



Povezanost temperature površine tela izmerene infracrvenom termografijom i indeksa temperature i vlažnosti vazduha (THI) u proceni toplotnog stresa krava

Jovan Spasojević^a, Mira Majkić^a, Marko Cincović^a, Jovan Stanojević^a,
Bojan Blond^a, Dražen Kovačević^a, Miodrag Radinović^a

^aUniverzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Departman za veterinarsku medicinu, Srbija

*Autor za kontakt: miramajkic@gmail.com

SAŽETAK

Cilj ovog istraživanja je da se ispita vrednost temperature površine tela izmerene pomoću infracrvene termografije i utvrdi njena korelacija sa vrednostima THI indeksa toplotnog stresa kod krava izračunatih pomoću različitih formula. U eksperiment su uključene vrednosti poreklom od 120 krava. Vrednost THI indeksa je najniža u januaru, a najviša u julu mesecu. THI u januaru je zauzimala vrednosti u rasponu od 42,1 do 57,4, a u julu je taj raspon bio od 75,8 do 90,0 u zavisnosti od toga koja se formula za izračunavanje THI indeksa koristi. Bez obzira na odstupanja vrednosti u funkciji primenjene formule, ova odstupanja nisu toliko velika da dovedu do lažnog zaključka o postojanju toplotnog stresa. Bez obzira na to koju formulu za obračun THI primenjujemo sve pokazuju da tokom juna, jula i avgusta postoji toplotni stres kod krava (THI >72). U maju i septembru mesecu različite formule mogu dati različite vrednosti THI, tako da prema pojedinim formulama postoji toplotni stres, dok prema drugim on ne postoji. U periodu od oktobra do aprila THI je bio u termoneutralnoj zoni (THI<72) bez obzira na to koja se formula primeni. Infracrvena termografija je pokazala da u svim regijama tela raste temperatura u letnjim mesecima. Raspon vrednosti tokom godine bio je sledeći: 1) Oko – od 31,4 do 37,6 °C; 2) Uho – od 31,8 do 37,1°C; 3) Nos – od 31,9 do 37,8°C; 4) Vime – od 30,7 do 38,2°C; 5) Sisa – od 29,0 do 37,8°C; 6) Zglob karpalni – od 28,4 do 36,5°C; 7) Papak prednji – od 26,2 do 36,2°C; 8) Zglob tarzalni – od 25,6 do 32,9°C; 9) Papak zadnji – od 36,4 do 36,8°C; 10) Leđa lumbal – od 30,4 do 37,9°C; 11) Leđa sacral – od 33,1 do 38,4°C; 12) Grudni koš sredina – od 31,0 do 38,3 °C; 13) Abdomen sredina – od 32,1 do 38,3°C; 14) Horizontalna linija – od 29,6 do 37,9°C; 15) Vertikalna linija – od 30,0 do 38,3°C i 16) Površina celog tela – od 29,0 do 37,6°C. Temperatura tela je za 7-10°C veća kod krava u toplotnom stresu u odnosu na termoneutralni period. Razlike se mogu se zapaziti i prilikom vizuelne procene termograma i analize distribucije frekvencije temperatura. Temperatura izmerena infracrvenom termografijom pozitivno korelira sa vrednosti THI indeksa, a statistička značajnost korelacija je na nivou $p < 0,0001$, za sve ispitivane telesne regije i vrste THI indeksa. Iako se radi o statistički značajnim korelacijama, snaga ovih korelacija se razlikuje u funkciji regije tela u kojoj se vrši infracrvena termografija i u funkciji vrste THI indeksa. Najslabiju korelaciju sa THI indeksima je pokazala regija oka ($r=0,29-0,43$). Najjaču korelaciju sa THI indeksima pokazala je vime i zadnji papak, kao i prosečne temperature horizontalne linije, vertikalne linije i prosečna temperatura celog tela ($R=0,42-0,85$). Kada se posmatra sa aspekta vrste THI indeksa shodno formuli koja je korišćena, postoje određene razlike u jačini dobijene korelacije, a najjača korelacija je dobijena sa onim THI indeksima čije formule daju najviše vrednosti ovog indeksa tokom letnjeg perioda ($r=0,42-0,86$). Dobijeni podaci potvrđuju da je infracrvena termografija kvalitetna, neinvazivna metoda za procenu toplotne opterećenosti i toplotnog stresa kod krava na farmama.

Ključne reči:

krave, toplotni stres, infracrvena termografija, indeks temperature i vlažnosti vazduha, regija tela, korelacija.

Uvod

Infracrvena termometrija podrazumeva snimanje telesne temperature pomoću termovizijske kamere, aparata za bezkontaktno snimanje emitovanja toplote u regiji infracrvenog zračenja. Svaki objekat na temperaturi iznad apsolutne nule (-273°C) emituje termalnu energiju u infracrvenom regionu. Rezultat snimanja termovizijskom kamerom je fotografija koja se zove termogram. Termogram se odlikuje paletom živopisnih boja od žute i crvene koje ukazuju na toplija mesta do plave i ljubičaste koje ukazuju na hladnija mesta. Svaki termogram je slika za sebe i uz svaki termogram mora postojati paleta boja koja je povezana sa temperaturnim vrednostima (Corsi, 2010). Glavna ograničenja u upotrebi termovizijske kamere su sledeće: termogrami moraju biti napravljeni bez direktnog delovanja sunčevog zračenja, površina dlačnog pokrivača kod goveda mora biti čista i bez prisustva stranih materijala (omče, lanci i sl.) (Stewart i sar., 2005).

Infracrvena termalna slika je omogućila različite uvide u uporednu fiziologiju fenomena u rasponu od termogeneze, prilagođavanja perifernog protoka krvi, hlađenja isparavanjem do fiziologije disanja (Tattersall, 2016). Fiziološki mehanizmi za gubljenje telesne toplote su: hlađenje neisparavanjem (kondukcija, konvekcija i radijacija), hlađenje isparavanjem (evaporacijom) vode sa površine tela i kroz respiratorne puteve i ekskrecijom fecesa i urina (Ildris i sar., 2021; Dos Santos i sar., 2021). Sve navedeno zavisi od površine tela, telesnog pokrivača, razmene vode, krvotoka, okruženja (temperatura, vlažnost, vetar). Evaporativni gubitak toplote je značajniji kada su mlečne krave u toplom okruženju, dok u umereno toplom okruženju neevaporativni mehanizmi imaju većeg značaja. Određivanje stresogenosti određuje telesna temperatura na sledeće načine: rektalno merenje, merenjem timpanične temperature, merenjem temperature krvi u karotidi, infrared termografijom ili potkožnom implantacijom telemetara povezanih sa softverom (Godyń i sar., 2019). Nepovoljno toplo okruženje kod krava izaziva stanje toplotnog stresa koje se kvantifikuje pomoću bioklimatskog indeksa temperature i vlažnosti vazduha (temperature-humidity index, THI) (Behera i sar., 2020). Postoji veći broj formula za izračunavanje THI koje su napravljene i validirane na osnovu njihove promenljivosti tokom sezona i godina, kao i korelacije sa padom proizvodnjom mleka, odgovorom respiratornih organa ili promenom temperature tela (Bohmanova i sar., 2007; Cincović i sar., 2017,).

Cilj ovog istraživanja je da se ispita površinska temperatura različitih regija tela izmerene pomoću infracrvene termografije, da se utvrde vrednosti THI indeksa pomoću deset standardnih metoda za svaki mesec tokom kalendarske godine, kao i da se utvrdi njihova međusobna korelacija.

Materijal i metode

Krave - U periodu od septembra 2022 do avgusta 2023 godine vršeno je snimanje termovizijskom kamerom na uzorku od 120 krava Holštajn frizijske rase u laktaciji, na nekoliko farmi u Vojvodini. U ogled su ušle zdrave krave, sa čistom kožom i bez vidljivih patoloških promena na koži. Krave su hranjene potpunom krmnom smešom, a voda je bila dostupna *ad libitum*. Potpuna krmna smeša je zadovoljavala energetske potrebe kod krava u odnosu na produktivnost i period laktacije.

Određivanje bioklimatskog indeksa temperature i vlažnosti vazduha (THI) – Vrednosti THI indeksa izračunati su pomoću 11 različitih formula/modela koje su se razvijale u poslednjih šezdesetak godina i koje su validirane, a vrednosti THI indeksa su obeleženi sa brojem od THI 1 do THI10:

- (1) $THI1 = [0.4 \times (T_{db} + T_{wb})] \times 1.8 + 32 + 15$ (Thom, 1959);
- (2) $THI2 = (0.35 \times T_{db} + 0.65 \times T_{wb}) \times 1.8 + 32$ (Bianca, 1962);
- (3) $THI3 = (0.15 \times T_{db} + 0.85 \times T_{wb}) \times 1.8 + 32$ (Bianca, 1962);
- (4) $THI4 = (T_{db} + T_{wb}) \times 0.72 + 40.6$ (NRC, 1971);
- (5) $THI5 = (0.55 \times T_{db} + 0.2 \times T_{dp}) \times 1.8 + 32 + 17.5$ (NRC, 1971);
- (6) $THI6 = (1.8 \times T_{db} + 32) - (0.55 - 0.0055 \times RH) \times (1.8 \times T_{db} - 26.8)$ (NRC, 1971);
- (7) $THI7 = (9/5 \times t) + 32 - 11 / (2 \times (1-h) \times (9/t - 26))$ (NOAA, 1976);
- (8) $THI8 = T_{bg} + (0.36 \times T_{db}) + 41.5$ (Buffington i sar., 1981);
- (9) $THI9 = T_{db} + 0.36 \times T_{dp} + 41.2$ (Yousef, 1985);
- (10) $THI10 = (0.8 \times T_{db}) + [(RH/100) \times (T_{db} - 14.4)] + 46.4$ (Mader et al., 2006).

Skraćenice imaju sledeće značenje: THI – indeks temperature i vlažnosti vazduha; T_{db} – temperatura suvog termometra, T_{wb} – temperatura vlažnog termometra, T_{dp} – tačka rose, T_{bg} - black globe temperatura, RH – relativna vlažnost vazduha, t- temperatura, h- vlažnost vazduha.

Snimanje infracrvenom kamerom - Snimanje je vršeno sa leve lateralne strane jedinke u termoneutralnom periodu i tokom toplotnog stresa, u svakom mesecu snimanja. Udaljenost snimatelja je bila takva da ne uznemirava kravu i da omogući da se vidi cela figura životinje. Za snimanje je korišćena kamera Testo 865. Obrada slike je vršena pomoću softvera istoimenog proizvođača i podrazumevala je određivanje temperature tela za odabrane tačke na odabranim anatomskim regijama i određivanje distribucije frekvencije temperature celog tela i okruženja. Korišćena je verzija softvera Testo 5.0. Softverskom obradom izdvojili smo tačke od značaja, horizontalnu liniju od čela do sapi i vertikalnu liniju od sapi do sredine vimena kao i temperaturu površine celog tela. Oni su obeleženi brojevima *1-Oko, 2-Uho, 3-Nos, 4-Vime, 5-Sisa, 6-Zglob karpalni, 7-Papak prednji, 8-Zglob tarzalni, 9-Papak zadnji, 10- Leđa lumbal, 11-Leđa sacral, 12-Grudni koš sredina, 13-Abdomen sredina, 14- Horizontalna linija, 15- Vertikalna linija, 16-Površina celog tela.

Statistička obrada – Da bi se odredila mogućnost procene rezilijentnosti krava pomou infrared termografije, neophodno je ispitati korelaciju između telesne temperature i izračunatih bioklimatskih indeksa. Korelacija između temperature tela različitih anatomskih regija sa bioklimatskim indeksima i indeksom termotolerancije kod krava određena je Pirsonovim koeficijentom korelacije. Korelacija je izračunata pomoću SPSS statističkog paketa (IBM, verzija 21).

Rezultati i diskusija

Vrednost THI indeksa je najniža u januaru, a najviša u julu mesecu. THI u januaru je zauzimala vrednosti u rasponu od 42,1 do 57,4, a u julu je taj raspon bio od 75,8 do 90,0 u zavisnosti od toga koja se formula za izračunavanje THI indeksa koristi. Najveću vrednost THI indeksa u najkritičnijem mesecu julu pokazala je formula broj 7, koja u obzir uzima samo temperaturu i vlažnost vazduha. Niže vrednosti su nađene kada se u formulu uključi i temperatura vlažnog termometra ili drugi izvedeni indeksi. Bez obzira na odstupanja vrednosti u funkciji primenjene formule, ova odstupanja nisu toliko velika da dovedu do lažnog zaključka o postojanju toplotnog stresa. Bez obzira na to koju formulu za obračun THI primenjujemo sve pokazuju da tokom juna, jula i avgusta postoji toplotni stres kod krava (THI >72). U maju i septembru mesecu različite formule mogu dati različite vrednosti THI, tako da prema pojedinim formulama postoji toplotni stres, dok prema drugim on ne postoji. U periodu od oktobra do aprila THI je bio u termoneutralnoj zoni (THI<72) bez obzira na to koja se formula primeni. Dobijene vrednosti THI indeksa u najtoplijem delu dana po mesecima prikazani su u Tabeli 1.

Infracrvena termografija je pokazala da u svim regijama tela raste temperatura u letnjim mesecima. Raspon vrednosti tokom godine bio je sledeći: 1) Oko – od 31,4 do 37,6 °C; 2) Uho – od 31,8 do 37,1°C; 3) Nos – od 31,9 do 37,8°C; 4) Vime – od 30,7 do 38,2°C; 5) Sisa – od 29,0 do 37,8°C; 6) Zglob karpalni – od 28,4 do 36,5°C; 7) Papak prednji – od 26,2 do 36,2°C; 8) Zglob tarzalni – od 25,6 do 32,9°C; 9) Papak zadnji – od 36,4 do 36,8°C; 10) Leđa lumbalno – od 30,4 do 37,9°C; 11) Leđa sakralno – od 33,1 do 38,4°C; 12) Grudni koš sredina – od 31,0 do 38,3 °C; 13) Abdomen sredina – od 32,1 do 38,3°C; 14) Horizontalna linija – od 29,6 do 37,9°C; 15) Vertikalna linija – od 30,0 do 38,3°C i 16) Površina celog tela – od 29,0 do 37,6°C. Dobijene vrednosti prikazane su u Tabeli 2. Temperatura tela je za 7-10°C veća kod krava u toplotnom stresu u odnosu na termoneutralni period. Razlike su prilično izražene i mogu se zapaziti i prilikom vizuelne procene termograma i analize distribucije frekvencije temperatura (Slika 1).

Temperatura izmerena infracrvenom termografijom pozitivno korelira sa vrednosti THI indeksa, a statistička značajnost korelacija je na nivou $p < 0,0001$, za gotovo sve ispitivane telesne regije i vrste THI indeksa. Rezultati su prikazani Tabeli 3. Iako se radi o statistički značajnim korelacijama, što je rezultat velikog broja od 120 uzoraka, ipak snaga ovih korelacija se razlikuje u funkciji regije tela u kojoj se vrši infracrvena termografija i u funkciji vrste THI indeksa. Najslabiju korelaciju sa THI indeksima je pokazala regija 1 - oko ($r = 0,29-0,43$). Najjaču korelaciju sa THI indeksima pokazala je regija 4 - vime ($r = 0,50-0,84$) i regija 9 - zadnji papak ($r = 0,51-0,82$). Pored pojedinačnih anatomskih tačaka u različitim regijama, najbolju korelaciju su dale prosečne temperature horizontalne linije, vertikalne linije i prosečna temperatura celog tela. Kada se posmatra sa aspekta vrste THI indeksa shodno formuli koja je korišćena, postoje određene razlike u jačini dobijene korelacije. Najslabija korelacija postojala je kod THI3 indeksa ($r = 0,29-0,53$), dok su značajno jače korelacije sa temperaturama različitih regija tela pokazali indeksi THI5 ($r = 0,48-0,85$), THI 7 ($r = 0,42-0,84$), THI 8 ($r = 0,45-0,86$) i THI9 ($r = 0,49-0,83$). Najjača korelacija je dobijena sa onim THI indeksima čije formule daju najviše vrednosti ovog indeksa tokom letnjeg perioda.

Tabela 1 . Vrednosti THI indeksa u najtoplijem delu dana u periodu od sept. 2022 do avg. 2023.

Table 1. THI index values in the hottest part of the day in the period from Sept. 2022 to Aug. 2023.

THI*	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AVG	SEP	OKT	NOV	DEC
THI1	57,2	60,8	63,9	69,4	78,5	84,1	86,6	83,7	77,2	72,2	63,6	58,5
THI2	45,8	48,4	52,7	59,2	69,3	75,8	79,1	75,5	69,3	62,7	53,5	46,9
THI3	47,2	47,2	52,2	58,0	66,5	72,4	75,8	72,2	68,5	61,6	54,6	47,7
THI4	50,8	54,4	57,5	63,0	72,1	77,7	80,2	77,3	70,8	65,8	57,2	52,1
THI5	57,4	62,5	65,2	70,9	81,1	86,8	88,8	86,4	78,0	73,9	63,6	59,0
THI6	44,2	53,6	55,8	61,6	72,1	79,8	80,1	78,4	68,8	64,5	51,1	47,3
THI7	42,1	52,5	54,9	63,2	78,6	87,4	90,0	86,4	72,1	66,7	51,0	45,2
THI8	52,0	60,0	62,1	68,3	79,9	86,4	88,5	85,0	74,8	70,8	58,4	54,5
THI9	49,2	54,3	57,0	62,7	73,1	78,8	80,8	78,4	70,0	65,8	55,4	50,8
THI10	44,1	53,4	55,6	61,3	71,7	79,5	79,7	78,0	68,6	64,3	51,0	47,2

*Formule za izračunavanje pogledati u Materijalu i metodama; SD za THI u okviru pojedinačnog merenja = 0,89-1,35.

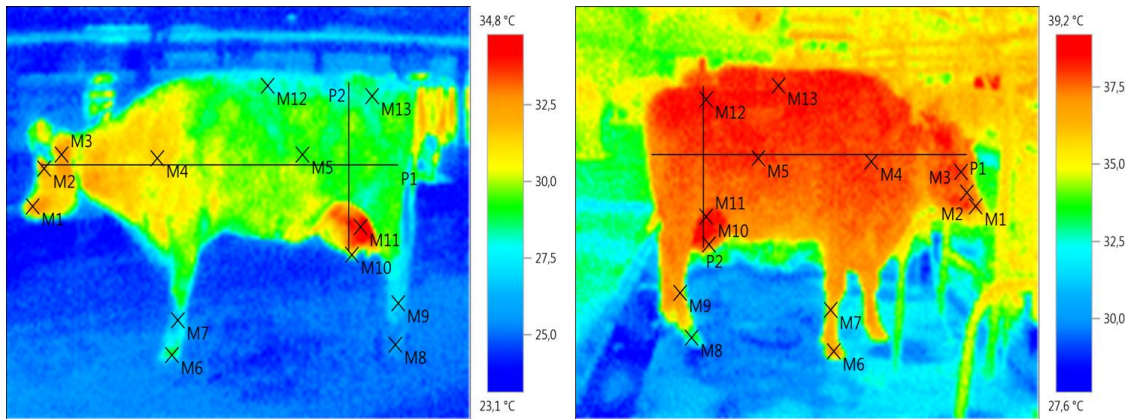
Tabela 2. Temperatura tela krava izmerena infracrvenom termografijom u najtoplijem delu dana u periodu od sept. 2022 do avg. 2023.**Table 2.** Body temperature of cows measured with an infrared thermography in the hottest part of the day in the period from Sept. 2022 to Aug. 2023

Regija*	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AVG	SEP	OKT	NOV	DEC
1	31,6	31,7	31,8	32,8	33,2	34,9	37,6	35	33,3	32,2	31,6	31,4
2	31,9	31,8	31,8	32,3	33,8	35,2	37,1	36,2	32,0	31,3	31,2	31,8
3	32,0	31,9	32,2	32,6	34,5	36,1	37,8	36	34,9	32,0	32,6	32,4
4	31,0	30,7	30,8	31,1	33,6	35,6	38,2	35,2	33,1	31,6	31,3	31,2
5	29,0	29,1	29,2	33,3	33,9	36,6	37,8	37,1	32,5	30,6	30,1	29,5
6	28,4	28,8	28,5	30,1	32,7	34,6	36,5	35,2	30,5	29,8	29,5	28,7
7	26,2	26,2	26,3	28,5	31,9	35,2	36,2	35	28,5	27,2	26,9	26,5
8	25,9	25,6	25,8	26,3	27,2	29,7	32,9	31,8	30,1	26,5	25,2	25,5
9	26,7	26,8	27,0	28	28,5	34,9	36,8	35,7	31,0	26,8	26,9	26,4
10	30,9	31,0	31,1	32,5	33,2	36,1	37,9	36,8	33,2	32,5	31,3	30,4
11	33,5	33,9	34,3	34,2	33,9	36,5	38,4	37,2	34,1	33,5	33,2	33,1
12	31,3	31,1	32,2	34,5	34,5	37,1	38,3	36,9	34,2	33,5	32,0	31,0
13	32,1	32,2	31,3	33,5	35,1	37,5	38,3	36,9	35,1	34,0	31,5	32,5
14	29,6	30,0	31,0	33,1	34,5	36,6	37,9	36,1	34,5	32,5	30,4	30,0
15	30,0	30,1	30,7	34,2	36,5	37,1	38,3	37,1	35,2	31,5	31,1	30,8
16	29,0	29,2	29,2	30,6	32,1	33,2	37,6	34,3	32,1	30,8	29,1	29,1

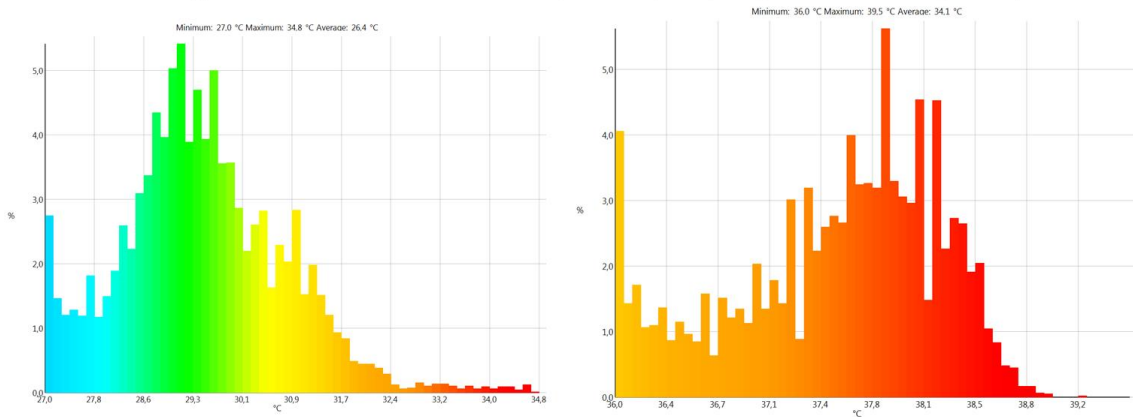
*Nazive regija pogledati u Materijalu i metodama; SD za telesnu temperature u okviru pojedinačnih merenja = 0,07- 0,12°C.

Tabela 3. Korelacija između THI indeksa i temperature tela krava izmerene infracrvenom termografijom (sve vrednosti su statistički značajne na nivou $p < 0,0001$).**Table 3.** Correlation between THI index and body temperature of cows measured by infrared thermography (all values are statistically significant at the $p < 0.0001$ level).

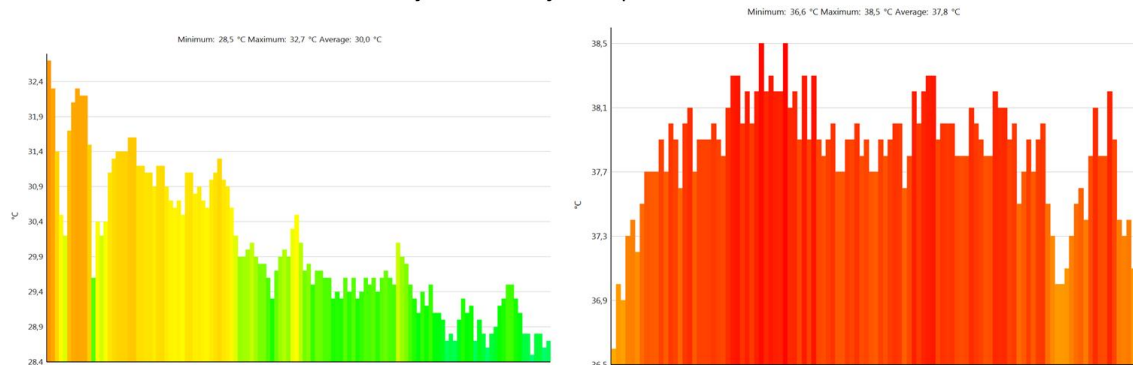
	THI1	THI2	THI3	THI4	THI5	THI6	THI7	THI8	THI9	THI10
1	0,43	0,32	0,29	0,35	0,48	0,29	0,42	0,45	0,49	0,3
2	0,81	0,65	0,52	0,69	0,82	0,58	0,83	0,85	0,8	0,64
3	0,65	0,58	0,41	0,49	0,75	0,52	0,8	0,73	0,73	0,51
4	0,81	0,76	0,5	0,51	0,82	0,67	0,84	0,82	0,81	0,61
5	0,63	0,51	0,45	0,39	0,71	0,55	0,79	0,66	0,67	0,49
6	0,65	0,43	0,41	0,41	0,65	0,52	0,65	0,71	0,7	0,48
7	0,59	0,39	0,39	0,35	0,62	0,5	0,67	0,69	0,65	0,41
8	0,68	0,41	0,42	0,38	0,6	0,58	0,62	0,65	0,63	0,35
9	0,73	0,59	0,51	0,52	0,85	0,71	0,81	0,82	0,79	0,61
10	0,61	0,42	0,43	0,44	0,7	0,52	0,7	0,75	0,55	0,42
11	0,65	0,38	0,48	0,43	0,64	0,43	0,65	0,79	0,59	0,43
12	0,63	0,41	0,39	0,39	0,63	0,48	0,59	0,68	0,7	0,38
13	0,68	0,45	0,45	0,37	0,65	0,49	0,67	0,72	0,69	0,36
14	0,81	0,62	0,51	0,65	0,82	0,68	0,79	0,85	0,82	0,62
15	0,83	0,61	0,52	0,68	0,85	0,7	0,82	0,86	0,82	0,53
16	0,8	0,64	0,53	0,61	0,81	0,69	0,82	0,85	0,83	0,68



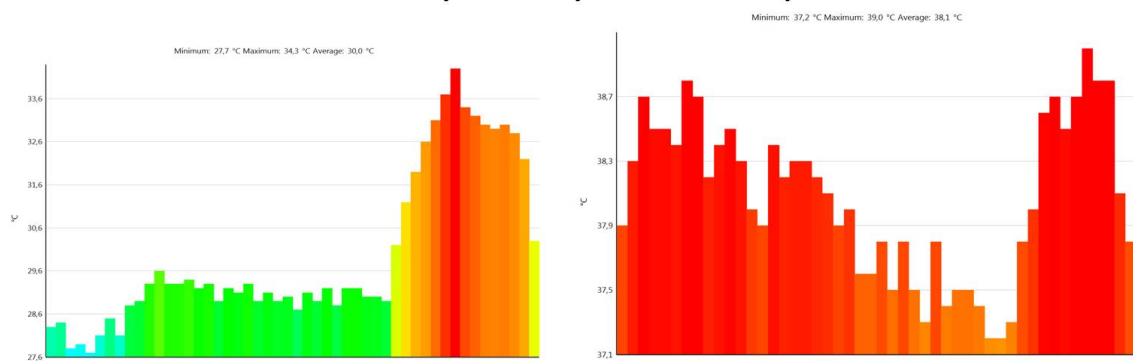
Termogram krava u termoneutralnom periodu (levo) i toplotnom stresu (desno)



Distribucija frekvencije temperature tela krava



Distribucija frekvencije horizontalne linije



Distribucija frekvencije vertikalne linije

Grafikon 1. Distribucija frekvencije vrednosti temperature izmerene infracrvenom termografijom kod krave u termoneutralnom periodu i toplotnom stresu

Figure 1. Frequency distribution of temperature values measured by infrared thermography in a cow in the thermoneutral period and heat stress

Termovizija se kod goveda najviše koristila u dijagnostike svrhe, ali i za procenu dobrobiti kod životinja. Jedno od prvih istraživanja vezanih za primenu termografije krava nastalo osamdesetih godina XX veka pokazuje da se termografijom mogu utvrditi razlike u temperature površine kože u funkciji estrusnog ciklusa (Hurnik i sar., 1985) ispitana je efikasnost upotrebe termovizije u detekciji estrusa i procenjeno je da ova snimanja mogu imati potencijal u proceni termalnog opterećenja krava. Od tada do danas infracrveno termometriranje i termalne kamere doživele su veliku primenu u veterinarskoj medicini (Rekant i sar., 2016). Kada se radi o kravama dosadašnja istraživanja bila usmerena na ranu detekciju inflamacije na primeru mastitisa (Çolak i sar., 2008), šepavosti (Nikkah i sar., 2005) i virusnih respiratornih infekcija (Schaefer i sar., 2012), reaktivnost na stres (Eicher i sar., 2006; Stewart i sar., 2008), ispitivanje adekvatnosti opreme za mužu (Paulrud i sar., 2005), ispitivanje produkcije toplote i metana, efikasnost ishrane (Montanholi i sar., 2008 i 2009) itd. Tako je utvrđena viša temperature površine tela kod svih inflamatornih procesa, kao i jedan do dva časa posle uzimanja obroka, dok posle muže dolazi do padanja temperature tela. Korišćenje termalne kamere daje pouzdane rezultate jer postoji visoka ponovljivost vrednosti temperature i predstavljanja termograma ukoliko su oni napravljeni u kratkom vremenskom intervalu, a dobijaju se ponovljivi i konzistentni rezultati čak i kada je više ljudi uključeno u snimanje objekta. Mnoge termalne kamere imaju softvere koji rešavaju probleme nedoslednosti ili sitne artefakata koji mogu uticati na termogram. Ipak potrebno je poznavati i faktore koji utiču na izgled termograma in a temperature koje će se izmeriti: osušena balega ili drugi ostaci na koži smanjuju temperaturu u toj regiji, vetar može uticati na izmerenu temperaturu tela smanjujući je, izlaganje tela direktnom sunčevom zračenju povećava površinu temperature tela ali se vrednosti vraćaju na nivo pre izlaganja u roku od nekoliko minuta provedenih u senci, fizička aktivnost životinje povećava temperaturu tela, davanje sedativa i anti-sedativa utiče na temperaturu površine tela, a oslanjanje fetusa na površinu tela gravidnih krava daje veće temperature u termogramu na površini kože gde se fetus ocrta. Poznavanje ovih faktora je od velikog značaja pri izradi i interpretaciji termograma (Okada i sar., 2013). Rezultati merenja zavise i od anatomske regije gde se merenje vrši, a bez obzira na mesto, postoji značajna korelacija sa rektalnom temperaturom koja se smatra standardom za merenje. Površina tela značajno korelira sa temperaturom tela krava merene u tropskim uslovima (Martello i sar., 2010; Kou i sar., 2017). Najnovija istraživanja pokazuju da se temperature različitih regija tela izmerene infracrvenom termografijom mogu koristiti za procenu metaboličkog statusa kod ovaca u toplotnom stresu, zbog korelacija koje pokazuju sa hormonima i metabolitima (Čukić i sar., 2023).

U našem ogledu našli smo visoku korelaciju između THI indeksa i temperature izmerene infracrvenim termometriranjem, a nalaz je zavisio od regije i formule za izračunavanje THI indeksa. Salles i sar. (2016) su uočili visoke korelacije između THI i temperature desnog boka, levog boka i čela (0,85, 0,81 i 0,81, respektivno), a pet najviših koeficijenata korelacije u analizi glavnih komponenata dale su sledeće regije: čelo (0,90), desni bok (0,87), levi bok (0,84), i marker ekstremiteta na levoj nozi (0,83/0,74). Isti autori su našli da je THI je pokazao umerene do niske korelacije sa rektalnom temperaturom (0,43) i respiratornom frekvencijom (0,42). Izmereni temperaturini opsezi u navedenom i našem radu su usaglašeni. Peng i sar. (2019) našli su koeficijente korelacije srednje i maksimalne temperature regije čela prema THI na nivou 0,808 i 0,740, dok je korelacija prema rektalnoj temperature bila 0,557 i 0,504. Naši rezultati su u saglasnosti sa ovim autorima koji zaključuju da je površinska temperatura tela osetljivija na temperature sredine od rektalne temperature.

Zaključak

Dobijeni rezultati potvrđuju da se temperatura površine tela koja je izmerena infracrvenom termografijom menja tokom godine i da pokazuje pozitivnu korelaciju sa bioklimatskim THI indeksom za ocenu toplotnog stresa kod krava. Iako su utvrđene statistički veoma signifikantne korelacije između temperature svih odabranih regija tela i THI indeksa izračunatih pomoću različitih formula, jačina korelacija zavisi od anatomske regije u kojoj se meri temperatura i formule za izračunavanje THI indeksa. Dobijeni podaci potvrđuju da je infracrvena termografija kvalitetna, neinvazivna metoda za procenu toplotne opterećenosti i toplotnog stresa kod krava na farmama.

Zahvalnost

Ovaj rad je rezultat projekta broj 142-451-3035/2023-01/01, koji je finansiran od strane Pokrajinskog sekretarijata za visoko obrazovanje i naučnoistraživačku delatnost Vojvodine.

Literatura

- Behera, R., Mandal, A., Rai, S., Karunakaran, M., Mondal, M. 2020. Temperature Humidity Index and Its Relationship with Production Traits of Dairy Cattle and Buffaloes - A Review. *International Journal of Livestock Research*, 10(3): 38-48.
- Bianca, W. 1962. Relative importance of dry- and wet-bulb temperatures in causing heat stress in cattle. *Nature*, 195: 251-252.
- Bohmanova, J., Misztal, I., Cole, J.B. 2007. Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. *Journal of dairy science*, 90(4): 1947-1956.
- Buffington, D.E., Collazo-Arocho, A., Canton, G.H., Pitt, D., Thatcher, W.W., Collier, R.J. 1981. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. *Transactions of the ASAE*, 24(3): 711-714.
- Cincović, M.R., Majkić, M., Belić, B., Plavša, N., Lakić, I., Radinović, M. 2017. Thermal comfort of cows and temperature humidity index in period of 2005-2016 in Vojvodina region (Serbia). *Acta Agriculturae Serbica*, 22(44): 133-145.
- Çolak, A., Polat, B., Okumus, Z., Kaya, M., Yanmaz, L.E., Hayirli, A. 2008. Early detection of mastitis using infrared thermography in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 91(11): 4244-4248.
- Corsi, C. 2010. History highlights and future trends of infrared sensors. *Journal of Modern Optics*, 57(18): 1663-1686.
- Čukić, A., Rakonjac, S., Đoković, R., Cincović, M., Bogosavljević Bošković, S., Petrović, M., Savić, Ž., Anđušić, Lj., Andjelić, B. (2023). Influence of heat stress on body temperatures measured by in-fared thermography, blood metabolic parameters and its correlation in sheep. *Metabolites*, <https://doi.org/10.3390/metabo13080000>
- Dos Santos, M.M., Souza-Junior, J.B.F., Dantas, M.R.T., de Macedo Costa, L.L. 2021. An updated review on cattle thermoregulation: physiological responses, biophysical mechanisms, and heat stress alleviation pathways. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(24): 30471-30485.
- Eicher, S.D., Cheng, H.W., Sorrells, A.D., Schutz, M.M. 2006. Behavioral and physiological indicators of sensitivity of chronic pain following tail dockings. *J Dairy Sci.*, 89:3047-3051.
- Godyń, D., Herbut, P., Angrecka, S. 2019. Measurements of peripheral and deep body temperature in cattle—A review. *Journal of Thermal Biology*, 79: 42-49.
- Hurnik, J.F., Webster, A.B., DeBoer, S. 1985. An investigation of skin temperature differentials in relation to estrus in dairy cattle using a thermal infrared scanning technique. *Journal of Animal Science*, 61 (5): 1095-1102.
- Idris, M., Uddin, J., Sullivan, M., McNeill, D. M., Phillips, C.J. 2021. Non-invasive physiological indicators of heat stress in cattle. *Animals*, 11(1): 71.
- Kou, H., Zhao, Y., Ren, K., Chen, X., Lu, Y., Wang, D. 2017. Automated measurement of cattle surface temperature and its correlation with rectal temperature. *PLoS ONE* 12(4): e0175377.
- Mader, T.L., Davis, M.S., Brown-Brandl, T. 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 84:712-719.
- Martello, L.S., Savastano, H. Jr., Silva, S.L., Balieiro, J.C. 2010. Alternative body sites for heat stress measurement in milking cows under tropical conditions and their relationship to the thermal discomfort of the animals. *Int J Biometeorol.*, 54(6):647-652.
- Montanholi, Y.R., Odongo, N.E., Swanson, K.C., Schenkel, F.S., McBride, B.W., Miller, S.P. 2008. Application of infrared thermography as an indicator of heat and methane production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events in dairy cattle (*Bos taurus*). *J Therm Biol.*, 33:468-475.
- Montanholi, Y.R., Swanson, K.C., Schenkel, F.S., McBride, B.W., Caldwell, T.R., Miller, S.P. 2009. On the determination of residual feed intake and associations of infrared thermography with efficiency and ultrasound traits in beef bulls. *Livest Sci.*, 125:22-30.
- National Oceanic and Atmospheric Administration-NOAA. 1976. Livestock hot weather stress. U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service Central Region. Regional Operations Manual Letter C-31-76.
- National Research Council. 1971. A guide to environmental research on animals. National Research Council, National Academic. Science, Washington, DC.
- Nikkhah, A., Plaizier, J.C., Einarson, M.S., Berry, R.J., Scott, S.L., Kennedy, A.D. 2005. Infrared thermography and visual examination of hooves of dairy cows in two stages of lactation. *J Dairy Sci.*, 88:2749-2753.
- Okada, K., Takemura, K., Sato, S. 2013. Investigation of various essential factors for optimum infrared thermography. *Journal of Veterinary Medical Science*, 75(10): 1349-1353.
- Paulrud, C.O., Clausen, S., Andersen, P.E., Rasmussen, M.D. 2005. Infrared thermography and ultrasonography to indirectly monitor the influence of liner type and overmilking on teat tissue recovery. *Acta Vet Scand.* 46:137-147.
- Peng, D., Chen, S., Li, G., Chen, J., Wang, J., Gu, X. 2019. Infrared thermography measured body surface temperature and its relationship with rectal temperature in dairy cows under different temperature-humidity indexes. *International journal of biometeorology*, 63, 327-336.
- Rekant, S.I., Lyons, M.A., Pacheco, J.M., Arzt, J., Rodriguez, L.L. 2016. Veterinary applications of infrared thermography. *American journal of veterinary research*, 77(1): 98-107.
- Salles, M.S.V., da Silva, S.C., Salles, F.A., Roma Jr, L.C., El Faro, L., Mac Lean, P.A.B., de Oliveira C.E.L., Martello, L.S. 2016. Mapping the body surface temperature of cattle by infrared thermography. *Journal of Thermal Biology*, 62: 63-69.

- Schaefer, A.L., Cook, N.J., Bench, C., Chabot, J.B., Colyn, J., Liu, T., et al. 2012. The non-invasive and automated detection of bovine respiratory disease onset in receiver calves using infrared thermography. *Res Vet Sci.*, 93:928-935.
- Stewart, M., Schaefer, A.L., Haley, D.B., Colyn, J., Cook, N., Stafford, K.J., et al. 2008. Infrared thermography as a non-invasive method for detecting fear-related responses of cattle to handling procedures. *Anim Welf.*, 17:387-393.
- Stewart, M., Webster, J.R., Schaefer, A.L., Cook, N.J., Scott, S.L. 2005. Infrared thermography as a non-invasive tool to study animal welfare. *Animal Welfare*, 14: 319-325.
- Tattersall, G.J. 2016. *Infrared thermography: A non-invasive window into thermal physiology. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 202, 78-98.
- Thom, E.C. 1959. The discomfort indexes. *Weatherwise*, 12:57-69.
- Yousef, M.K. 1985. Heat production: mechanisms and regulation. *Stress Physiology in Livestock*, 1:47-54.

Correlation of body surface temperature measured by infrared thermography and air temperature and humidity index (THI) in the assessment of heat stress in cows

Jovan Spasojević^a, Mira Majkić^a, Marko Cincović^a, Jovan Stanojević^a,
Bojan Blond^a, Miodrag Radinović^a

^aUniversity of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Department of Veterinary Medicine, Novi Sad, Serbia

*Corresponding author: miramajkic@gmail.com

ABSTRACT

The aim of this research is to examine the value of body surface temperature measured by infrared thermography and determine its correlation with THI index of heat stress in cows calculated using different formulas. Values from 120 cows were included in the experiment. The value of the THI index is the lowest in January and the highest in July. The THI ranged from 42.1 to 57.4 in January, and from 75.8 to 90.0 in July, depending on which formula is used to calculate the THI index. Regardless of the deviations of the values as a function of the applied formula, these deviations are not so large as to lead to a false conclusion about the existence of thermal stress. Regardless of which THI calculation formula we apply, they all show that during June, July and August there is heat stress in cows (THI >72). In May and September, different formulas can give different values of THI, so according to some formulas there is heat stress, while according to others it does not exist. In the period from October to April, the THI was in the thermoneutral zone (THI <72) regardless of which formula is applied. Infrared thermography showed that the temperature rises in all regions of the body in the summer months. The range of values during the year was as follows: 1) Eye - from 31.4 to 37.6 °C; 2) Ear - from 31.8 to 37.1 °C; 3) Nose - from 31.9 to 37.8 °C; 4) Udder - from 30.7 to 38.2 °C; 5) Teat - from 29.0 to 37.8 °C; 6) Carpal joint - from 28.4 to 36.5 °C; 7) Front leg lateral claw - from 26.2 to 36.2 °C; 8) Tarsal joint - from 25.6 to 32.9 °C; 9) Back leg lateral claw - from 36.4 to 36.8 °C; 10) Lumbar back - from 30.4 to 37.9 °C; 11) Back sacral - from 33.1 to 38.4 °C; 12) Middle chest - from 31.0 to 38.3 °C; 13) Middle abdomen - from 32.1 to 38.3 °C; 14) Horizontal line - from 29.6 to 37.9 °C; 15) Vertical line - from 30.0 to 38.3 °C and 16) Whole body surface - from 29.0 to 37.6 °C. Body temperature is 7-10 °C higher in cows under heat stress compared to the thermoneutral period. Differences can also be observed during visual assessment of thermograms and analysis of temperature frequency distribution. The temperature measured by infrared thermography positively correlates with the value of the THI index, and the statistical significance of the correlation was at the level of $p < 0.0001$, for all examined body regions and types of the THI index. Although these are statistically significant correlations, the strength of these correlations differs depending on the region of the body where infrared thermography is performed and the type of THI index. The eye region showed the weakest correlation with THI indices ($r = 0.29-0.43$). The strongest correlation with THI indices was shown by the udder and hind hoof, as well as the average temperatures of the horizontal line, vertical line and the average temperature of the whole body ($R = 0.42-0.85$). When viewed from the aspect of the type of THI index according to the formula used, there are certain differences in the strength of the obtained correlation, and the strongest correlation was obtained with those THI indices whose formulas give the highest values of this index during the summer period ($r = 0.42-0.86$). The obtained data confirm that infrared thermography is a high-quality, non-invasive method for assessing heat load and heat stress in cows on farms.

KEY WORDS: cow, heat stress, infrared thermography, temperature-humidity index, body region, correlation