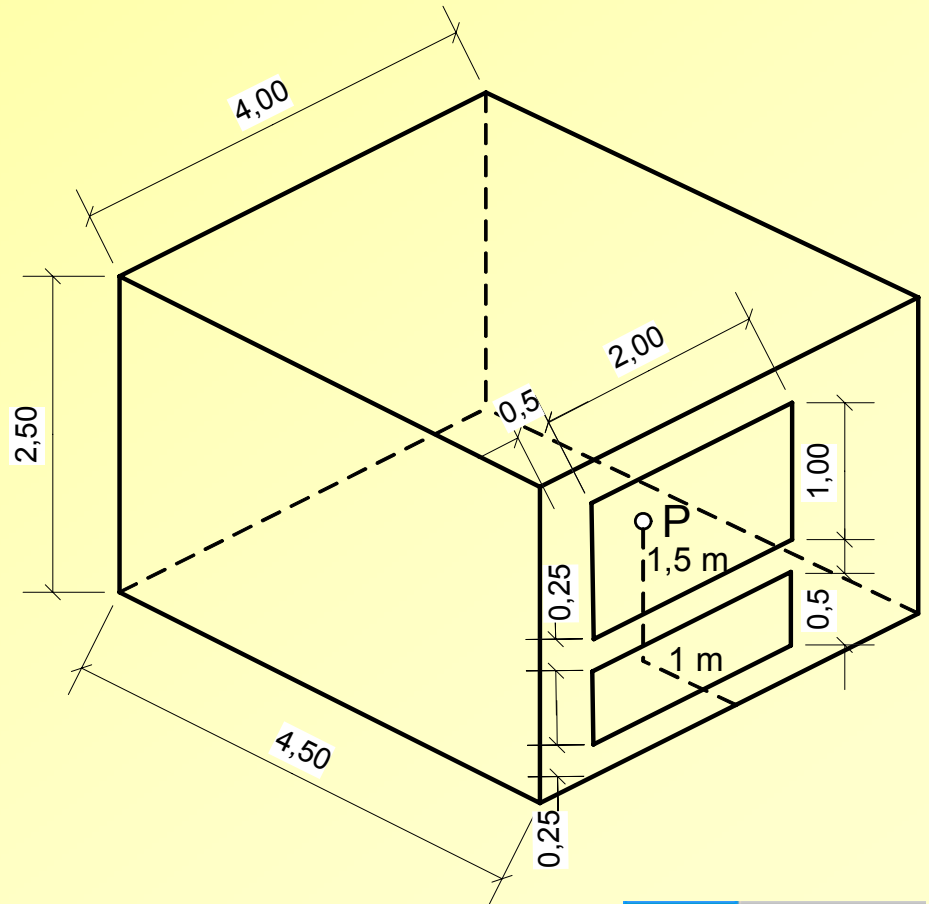
w_a – brzina strujanja zraka, m/s



Primjer

- za prostoriju prema skici odrediti srednju temperaturu zračenja ploha za točku P, osjetnu temperaturu i efektivnu temperaturu uz sljedeće ulazne podatke:

- temperatura suhog termometra 20°C
- temperatura vlažnog termometra 14°C
- brzina strujanja zraka $0,2\text{ m/s}$
- temperature ploha:
 - unutarnji zid 18°C
 - vanjski zid 15°C
 - pod 18°C
 - strop 19°C
 - prozor 12°C
 - radiator 70°C



Primjer

- proračun faktora konfiguracije (primjer radiator):

$$x = a/c = 1.25/1 = 1.25; \quad y = b/c = 1/1 = 1$$

$$F_{d1} = 2 \cdot 0.15 = 0.3$$

$$F_{d2} = 2 \cdot 0.12 = 0.24$$

$$F_{d1-2} = F_{d1} - F_{d2} = 0.3 - 0.24 = 0.06$$

Ploha	F	t_n	Ft_n
Unutarnji zid	0.063	18	1.134
	0.020	18	0.36
Vanjski zid	0.290	15	4.35
Pod	0.074	18	1.332
Strop	0.135	19	2.565
Prozor	0.360	12	4.32
Radijator	0.060	70	4.20

$$\bar{t}_r = t_1 F_{p-1} + t_2 F_{p-2} + \dots + t_n F_{p-n} = 18.26 \text{ }^\circ\text{C}$$

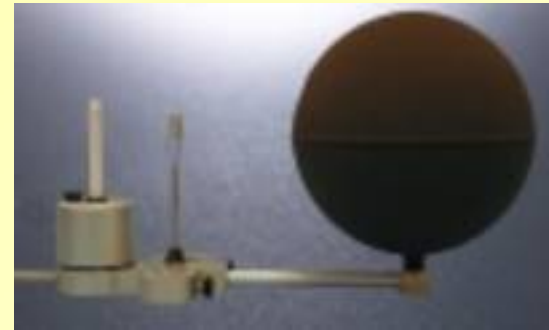
$$t_o = \frac{\bar{t}_r + t_a}{2} = \frac{18.26 + 20}{2} = 19.13 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_e = 0.4t_a + 0.5\bar{t}_r + 0.1t_{wt} - 3.2w_a = 8 + 9.13 + 1.4 - 0.64 = 17.89 \text{ }^\circ\text{C}$$

Temperatura vlažnog termometra sfere

- temperatura vlažnog termometra sfere (eng. **Wet Bulb Globe Temperature**) je indeks toplinskog opterećenja okoliša koji uključuje temperaturu suhog termometra (zraka) t_a , temperaturu **prirodno ventiliranog** (ne propuhanog) vlažnog termometra t_{nwb} , i temperaturu crne sfere t_g , prema izrazu:

$$WBGT = 0.7t_{nwb} + 0.2t_g + 0.1t_a \quad [^{\circ}\text{C}]$$



- prethodni izraz uključuje i utjecaj sunčevog zračenja
- ukoliko se promatra unutarnji okoliš, izraz se pojednostavljuje:

$$WBGT = 0.7t_{nwb} + 0.3t_g \quad [^{\circ}\text{C}]$$

- u široj uporabi za predviđanje potencijala toplinskog opterećenja u industrijskom okruženju.

Indeks toplinskog naprezanja

- Indeks toplinskog naprezanja (eng. **H**eat **S**tress **I**ndex) je omjer ukupnih gubitaka topline ishlaplivanjem E_{sk} potrebnih za toplinsku ravnotežu (zbroj metabolizma i osjetnog toplinskog opterećenja) i maksimalno mogućih toplinskih gubitaka ishlaplivanjem E_{max} u promatranom okolišu, pomnožen sa 100, u stacionarnim uvjetima i pri stalnoj temperaturi kože t_{sk} od 35°C:

$$HSI = 100 \frac{E_{sk}}{E_{max}}$$

HSI < 0 - dolazi do ohlađivanja tijela

HSI > 100 - dolazi do zagrijavanja tijela

Heat Stress Index	Physiological and Hygienic Implications of 8 h Exposures to Various Heat Stresses
0	No thermal strain.
10	Mild to moderate heat strain. If job involves higher intellectual functions, dexterity, or alertness, subtle to substantial decrements in performance may be expected. In performing heavy physical work, little decrement is expected, unless ability of individuals to perform such work under no thermal stress is marginal.
20	
30	
40	Severe heat strain involving a threat to health unless men are physically fit. Break-in period required for men not previously acclimatized. Some decrement in performance of physical work is to be expected. Medical selection of personnel desirable, because these conditions are unsuitable for those with cardiovascular or respiratory impairment or with chronic dermatitis. These working conditions are also unsuitable for activities requiring sustained mental effort.
50	
60	
70	Very severe heat strain. Only a small percentage of the population may be expected to qualify for this work. Personnel should be selected: (a) by medical examination, and (b) by trial on the job (after acclimatization). Special measures are needed to assure adequate water and salt intake. Amelioration of working conditions by any feasible means is highly desirable, and may be expected to decrease the health hazard while increasing job efficiency. Slight "indisposition," which in most jobs would be insufficient to affect performance, may render workers unfit for this exposure.
80	
90	
100	The maximum strain tolerated daily by fit, acclimatized young men.

Indeks pothlađenja vjetrom

- Indeks pothlađenja vjetrom (eng. **Wind Chill Index**) je iskustveni indeks koji uključuje zajedničko djelovanje vjetra i niske vanjske temperature.
- predstavlja iznos toplinskih gubitaka zračenjem i konvekcijom valjkastog tijela površinske temperature 33°C, kao funkciju temperature okoliša t_a i brzine vjetra w :

$$WCI = \frac{(10.45 + 10\sqrt{w} - w)(33 - t_a)}{1.162} \quad [\text{W/m}^2]$$

- metoda daje pouzdane rezultate do brzine vjetra od 80 km/h.

$WCI < 1400 \text{ W/m}^2$ i $t_a \geq -10 \text{ }^\circ\text{C}$ – mala opasnost od ozeblina pri izloženosti gole kože za period od 1 h

$WCI > 2000 \text{ W/m}^2$ i $t_a \leq -10 \text{ }^\circ\text{C}$ – veliki rizik od smrzavanja pri izloženosti gole kože za period od 1 min

Indeks pothlađenja vjetrom

- umjesto korištenja WCI za izražavanje intenziteta hladnoće okoliša, češće se koristi ekvivalentna temperatura pothlađenja vjetrom.
- $t_{eq,wc}$ je temperatura okoliša koja bi, pri blagom vjetru (definiranom za ovu primjenu sa 6.4 km/h ili 1.8 m/s), uzrokovala jednaki WCI kao i stvarna kombinacija temperature zraka i brzine vjetra:

$$t_{eq,wc} = -0.04544 \cdot WCI + 33 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

Wind Speed, km/h	Actual Thermometer Reading, $^{\circ}\text{C}$												
	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50
	Equivalent Wind Chill Temperature, $^{\circ}\text{C}$												
Calm	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50
10	8	2	-3	-9	-14	-20	-25	-31	-37	-42	-48	-53	-59
20	3	-3	-10	-16	-23	-29	-35	-42	-48	-55	-61	-68	-74
30	1	-6	-13	-20	-27	-34	-42	-49	-56	-63	-70	-77	-84
40	-1	-8	-16	-23	-31	-38	-46	-53	-60	-68	-75	-83	-90
50	-2	-10	-18	-25	-33	-41	-48	-56	-64	-71	-79	-87	-94
60	-3	-11	-19	-27	-35	-42	-50	-58	-66	-74	-82	-90	-97
70	-4	-12	-20	-28	-35	-43	-51	-59	-67	-75	-83	-91	-99
Little danger: In less than 5 h, with dry skin. Maximum danger from false sense of security.					Increasing danger: Danger of freezing exposed flesh within 1 min.					Great danger: Flesh may freeze within 30 s.			
(WCI < 1400)					(1400 ≤ WCI ≤ 2000)					(WCI > 2000)			



Source: U.S. Army Research Institute of Environmental Medicine.

Notes: Cooling power of environment expressed as an equivalent temperature under calm conditions [Equation (81)].

Winds greater than 70 km/h have little added chilling effect.

Vrednovanje toplinske ugodnosti

PMV (eng. Predicted Mean Vote) indeks – vrednuje razinu (ne)ugode
→ predviđa subjektivno ocjenjivanje ugodnosti boravka u okolišu od strane grupe ljudi

- određivanje iz složenih matematičkih izraza prema ISO7730

$$PMV = (0.303e^{(-0.036 \times M)} + 0.028) \times [(M-W) - H - E_c - C_{res} - E_{res}]$$

PPD (eng. Predicted Percentage of Dissatisfied) indeks

→ predviđa postotak nezadovoljnih osoba

- određivanje iz jednostavnog matematičkog izraza, funkcija od PMV

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{[-(0.03353 PMV^4 + 0.2179 PMV^2)]} \quad [\%]$$

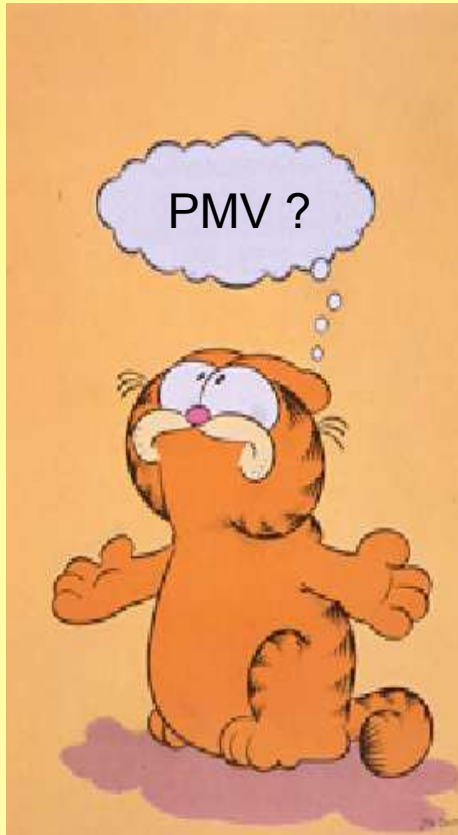
Skala PMV indeksa



Razina ugodnosti vrednuje se prema ASHRAE skali sa 7 točaka.



Izračunavanje PMV indeksa



$$PMV = (0.303e^{-0.036M} + 0.028) \left\{ (M - W) - 3.05 \times 10^{-3} \times [5733 - 6.99(M - W) - p_a] \right. \\ \left. - 0.42 \times [(M - W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5} M(5867 - p_a) - 0.0014M(34 - t_a) \right. \\ \left. - 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \right\}$$

gdje je:

$$t_{cl} = 35.7 - 0.028(M - W) - I_{cl} \{ 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} \\ \times [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \}$$

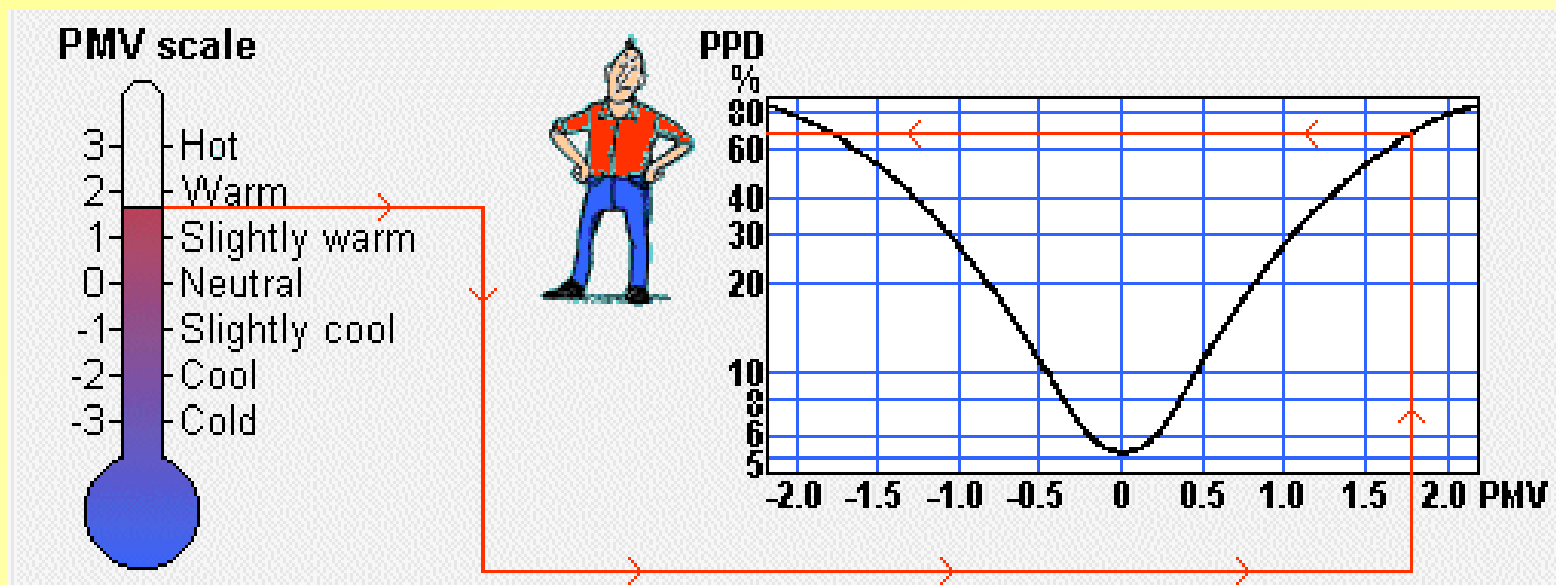
$$h_c = \begin{cases} 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} & \text{za } 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} > 12.1\sqrt{v_{ar}} \\ 12.1\sqrt{v_{ar}} & \text{za } 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} < 12.1\sqrt{v_{ar}} \end{cases}$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1.00 + 1.290I_{cl} & \text{za } I_{cl} < 0.078\text{m}^2\text{K} / \text{W} \\ 1.05 + 0.645I_{cl} & \text{za } I_{cl} > 0.078\text{m}^2\text{K} / \text{W} \end{cases}$$

M – metabolički učinak, W/m² površine tijela
 W – rad, W/m² (jednak nuli u većini aktivnosti)
 I_{cl} – toplinski otpor odjeće, m²K/W
 f_{cl} – omjer površine osobe kada je odjevena prema površini kada je gola
 t_a – temperatura zraka, °C

t_r – srednja temperatura zračenja, °C
 v_{ar} – relativna brzina strujanja zraka (u odnosu na osobu), m/s
 p_a – parcijalni tlak vodene pare, Pa
 h_c – koeficijent prijelaza topline konvekcijom, W/m²K
 t_{cl} – površinska temperatura odjeće, °C

Odnos PMV i PPD indeksa



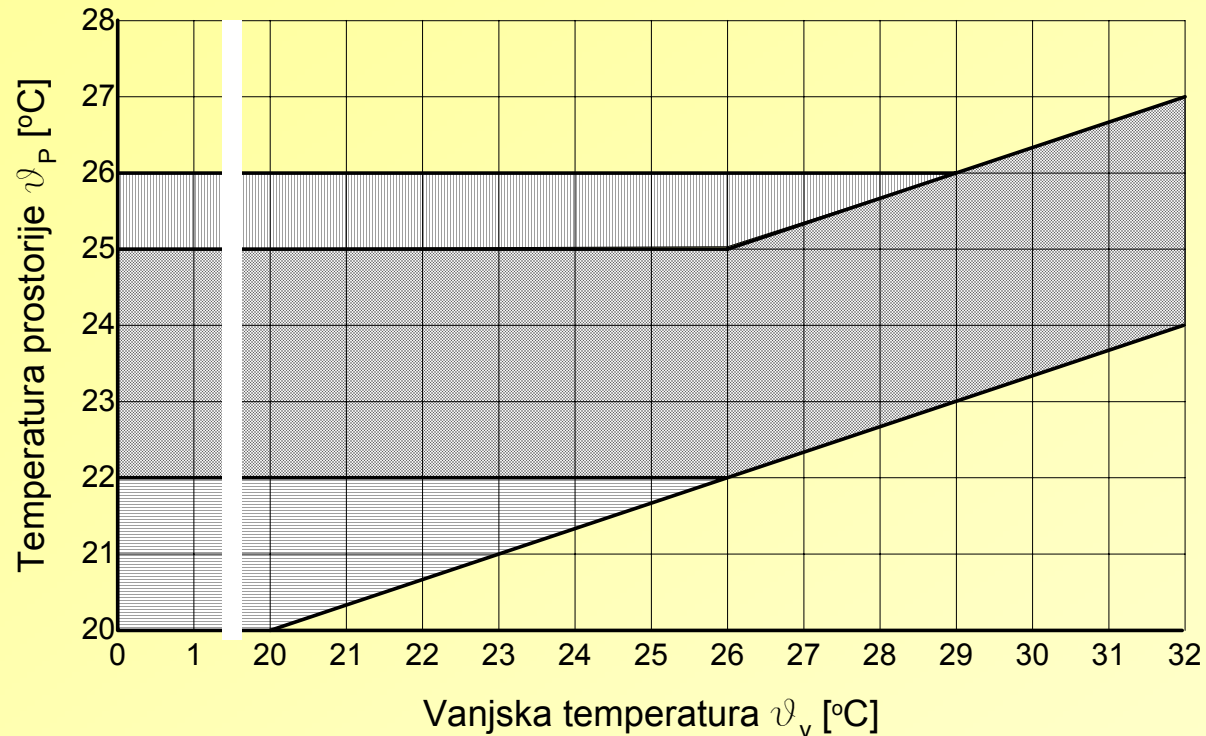
ISO7730 - Toplinska ugodnost prema PMV i PPD indeksima

$$-0,5 \leq PMV \leq +0,5 \quad \rightarrow \quad PPD \leq 10\%$$

Faktori toplinske ugodnosti

1. Temperatura zraka

Prema *DIN1946*:

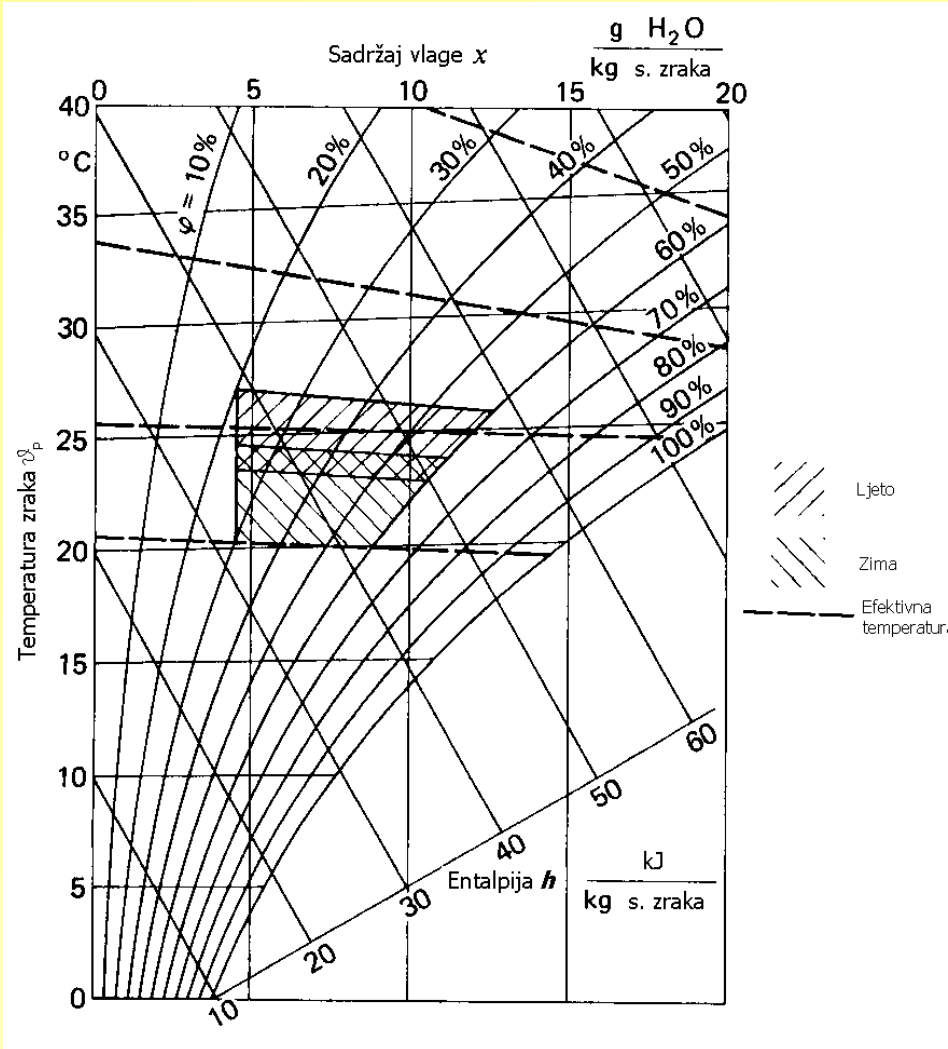


ZIMSKI UVJETI – 22°C ← Osoba odjevena u poslovno odijelo.

LJETNI UVJETI – 22-25°C ← Osoba odjevena lakše nego zimi.

1. Temperatura zraka

Prema *ASHRAE St.55*:



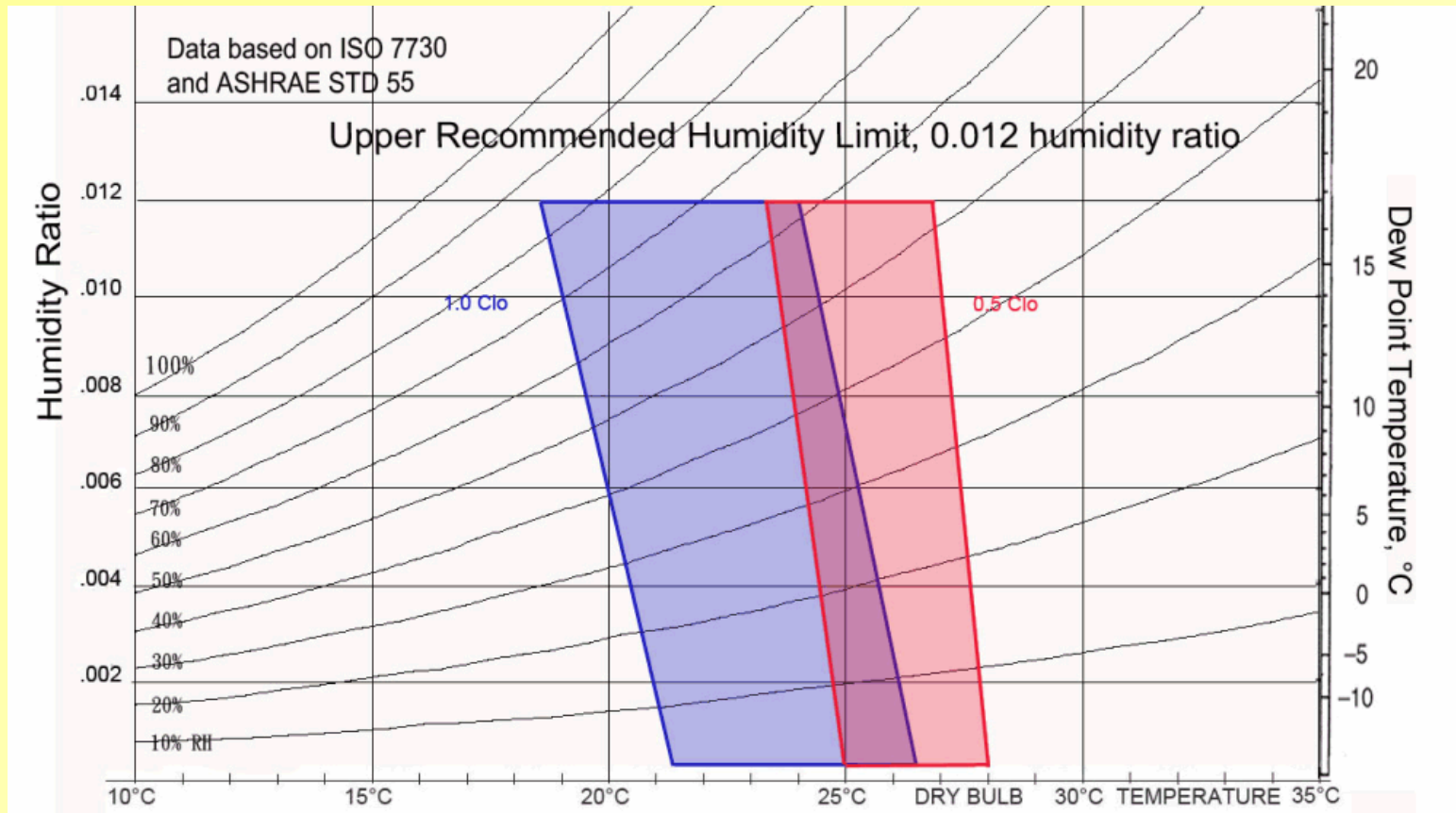
- navedene temperature odnose se na srednje vrijednosti za zrak prostorije

- navedeno odgovara razini odjevenosti 0,5-1clo

- navedeno odgovara razini fizičke aktivnosti lakog rada uz sjedenje 1-1,2 met

1. Temperatura zraka

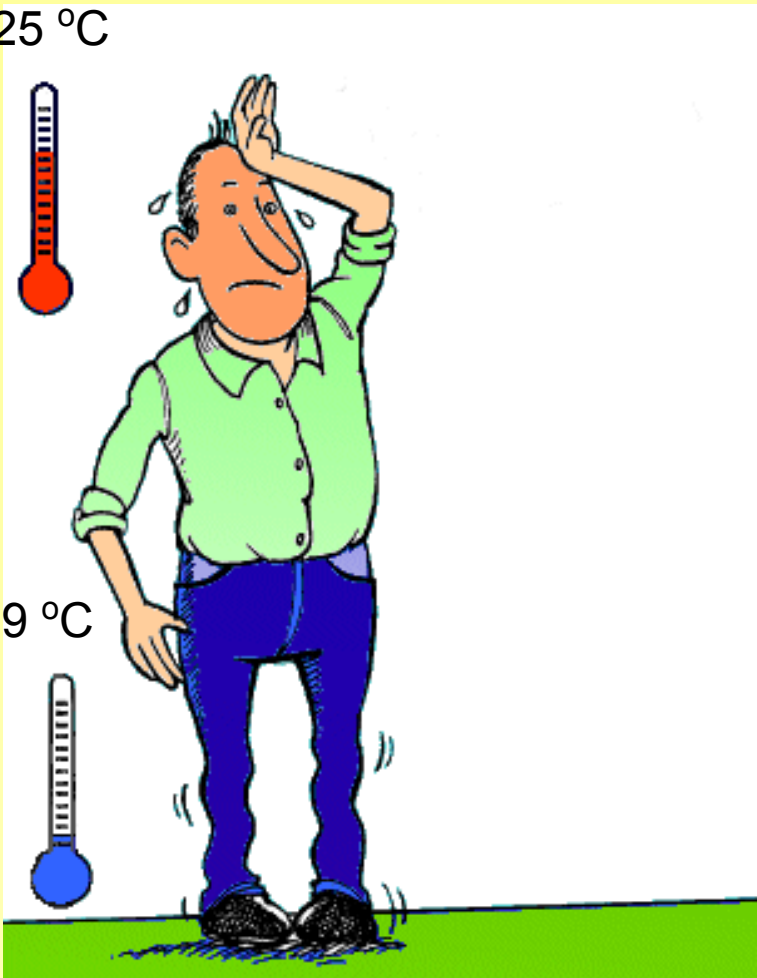
Prema *ASHRAE St.55 (izdanje 2004)*:



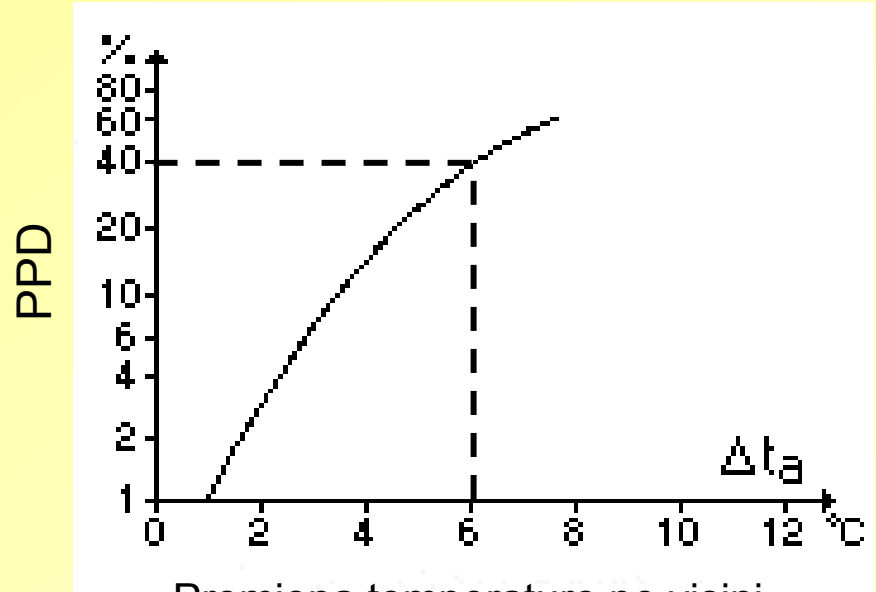
1. Temperatura zraka

- za toplinsku ugodnost važna je razlika temperature po visini prostorije

25 °C



19 °C



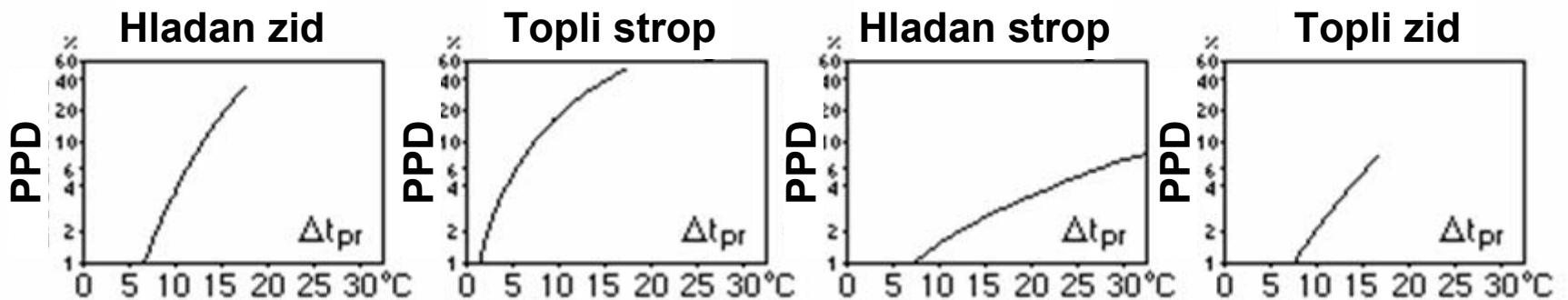
Promjena temperature po visini

- navedena temperaturna razlika odnosi se na visinu između stopala i vrata osobe
- **ISO7730** – max. 3°C!

Faktori toplinske ugodnosti

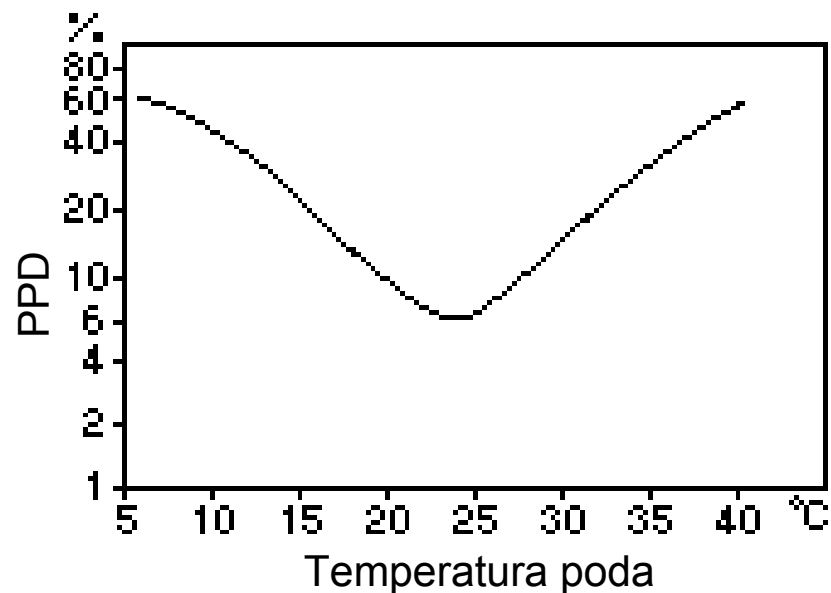
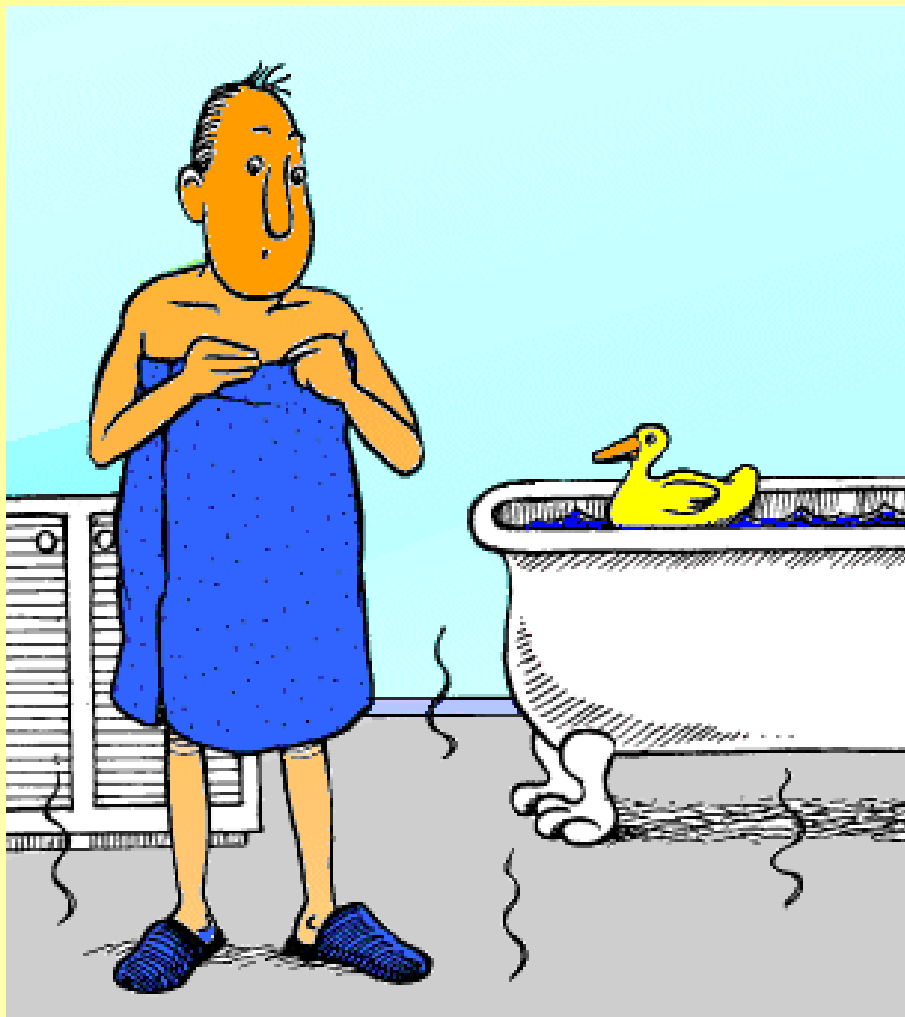
2. Temperatura ploha

- površinska temperatura ploha \neq površinska temperatura tijela
→ izmjena topline između tijela i okolnih ploha!
- asimetrija površinskih temperatura ploha → osjećaj neugode



- topli strop i hladan zid → najveći stupanj neugode

2. Temperatura ploha – topli i hladni podovi

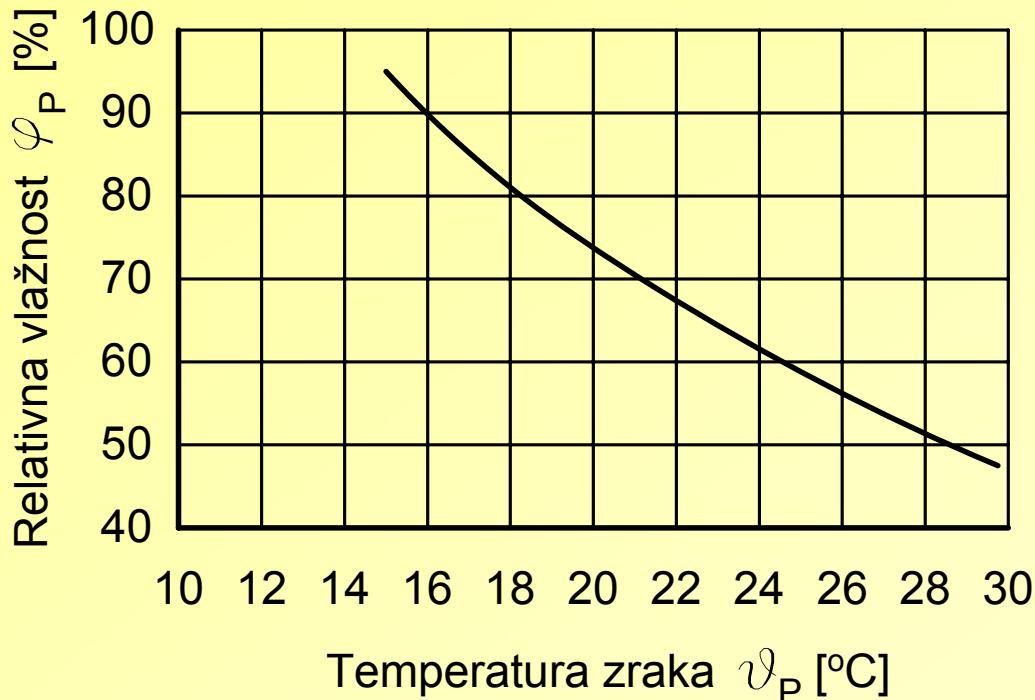


- **ISO7730** – 19-29°C uz nošenje kućne obuće!
- npr. podno grijanje –
max. 27°C – duži boravak
max. 29°C - kraći boravak
max. 35°C – rubne zone

Faktori toplinske ugodnosti

3. Relativna vlažnost

- nema veći utjecaj na toplinsku ugodnost
- zdrav čovjek ne osjeća promjenu rel. Vlažnosti, kao promjenu razine ugodnosti, u rasponu 30-70% (pri temp. 20-25°C)



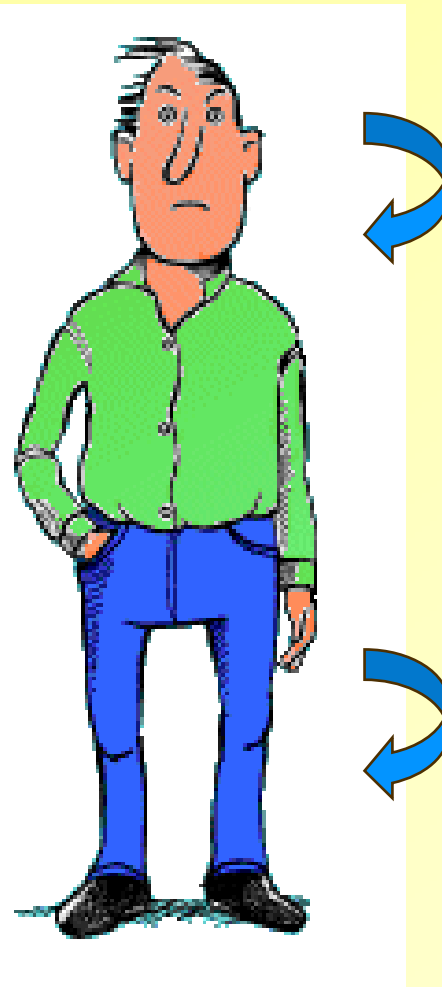
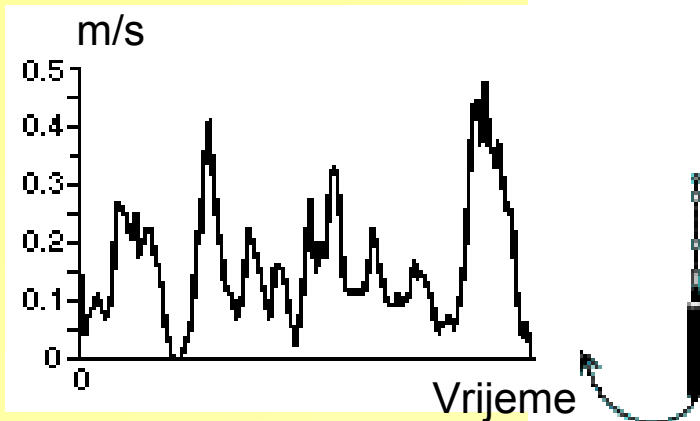
- preporučuje se održavanje rel. vlažnosti u prostoru između 35-60% za temperature zraka do 25°C, razinu odjevenosti ≈ 1 clo i nisku razinu fizičke aktivnosti.
- za povećanu razinu fizičke aktivnosti, povećava se udio lat. topline, pa se može smanjiti vlažnost zraka.

Faktori toplinske ugodnosti

4. Brzina strujanja

- **IZNIMNO VELIK** utjecaj na toplinsku ugodnost

Brzina



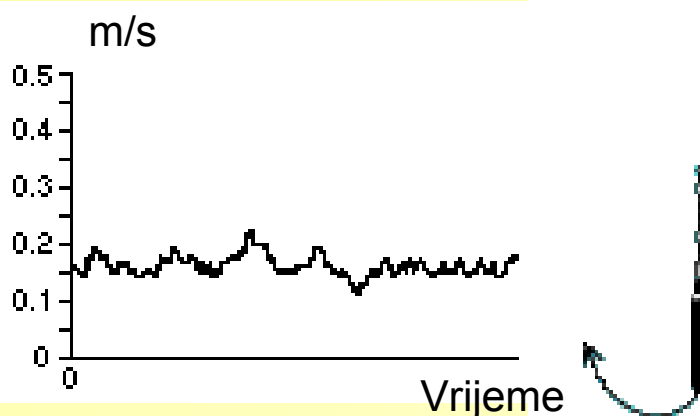
- **PROPUH** – neželjeno lokalno hlađenje tijela prouzročeno pojačanim strujanjem zraka.
→ **najčešći** progovor u klimatiziranim prostorima!

- ovisi o:

1. Brzini strujanja
2. Temperaturi zraka
3. Turbulenciji

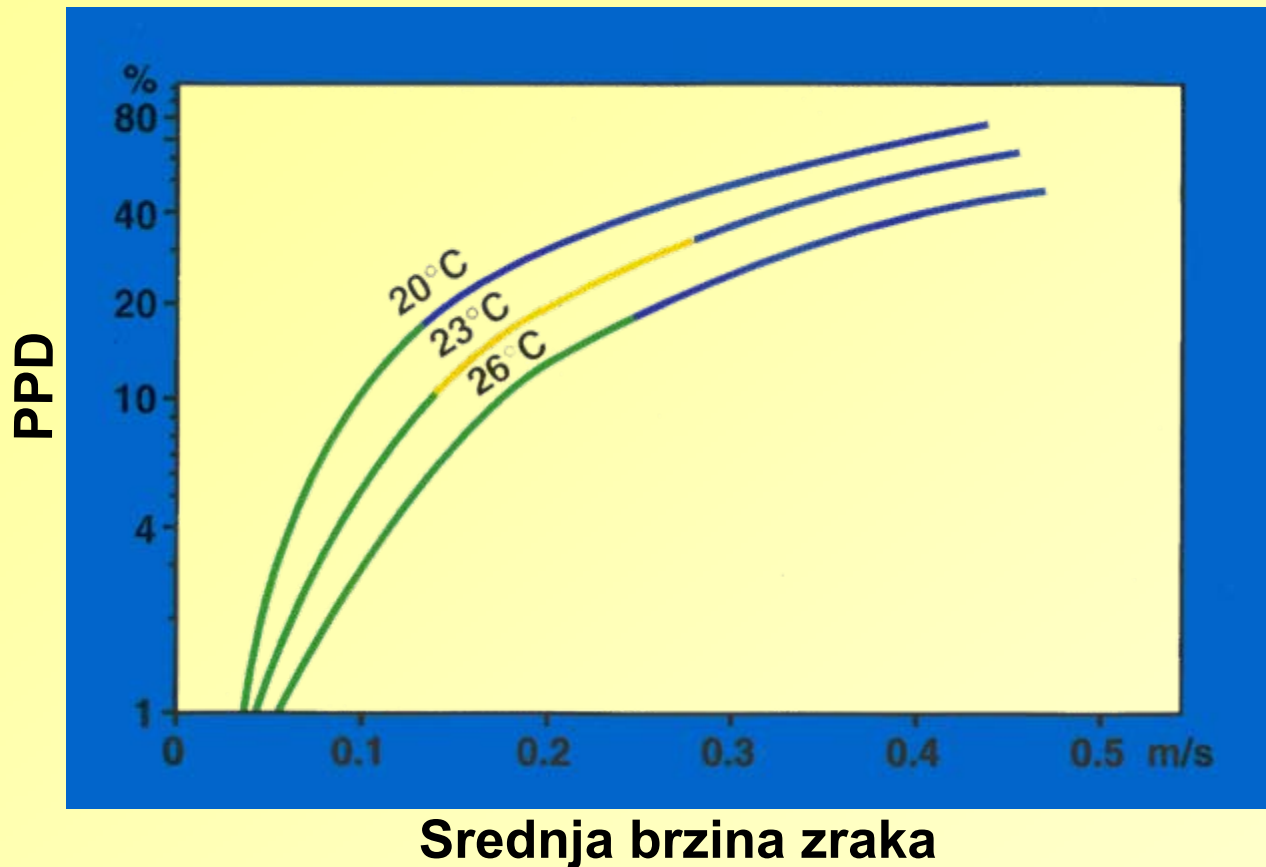
- za standardne temperaturne uvjete, brzine strujanja zraka u zoni boravka do 0,25 m/s ne utječu značajno na toplinsku ugodnost.

Brzina



4. Brzina strujanja

- osjećaj propuha ovisi o temperaturi zraka



- niža temperatura
→ veći postotak nezadovoljnih.

- brzina zraka do 0.15 m/s je prihvatljiva za niže temperature zraka i laganiju odjeću.

- brzina zraka do 0.5 m/s je prihvatljiva pri većoj razini fizičke aktivnosti.

4. Brzina strujanja

- predviđeni postotak osoba koje će biti nezadovoljne zbog propuha:

$$PD = (34 - t_a) \cdot (w_a - 0.05)^{0.6223} \cdot (0.3696w_aTu + 3.143) \quad [\%]$$

gdje je:

PD – ocjena propuha – postotak nezadovoljnih osoba (PPD), %
(kada je PD > 100%, uzima se PD = 100%)

t_a – temperatura suhog termometra, °C

w_a – brzina strujanja zraka, m/s (kada je $w_a < 0.05$ m/s, uzima se $w_a = 0.05$ m/s)

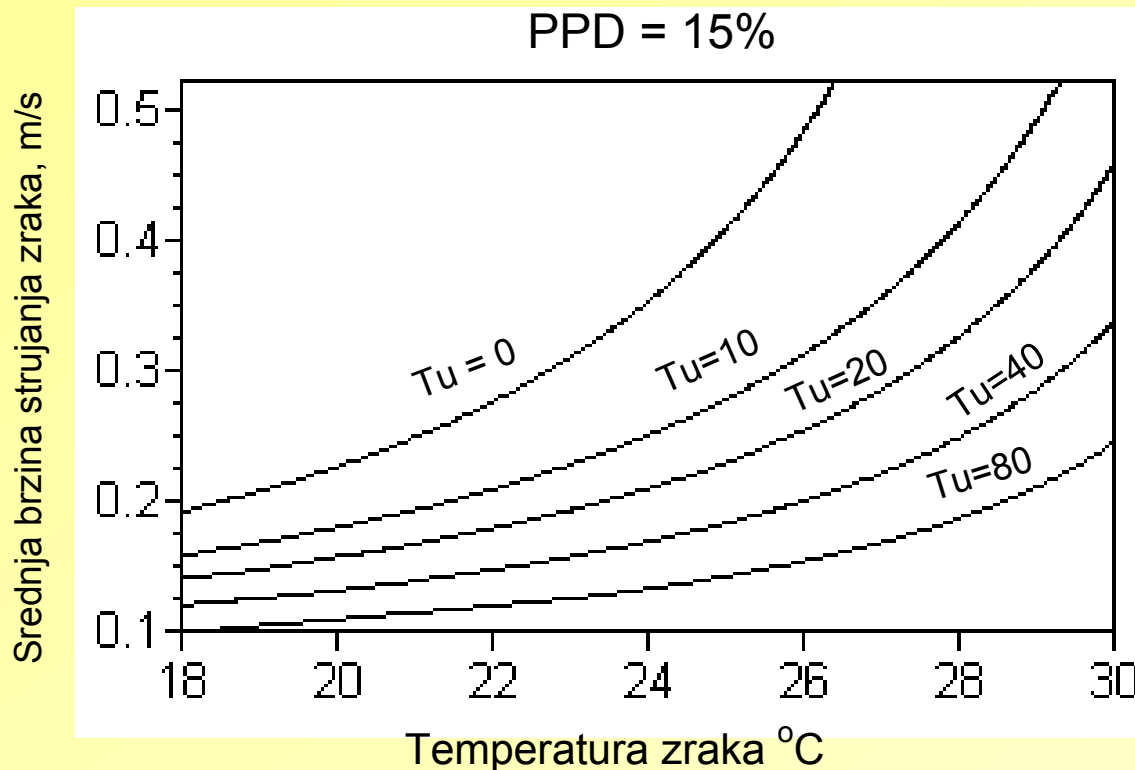
$$Tu = 100 \frac{w_{SD}}{w_a} \quad [\%]$$

gdje je:

w_{SD} – standardna devijacija brzine strujanja zraka, m/s

4. Brzina strujanja

- osjećaj propuha ovisi o intenzitetu turbulencije

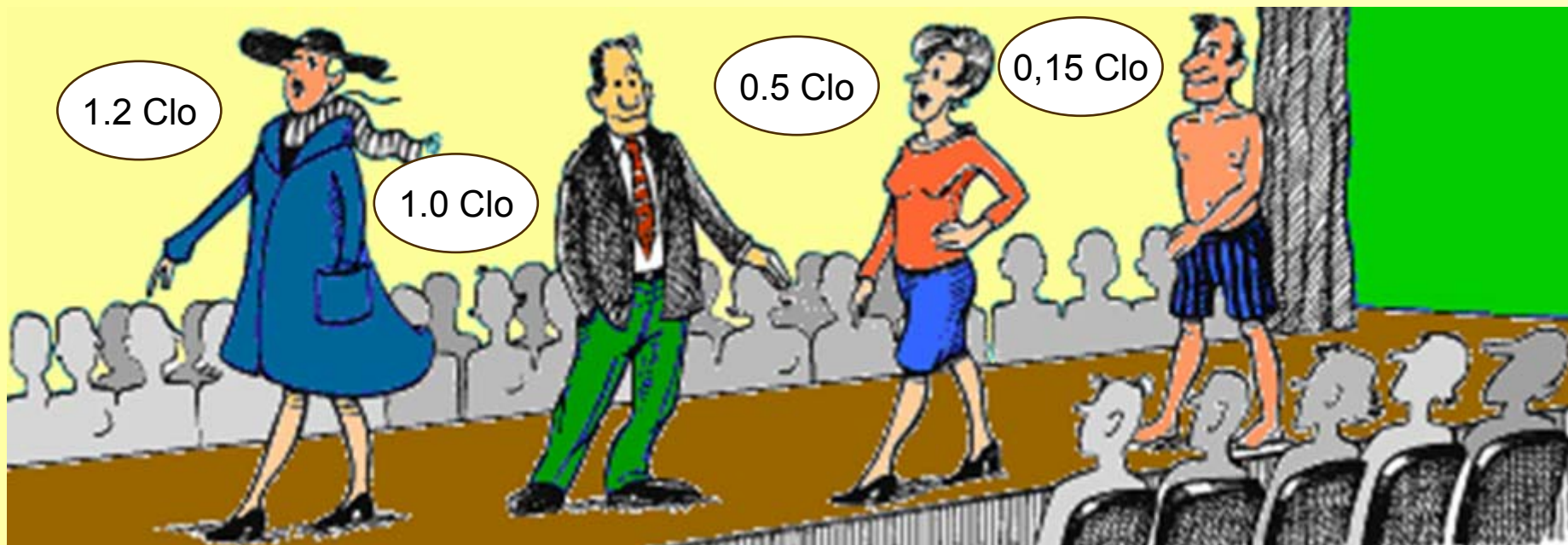


- intenzitet turbulencije opisuje promjenljivost brzine strujanja zraka u vremenu

- dobro dimenzioniran GViK sustav → jednolika brzina strujanja zraka u prostoru i vremenu → mali intenzitet turbulencije

Faktori toplinske ugodnosti

5. Razina odjevenosti



- toplinski otpor odjeće:












$$R = 0,155 I_{cl} [(m^2K)/W]$$

$$1clo = 0,155 [(m^2K)/W]$$

5. Razina odjevenosti

- ukupni toplinski otpor odjeće je zbroj toplinskih otpora pojedinih odjevnih predmeta: $I_{cl} = \sum I_{clu}$

Toplinski otpor svih odjevnih predmeta: $I_{cl} = \sum I_{clu}$

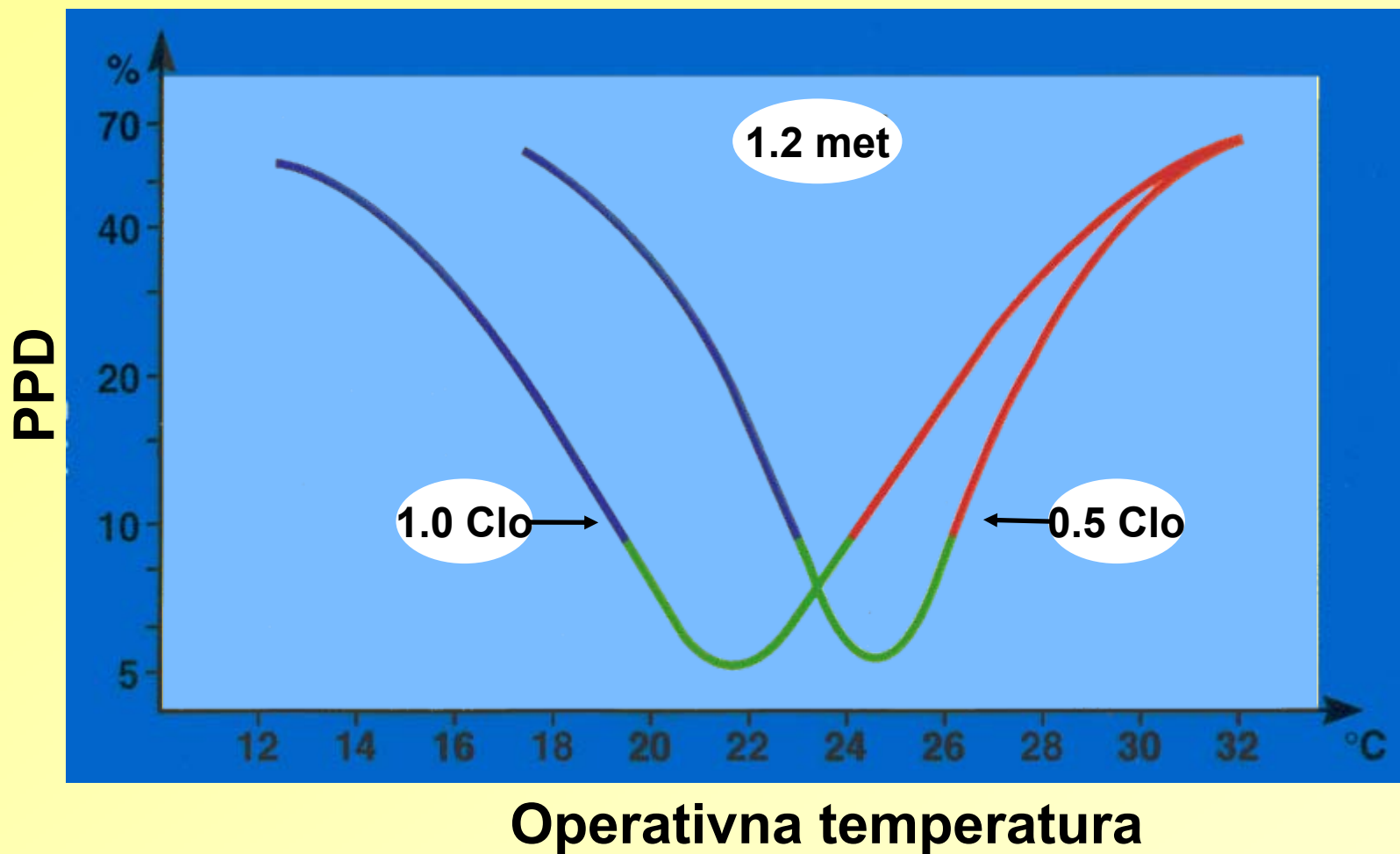
	0.19		0.28
+		+	
	0.04		0.25
+		+	
	0.11		0.04
+		+	
	0.02		0.25
+		+	
	0.02		0.05
		+	
	<u>0.38</u>		0.04
			<u>0.91</u>

5. Razina odjevenosti

- vrijednosti toplinskih otpora prema razini odjevenosti:

Razina odjevenosti	R	I_{cl} [clo]
- Golo tijelo	0	0
- Tanka odjeća (kratke hlače, majica kratkih rukava)	0.080	0.5
- Hlače, košulja dugih rukava, čarape, cipele	0.100	0.65
- Normalna radna odjeća	0.125 – 0.160	0.8 – 1.0
- Tanka športska odjeća s jaknom	0.160	1.0
- Poslovno odijelo s košuljom dugih rukava, kravata, sako	0.160	1.0
- Zimska odjeća s vestom dugih rukava	0.200	1.25
- Radna odjeća s dugim gaćama, puloverom i jaknom	0.210	1.3
- Poslovno odijelo s tankim kaputom	0.240	1.5
- Zimska odjeća sa zimskom jaknom	0.250 - 0.300	1.6 – 2.0
- Debeli zimska odjeća za najhladnije vrijeme	0.450 – 0.600	3.0 – 4.0

5. Razina odjevenosti



Faktori toplinske ugodnosti

6. Razina fizičke aktivnosti



- TOPLINA METABOLIZMA

→ energija što se stvara oksidacijskim procesima u tijelu i troši se na fizičku aktivnost i održavanje tjelesne topline.

-VAŽNO! – Toplina metabolizma nije identički jednaka toplini izmjenjenoj s okolišem!

- metabolički učinak – ovisi o razini aktivnosti.

- jedinica *met*: $1 \text{ met} = 58,2 \text{ W/m}^2$ → metabolički učinak osobe koja mirno sjedi → topl. gubitak prema okolišu $\approx 100 \text{ W}$ (za površinu kože $1,8 \text{ m}^2$ prema DuBois-u).

- za određivanje metaboličkog učinka treba koristiti prosječnu razinu aktivnosti u posljednjih sat vremena.

6. Razina fizičke aktivnosti

Razina fizičke aktivnosti	Metabolički učinak M	
Odmaranje - spavanje	46 W/m ²	0.8 Met
Mirno sjedenje	58 W/m ²	1.0 Met
Pisanje na računalu	65 W/m ²	1.1 Met
Stajanje, opušteno	70 W/m ²	1.2 Met
Vožnja automobilom	60-115 W/m ²	1.0-2.0 Met
Stajanje, lagana aktivnost (kupovanje)	93 W/m ²	1.6 Met
Šetanje	100 W/m ²	1.7 Met
Stajanje, umjerena aktivnost (kućni poslovi)	116 W/m ²	2.0 Met
Pranje posuđa u stojećem položaju	145 W/m ²	2.5 Met
Hodanje po ravnoj površini, 4.3 km/h	150 W/m ²	2.6 Met
Teški rad za strojem	235 W/m ²	4.0 Met
Rad na gradilištu	275 W/m ²	4.7 Met
Šport – trčanje brzinom 15 km/h	550 W/m ²	9.5 Met

6. Razina fizičke aktivnosti

- Metabolički učinak se može izmjeriti (veća preciznost) ili izračunati (inženjerska praksa)

- empirijska jednadžba za metabolički učinak:

$$M = 352(0.23RQ + 0.77)V_{O_2}/A_D \quad [W/m^2]$$

gdje je:

M – metabolički učinak, W/m²

RQ – kvocijent disanja = $V_{CO_2(\text{izdah})}/V_{O_2(\text{udah})}$, -

V_{O_2} – potrošnja kisika, L/min

A_D – DuBois-ova površina tijela, m²

- izračunavanje površine tijela prema DuBois-u: $A_D = 0.202 m^{0.425} h^{0.725} [m^2]$

- raspon vrijednosti RQ: $0.7 < RQ < 1.0$

masa [kg] visina [m]

npr. lakši rad, sjedenje RQ = 0.83 (M < 1.5 met)

teški napor RQ = 1.0 (M = 5 met)

Ostali faktori

7. Kvaliteta zraka

- moguće su pritužbe na ugodnost kada su svi osnovni faktori toplinske ugodnosti zadovoljeni.
- moguće pojave koje utječu na kvalitetu zraka:
 1. čestice prašine u zraku (izgaranje prašine na površini ogrijevnih tijela, lebdeće čestice s površine kože, namještaja...) – nadražaj dišnih organa
 2. plinovi i pare (ishlapljanje od osoba, namještaja, tepiha, zidova, pušenje) – (samo) neugodan miris ili otrov?
 3. bioaerosoli (virusi, bakterije, gljivice, pelud)
 4. smanjen sadržaj kisika (velik broj ljudi u zatvorenom prostoru) – zagušljivost
- jedna od najštetnijih tvari – **CIGARETNI DIM** – u MAK-tablicama (AGW od 2006)
 - je označen kao **KANCEROGEN** za “pasivne” pušače!
- osnovne mjere poduzete u GViK sustavima – filtracija i dobava vanjskog zraka!

7. Kvaliteta zraka

	Canadian	WHO/Europe	NAAQS/EPA ^f	NIOSH REL	OSHA	ACGIH	MAK ^g
Aldehydes							
Acrolein	0.02 ppm ^a			0.1 ppm 0.25 ppm (15 min)	0.1 ppm 0.3 ppm (15 min)	0.1 ppm 0.3 ppm (15 min)	0.1 ppm 0.2 ppm (15 min)
Acetaldehyde	5.0 ppm			ALARA ^b	100 ppm 150 ppm (15 min)	100 ppm 150 ppm (15 min)	50 ppm
Formaldehyde	0.1 ppm ^c	0.081 ppm		0.016 ppm 0.1 ppm (15 min)	0.75 ppm 2 ppm (15 min)	0.3 ppm	0.3 ppm
Carbon dioxide	3500 ppm			5000 ppm 30,000 ppm (15 min)	10,000 ppm 30,000 ppm (15 min)	5000 ppm 9000 ppm (15 min)	5000 ppm 9000 ppm (15 min)
Carbon monoxide	11 ppm (8 h) 25 ppm (1 h)	8.6 ppm (8 h) 25 ppm (1 h) 51 ppm (30 min) 86 ppm (15 min)	9 ppm (8 h) 35 ppm (1 h)	35 ppm (8 h) 200 ppm (15 min)	35 ppm (8 h) 200 ppm (15 min)	25 ppm (8 h)	30 ppm
Nitrogen dioxide	0.05 ppm 0.25 ppm (1 h)	0.08 ppm (24 h) 0.2 ppm (1 h)	0.053 ppm (1 yr)		1 ppm (15 min)	3 ppm 5 ppm (15 min)	5 ppm
Ozone	0.12 ppm (1 h) no long-term level	0.08 ppm (8 h) 0.1 ppm (1 h)	0.12 ppm (1 h) 0.085 ppm (8 h)	0.1 ppm (15 min)	0.1 ppm (8 h) 0.3 ppm (15 min)	0.05 ppm (8 h) 0.2 ppm (15 min)	0.1 ppm
Particle < 2.5 MMAD ^d	40 µg/m ³ (8 h) 100 µg/m ³ (1 h)		50 g/m ³ (1 yr)		5 mg/m ³ (8 h) (respirable dust)	3 mg/m ³ (8 h) (no asbestos, <1% crystalline silica)	
Sulfur dioxide	0.019 ppm 0.38 ppm (5 min)			2 ppm (8 h) 5 ppm (15 min)	2 ppm (8 h) 5 ppm (15 min)	2 ppm (8 h) 5 ppm (15 min)	2 ppm
Radon	800 Bq/m ^{3e}						
Relative humidity	30-80% (summer) 30-55% (winter)						

() Numbers in parentheses represent averaging periods

^aParts per million (10⁶)

^bAs low as reasonably achievable

^cTarget level of 0.05 ppm because of its carcinogenic effects

^dMass median aerodynamic diameter

^eMean in normal living areas

^fU.S. EPA National Ambient Air Quality Standards

^gGerman Maximale Arbeitsplatz Konzentrationen

- smjernice za određene zagađivače (s vremenom boravka)



7. Kvaliteta zraka

- Sindrom bolesne zgrade (eng. Sick Building Syndrome) je pojam koji se koristi za opisivanje zdravstvenih pritužbi osoba koje borave najčešće u uredskim i u nekim slučajevima u školskim zgradama.
- broj osoba koje prijavljuju neke simptome bolesti (iritacija očiju, grla, nosa i/ili sinusa, razdražljivost, glavobolju, umor, probleme s koncentracijom) u takvim je zgradama relativno visok (> 20%).
- jedan od značajnijih faktora koji pridonose SBS pritužbama je neodgovarajuća ventilacija (u preko 50% istraživanja, zgrade su bile slabo ventilirane – koncentracija CO₂ preko 1000 ppm).
- iste su reakcije i na pretopli zrak u zgradama.
- u istraživanjima se ne može izdvojiti pojedinačni faktor kao uzročnik prijavljenih simptoma bolesti.
- mjere poboljšanja koje se poduzimaju pri projektiranju GViK sustava – povećanje izdašnosti ventilacije, optimiranje distribucije zraka, pročišćavanje zraka, poboljšano održavanje.

7. Kvaliteta zraka

- osnovni zadaci koje treba izvršiti kako bi se osigurala zadovoljavajuća kvaliteta zraka u prostoru su:

- Osiguravanje dovoljne količine zraka za ventilaciju u svrhu razrijeđivanja koncentracije zagađivača zraka u prostoru.
- Spriječavanje razvoja mikroorganizama.
- Korištenje filtera za uklanjanje čestica, bakterija i virusa.
- Uklanjanje određenih plinovitih zagađivača fizikalnim i/ili kemijskim apsorberima.
- Primjena takve regulacije tlaka gdje se samo profiltrirani, nezagađeni zrak zadovoljavajuće kvalitete dobavlja u zonu boravka, a zagađeni zrak se odsisava neposredno iz područja zagađenja.
- Provođenje redovitog i odgovarajućeg održavanja GViK sustava za učinkovitiji pogon sustava klimatizacije.

8. Buka

- visoka razina buke štetna je za zdravlje živih bića.
- buka utječe na: disanje, spavanje, izmjenu tvari između organizma i okoliša, koncentraciju.
 - posebno značajno pri aktivnostima koje se trebaju odvijati u tišini.
- buka se širi na različitim frekvencijama – pri proračunu je bitan način sumiranja frekvencija.
 - jed. 1 dB(A) – zvučna snaga prema krivulji A iz DIN-phon dijagrama
- mogući izvori buke u građevini: koračanje, vodovodne i kanalizacijske instalacije, radio, TV, ..., **GViK sustav** (protjecanje medija kroz cijevnu/kanalsku mrežu, ventilator, kompresor),...
- dozvoljena razina buke – regulirana nizom propisa (kriteriji NC – SAD, NR - Europa), npr. po danu dnevni boravak 35 dB(A), mali ured 40 dB(A), veliki ured 55 dB(A).
- mjere za sniženje razine buke pri radu GViK sustava: smanjenje brzine strujanja medija (voda/zrak), ugradnja prigušivača.