

Univerza v Ljubljani
Fakulteta *za strojništvo*



UNIVERZA V LJUBLJANI
Fakulteta za strojništvo
Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana

POROČILO PRVE LABORATORIJSKE VAJE:

Toplotno okolje in ugodje v prostoru

Jernej KUŠAR
23242012

Klimatizacija, ogrevanje, ohlajevanje, prezračevanje

1. UVOD

V tem poročilu predstavimo določitev toplotnega ugodja v prostoru po metodi SIST EN ISO 7730 in po neposredni meritvi z merilnikom PMV-PPD indeksa ter primerjavo rezultatov. Meritve potrebne za izvedene izračune (za posredno določitev PMV/PPD indeksa) so bile izvedene na laboratorijski vaji. V predlogi laboratorijske vaje [1] so bile podane vse tabele in izračuni potrebni za izvedbo določitve ugodja. Toplotno ugodje smo določali v predavalnici IV/4 na Fakulteti za strojništvo, kjer smo prav tako izvedli vse meritve.

2. POSREDNA DOLOČITEV PMV/PPD INDEKSA

PMV indeks (Predicted Mean Vote) je indeks, ki podaja pričakovano povprečno oceno toplotnega ugodja večjega števila ljudi. Za njegov izračun po metodi SIST EN ISO 7730, moramo poznati: srednjo sevalno temperaturo, relativno hitrost zraka, temperaturo zraka, vlažnost zraka, faktor oblečenosti in konvektivno toplotno prestopnost. S temi podatki moramo nato izračunati toplotno bilanco človeka ter površinsko temperaturo obleke. Oba izračuna sta iterativna, za njun izračun smo uporabili programsko okolje Python. Vrednosti metabolizma in faktorja oblečenosti smo odčitali iz tabel v predlogi. Referenčna višina na kateri smo izvajali meritve je štela 1.1 m.

2.1 Izračun toplotne bilance človeka in površinske temperature obleke

Za izračun toplotne bilance človeka smo uporabili enačbo:

$$(M - W) = 3.97 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \left[(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4 \right] + \alpha_k \cdot f_{cl} \cdot (t_{cl} - t_z) + 3.05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6.99 \cdot (M - W) - p_z] + 0.42 \cdot [(M - W) - 58.15] + 0.0014 \cdot M \cdot (34 - t_z) + 1.73 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_z) \quad (1)$$

Kjer je M metabolizem, katerega smo v nalogi odčitali iz Tabele 1 (glej predlogo k vaji) in je W efektivna mehanska moč. f_{cl} , t_{cl} in α_k so podatki obleke, kjer je f_{cl} faktor oblečenosti pridobljen iz Tabele 2 v predlogi, je t_{cl} površinska temperatura obleke in je α_k konvektivna toplotna prestopnost. t_z in p_z sta podatka o stanju zraka, kjer je t_z temperatura zraka in je p_z delni tlak vodne pare, katerega odčitamo iz Mollierjevega diagrama z uporabo meritev mokrega in suhega termometra. Srednjo sevalno temperaturo \bar{t}_r smo določili z uporabo globus termometra in je znašala $\bar{t}_r = 23.8^\circ\text{C}$ (na globus termometru smo izmerili temperaturo 23.5°C). Vrednosti izmerjenih in odčitanih podatkov so prikazane v tabeli 1.

Tabela 1: Vrednosti parametrov uporabljenih v izračunih

Parameter	M [met]	f_{cl} [/]	$I_{cl} \left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right]$	p_z [Pa]	t_z [$^\circ\text{C}$]	v_z [m/s]	\bar{t}_r [$^\circ\text{C}$]
Vrednost	1.3	1.33	0.17	1320	23	0.1	23.8

Izračun površinske temperature obleke smo izvedli po enačbi:

$$t_{cl} = 35.7 - 0.0275 \cdot (M - W) - I_{cl} \cdot \left[-3.96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot \left[(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4 \right] + f_{cl} \cdot \alpha_k \cdot (t_{cl} - t_z) \right] \quad (2)$$

Kjer je I_{cl} izolativnost obleke, ki smo jo odčitali iz Tabele 2. Iz tabele 1, smo za stanje aktivnosti Pisarniško delo tipkanje določili vrednost metabolizma $M = 1.3$ met. Iz tabele 2 pa smo za obleko 15 odčitali vrednosti $f_{cl} = 1.33$ in $I_{cl} = 0.17 \text{ m}^2\text{K/W}$. Iz enačb (1) in (2) lahko vidimo, da sta implicitni, zato smo ju morali reševati strojno. Kot že omenjeno, smo zato uporabili programsko okolje Python, koda je objavljena na repozitoriju github, na povezavi: https://github.com/Jkusar/JK_KOOM_vaje. Po 10-ih iteracijah je program izračunal vrednost efektivne mehanske moči $W = 142.75 \text{ W/m}^2$ in površinske temperature obleke $t_{cl} = 31.46^\circ\text{C}$.

2.2 Izračun PMV in PPD indeksov

PPM in PPD sta indeksa s katerimi ocenjujemo toplotno občutje v prostoru. PMV (Predicted Mean Value) pove pričakovano povprečno oceno toplotnega okolja večjega števila ljudi, PPD pa je pričakovan odstotek nezadovoljnih (Predicted Percentage of Dissatisfied). PMV smo v tej nalogi računali z enačbo (3):

$$PMV = [0.303 \cdot \exp(-0.036 \cdot M) + 0.028] \cdot [(M - W) - 3.96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl}[(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - \alpha_k \cdot f_{cl} \cdot (t_{cl} - t_z) - 3.05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6.99 \cdot (M - W) - p_z] - 0.42 \cdot [(M - W) - 58.15] - 0.0014 \cdot M \cdot (34 - t_z) - 1.7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_z)] \quad (3)$$

Zaradi velikega števila členov enačbe, smo se zopet poslužili strojnega reševanja. Vrednost PMV za naše podatke znaša $PMV = -0.47$. Z uporabo tabele 3 na predlogi, lahko z izračunano vrednostjo PMV odčitamo, da je večini ljudi v prostoru prijetno hladno oz. nevtrarno. Naslednji korak je izračun indeksa PPD, kar smo zopet storili strojno po enačbi (4).

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0.03353 \cdot PMV^4 - 0.2179 \cdot PMV^2) \quad (4)$$

Izračun je pokazal, da je v prostoru nezadovoljnih manj kot 10 % ljudi ($PPD = 9.57\%$), kar prostor postavi v B kategorijo toplotnega okolja, po standardu SIST EN ISO 7730:2006.

3. NEPOSREDNA DOLOČITEV PMV/PPD

PMV in PPD indeks lahko določamo tudi neposredno preko merilnika PMV-PPD indeksa prikazanega na sliki 1.



Slika 1: Merilnik indeksa PMV-PPD. a) računska enota z nastavitvami aktivnosti, oblečenosti in vlažnosti zraka, ter prikazom izračunanih vrednosti. b) senzor merilnika postavljen na referenčni višini.

Z vrtljivimi gumbi najprej nastavimo raven aktivnosti, oblečenosti in vrednost delnega tlaka vodne pare v zraku. Nato nastavimo še možnost prikazovanja PMV/PPD indeksa, in vrednosti odčitamo iz številčnice. V našem primeru smo odčitali vrednosti $PMV \approx 0.5$ in $PPD \approx 10$.

4. ZAKJUČEK

V poročilu smo povzeli dva načina računanja toplotnega ugodja v prostoru – posreden način z uporabo Fangerjevih enačb, definirane v standardu SIST EN ISO 7730:2006 ter neposreden način z uporabo merilnika indeksov PMV-PPD. Rezultat obeh metod se je nekoliko razlikoval, vrednost PMV indeksa določenega z posredno metodo je znašala $PMV = -0.46$ medtem, ko smo z merilnikom dobili vrednost $PMV = 0.5$. PPD vrednosti sta za obe metodi zelo primerljivi, za merjen prostor smo ocenili $PPD = 10\%$. Neskladanje v izračunanih in izmerjenih vrednostih PMV indeksa smo pripisali napaki v iterativnem računu in napakam pri izvedbi eksperimentalnih meritev. Poleg tega je določitev f_{cl} , I_{cl} in M precej nenatančna.

5. VIRI

- [1] Prek Matjaž, "Predloga laboratorijske vaje: TOPLOTNO OKOLJE IN UGODJE V PROSTORU 1," 2013, *Ljubljana*.