

EKSPERIMENTALNA I NUMERIČKA ANALIZA TERMIČKOG KOMFORA U STAMBENOM OBJEKTU**EXPERIMENTAL AND NUMERICAL ANALYSIS OF THERMAL COMFORT IN A RESIDENTIAL BUILDING**Gabor Berec, Aleksandar Anđelković, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast- MAŠINSTVO**

Kratka sadržaj – U radu je urađeno merenje i analiza pokazatelja termičkog komfora. Merenje uključuje i eksperimentalnu i numeričku analizu. Parametri koji su bili predmet analize su temperatura po svom termometru, brzina strujanja vazduha i relativna vlažnost u prostoriji. Pored merenja navedeni su osnovni principi numeričke analize i teorijske osnove računarske dinamike fluida. Urađen je i opis mernih uređaja, koji su korišćeni za eksperimentalnu analizu sa detaljnim objašnjenjem pravila merenja prema standardima. Dobijeni rezultati su detaljno protumačeni i uređena je uporedna analiza.

Ključne reči: Eksperimentalna analiza, numerička analiza, klimatizacija, termički komfor

Abstract – This paper involves the analysis and measurements of thermal comfort indicators. The paper includes both experimental measurements and numerical analysis in the form of a computational fluid dynamics. The measured parameters were the dry bulb temperature, the velocity of the airflow, mean radiant temperature and the relative humidity in the room. In addition to measurements, the basic principles of numerical analysis and the theoretical basis of computational fluid dynamics had been interpreted. A description of the measuring devices, which were used for the experimental part, was also made with a detailed explanation of the measurement method according to the standards. The measurement results were interpreted in detail and a comparative analysis was made.

Keywords: Experimental analysis, numerical analysis, climatisation, thermal comfort

1. UVOD

Kao nastavak istraživanja u mom bachelor radu, sada će se uvesti i praktično merenje uslova termičkog komfora u prostoriji paralelno sa računarskim modelovanjem i CFD analizom. Navešće se važniji segmenti metodologije merenja u klimatizaciji i praktične, korisne načine na koje merenja mogu da se izvedu.

Biće reči i o samim uređajima, pomoću kojih se meri, o njihovim karakteristikama i opsezima merenja. U parametre, koje će se meriti spada brzina strujanja vazduha, temperatura, i relativna vlažnost.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Aleksandar Anđelković, docent.

Merenje navedenih veličina će se izvesti u više tačaka raspoređenih u prostoru, sa posebnom pažnjom na poziciju gde osobe borave.

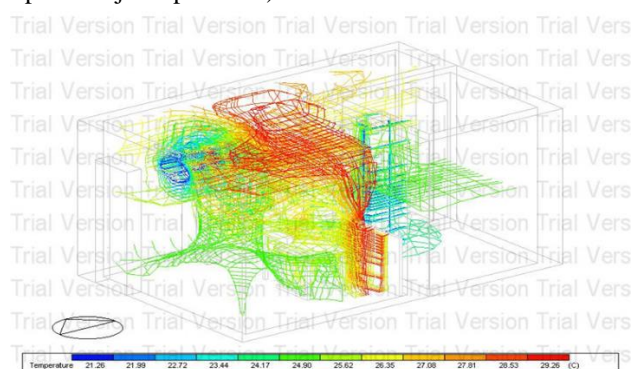
Pored praktičnih merenja u prostoriji podrazumeva se i izrada 3D modela prostorije u softverskom paketu i analiza spomenutih komfornih uslova u virtualnom prostoru. Za računarsku simulaciju, koristiće se podešavanja, koji su najbliži uslovima dana, kad su se vršila praktična merenja (temperatura, osunčanost, vlažnost vazduha, brzina vetra).

Za prezentaciju rezultata, poslužiće slike dobijene iz CFD analize, kao i rezultati dobijenih brzina i temperatura ubačenog vazduha, koje zadovoljavaju korisnike. Takođe će se priložiti rezultati stvarnih merenja sa mernim instrumentima. Iz ovih baza podataka se lako može dokazati da u pojedinim tačkama prostora (prvenstveno se misli na mesta gde ljudi borave) koliko se razlikuju izmereni podaci i izračunati podaci iz softvera.

2. NUMERIČKA ANALIZA

Računarska dinamika fluida je osnovni alat za numeričku analizu u klimatizaciji, a u našem slučaju se koristi softverski paket Design Builder. Ovaj program poseduje mogućnost pravljenja 3D modela ili importovanje istog iz nekog naprednijeg softvera, kao što je Revit.

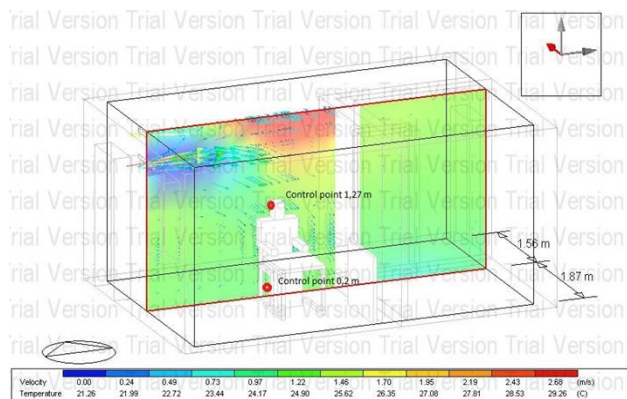
U CFD analizi radi uštede na računskoj snazi i vremenu potrebnog za proračune, koriste se pojednostavljeni geometrijski oblici distributivnih rešetki za vazduh i unutrašnji objekata u prostoriji, kao nameštaj i telo čoveka. Na sledećoj slici se može videti trodimenzionalna slika raspored toplijeg i hladnijeg vazduha u prostoriji. Naglasak sa konturama dobija vazduh, koji se kreće određenom brzinom a ne miruje. Jasno se može videti na slici položaj toplotnog opterećenja i klima uređaja (crvena i plava boja respektivno).



Slika 1 3D strujna slika

Na sledećoj slici se može videti položaj čoveka u sedećem položaju i sa položajem kontrolne tačke pri analizi. Prva tačka je na 1,27m a druga tačka na 0,2m od poda.

Na razmaku između ove dve tačke može da se ustanovi da li postoji vertikalna razlika temperature, koja utiče negativno na osećaj termičkog komfora u prostoriji.



Slika 2 Položaj kontrolnih tački u modelu

3. OSNOVNI PRINCIPI EKSPERIMENTALNOG MERENJA

- Da bi se u jednoj prostoriji, izmerili termički pokazatelje unutrašnje klime merenja moramo izvoditi na mestima, gde ljudi provode značajan deo svog vremena, sedeći ili stojeći. Za definisanje mernih mesta i načina, na koji se izvode merenja poslužiće se prevod delova ASHRAE Thermal Comfort Standard 55 iz 2017.:

Za merenje se uzimaju mesta u prostoriji na kojima je najveća verovatnoća da će se ljudi boraviti. U slučaju da se ne mogu odrediti takva mesta, uzima se geometrijska sredina te prostorije ili

1 metar od centra svakog zida prostorije. U slučaju da je reč o spoljnom zidu sa prozorom/prozorima merenje se pozicionira 1 metar od centra najvećeg prozora.

Merenja se moraju izvesti dovoljno udaljeno od granice zona boravka.

Apsolutnu vlažnost je dovoljno izmeriti u jednoj tački u prostoriji, dok relativna vlažnost mora da se meri u svim tačkama.

Visina mernih mesta za temperaturu i brzinu strujanja, mereno od poda:

- 0,2 m
- 0,6 m
- 1,27 m

Za dobijanje prosečne brzine strujanja vazduha, potrebno je merenja izvršiti na svakih 3 minuta u mernom periodu.

Za dobijanje veličinu fluktuacije unutrašnje temperature ili dobijanje prosečne temperatura u mernom periodu, potrebno je merenja izvršiti na svakih 5 minuta u mernom periodu, i pomoću jednačine za intenzitet promene (stepeni po satu). Intenzitet promene

$$\text{Intenzitet prom.} \left(\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{h}} \right) = 60 \cdot \frac{t_{0,\text{max}} - t_{0,\text{min}}}{\text{vreme (min)}}$$

U podacima merenja treba navesti i sledeće podatke:

Količina vazduha, koja se dovodi mehaničkim putem u prostoriju – u slučaju da postoji mehanički sistem za ventilaciju, razlika unutrašnje i temperature rashladnog

vazduha, brzina ulazne vazdušne struje, mesto i veličina izlazne rešetke, vrsta ventilacionog sistema, temperatura graničnih površina prostorije, temperature polazne i povratne vode u rashladnom sistemu.

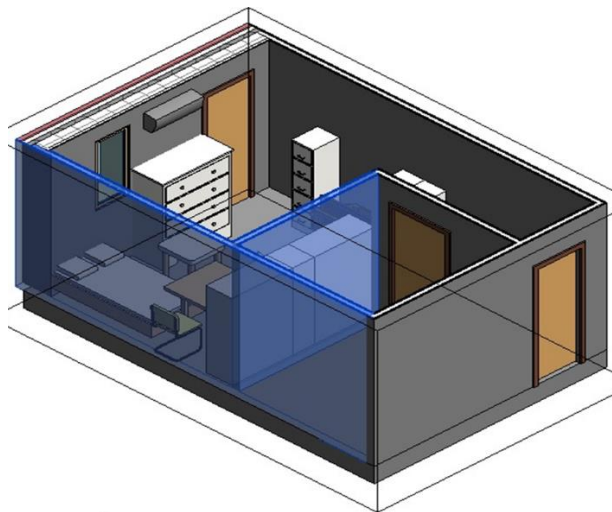
4. EKSPERIMENTALNO MERENJE

Za izvođenje merenja termičkih uslova komfora u datoj prostoriji, bilo je potrebno formirati jednu mernu stanicu, koja se postavlja na poziciju, gde će se prema pretpostavkama boraviti osoba. Vrednosti koji će se meriti su temperatura, brzina strujanja vazduha, relativna vlažnost vazduha, prosečna temperatura ozračenja

U ove svrhe izabrani su sledeći uređaji:

- Testo 435 – uređaj za merenje temperature i brzine strujanja vazduha (na principu užarene niti)
- Testo 177 H1 – uređaj za merenje vlažnosti vazduha i temperature.
- Trotec BP 15 – infracrveni termometar
- Arduino UNO CH430 R3 sa termistorom tip VU NTC 100k 3950 koja je smeštena u crnoj lopti za stoni tenis i simulira apsolutno crno telo, koja upija svo zračenje okolnih površina.

Prostorija, koja će biti predmet ove analize je korisne površine 23,8 m², i sa 3 strane je zaokružena grejanim unutrašnjim zidovima, a sa jedne strane se nalazi otvorena terasa i izolovani spoljni zid. Prostorija je u dovoljno velikoj meri zatvorena i otvori prema spoljnoj sredini se nalaze samo sa jedne strane.



Slika 3 Prostor, koji se analizira (Revit model)

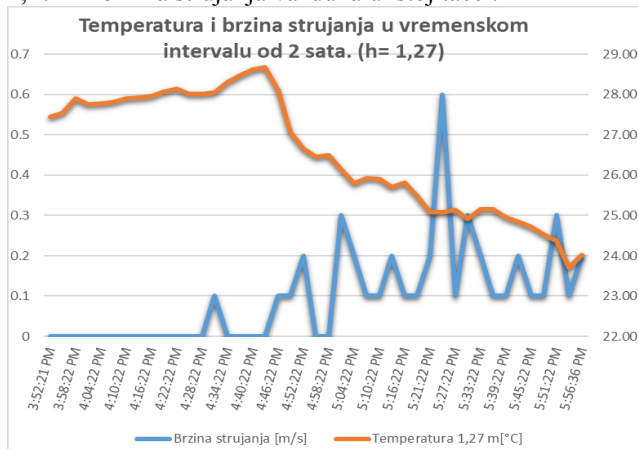
Spoljni zidovi prostorije su građeni od termo bloka sa izolacijom od stiropora debljine 12 cm. Prozori i vrata su PVC sa jednokomornim staklima. Podaci ovih konstrukcija su unešeni i u softverska podešavanja, da bi se dobili odgovarajući polazni podaci koeficijenta prolaza toplote (tzv. U-value). Kao spoljašnji vremenski uslovi zadati su 'Weather File' za Novi Sad sa merne stanice Rimski Šančevi.

Merenja su se izvodila na posebno postavljenom mernom štandu i fiksirani su na potrebne visine.



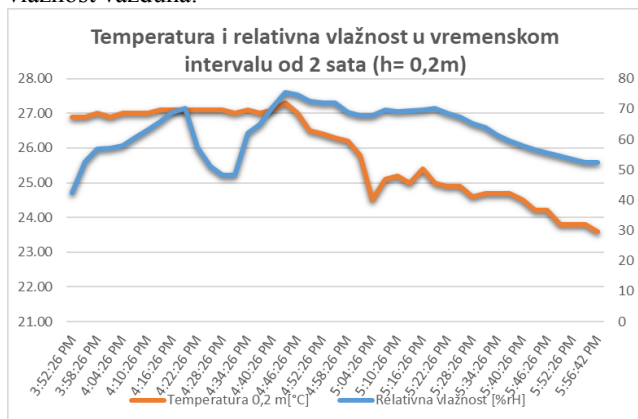
Slika 4 Raspored mernog štanda

Rezultati merenja pomoću uređaja Testo 435. To su temperatura po suvom termometru, izmerena na visini od 1,27 m i brzina strujanja vazduha u istoj tački.



Dijagram 1 Rezultati dobijeni na Testo 435

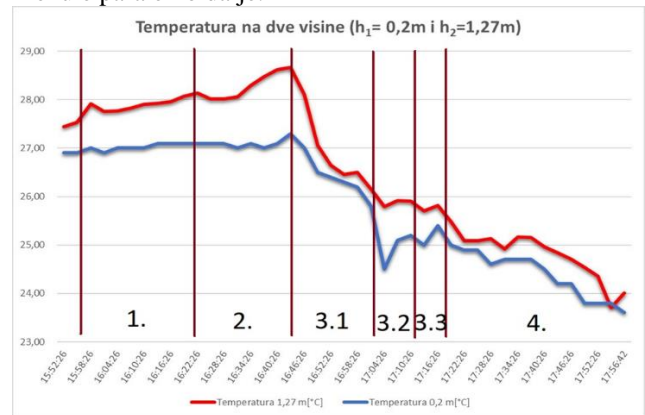
Rezultati na sledećem dijagramu su dobijeni pomoću uređaja Testo 177. To su temperatura po suvom termometru izmerena na visini od 0,2 m i relativna vlažnost vazduha.



Dijagram 2 Rezultati dobijeni na Testo 177-H1

Posmatrajmo dijagram promene temperature u toku vremena, na kojem dosta tačno mogu se odrediti tačke kada su se dešavale promene. Na grafikonu su dve linije, koje označavaju dve različite visine senzora. Ako povučemo vertikalne linije, možemo prepoznati kad su otvorena spoljna vrata i kad je uključen klima uređaj. Dok je temperatura rasla i nije bio uključen klima uređaj, temperaturno polje je delimično bio stratifikovan. To

znači da na osnovu razlike u gustinama toplijeg i hladnijeg vazduha definišu se slojevi. Tako je moguće videti da između linije postoji veći razmak do te tačke. Tokom prirodne ventilacije u početku je temperatura krenula naviše, nažalost se ovaj proces prirodne ventilacije je završen posle 10 minuta i uključilo se klima uređaj. Ova akcija je takođe jasno vidljiva i na dijagramu takođe, pošto je temperatura posle uključivanja klima uređaja, jasno krenula da pada, i šta je još važnija, slojevi vazduha su krenuli da se pomešaju. Ovo je uticalo na razliku temperature koja je sada smanjena i linije su krenule paralelno dalje.



Dijagram 3 Veza temperatura na dve visine

Prosečna temperature ozračenja je veoma značajan faktor u određivanju termičkog komfora jedne prostorije. Na primer u letnjem periodu, kada se prostorije hlade, potrebno je da prođe određeni period dok se pored unutrašnjeg vazduha, ohladi se i termalna masa u prostoriji. Pod termalnom masom se misli na zidove, podove, plafone, okolne površine, nameštaja i ostalih čvrstih tela u prostoriji.

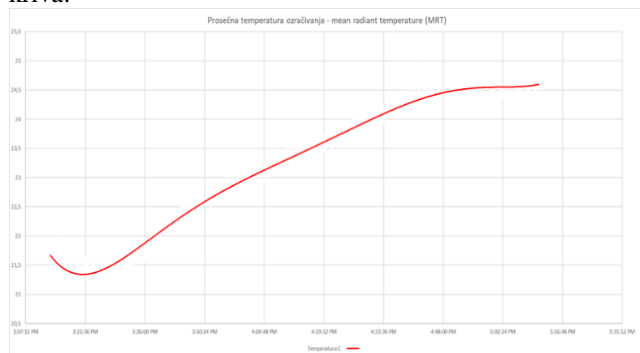
Za merenje prosečne temperature ozračenja, služio je Arduino UNO sa odgovarajućim termistorom i stalkom za merenje. Ofarbana loptica simulira apsolutno crno telo, koja upija svo zračenje u prostoriji i preuzima odgovarajuću temperaturu okolnih površina. Termistor se nalazi u loptici za stoni tenis koja je fiksirana na stalak i podignuta je na visinu čovekove glave pri sedenju. Postavljeni merni štand je prikazan na slici 5.



Slika 5 Merni štand za određivanje MRT

Da bi se dobila stvarna vrednost prosečne temperature ozračenja potrebno je pratiti očitane vrednosti i crtati dijagram od ovih vrednosti. Kad kriva prelazi u horizontalan, ili bar približno horizontalan položaj, merenje se može zaustaviti. To znači da se crna kugla u potpunosti prilagodila unutrašnjim uslovima. To je važno i u slučaju da se pre eksperimenta kugla nalazila na ekstremno toplom ili ekstremno hladnom mestu.

Dalje oscilacije temperature se mogu tumačiti kao promene spoljašnjih uslova u toku vremena. Brzo zaoblacjenje napolju ili promena unutrašnjih uslova može da izazove dalje promene u dijagramu prosečne temperature ozračenja u vremenu. Na kraju merenje dobila se sledeća kriva:



Dijagram 4 Prosečna temperatura ozračenja

Rezultat merenja je da prosečna temperatura ozračenja iznosi: 24,53 °C. Pri tom unutrašnja temperatura po suvom termometru iznosila: 25,3 °C. Spoljna temperatura je bila: 25,6 °C (sunčano). Relativna vlažnost iznosila: 65%
Napomena:

Korišćeni termistor NTC 100k 3950 za određivanje prosečne temperature ozračenja nije baždaren niti je optimalno kalibrisan, moramo uzeti u obzir grešku pri merenju koja može da iznosi i do +/-1 oC prema fabričkim podacima ovih termistora.

Pri merenju vrednosti se variraju na svakih 5-10 očitavanja za maksimalnih 0,4-0,5 °C. Iz ovih razloga prikazana kriva je aproksimacija dobijenih rezultata pomoću polinoma 6. stepena.

Dobijeni podaci se unesu u kalkulator termičkog komfora, univerziteta California Berkley, koja računa pomoću standarda ASHRAE 55 iz 2017. i EN15251 iz 2006.

Dodatno se uvrsti nivo oblačenosti "clo" i nivo metaboličke aktivnosti "met", koje iznose:

Metabolička aktivnost= 1 met (sedeći položaj, mirno)
Oblačnost=0,61 (bluza dugih rukava, duge pantalone),
dobijaju se sledeći rezultati ocene termičkog komfora:
Prema ASHRAE 55 PPD=5% , PMV= -0,05 koja odgovara kriterijumima ovog standarda. Prema EN15251 PPD=5% , PMV=-0,07. i tako spada u prvu kategoriju termičkog komfora.

5. ZAKLJUČCI

Pri upoređivanju rezultata dobijenih iz eksperimenta i pomoću računarske analiza, najznačajniji je zaključak da trajanje eksperimenta treba da bude duži. Način izvođenja ovog eksperimenta iziskuje da se instrumentalno merenje obavlja prvo iz razloga što spoljne uticaje (kao što su osunčanost, temperatura, vlažnost vazduha, brzina vetra) je nemoguće pogoditi unapred.

Instrumentalno merenje je bilo vremenski ograničeno, međutim pokazatelji su se vidljivo i jasno menjali usled različitih promena u kontrolnom prostoru. Posle toga su se radile računarske simulacije koje za svaki period merenja su pokazali veću vrednost od instrumentalnog merenja u slučaju da se temperatura povećava ili manju vrednost u slučaju da se temperatura smanjila. Glavni razlog ovog odstupanja je u vremenskom periodu instrumentalnog merenja. Za dobijanje rezultata koja su bliže rezultatima dobijenih pomoću simulacija potrebno je da instrumentalno merenje traje dosta duže da bi se akumulirana toplota u unutrašnjim objektima takođe rasipala. Akumulaciona masa koja se nalazi u prostoru, produžava odziv sistema i čini ga inertnim.

Ova činjenica stvara još jednu otežavajuću okolnost pri izvođenju instrumentalnog dela merenja. Ako se merenje radi dovoljno dugo, da bi se dobili ustaljeni vrednosti za temperaturu i vlažnost vazduha, spoljni uticaj će se promeniti što iziskuje ponovno menjanje unutrašnjih uslova. Na primer naoblacjenje, neočekivano pojačanje vetra, promena temperature, kiša. Za izvođenje eksperimenta treba odabrati vremenski period u toku dana kada se očekuje najmanja promena spoljnih uticaja. Prilikom odabira ovog perioda može se oslanjati na kratkoročnu vremensku prognozu za taj dan.

6. LITERATURA

- [1] <http://comfort.cbe.berkeley.edu/>, 22.10.2019.
- [2] Standard Well V2 for buildings 2018
- [3] Standard EN 15251:2006 Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics.
- [4] Standard BS EN 16798-1:2019 Energy performance of buildings – Ventilation for buildings
- [5] ASHRAE Standard 55-Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. 2017.
- [6] Mohammad H. Hosni, Ph. D., Byron W. J, Ph.D, Hanming Xu. 1999. Experimental Results for Heat Gain and Radiant/Convective Split from Equipment in Building. ASHRAE Journal

Kratka biografija:



Gabor Berec rođen je u Novom Sadu 1993. god. Završio Tehničku Školu u Adi 2012. godine, iste godine upisao osnovne akademske studije na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Mašinstva – Energetika i procesna tehnika. Odbranio diplomski rad na temu Uperedna analiza metoda distribucije vazduha pri klimatizaciji 2016. god. Trenutno student master studija na smeru Energetika i procesna tehnika.