

ISTRAŽIVANJE TOPLOTNIH USLOVA U KABINAMA POLJOPRIVREDNIH TRAKTORA**RESEARCH OF THERMAL CONDITIONS IN CABINS OF AGRICULTURAL TRACTORS**

Damir Homa, Dragan Ružić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast - MAŠINSTVO

Kratak sadržaj – U radu je prikazano istraživanje toplotnih uslova u kabinama poljoprivrednih traktora. Rad se zasniva na terenskom ispitivanju, gde su se merile veličine koje su od značaja na toplotni komfor u traktorskoj kabini. Da bi se toplotni uslovi mogli uporediti u različitim traktorima, bilo je potrebno da se izračuna PMV indeks. Dobijeni rezultati su pokazali da samotraktor opremljen klima-uređajem može da ostvari zadovoljavajuće mikroklimatske uslove u kabini.

Ključne reči - Traktor, toplotni uslovi u kabini, mikroklima, toplotni osećaj, toplotni komfor, klima uređaj

Abstract – This paper presents the research of thermal conditions in the cabins of agricultural tractors. This paper is based on in-field experiment, where values that are important for the thermal comfort in the tractor cab were measured. In order to be able to show the thermal conditions in different tractors, it was necessary to calculate the PMV index. The obtained results showed that only a tractor with air-condition can achieve satisfactory microclimatic conditions in the cabin.

Keywords: Tractor, thermal conditions in the cabin, microclimate, thermal sensation, thermal comfort, air-conditioner

1. UVOD

Kabina traktora je zatvorenog oblika i zbog toga u njoj može nastati nedovoljno kvalitetno okruženje, a samim tim nastaje i osećaj lošeg komfora. Loš komfor ima uticaj na sposobnost i zdravlje traktoriste.

Na komfor putnika utiče više faktora koja se mogu podeliti u tri grupe: ambijentalni faktori, dinamički faktori i prostorni faktori. U ambijentalne faktore spada mikroklima, kvalitet vazduha, buka, promena pritiska, u dinamičke vibracije, udari i ubrzanja, a u prostorne faktore ergonomija putnika.

Cilj eksperimentalnih istraživanja predstavljenih u ovom radu jeste vrednovanje toplotnih uslova u kabinama poljoprivrednih traktora različite opremljenosti i konstrukcije. Na osnovu rezultata analizirane su zavisnosti konstrukcije, spoljašnjih uslova i režima rada i date su preporuke za poboljšanje uslova i daljih istraživanja.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Dragan Ružić, vanr. prof.

2. TEORETSKE OSNOVE**2.1 Specifičnosti mikroklimatskih uslova u motornom vozilu**

Toplotni uslovi u motornim vozilima se razlikuju od toplotnih uslova u građevinskim objektima, zbog veće asimetričnosti, neuniformnosti i promenljivosti parametara okoline u vremenu [1].

Staklene površine na traktorskoj kabini su veće nego kod automobila zbog veće preglednosti u radu. Samim tim, izolacioni material koji se može upotrebiti za zaštitu od toplote je sveden na minimum i može se upotrebiti samo na tavanici i na podu kabine.

- **Temperatura vazduha, temperatura unutrašnjih površina kabine i toplotno zračenje** – u letnjem periodu, u kabini može biti znatno viša temperatura nego napolju, zbog zračenja sunca kroz staklene površine. Zračenje sunca može iznositi 50 do 75% ukupnog dotoka toplote u kabinu [2]. Unutrašnje površine se zagrevaju kroz staklo i tako dolazi do zagrevanja vazduha u kabini. Taj efekat se zove efekat staklene bašte. Takođe, zbog sunčevog zračenja, zagrevaju se i spoljašnje površine kabine. Zbog svega toga, temperatura vazduha u kabini traktora može preći 50°C, a temperatura površina i 80°C [1]. Da bi se što bolje izbegli nepoželjni mikroklimatski uslovi u kabini, kabinu traktora je potrebno na neki način ohladiti prilikom visokih temperatura tokom leta, a takođe i zagrejati prilikom niskih temperatura zimi.
- **Kretanje vazduha u kabini** – u kabini traktora je nehomogeno strujno polje. Može biti posledica prirodnog ili prinudnog provetravanja. Prilikom prirodnog provetravanja, otvaranjem prozora, vrata, krova, može doći do velikih brzina vazduha sa velikim turbulencijama u kabini. Takođe i prilikom prinudnog provetravanja, uključivanjem ventilacije ili klimatizacije, mogu se pojaviti velike brzine vazduha.
- **Uticaj vlažnosti vazduha** – vlaga u kabini može nastati isparavanjem unete vode ili snega u kabinu ili isparavanjem postojeće vlage. Odaje je i traktorista, a takođe ulazi i ulaskom spoljašnjeg vazduha u kabinu. Prevelika vlažnost vazduha u kabini može izazvati i zamagljivanje stakala. U kombinaciji sa višim temperaturama, topao vlažan vazduh daje osećaj neudobnosti. Da bi se sve to izbeglo, vlažan vazduh se hladi i suši pomoću klima uređaja.

2.2 Uticajni faktori na opažanje mikroklimе

- Temperatura vazduha (t_a) – predstavlja temperaturu vazduha koja okružuje neku osobu, osrednjenu u vremenu i prostoru.
- Srednja temperatura zračenja (t_{mr}) – (srednja temperatura okolnih površina) je važan faktor u prenosu toplote između ljudskog tela i okoline. Smanjenje ili povećanje temperature okolnih površina za jedan stepen, ekvivalentno je smanjenju ili povećanju temperature vazduha za jedan stepen tj. koeficijenti prenosa toplote konvekcijom i zračenjem su veličine istog reda. Srednja temperatura vazduha može biti viša ili niža od temperature vazduha u istoj prostoriji.
- Kretanje vazduha (v_a) –može se opisati brzinom vazduha. Brzina vazduha je vektorska karakteristika koja predstavlja pravac, smer i intenzitet prostorne promene veoma male količine vazduha. Brzina vazduha je promenljiva u vremenu, samim tim i stepen turbulencije je od velikog uticaja na mikroklimu. Ljudi su najosetljiviji na promaju u oblasti nepokrivenih delova tela (lice, vrat, ruke). Međutim, potrebno je obezbediti minimalno kretanje vazduha za prenos materije i toplote iako je ono jedan od najčešćih uzroka neugodnosti.
- Vlažnost vazduha – Postojanje više ili manje vodene pare u vlažnom vazduhu često se razmatra kao veća ili manja vlažnost vazduha. Vlažnost vazduha ima određeni uticaj na osećaj toplote, jer se hlađenje ljudskog tela vrši i isparavanjem vode sa kože.
- Metabolizam (M) – je toplotna energija oslobođena usled hemijskih procesa u čovekovom telu i u zavisnosti je od fizičke aktivnosti. Jedinica mere metabolizma se označava sa Met (1 Met = 58,15 W/m²) i odnosi se na jedinicu površine tela.
- Izolacija odeće – jedinica koja se koristi za izražavanje izolacije odeće je Clo ($I_{cl} = 1 \text{ Clo} = 0,155 \text{ m}^2\text{K/W}$). Prema Clo skali naga osoba ima $I_{cl} = 0,0 \text{ Clo}$, a prosečno odelo ima $I_{cl} = 1,0 \text{ Clo}$. Izolacija od 1 Clo činiće da se čovek koji sedi (M = 1 Met) oseća prijatno u sredini sa 21°C, 50% relativne vlažnosti i sa brzinom vazduha od 0,1 m/s [2].

2.3 Vrednovanje toplotnog osećaja – PMV indeks i PPD pokazatelj

PMV (Predicted Mean Vote) indeks pokazuje koliko je čovek blizu komfora, kada je PMV = 0 [3]. Odnosi se na toplotni osećaj celog tela u stacionarnim uslovima, ali se može dobrom aproksimacijom primeniti i na uslove sa malim promenama jednog ili više parametara, ali se mora uzeti u obzir i faktor promenljivosti u vremenu [1]. PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) pokazatelj, pokazuje koliko će osoba (u procentima) biti nezadovoljno u nekom toplotnom okruženju, uzimajući u obzir i individualne razlike. PPD je u funkciji od PMV indeksa.

Tabela 1. Zavisnost između PMV i PPD

PMV	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Osećaj	Hladno	Sveže	Umereno sveže	Neutralno	Umereno toplo	Toplo	Vrelo
PPD	90%	75%	25%	5%	25%	75%	90%

3. METOD RADA

3.1 Prikaz ispitivanih vozila

Ispitivanje se radilo na četiri različita traktora: Belarus 82.1, Belarus 820 sa toniranim staklima, Belarus 820 sa klimatizacijom i New Holland T6030. Traktori su prikazani na slici 1.



Slika 1. Ispitivani traktori (gore levo – Belarus 82.1; gore desno – Belarus 820 sa toniranim staklima; dole levo – Belarus 820 sa klimatizacijom; dole desno – New Holland T6030 – sa toniranim staklima i sa fabričkom klimatizacijom)

3.2 Opis terenskog eksperimenta

Tokom eksperimenta, merene su veličine koje su od značaja za toplotni komfor u kabini traktora: temperatura u više tačaka u kabini traktora (u predelu nogu, u predelu glave, na čovekovom telu, na volanu, u ventilacionim otvorima, crne kugle), vlažnost vazduha, pritisak vazduha u kabini, brzina vazduha, temperatura zračenja, kao i temperatura spoljašnjeg vazduha. Istraživanje je rađeno tri različita dana na istom mernom mestu u stacionarnom stanju, pri približno istim spoljašnjim uslovima.

Da bi se pojednostavilo istraživanje, usvojeni su određeni parametri na osnovu empirijskih podataka i pretpostavki:

- Srednja vrednost temperature zračenja:

$$t_{mr} = \frac{t_{mrA} + t_{mrB}}{2}$$

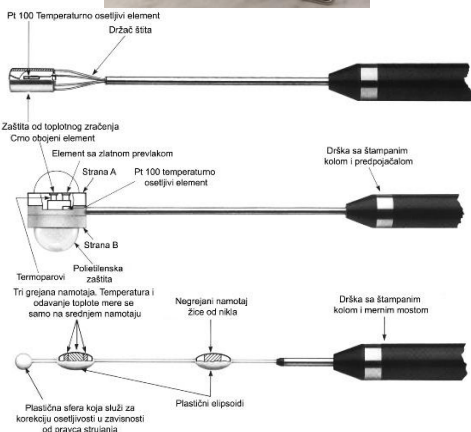
- Intenzitet sunčevog zračenja je usvojen da je iznosio 800 W/m² [4],
- Za određivanje toplotnog osećaja nije uzet uticaj direktnog sunčevog zračenja na kožu i odeću,
- Laka letnja odeća, čija izolacija iznosi 0,4 Clo uz dodatak izolacije putem sedišta od 0,2 Clo, što je sve zajedno $I_{cl}=0,6 \text{ Clo}$.

Ispitivani traktori su postavljani tako da vetrobransko staklo gleda u pravcu severozapada. Pri svim merenjima, merna oprema je bila postavljena na isti način.

3.3 Prikaz merne opreme

Za eksperimentalno istraživanje korišćena je sledeća merna oprema: Brüel & Kjør 1213 analizator sobne klime sa davačima (slika 2), Expert 9520 modul sa 7 termoparova i senzorom relativne vlažnosti vazduha Galltec tip FG80J (slika 3), kombinovani instrument AMI 310 (slika 4) sa senzorom temperature, senzorom vlažnosti vazduha, apsolutnog pritiska vazduha i sa

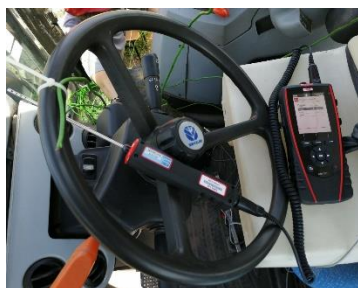
anemometrom sa lopaticama, i infracrveni termometar All-Sun EM520B (slika 5).



Slika 2. Brüel & Kjaer 1213 analizator sa davačima (davač temperature vazduha, davač temperature zračenja, davač brzine vazduha)



Slika 3. Expert 9520 komunikacioni modul i senzor relativne vlažnosti vazduha Galltec tip FG80J



Slika 4. Merni sistem AMI 310 sa senzorom temperature, i sa anemometrom sa lopaticama



Slika 5. All-Sun EM520B infracrveni termometar

3.4 Postupak ispitivanja

- 03.08.2020 godine, urađeno je ispitivanje na Belarus 82.1 traktoru. Pre početka merenja, izmerene su temperature svih staklenih površina. U 11:44h, kabina traktora je zatvorena i merenje je započeto. Posle 41 minuta, počelo se sa rashlađivanjem kabine otvaranjem prozora, zadnjeg stakla, bočnih vrata i krova kabine. Merenje je završeno u 12:53h, kada se temperatura vazduha u kabini stabilizovala.
- 07.08.2020 godine, urađeno je ispitivanje na Belarus 820 traktoru sa toniranim staklima. Merenje je počelo u 13:45h kada je kabina traktora zatvorena. 23 minuta kasnije, počelo se sa rashlađivanjem otvaranjem prozora, vrata i zadnjeg stakla, kao i merenje svih staklenih površina traktora. Merenje je završeno u 14:30h kada se temperatura vazduha u kabini stabilizovala. Na kraju, izmerene su temperature svih staklenih površina.
- 11.08.2020 godine, urađeno je ispitivanje Belarus 820 traktora sa klimatizacijom. Kabina traktora je zatvorena u 11:32h i merenje je počelo. Izmerene su temperature svih staklenih površina. U 11:59h je uključena ventilacija kabine, a u 12:09h je isključena. Klimatizacija je uključena u 12:07h. Merenje je završeno u 12:45h kada se temperatura vazduha u kabini stabilizovala. Izvršeno je merenje svih staklenih površina.
- 11.08.2020 godine urađeno je merenje New Holland T6030 traktora. Merenje je započeto u 11:52h kada je kabina traktora zatvorena. U 12:19h, kabina traktora je otvorena i počelo je rashlađivanje otvaranjem vrata i zadnjeg stakla. Izvršeno je merenje svih staklenih površina. U 12:21h, uključena je klimatizacija, a u 12:53h merenje je završeno kada se temperatura vazduha stabilizovala. Na kraju je izvršeno merenje svih staklenih površina.

4. REZULTATI

Usvojeno je da se, pored osnovnih izmerenih veličina, koriste PMV indeks i PPD pokazatelj da bi se mogli uporediti različiti toplotni uslovi u različitim kabinama i različitim okolnostima. Bez obzira što su rezultati negativni u pogledu komfora, iz njih se može videti razlika između kabina sa i bez klimatizacije i sa i bez toniranih stakala.

Za određivanje PMV i PPD, korišćeni su podaci (brzina vazduha, temperatura zračenja i temperatura vazduha) mereni sa Brüel & Kjaer mernim uređajem. Podatak za relativnu vlažnost vazduha meren je sa Galltec psihometrom u slučaju Belarus 82.1 traktora, a u slučaju preostala tri traktora, podatak za relativnu vlažnost vazduha meren je pomoću AMI 310 mernog uređaja.

PMV indeks i PPD pokazatelj su računani za vrednost metabolizma od 2 do 3,2 Met.

Tabela 2. Vrednost PMV indeksa u karakterističnim trenucima u Belarus 82.1 kabini

	Vreme	PMV indeks	PPD pokazatelj [%]
Zatvaranje kabine	11:48	3,82 ± 4,85	100
...
Otvaranje kabine	12:25	5,07 ± 5,98	100
...
Kraj merenja	12:46	4,02 ± 5,29	100

Tabela 3. Vrednost PMV indeksa u karakterističnim trenucima u Belarus 820 kabini sa toniranim staklima

	Vreme	PMV indeks	PPD pokazatelj [%]
Zatvaranje kabine	13:45	4,06 ± 5,05	100
...
Otvaranje kabine	14:08	5,41 ± 6,29	100
...
Kraj merenja	14:30	3,56 ± 4,71	100

Tabela 4. Vrednost PMV indeksa u karakterističnim trenucima u Belarus 820 kabini sa klimatizacijom

	Vreme	PMV indeks	PPD pokazatelj [%]
Zatvaranje kabine	11:32	4,07 ± 5,06	100
...
Uključena ventilacija	11:59	6,58 ± 7,38	100
...
Zatvorena kabina	12:09	6,14 ± 6,96	100
...
Uključena klimatizacija	12:17	6,77 ± 7,54	100
...
Kraj merenja	12:45	2,99 ± 4,13	99 ± 100

Tabela 5. Vrednost PMV indeksa u karakterističnim trenucima u New Holland kabini

	Vreme	PMV indeks	PPD pokazatelj [%]
Zatvaranje kabine	11:53	2,9 ± 4	98,6 ± 100
...
Otvaranje kabine	12:19	4,97 ± 6,14	100
...
Uključivanje klimatizacije	12:22	3,1 ± 4,3	100
...
Kraj merenja	12:52	0,97 ± 2,42	24,7 ± 91,7

Iz prikazanih rezultata se može primetiti da je PMV indeks jedino u New Holland traktoru bio u granicama bližim toplotnom komforu (oko 1), ali se i to smatra da je veoma toplo u kabini. U ostalim traktorima, PMV indeks je izvan granica normale, čak u nekim slučajevima prelazi i 7,5.

5. ZAKLJUČCI

Na osnovu urađenih eksperimenata, doneti su odgovarajući zaključci.

1. U toplim spoljašnjim uslovima, značajno povoljniji uslovi se dobijaju kada kabina poseduje klimatizaciju, što se moglo i očekivati. Prilikom zagrevanja kabine, znatno više temperature se javljaju u predelu glave, nego u predelu nogu. Ta razlika može biti i 10°C. Prilikom rashlađivanja kabine pomoću klimatizacije, temperatura vazduha znatno opada, a i razlika između temperature u predelu glave i temperature u predelu nogu se smanjuje. Kod traktora New Holland, ta razlika je manja od 0,5°C. Kod traktora Belarus, to nije bio slučaj. Iz toga se može zaključiti da su ventilacioni otvori kod New Holland traktora bolje sprovedeni, i da se postiže skoro homogeno temperaturno polje.
2. Prilikom zagrevanja kabine, temperatura zračenja iz pravca tavanice je veća od temperature zračenja iz pravca poda. Međutim, prilikom provetravanja kabine otvaranjem vrata, prozora i krova, temperatura

zračenja iz pravca tavanice je manja od temperature zračenja iz pravca poda. To se ne dešava prilikom rashlađivanja kabine primenom ventilacije i klimatizacije.

3. Ono što se moglo primetiti je i velika temperatura iznad glave kod traktora Belarus 820 sa klimatizacijom. Primenom nekog izolacionog materijala, pretpostavka je da bi se temperatura iznad glave smanjila za par stepeni.
4. Tonirana stakla na traktoru Belarus 820 su imala veću temperaturu nego stakla na traktorima Belarus 82.1 i Belarus 820 sa klimatizacijom. Kabina traktora sa toniranim staklima se brže ohladi otvaranjem vrata i prozora nego kabina traktora Belarus 82.1. Prilikom rashlađivanja Belarusa 82.1, krov je bio podignut, a kod Belarusa 820 sa toniranim staklima nije, a takođe je i dan kada je izvršeno merenje Belarusa 820 sa toniranim staklima bio topliji nego prilikom merenja Belarus 82.1 traktora.
5. Kod Belarus 820 sa klimatizacijom, povoljniji toplotni uslovi su se dobijali kada su se ventilacioni otvori podesili u položaj pod uglom od 90° prema nazad nego u položaju pod uglom od 45° prema nazad.

Pravci daljih istraživanja i poboljšanja – Iz prikazanih rezultata se vidi potreba za korišćenjem klima-uređaja u toplim spoljašnjim uslovima. Pored toga, poboljšanje se bi se postiglo primenom toniranih stakala na kabini, kombinacijom prednjeg i gornjeg razvoda vazduha, kao i ugradnjom ventilacionih otvora sa strane rukovaoca. Primenom krova svetle boje i reflektivnog materijalasmanjila bi se apsorpcija sunčevog zračenja, time bi se smanjila i temperatura vazduha u kabini, ubrzalo rashlađivanje kabine i potrošnja energije na klimatizaciju.

6. LITERATURA

- [1] Ružić D.: Uticaj klimatizacije na toplotni komfor u putničkom automobilu, magistarski rad, FTN Novi Sad, 2006.
- [2] Ružić D.: Oprema motornih vozila, skripta, FTN Novi Sad, 2019.
- [3] Innova Air Tech Instruments, Thermal comfort, 2002.
- [4] www.ec.europa.eu (pristupljeno uavgustu 2020.)

Kratka biografija:



Damir Homa rođen je u Ruskom Krsturu 1995. godine. Diplomirao 2019. godine na Fakultetu tehničkih nauka, smer Mehanizacija i konstrukciono mašinstvo, na kojem iste godine upisuje master studije, smer Automobilsko inženjerstvo.



Dragan Ružić (1973) diplomirao je 1999. godine na Fakultetu tehničkih nauka, smer Motori i motorna vozila i poljoprivredna mehanizacija. 2006. godine magistrirao je na Fakultetu tehničkih nauka, smer Motori i vozila. U novembru 2013. godine je odbranio doktorat na temu ergonomije u motornim vozilima (toplotni komfor). Na Fakultetu tehničkih nauka radi od 2000. godine, a od 2018. godine je u zvanju vanrednog profesora na Katedri za motore i vozila.