

**UNIVERZITET U KRAGUJEVCU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
ČAČAK**

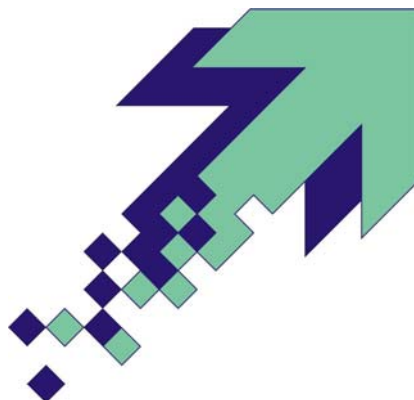


INTERNI IZVEŠTAJ

**SISTEM ZA MONITORING TOPLOTNE
KOMFORTNOSTI U RADNOM I
ŽIVOTNOM PROSTORU**

**PROJEKAT TR32043
MINISTARSTVO PROSVETE, NAUKE I TEHNOLOŠKOG RAZVOJA**

LABORATORIJA ZA RAČUNARSKU TEHNIKU



**ČAČAK
2013.**



SISTEM ZA MONITORING TOPLOTNE KOMFORNOSTI U RADNOM I ŽIVOTNOM PROSTORU

Toplotni komfor predstavlja skup mikroklimatskih uslova pod kojima se čovek oseća ugodno. Osećaj temperaturne komfornosti zavisi od brojnih faktora koji se mogu podeliti na personalne faktore i ambijentalne faktore. Personalni faktori zavise od aktivnosti koju osoba obavlja (ležanje, sedenje, kretanje), uzrasta, pola i fizičkog stanja osobe, kao i od načina odevanja. Ambijentalni faktori obuhvataju faktore koji mogu uticati na osećaj temperaturne komfornosti, a da nisu direktno vezani za čoveka. Oni obuhvataju temperaturu i vlažnost vazduha, brzinu strujanja vazduha i toplotno radijaciono zračenje. Temperatura vazduha predstavlja parametar na osnovu koga telo sa lakoćom može definisati razliku između termički komfornih i nekomfornih uslova. Za razliku od temperature, čovekov organizam nije u stanju da detektuje promenu relativne vlažnosti vazduha koja značajno može da utiče na osećaj temperaturne komfornosti. Primarni mehanizam za regulaciju telesne temperature baziran je na transpiraciji vode putem kože na osnovu kojeg se telo oslobađa suvišne toplote. Ukoliko relativna vlažnost vazduha postane previše visoka, koža neće biti u stanju da se oslobađa viška tečnosti kako bi se telo rashladilo. Zbog ovog efekta čovek oseća višu temperaturu od realne, što dovodi do znojenja, a u ekstremnim uslovima može dovesti do toplotnog udara. U slučaju niske relativne vlažnosti koža će mnogo lakše da gubi vlagu, što će usled isparavanja čoveku stvoriti utisak niže temperature od realne. To dovodi do isušivanja kože, a u ekstremnim uslovima može da dovede do smrzavanja. Strujanje vazduha povećava oslobađanje toplote sa čovekove kože, jer pospešuje transpiraciju vode kroz kožu, što dovodi do osećaja niže temperature od realne. Toplotno radijaciono zračenje predstavlja zračenje koje potiče od toplotnih izvora i ono sprečava oslobađanje toplote preko kože što dovodi do osećaja povećane temperature od realne. Skala temperaturne komfornosti definisana je internacionalnim standardom ISO7730, kao skala sa sedam stanja temperaturne komfornosti baziranih na toplotnom balansu ljudskog tela (tabela 1).



Tabela 1. Skala temperaturne komfornosti

Vrednost	Opis
+3	Vruće
+2	Toplo
+1	Umereno toplo
0	Normalno
-1	Umereno hladno
-2	Hladno
-3	Vrlo hladno

Standard definiše predviđenu srednju ocenu temperaturne komfornosti, *PMV* (eng. Predicted Mean Vote), koja predstavlja srednju vrednost glasova populacije na sedmostepenoj skali temperaturne komfornosti. Srednja ocena temperaturne komfornosti nalazi se preko toplotnog balansa ljudskog tela koji predstavlja razliku toplote generisane metaboličkim procesom MW i sume toplotnih gubitaka koje ljudsko telo predaje okolini $\sum H_i$.

$$PMV = T_s \cdot (MW - \sum H_i) \quad (1)$$

Kako bi se na bazi toplotnog balansa došlo do srednje ocene temperaturne komfornosti koristi se transformacioni koeficijent temperaturne komfornosti T_s koji se izračunava prema sledećoj formuli:

$$T_s = 0.303 \cdot e^{-0.036M} + 0.028 \quad (2)$$

Metabolička toplota jednaka je razlici metaboličke snage M i spoljašnjeg rada koje ljudsko telo obavlja W . Toplotni gubici potiču od skupa termodinamičkih procesa koji se odvijaju između ljudskog tela i njegove okoline i mogu se podeliti u šest kategorija:

- Toplotni gubici kondukcijom kroz kožu H_1
- Toplotni gubici usled znojenja H_2
- Gubitak latentne toplote disanjem H_3
- Gubitak toplote disanjem H_4
- Toplotni gubitak usled zračenja toplote H_5
- Toplotni gubitak usled konvekcije H_6

Metabolička snaga M , zavisna je od fizičke aktivnosti, čiji nivoi snage su definisani standardom ISO8996, a neki od osnovnih nivoa aktivnosti prikazani su u tabeli 2, gde Met predstavlja indeks metaboličke aktivnosti.



Tabela 2. Nivoi metaboličke aktivnosti

Metabolička aktivnost	Metabolička toplotna snaga	
	W/m ²	Met
Ležanje	46	0.8
Sedenje	58	1.0
Rad u kancelariji	70	1.2
Stajanje	93	1.6
Lakši fizički rad	116	2.0
Šetanje 3km/h	140	2.4
Šetanje 4km/h	165	2.8
Šetanje 5km/h	200	3.4

Način odevanja značajno utiče na osećaj temperaturne komfornosti, pa se stoga definiše toplotni izolacioni koeficijent odeće CLO koji je definisan standardom ISO9920, a neke od osnovnih vrsta odeće i odgovarajućih vrednosti toplotnog izolacionog koeficijenta odeće prikazani su u tabeli 3.

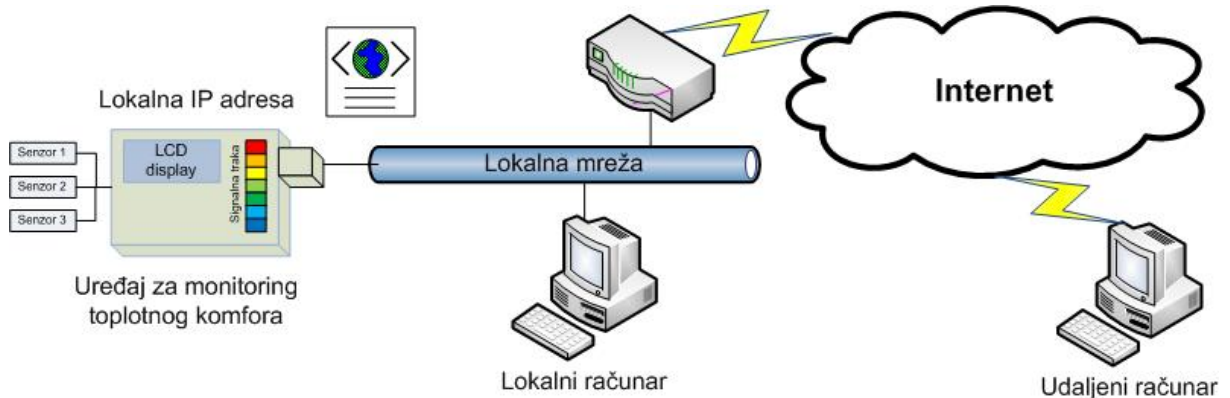
Tabela 3. Izolacioni koeficijenti odeće

Odeća	Izolacioni koeficijent odeće	
	m ² K/W	CLO
Bez odeće	0.00	0.0
Letnja odeća (šorts, majica, sandale)	0.05	0.3
Letnja odeća (pantalone, majica, cipele)	0.08	0.5
Prolećna odeća (pantalone, košulja, cipele)	0.11	0.7
Zimska odeća (pantalone, džemper, jakna, cipele)	0.20	1.3

Srednja ocena temperaturne komfornosti predstavlja srednju vrednost glasova. Pri tome neophodno je znati i procenat populacije čiji glasovi značajno odstupaju od normalne vrednosti indeksa toplotne komfornosti, kojima predviđena srednja ocena temperaturne komfornosti neće odgovarati. U grupu populacije nezadovoljne procenjenom ocenom temperaturne komfornosti spadaju oni kojima su procenjeni uslovi vrući, topli, sveži ili hladni. Procenat populacije koji spada u grupu nezadovoljnih procenom temperaturne komfornosti nalazi se pomoću sledeće formule:

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-0.03353 \cdot PMV^4 - 0.2179 \cdot PMV^2} \quad (3)$$

Uređaj predstavljen ovim tehničkim rešenjem klijentima pruža informacije o vrednostima parametara toplotne komfornosti, PMV i PPD, na zahtev klijenta putem HTTP protokola. Blok šema upotrebe realizovanog uređaja u lokalnoj mreži prikazana je na slici 1.



Slika 1. Pristup uređaju za monitoring toplotne komfornosti u lokalnoj mreži

Uređaj je moguće implementirati u okviru lokalne mreže i pristupati mu sa nekog od računara u mreži ili ako uređaj poseduje javnu IP adresu moguće mu je pristupati sa bilo koje lokacije u svetu koja ima pristup Internetu. Uređaj ima i lokalni prikaz vrednosti sa senzora na LCD displeju kao i vrednost komfora na sedmostepenoj skali toplotne komfornosti uključivanjem LED diode odgovarajuće boje.

Uređaj za monitoring toplotne komfornosti realizovan je kao nezavisan uređaj koji je zasnovan na osmobitnom Microchip PIC 18F4620 mikrokontroleru. PIC 18F4520 je 40-pinski RISC mikrokontroler sadrži 64 KB Flash memorije, 3.875 KB RAM memorije i 1024 B EEPROM memorije. On može raditi na taktu do 40 MHz na kojem postiže performanse od 10 MIPSa. Mikrokontroler poseduje dva komparatora, 10bitni A/D konvertor sa 13 analognih ulaza i niz digitalnih magistrala. Namenjen je za rad u naponskom opsegu od 4.2 do 5.5V, dok potrošnja struje iznosi oko 25mA.

Za merenje temperature i relativne vlažnosti vazduha koristi se SHT11 digitalni senzor. Ovaj senzor se sastoji iz kapacitivnog senzorskog elementa za merenje relativne vlažnosti, silicijumskog senzora za merenje temperature i komunikacionog interfejsa za SMBus magistralu. Svaki SHT11 senzor je individualno kalibrisan u komori sa precizno regulisanom vlažnošću vazduha pri čemu su kalibracioni koeficijenti smešteni u internoj memoriji senzora. SHT11 senzor odlikuje jako niska potrošnja električne energije od 3mW u radnom i 5 μ W u neaktivnom režimu, dok se napon napajanja senzora može kretati u granicama od 2.4 do 5.5V.

Merenje radijacione temperature se obavlja preko DS18B20 digitalnog senzora koji je direktno izložen radijacionom zračenju okoline. Ovaj poluprovodnički senzor namenjen je za



merenje temperature u opsegu -55°C do $+125^{\circ}\text{C}$, dok u opsegu od -10°C do $+85^{\circ}\text{C}$ postiže tačnost od $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Senzor poseduje 12-bitni A/D konvertor kojim mu obezbeđuje rezoluciju merenja temperature sa korakom od 0.0625°C . Sa mikrokontrolerom se povezuje preko OneWire digitalnog interfejsa, koji zahteva samo jednu komunikacionu liniju. Senzor DS18B20 se odlikuje vrlo niskom potrošnja električne energije od 5mW u radnom i $5\mu\text{W}$ u neaktivnom režimu, dok se napon napajanja senzora može kretati u granicama od 3 do 5.5V .

Anemometar predstavlja opcioni senzor ovog uređaja i koristi se za merenje brzine strujanja vazduha u zatvorenom prostoru, odnosno brzine vetra na otvorenom prostoru. Uređaj se može koristiti sa anemometrima sa šoljicama ili ultrazvučnim anemometrima, kod koga smer strujanja vazduha ne utiče na promenu očitavanja brzine strujanja vazduha. Izlaz anemometra može biti analogan ili digitalan, stoga u uređaju postoji kratkospojnik koji izlaz anemometra dovodi na analogni ili digitalni ulaz. Kod anemometra sa analognim izlazom, vrednost izlaza je direktno proporcionalna brzini strujanja vazduha, dok je kod digitalnog anemometra frekvencija signala direktno proporcionalna brzini strujanja vazduha. Analogni ulaz se kratkospojnikom povezuje sa ulazom A/D konvertoira mikrokontrolera, dok se digitalni ulaz kratkospojnikom povezuje sa brojačem mikrokontrolera.

Interakcija korisnika sa uređajem omogućena je korišćenjem komunikacione kartice koja mu obezbeđuje interfejs ka Ethernet mrežama. Kartica je zasnovana na ENC624J40 primopredajniku za 10BaseT/100BaseTX Ethernet komunikaciju. Ona poseduje i odgovarajuću RJ-45 Ethernet priključnicu sa izolacionim transformatorima. Signalizacija uspešno uspostavljene Ethernet veze, kao i aktivnosti na Ethernet mreži signaliziraju se preko dve LED diode. Korišćenjem tastera koji se nalazi u uređaju, moguće je restartovati uređaj sa fabričkim podešavanjima.

Vizuelna interakcija sa korisnikom moguća je i preko LCD displeja i sedmostepene LED skale toplotne komfornosti. LCD displej predstavlja alfanumerički displej kapaciteta 2×16 karaktera, na kojem se ciklično prikazuju vrednosti izmerenih ambijentalnih parametara, kao i vrednosti izračunate toplotne komfornosti. Sedmostepena LED skala toplotne komfornosti, predstavlja niz od sedam trobojnih LED dioda, čijim uključivanjem se odgovarajućom bojom korisniku vizuelno prikazuje vrednost temperaturnog komfora. Boje



koje prikazuje skala, dobijene su mešanjem osnovnih boja crvene, plave i zelene LED diode u odgovarajućim odnosima.

Softverska podrška za uređaj realizovana je u programskom jeziku C pomoću razvojnog okruženja MikroC PRO za PIC mikrokontrolere. MikroC PRO predstavlja razvojni alat koji omogućava jednostavno razvijanje aplikacija, programiranje i analizu rada aplikacija za PIC mikrokontrolere. MikroC PRO sadrži više biblioteka koje se mogu koristiti da bi se ubrzao razvoj softvera, posebno onih delova koji se odnose na prikupljanje podataka, memoriju, prikaz podataka na displeju, komunikaciju, konverziju i sl. Posebno važna biblioteka koja se koristi u ovom softverskom rešenju je SPI_Ethernet biblioteka koja omogućava realizaciju Web servera na PIC mikrokontroleru. Pri tome se koristi rutina SPI_Ethernet_doPacket() koja procesira pristigle Ethernet pakete. Pri tome je takođe u kodu postavljeno da aplikacija osluškuje TCP zahteve na portu 80. Kada se dobije TCP zahtev poziva se interno od strane biblioteke funkcija SPI_Ethernet_UserTCP() koja vrši dalje procesiranje. Sadržaju HTTP zahteva pristupa se koristeći SPI_Ethernet_Get rutinu. Na kraju da bi se formirao odgovor podaci se postavljaju u prenosni bafer koristeći SPI_Ethernet_Put rutinu. Funkcija treba da vrati broj bajtova od HTTP odgovora ili nulu ako nema podataka za prenos u vidu odgovora.

Softversko rešenje na PIC mikrokontroleru u osnovi sadrži funkcije za čitanje vrednosti mernih veličina sa prikačenih senzora (SHT11), kao i funkcije koje će na osnovu zadatih i izmerenih parametara izračunati indekse toplotne komfornosti, PMV i PPD. Pored dela softvera koji je zadužen za procesiranje HTTP zahteva uređaj ima softversku podršku za samostalnu indikaciju o uslovima ambijentalnog komfora. Vrednosti izmerenih veličina mogu biti ažurno prikazane na LCD displeju uređaja dok odgovarajuća programska logika je zadužena da na osnovu predefinisanih parametara vrši indikaciju preko sedmostepene LED skale o trenutnim uslovima u ambijentu.

Tokom sprovedenog istraživanja došlo se do određenih rezultata koji su prikazani u sledećim publikacijama:

- [1] Dušan Marković, Uroš Pešović i Siniša Randić, “*Sistem za monitoring toplotne komfornosti u radnom i životnom prostoru*”, YU INFO 2012, Kopaonik





Projekat:**Verzija: 1.01**

“Razvoj i modelovanje energetske efikasne, adaptibilne, višeprocorske i višesenzorske elektronske sisteme male snage”**TR32043**

Laboratorija za računarsku tehniku**Datum: 14. februar 2013**

- [2] Uroš Pešović, Dušan Marković, Željko Jovanović i Siniša Randić, “*System for thermal comfort monitoring in working and living environment*“, ICEST 2012, Veliko Trnovo, Bugarska

