

UDK: 631.372

HIPERTERMIJA KAO POTENCIJALNA OPASNOST PO ZDRAVLJE TRAKTORISTE

Dragan Ružić, Vladimir Muzikravić, Nenad Poznanović

Fakultet tehničkih nauka - Novi Sad
ruzic@uns.ns.ac.yu

Sadržaj: Toplotni uslovi na traktorskom sedištu su pored komfora traktoriste važan činilac i za njegovo zdravlje i radnu sposobnost, time i za bezbednost u radu i u saobraćaju. Traktor, a time i traktorista, mogu se naći u ekstremnim klimatskim uslovima, od veoma niskih do veoma visokih temperatura, zajedno sa dejstvom ostalih nepovoljnih uticaja (zagađenost vazduha prašinom i izduvnim gasovima pogonskog motora, a ponekad i kapljicama sredstava za zaštitu bilja). Boravak u takvim uslovima, može imati mnoge nepovoljne posledice ne samo na radnu sposobnost nego i na zdravlje.

U radu je objašnjen mehanizam nastanka hipertermije i toplotnog udara i dat je prikaz metoda za poboljšanje toplotnih uslova traktoriste koja se danas sreću na poljoprivrednim traktorima.

Ključne reči: kabina, mikroklima, hipertermija, toplotni osećaj.

UVOD

Čovek danas provodi veći deo vremena u zatvorenom prostoru, što može biti stambeni ili radni prostor ili prevozna sredstva sa zatvorenom kabinom, gde spadaju i poljoprivredni traktori. Kao i u građevinskim objektima, i u traktorskoj kabini postoji potreba da se čovek osećaj ugodno i da mu se stvore uslovi za neometano obavljanje aktivnosti, bez obzira na stanje i promenljivost spoljašnjih uslova. Faktori koji utiču na komfor u nekom okruženju, dakle i u traktorskoj kabini, mogu se podeliti na tri grupe: dinamički faktori (vibracije, udari i ubrzanja), ambijentalni faktori (mikroklima, kvalitet vazduha, buka, promene pritiska) i prostorni faktori (ergonomija). Ovaj rad ograničava se samo na ambijentalne faktore i to na oblast mikroklimе.

Poljoprivredni traktor predstavlja univerzalno i korisno oruđe koje, pored stalnog napretka u tehničkom smislu, prati i stalno povećanje njegove cene na tržištu. Da bi ulaganje u jedan savremeni traktor bilo isplativo, on mora biti upotrebljiv u svim

uslovima eksploatacije, praktično preko cele godine. Zbog toga traktor, a time i traktorista, mogu biti izloženi ekstremnim klimatskim uslovima, na prvom mestu veoma visokim temperaturama, zajedno sa dejstvom drugih mogućih nepovoljnih uticaja (aerozagađenje). Nepovoljni uslovi posredno i neposredno umanjuju čovekovu sposobnost za izvođenje raznih aktivnosti i utiču na njegovo zdravstveno stanje. Nasuprot tome, dobar ambijent rezultira njegovom većom radnom sposobnošću, a povoljno okruženje smanjenjem zamaranja traktoriste.

Iz tog razloga, traktorske kabine se opremaju različitim sistemima koji imaju zadatak da ostvare zdrav i ugodan ambijent, bez obzira na spoljašnje uslove. U hladnim spoljašnjim uslovima, za zagrevanje vazduha koji ulazi u kabinu po pravilu se koristi otpadna toplota motora. Međutim, u toplim spoljašnjim uslovima neophodan je složeniji i skuplji sistem za kondicioniranje vazduha, koji treba da snizi temperaturu i vlažnost vazduha.

U radu su prikazane specifičnosti mikroklike u traktorskoj kabini i objašnjeno je funkcionisanje termoregulacionog sistema čovekovog organizma u smislu reakcije na toplotno opterećenje, zajedno sa uslovima koji vode ka hipertermiji i mogućem toplotnom udaru. Pored toga, date su metode mogućeg poboljšanja toplotnih uslova u kabini, uporedo sa primerom određivanja subjektivnog toplotnog osećaja i analizom uticajnih faktora. Na osnovu toga su izvedeni zaključci o najbitnijim parametrima od uticaja na sprečavanje nastanka nepovoljnog radnog okruženja traktoriste.

TOPLOTNI USLOVI U KABINI

Pored dovođenja toplote od strane pogonskog agregata traktora (sa prednje i donje strane kabine), sunčevo zračenje je glavni izvor zagrevanja kabine. Zato će temperatura vazduha u neklimatizovanoj kabini traktora izloženog suncu biti znatno viša nego spoljašnja temperatura. Sunčevo zračenje ne predaje energiju direktno vazduhu, nego se unutrašnje površine zagrevaju dejstvom sunčevog zračenja kroz stakla kabine. Zagrejane površine unutrašnjosti predaju toplotu zračenjem i konvekcijom (kao u staklenoj bašti). Takođe, sunce prouzrokuje zagrevanje spoljašnjih površina kabine, sa kojih se toplota predaje vazduhu u unutrašnjosti. Velik uticaj na zagrevanje vazduha u kabini traktora ima odavanje toplote sa svih zagrejanih površina, kako stakla tako i ostalih površina u unutrašnjosti kabine, dakle od njihovih toplotnih karakteristika (od koeficijenata refleksije i apsorpcije, od toplotnog kapaciteta materijala i dr.).

Od razlika temperatura u kabini i van nje zavisice protok toplote kroz omotač kabine. U slučaju da kabina nije klimatizovana, a zatvorena je, toplota će se zapravo odvoditi iz nje, jer će u kabini temperatura biti viša od spoljašnje. Međutim, u realnoj eksploataciji se ne može očekivati boravak traktoriste u zatvorenoj neklimatizovanoj kabini.

Direktno dejstvo sunca na traktoristu kroz stakla i otvore kabine utiče na njegov toplotni komfor zbog apsorpcije toplotne energije sunca koja dovodi do povećanja temperature kože i odeće. Indirektna posledica su visoka temperatura vazduha, zračenje okolnih površina i njihova visoka temperatura, koja u nekim situacijama može biti i opasna, zbog pojave opekotina [10].

TOPLOTNO OPTEREĆENJE TRAKTORISTE

Pod toplotnim opterećenjem se smatra količina toplote koju odaje ili prima čovekov organizam u uslovima narušene toplotne ravnoteže, od umerene neugodnosti do ozbiljnih poremećaja funkcionisanja organizma. Toplotno opterećenje koje trpi traktorista u kabini traktora nepovoljnije je u toplim nego u hladnim uslovima. Uslovi hladniji od neutralnih nisu toliko opasni, jer se dejstvo ispoljava sporije i lakše su intervencije ponašanjem, npr. podešavanje odeće [6]. Više spoljašnje temperature, zajedno sa sunčevim zračenjem, mogu dovesti do povišenja temperature unutrašnjosti kabine iznad bezbednih granica.

Faktori koji utiču na razmenu toplote između čovekovog tela i okruženja (u šta spada i traktorska kabina), a tim i na toplotni osećaj, dele se u dve grupe: na ambijentalne i na individualne faktore. U ambijentalne spadaju [11]:

- temperatura vazduha t_a [°C],
- srednja temperatura zračenja t_{mr} [°C],
- brzina vazduha v_a [m/s],
- relativna vlažnost vazduha RH [%, Pa].

U najuticajnije individualne faktore se ubrajaju [11]:

- aktivnost osobe M [Met, W/m^2], i
- izolacija odeće I_{Cl} [Clo, m^2K/W].

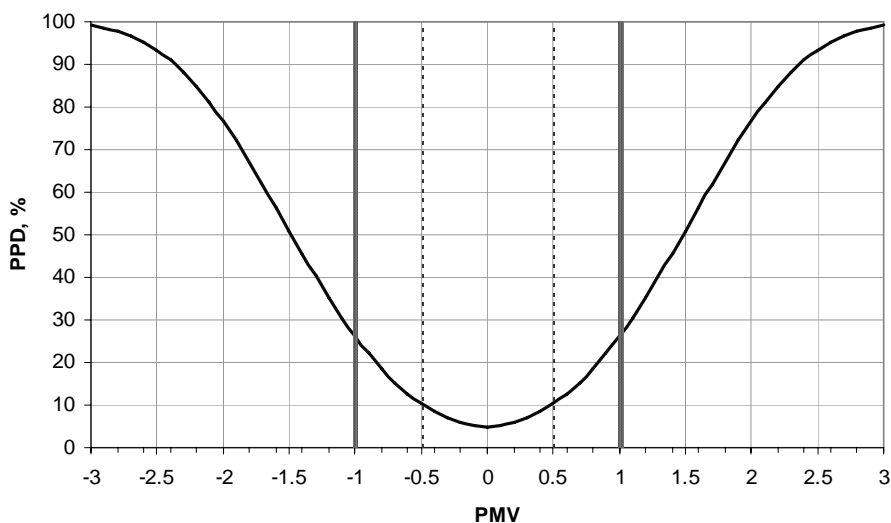
Čovekov organizam sa okolinom razmenjuje toplotu na dva načina, osetno (konvekcija, zračenje, kondukcija) i latentno (odvođenje preko vodene pare). Toplotni bilans čovekovog organizma i okoline u stacionarnim uslovima, može se po jedinici površine tela napisati kao:

$$S = M - W_k - E_{sk} - E_r - C - R - C_k \text{ [W/m}^2\text{]}, \quad (1)$$

gde su:

- S - promena količine toplote u telu (ako je $S > 0$, toplota se dovodi telu, ako je $S < 0$, toplota se odvodi),
- M - toplota stvorena metabolizmom unutar tela,
- W_k - mehanički rad koji čovek vrši (može se uzeti da je jednak nuli),
- E_{sk} - odvođenje toplote isparavanjem sa kože,
- E_r - oslobađanje toplote disanjem,
- C - prenos toplote konvekcijom,
- R - prenos toplote zračenjem,
- C_k - prenos toplote kondukcijom.

Na osnovu jednačine (1) izvedene su jednačine za PMV (*Predicted Mean Vote*) i PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) indekse, koji opisuju koliko je odstupanje od komfora u nekom ambijentu i koliki bi procenat ljudi bio nezadovoljan okruženjem [7]. Ograničenja ovih jednačina su primenljivost samo na stacionarne uslove koji traju duže od 15 minuta i za stanje blisko neutralnom. Ipak u svrhu poređenja različitih uslova, mogu se primeniti i za nešto šire granice.



Sl. 1. Zavisnost PMV i PPD

Generalno, toplotni komfor je ostvaren ako je PMV u granicama od $-0,5$ do $+0,5$ (PPD = 5% nezadovoljnih), a uslovi se mogu smatrati neugodnim ako je PMV van granica ± 1 (PPD > 25%) [7, 8, 11]

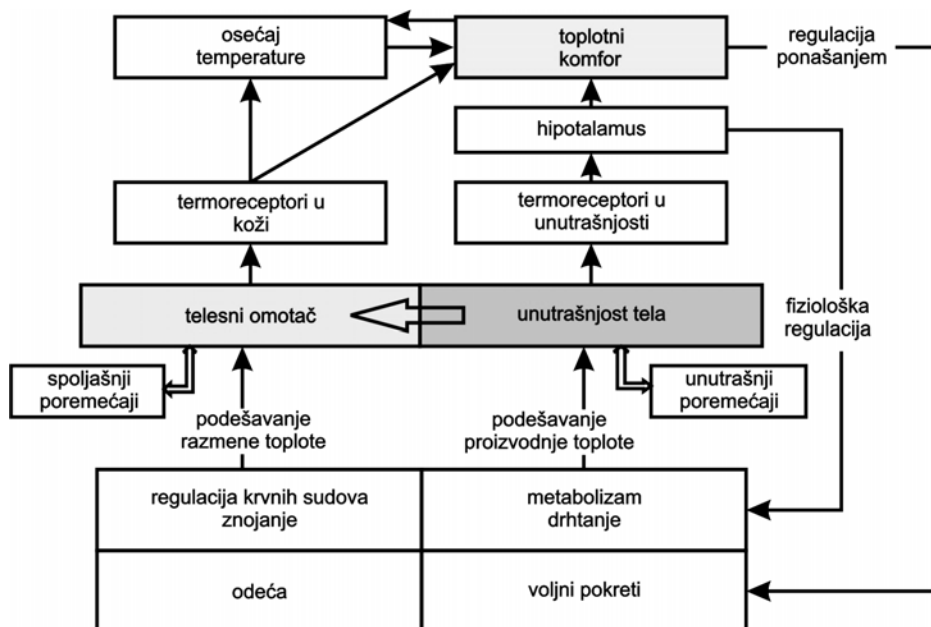
REGULACIJA TEMPERATURE ČOVEKOVOG ORGANIZMA

Sistem koji reguliše temperaturu tela nalazi se u hipotalamusu, koji je deo međumozga. On prima signale od senzora za registrovanje toplotnih nadražaja. Postoje dve vrste senzora - receptora termoregulacionog sistema. Jedni se nalaze u koži (posebni senzori za toplo i hladno), a drugi u mozgu i telu. Koža je skoro cela osetljiva na hladno i toplo, ali su pojedine površine osetljivije od drugih i više je senzora osetljivih na hladno nego na toplo.

Regulacioni centar u hipotalamusu radi kao termostat koji je podešen na vrednost od oko 37°C za unutrašnjost organizma, i na vrednost od oko 33°C za kožu. Prema tome, mehanizam hlađenja tela treba da počne kada temperatura unutrašnjosti tela pređe 37°C , a odbrana od hlađenja da se aktivira kada temperatura kože padne ispod 33°C . Granice regulacije mogu biti u nekoj meri promenljive, što zavisi od fizioloških uslova, a i termoregulacioni sistem održava toplotnu ravnotežu sa malim oscilacijama. U slučaju toplotnog opterećenja organizma, kada je dotok toplote veći od odvođenja, povišenje telesne temperature se mora sprečiti, da bi se očuvao pravilan metabolički rad organizma. Te reakcije na toplotno stanje mogu biti reakcije u ponašanju ili fiziološke (Sl. 2).

Ako odvođenje toplote nije dovoljno u odnosu na stvaranje toplote u telu, prva reakcija termoregulacionog sistema je širenje krvnih sudova i ubrzanje pulsa. Više krvi se odvodi iz unutrašnjosti u kožu, povećava se temperatura površine kože i sa time raste i odavanje toplote. U okruženju sa temperaturom višom od površine tela (oko 34°C i više) telo dobija toplotu putem zračenja i konvekcije, pa isparavanje znoja ostaje jedini

način za odvođenje toplote i sprečavanje podizanja temperature unutrašnjosti tela [1]. Povećanje temperature unutrašnjosti tela od samo nekoliko desetih delova stepena može inicirati znojenje, što je neophodno za održanje toplote ravnoteže, ali nepovoljno u pogledu ugodnosti [1].



Sl. 2. Princip rada čovekovog termoregulacionog sistema [11] (tanke strelice prikazuju tok signala, dvostruke strelice prikazuju protok toplote)

Zbog pojačanog znojenja organizam gubi tečnost. Granične vrednosti ukupnog gubitka vode su 5% za umerenu dehidraciju, odnosno 10% za opasnu [4]. Ukoliko zbog gubitka tečnosti znojenje prestane, dalje dovođenje toplote bez adekvatnog rashlađivanja organizma vodi ka povišenju temperature unutrašnjosti tela i ka hipertermiji. U zavisnosti od temperature unutrašnjosti tela, hipertermija se može podeliti u tri faze, sa sledećim pokazateljima [4]:

1. Toplotno opterećenje, neugodnost, fiziološko naprezanje, pad koncentracije
2. Toplotna iscrpljenost, žeđ, slabost, nervoza, vrtoglavica, glavobolja, dehidracija (temperatura unutrašnjosti tela od 37 do 40 stepeni)
3. Toplotni udar (temperatura unutrašnjosti tela preko 40 stepeni), praćeno otkazom centralnog nervnog sistema, što rezultuje delirijumom, grčevima, komom i na kraju smrću (u 80% slučajeva toplotnog udara [4])

Uslovi koji vode ka hipertermiji su: visoka temperatura vazduha i toplotno zračenje, visoka vlažnost vazduha, nedostatak strujanja vazduha, neodgovarajuće odevanje, neaklimatizovanost, povećana fizička aktivnost. Pod navedenim uslovima, u rizičnu grupu spadaju osobe sa viškom kilograma, osobe koje nisu zdrave, nisu aklimatizovane ili su dehidrirane zbog prethodne konzumacije alkohola, bez mogućnosti naknadnog unošenja tečnosti u organizam.

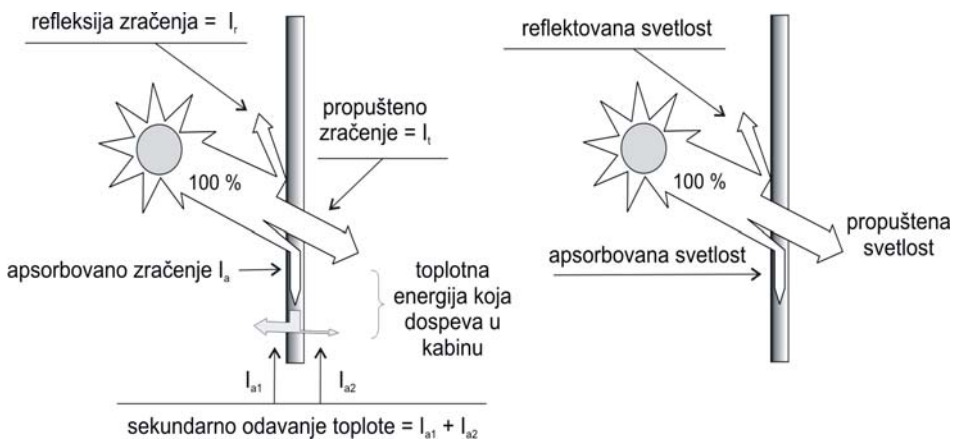
METODE POBOLJŠANJA TOPLOTNIH USLOVA U KABINI

Osnovne konstruktivne karakteristike traktorske kabine od značaja za mikroklimu jesu veliki procenat staklenih površina (takoreći sve sem krova i poda), relativno mala zapremina prostora i blizina izvora toplote (motor i transmisija).

Prirodna ventilacija kabine se ostvaruje otvaranjem vrata, bočnih prozora, kao i zadnjeg prozora. Specifičnosti spoljašnjih uslova traktora su male brzine kretanja što ujedno znači i male brzine vazduha kod prirodne ventilacije, uz visok sadržaj prašine i ostalih kontaminanata vazduha iz okruženja. To prirodnu ventilaciju čini nepogodnom zbog nemogućnosti kontrole i prečišćavanja vazduha. Osim toga, radni uslovi često nameću rad bez česte promene pravca kretanja u okruženju gde nema prirodnih zaklona od sunca. Sve to skupa ukazuje da u toplom periodu godine traktorista može biti izložen izuzetno velikim toplotnim opterećenjima, na čemu je i akcenat ovog rada.

Prinudna (veštačka) ventilacija se ostvaruje električnim ventilatorima i sistemom razvoda svežeg vazduha u kabinu, na više mesta sa podesivim usmerivačima. U pogledu kvaliteta prinudne ventilacije veoma je važno da se sveži vazduh uduvava na više mesta u kabinu i kroz otvore većeg poprečnog preseka, čime se smanjuje brzina uduvanog vazduha, a time i osećaj promaje.

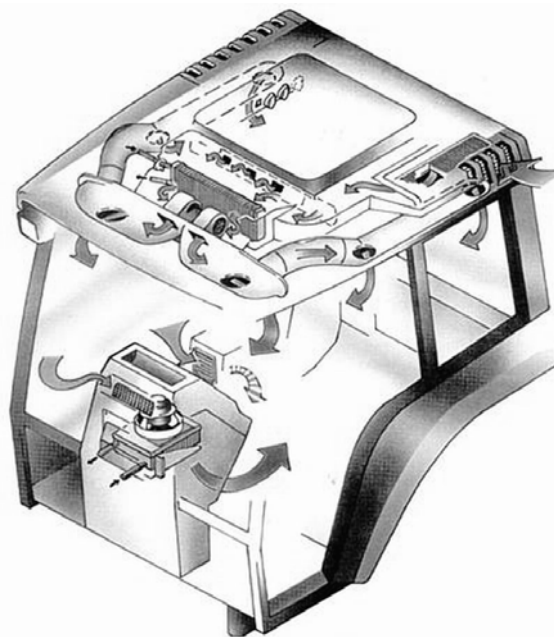
Osnovno sredstvo zaštite traktoriste od zračenja sunca, pored podesivih suncobrana, jeste i ugradnja toniranih, zatamnjenih stakala kabine. Zatamnjena stakla spadaju u tzv. apsorptivna stakla, gde se apsorbuje deo i vidljivog i infracrvenog spektra, te je propustljivost vidljive svetlosti nešto manja u poređenju sa netoniranim staklima. Staklu zbog toga raste temperatura i ono emituje toplotnu energiju u okolinu: jedan deo van kabine, a drugi u unutrašnjost, kao sekundarno odavanje toplote (Sl. 3, levo). Odavanje toplote ka unutrašnjosti kabine biće manje ako postoji strujanje vazduha sa spoljašnje strane kabine, tj. hlađenje stakla, zbog većeg odvođenja toplote konvekcijom. Kako su brzine kretanja traktora male, ne računajući brzinu vetra, taj mehanizam ima manje efekta nego što je to slučaj npr. kod drumskih vozila.



Sl. 3. Prenos toplote ukupnog zračenja (levo) i prolaza vidljive svetlosti kroz staklo (desno)

Radi normalizacije tople mikroklime u traktorskoj kabini koriste se kompresorski klima uređaji. Traktori veće snage su po pravilu znatno bolje opremljeni sistemima za normalizaciju mikroklime [2, 3], (Sl. 4.). Razlog je na prvom mestu u tome što cena opreme po pravilu ne zavisi mnogo od veličine traktora, pa je uticaj doplate na ukupnu cenu traktora znatno manji kod skupljih traktora. Ipak, toplotno opterećenje traktoriste može biti velika smetnja u bilo kojoj kategoriji traktora.

Osim postizanja i održavanja željene temperature vazduha u kabini, zadaci klima uređaja su i izdvajanje vlage iz vazduha i prečišćavanje vazduha. Kako je rečeno, sistem je složen i sastoji se od kompresora, kondenzatora, prečištača/sušača, ekspanzionog ventila, i isparivača, zajedno sa odgovarajućim sistemom prinudne ventilacije. Upravljanje klima uređajem vrši se pomoću različitih sistema, od krajnje jednostavnih do složenih, potpuno automatizovanih.



Sl. 4. Sistem razvoda vazduha u kabini savremenog traktora (Valtra)

U kabini bez klima uređaja, otvaranje prozora i upotreba ventilacije su jedini načini za poboljšanje uslova, a tendencija da se iz razloga bezbednosti i akustičnog komfora otvaranje prozora manje koristi, čini problem izraženijim. I pored toga, zatvorene kabine bez klimatizera i dalje imaju svoje mesto na tržištu, po pravilu iz ekonomskih razloga, čak i u oblastima gde se tokom cele godine ili u jednom delu godine mogu javiti visoke temperature vazduha i snažno sunčevo zračenje. Međutim, klima uređaj koristi energiju motora traktora i svaka situacija kada je motor isključen ili je klima uređaj neispravan jednaka je situaciji kao kod kabine bez klima uređaja. Sličan slučaj je i dugotrajan rad motora na praznom hodu, kada učinak kompresora može biti nedovoljan. Zbog toga je na prvom mestu potrebna zaštita unutrašnjosti kabine od prodora toplote, a ne samo njeno odvođenje.

Značaj primene klima uređaja biće ilustrovan preko primera računskog procenjivanja toplotnog osećaja na osnovu razmene toplote između traktoriste i okruženja, izračunavanjem PMV i PPD. Toplotni uslovi će se analizirati za sledeće usvojene vrednosti individualnih i ambijentalnih parametara, koje se mogu sresti u umereno toplijim uslovima:

- aktivnost vozača traktora $M = 2 \text{ Met} = 115 \text{ W/m}^2$,
- izolacija lake letnje odeće uključujući i sedište $I_{cl} = 0,5 \text{ Clo} = 0,078 \text{ m}^2\text{K/W}$.
- temperatura vazduha u kabini $t_a = 30^\circ\text{C}$,
- srednja temperatura zračenja $t_{mr} = 34^\circ\text{C}$,
- relativna vlažnost vazduha $RH = 30\%$,
- srednja brzina vazduha $v_a = 0,8 \text{ m/s}$.

U tim uslovima su $PMV = 2,05$ i $PPD = 79\%$, a sa tela putem isparavanja znoja treba odvesti $S = 63 \text{ W/m}^2$. Ukoliko je to na neki način sprečeno, npr. usled dehidracije ili neprikladne odeće (slabe propustljivosti vlage) može se očekivati porast temperature unutrašnjosti tela, sa gore navedenim negativnim posledicama. Mere za poboljšanje uslova, u vidu smanjenja aktivnosti (na $1,5 \text{ Met}$) i povećanja, u pogledu komfora već visoke brzine vazduha (na $1,0 \text{ m/s}$), uz iste ostale uslove, za rezultat daju $PMV = 1,67$ i $PPD = 60\%$, pri čemu se "višak" toplote smanjio na $S = 40 \text{ W/m}^2$. Takvi uslovi, nešto povoljniji, i dalje spadaju u neugodne [8], bez obzira na preduzete mere kao što je intenziviranje ventilacije. Kako jednačina za PMV ne uzima u obzir toplotu dobijenu direktnim zračenjem sunca na traktoristu, uslovi mogu biti još nepovoljniji, ukoliko ne postoji adekvatna zaštita od sunca.

Međutim, pod prvobitnim uslovima ($M = 2 \text{ Met}$, $I_{cl} = 0,5 \text{ Clo}$), da bi se PMV smanjio ispod $1,0$ i PPD ispod 25% , potrebno bi bilo spustiti temperaturu vazduha na barem 25°C (uz pretpostavku da se adekvatno smanjila i srednja temperatura zračenja), uz smanjenje brzine vazduha na oko $0,5 \text{ m/s}$. Iz navedenog se može zaključiti da se toplotna ugodnost u razmatranim uslovima može ostvariti jedino primenom uređaja koji je u stanju da snizi temperaturu vazduha.

ZAKLJUČAK

Poređenjem preduslova potrebnih za pojavu toplotne neugodnosti pa i hipertermije, tj. neželjenog povećanja telesne temperature preko prihvatljivih granica, kao i moguće kombinacije ambijentalnih i individualnih parametara od uticaja na razmenu toplote između čovekovog tela i okoline, zaključeno je da traktorista nesumnjivo može biti izložen nepovoljnom dejstvu toplote sa mogućim negativnim posledicama. Osim toga, utvrđeno je da je u uslovima koji se mogu normalno sresti u toplom periodu godine, praktično nemoguće postići pogodne toplotne uslove bez primene efikasne zaštite od sunca i kondicioniranja vazduha, na prvom mestu smanjenja njegove temperature kao najuticajnijeg faktora.

Sama činjenica da je, između ostalog, zbog veoma velikih staklenih površina traktorista izloženiji dejstvu sunca nego što je to slučaj kod vozača drumskih vozila, navodi na opravdanost ulaganja napora u dalja istraživanja metoda za efikasno poboljšanje toplotnih uslova u njegovom radnom ambijentu.

LITERATURA

- [1] Bates G., Veronica Miller: The effects of the thermal environment on health and productivity, IOHA 2005 Pilanesberg: Paper B2-3
- [2] Časnji F., Ružić D., Muzikravić V.: Upporedna analiza ergonomskih karakteristika traktora raznih kategorija, Traktori i pogonske mašine 10(2005)5, str. 78-83.
- [3] Časnji F., Ružić D. (2005): Pregled ergonomskih karakteristika traktora velike snage, MVM - Monografija povodom 30 godina izdavanja časopisa, Mašinski fakultet u Kragujevcu, s. 9-19.
- [4] Catherine McLaren, Null J., Quinn J. (2005): Heat Stress From Enclosed Vehicles: Moderate Ambient Temperatures Cause Significant Temperature Rise in Enclosed Vehicles, Pediatrics, 116, str. 109-112.
- [5] DIN 1946-3, Entwurf, Raumluftechnik, Teil 3: Ventilation von Personenkraftwagen und Lastkraftwagen, 2003.
- [6] <http://ergo.human.cornell.edu/studentsdownload/DEA350notes/Thermal/thcomnotes1.html> jun 2006.
- [7] ISO 7730:1994(E) Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort
- [8] Janssen J: Luftführung in Fahrerkabine unter dem Gesichtspunkt der thermischen Behaglichkeit, Grundl. Landtechnik Bd. 34 (1984) 5, str. 198-205.
- [9] Ružić D., Časnji F., Muzikravić V. (2006): Thermal load on passengers in an automobile cabin, International Congress Motor Vehicles & Motors 2006, Kragujevac.
- [10] Ružić D., Časnji F., Muzikravić V.: Značaj klimatizacije traktorske kabine, Traktori i pogonske mašine 10(2005)4, str. 63-67.
- [11] Ružić D. (2006): Uticaj klimatizacije na toplotni komfor u putničkom automobilu, magistarski rad, FTN Novi Sad.

HYPERTHERMIA AS A POTENTIAL THREAT FOR TRACTOR DRIVER'S HEALTH

Dragan Ružić, Vladimir Muzikravić, Nenad Poznanović

*Fakultet tehničkih nauka - Novi Sad
ruzic@uns.ns.ac.yu*

Abstract: Thermal conditions on tractor's driver place are important factor not only for comfort but also for health of driver and working performance, thus for work and traffic safety. Tractor together with the driver may work in extreme environmental conditions, ranging from very low to very high temperatures, together with other adverse influences (air contamination with dust and exhaust gases, sometimes also with chemicals for plant protection). Such environment can be very adverse, not only for human working performance but also for his health.

In the paper the processes that lead to hyperthermia and heat stroke are explained, and contemporary methods for improvement of the thermal conditions in agricultural tractors are given.

Key words: *cabin, microclimate, hyperthermia, thermal sensation.*