

UNIVERZITET U BEOGRADU
POLJOPRIVREDNI FAKULTET

Blagoje M. Stojković

**EFEKTI KORIŠĆENJA HROMA U ISHRANI
KRAVA SIMENTALSKE RASE TOKOM
LAKTACIJE U USLOVIMA VISOKE
SPOLJNE TEMPERATURE**

doktorska disertacija

Beograd, 2026

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF AGRICULTURE

Blagoje M. Stojković

**THE EFFECTS OF CHROMIUM
SUPPLEMENTATION IN THE DIET OF
SIMMENTAL COWS DURING LACTATION
UNDER HIGH AMBIENT TEMPERATURE
CONDITIONS**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2026

Mentor:

Dr Bojan Stojanović, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet

Članovi komisije za odbranu doktorske disertacije:

Dr Vesna Davidović, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet

Dr Predrag Perišić, vanredni profesor
Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet

Dr Ivan Vujanac, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu, Fakultet veterinarske medicine

Dr Aleksandra Ivetić, viši naučni saradnik
Institut za primenu nauke u poljoprivredi u Beogradu

Datum odbrane:

ZAHVALNICA

Ovaj rad ne bi bio moguć bez podrške i razumevanja mnogih ljudi kojima dugujem iskrenu zahvalnost.

Najpre, izražavam neizmernu zahvalnost svom mentoru, prof. dr Bojanu Stojanoviću, na nesebičnom angažovanju, dragocenim savetima i neprocenjivom vremenu koje je posvetio ovom radu. Hvala mu na svakom doprinosu koji je omogućio da rad dobije svoj konačni oblik i suštinu.

Iskreno hvala i članovima komisije prof. dr Vesni Davidović, prof. dr Predragu Perišiću, prof. dr Ivanu Vujancu i dr Aleksandri Ivetić na korisnim savetima i konstruktivnim sugestijama, koji su dodatno unapredili kvalitet istraživanja.

Posebnu zahvalnost dugujem Slobodanu i Dragoljubu Nikoliću, vlasnicima farme DMN, koji su velikodušno omogućili ključne resurse bez kojih bi realizacija oglada bila nezamisliva. Njihova posvećenost i saradnja predstavljali su neprocenjiv doprinos ovom istraživanju.

Hvala kolegi Milošu Ivanoviću i kolegici Jefimiji Jotić na nesebičnoj pomoći i podršci tokom izvođenja oglada, kao i kolegama Čabi Jursčeku i Milošu Markoviću iz firme Bioflop, na obezbeđivanju proizvoda koji je testiran u okviru istraživanja i na iskazanoj profesionalnoj saradnji.

Zahvaljujem se i dr Stefanu Simunoviću na konstruktivnim savetima i pomoći tokom izrade doktorske disertacije.

Zahvaljujem se i dipl. inž. Jeleni Janković na pomoći u radu u laboratoriji, kao i kolegici master inž. Ivani Grujić, na strpljenju, razumevanju i moralnoj podršci tokom pisanja disertacije.

Posebnu zahvalnost dugujem Jovani Vuković, čija su nesebična podrška, razumevanje i neizmerna motivacija bili moj oslonac tokom celog procesa izrade ove disertacije. Na kraju, ali ne i najmanje važno, želim da se od srca zahvalim svojoj porodici – na svemu. Ova disertacija nosi moje ime, ali u svakoj njenoj rečenici je i deo Vas.

EFEKTI KORIŠĆENJA HROMA U ISHRANI KRAVA SIMENTALSKE RASE TOKOM LAKTACIJE U USLOVIMA VISOKE SPOLJNE TEMPERATURE

Sažetak

Klimatske promene predstavljaju jednu od glavnih pretnji opstanku brojnih biljnih i životinjskih vrsta i održivosti poljoprivredne proizvodnje širom sveta, posebno u zemljama tropskog i umerenog klimatskog pojasa. Toplotni stres je značajan izazov sa kojim se globalno suočava mlečno govedarstvo i industrija mleka, jer su krave, naročito tokom laktacije, podložne negativnim uticajima povišene ambijentalne temperature.

Hrom je hemijski element čija biološka uloga kod domaćih životinja još uvek nije u potpunosti razjašnjena. Potvrđeno je da utiče na metabolizam ugljenih hidrata, proteina i masti. Potrebe za ovim elementom se povećavaju u uslovima fiziološkog stresa. U ranijim istraživanjima, inostranih autora, ukazano je da dodavanje hroma u obroke mlečnih krava holštajn rase, koje su izložene toplotnom stresu, ima povoljan uticaj na njihove proizvodne performanse. Ova studija je imala za cilj da istraži efekte suplementacije hroma u formi hrom-propionata (CrP) na konzumiranje i efikasnost iskorišćavanja hrane, proizvodnju mleka i najznačajnije biohemijske parametre krvi kod visokoproizvodnih krava simentalске rase tokom laktacije, u uslovima toplotnog stresa.

Ogled je postavljen kao jednofaktorijski sa dva tretmana i obuhvatio je 70 krava simentalске rase u srednjoj fazi laktacije. Za potrebe istraživanja, krave su raspoređene u dve grupe: kontrolnu (CON) i eksperimentalnu (CrP). Pre početka ogleda, grupe su bile ujednačene u pogledu stadijuma laktacije, laktaciji po redu, uzrasta, telesne kondicije i proizvodnje mleka. Eksperiment je sproveden tokom najtoplijih letnjih meseci – jula i avgusta i trajao je 8 nedelja. Eksperimentalnom periodu je prethodio pripremni period u trajanju od jedne nedelje, tokom koga su obe grupe krava konzumirale identičan kompletno mešani obrok (TMR, Total Mixed Ration) bez suplementacije hroma. Svaka krava iz CrP grupe dobijala je 198 g prekrupе kukuruza i 2 g preparata – izvora hroma u formi hrom-propionata (KemTRACE 0,4% Cr), koji su prethodno pomešani i dodati u kompletno mešani obrok, dok je CON grupa dobijala 200 g prekrupе kukuruza takođe dodate u TMR. Uzorci potpuno mešanog obroka i nekonzumiranog ostatka uzimani su dva puta nedeljno radi hemijske analize. Takođe jednom nedeljno je vršena kontrola fizičke forme obroka i nekonzumiranog ostatka korišćenjem Penn State Partical Separator-a. Za vreme ogleda, količina proizvedenog mleka evidentirana je svakodnevno, a kontrole mlečnosti su vršene tri puta kako bi se utvrdio hemijski sastav mleka. Uzorci krvi za biohemijska ispitivanja uzimani su od po 15 krava iz svake grupe punkcijom repne vene (v. *coccygea*) tri puta u toku eksperimentalnog perioda. Temperaturu vazduha (Temperature, T) i relativna vlažnost (Relative Humidity, RH) beležene su 3 puta dnevno i na osnovu tih vrednosti izračunat je indeks temperature i vlažnosti (THI, Temperature Humidity Index).

Tokom osmonedeljnog oglednog perioda prosečna utvrđena vrednost za THI ($76,45 \pm 2,80$) je bila znatno iznad kritične (72,0), što ukazuje da su krave bile izložene toplotnom stresu.

Dodatak CrP obezbedio je 0,34 mg Cr/kg suve materije (SM) obroka. Suplementacija CrP-om povećala je unos SM (4,11%, $p < 0,01$) i proizvodnju mleka (4,58%, $p < 0,01$), mleka korigovanog na 4% masti (4,08%, $p < 0,01$), prinos mlečne masti (4,46%, $p < 0,01$), prinos proteina (4,21%, $p < 0,01$), prinos laktoze (3,79%, $p < 0,01$) kao i prinos suve materije mleka (3,51%, $p < 0,01$). Dodatno, suplementacija CrP-om povećala je koncentraciju glukoze u krvi (8,39%, $p < 0,01$), dok je smanjila nivo uree u krvi (14,85%, $p < 0,05$) i beta-hidroksibutirata (17,14%, $p < 0,05$).

Suplementacija sa CrP-om nije pokazala statistički značajan uticaj na procenat mlečne masti, proteina mleka, laktoze i suve materije, niti na efikasnost iskorišćavanja hrane. Takođe, nije bilo razlike u prosečnoj veličini čestica kompletnog obroka i nekonzumiranog ostatka između kontrolne i eksperimentalne grupe. Što se tiče biohemijskih parametara krvi, nije utvrđena statistički značajna razlika u vrednostima ukupnih proteina, albumina, kalcijuma, fosfora, ukupnog bilirubina, triglicerida, kao i enzima aspartat-aminotransferaze i gama-glutamil transferaze.

Upotreba CrP-a kao dodatnog izvora hroma u obrocima značajno je poboljšala produktivne performanse krava simentalke rase u laktaciji, u uslovima toplotnog stresa. Pokazano je da suplementacija Cr može imati pozitivan efekat na metabolizam glukoze i N, kao i na energetske metabolizam krava u laktaciji pri umerenim vrednostima THI.

Ključne reči: krave, hrom-propionat, prinos i kvalitet mleka, indeks temperature i vlažnosti.

Naučna oblast: Zootehnika

Uža naučna oblast: Ishrana, fiziologija i anatomija domaćih i gajenih životinja

UDK broj:

THE EFFECTS OF CHROMIUM SUPPLEMENTATION IN THE DIET OF SIMMENTAL COWS DURING LACTATION UNDER HIGH AMBIENT TEMPERATURE CONDITIONS

Summary

Climate change represents one of the major threats to the survival of various species and the sustainability of agricultural production worldwide, particularly in tropical and temperate countries. Heat stress is a significant challenge faced by the dairy industry as dairy cows are susceptible to the negative effects of heat.

Chromium is a chemical element whose biological role in domestic animals is not yet fully understood. It has been confirmed to affect the metabolism of carbohydrates, proteins, and fats. The need for this element increases under physiological stress conditions. Some earlier studies by foreign authors have shown that the addition of chromium to the diet of Holstein dairy cows under heat stress conditions has a beneficial effect on their production performance. This study aimed to investigate the effects of chromium supplementation in the form of chromium propionate (CrP) on feed intake, milk production, and selected biochemical blood parameters in Simmental dairy cows during mid-lactation under heat stress conditions.

The experiment was designed as a one-factor trial with two treatments. Seventy Simmental cows in mid-lactation were included in the study. For the research purposes, cows were divided into two groups: a control group (CON) and an experimental group (CrP). Prior to the trial, the groups were equalized in terms of lactation stage, lactation number, age, body condition, and milk production. The experiment was conducted during July and August and lasted for 8 weeks. The preparation period lasted one week, during which both groups consumed TMR (Total Mixed Ration) without chromium supplementation. Each cow in the CrP group was fed 198 g of ground corn and 2 g of KemTRACE 0.4% Cr, which were mixed and added to the total mixed ration while the CON group received 200 g of ground corn also mixed into the TMR. Samples of the TMR and unconsumed residue were taken twice a week for chemical analysis. Additionally, the physical form of the ration and unconsumed orts were checked weekly using the Penn State Particle Separator. During the trial, daily milk production was recorded, while the milk chemical composition was determined three times, during the trial. Blood samples for biochemical analysis were taken from 15 cows per group via tail vein puncture (*v. coccygea*) three times during the experimental period. Air temperature (T) and relative humidity (RH) were recorded three times daily, and based on these values, the Temperature Humidity Index (THI) was calculated.

During the eight-week trial period, the THI was above 72 (76.45 ± 2.80), indicating that the cows were exposed to heat stress.

The addition of CrP provided 0.34 mg Cr/kg dry matter of the ration. Chromium supplementation increased dry matter intake (4.11%, $p < 0.01$) and milk production (4.58%, $p < 0.01$), milk yield corrected for 4% fat (4.08%, $p < 0.01$), milk fat yield (4.46%, $p < 0.01$), protein yield (4.21%, $p < 0.01$), lactose yield (3.79%, $p < 0.01$), and dry matter yield (3.51%, $p < 0.01$). Furthermore, CrP supplementation increased blood glucose concentration (8.39%, $P < 0.01$), while reducing blood urea nitrogen (BUN) levels (14.85%, $p < 0.05$) and beta-hydroxybutyrate (BHB) levels (17.14%, $p < 0.05$).

However, supplementation with CrP did not show a statistically significant effect on the percentage of milk fat, milk protein, lactose, or dry matter, nor on feed efficiency. Additionally, no differences were observed in the particle size of the TMR and unconsumed orts between the control and experimental groups. Regarding biochemical blood parameters, no statistically significant differences were found in the levels of total proteins, albumin, calcium, phosphorus, total bilirubin, triglycerides, Aspartate Aminotransferase (AST), and Gamma-Glutamyl Transferase (GGT).

The use of CrP as an additional chromium source in the diet significantly improved the productive performance of Simmental dairy cows under heat stress conditions. It was shown that Cr

supplementation can have a positive effect on glucose and nitrogen metabolism, as well as on the energy metabolism of cows during lactation at moderate THI values.

Keywords: cows, chromium propionate, milk yield and quality, temperature-humidity index.

Scientific Field: Animal Science

Specific Scientific Area: Nutrition, physiology, and anatomy of domestic and reared animals

UDK number:

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. NAUČNI CILJ ISTRAŽIVANJA.....	4
3. PREGLED LITERATURE.....	5
3.1. Globalno zagrevanje i klimatske promene	5
3.1.1. Klimatske promene u Srbiji	7
3.2. Toplotni stres	9
3.2.1. Klimatski parametri za procenu toplotnog stresa kod muznih krava.....	9
3.2.2. Indeks temperature i vlažnosti vazduha kao indikator toplotnog stresa	11
3.2.2.1. Izračunavanje indeksa temperature i vlažnosti.....	12
3.2.2.2. Kategorizacija vrednosti THI.....	13
3.2.3. Mehanizmi adaptacije organizma na toplotni stres.....	15
3.2.4. Uticaj toplotnog stresa na konzumaciju hrane i unos vode.....	17
3.2.5. Uticaj toplotnog stresa na prinos i hemijski sastav mleka	19
3.3. Razvoj naučnih saznanja o hromu	20
3.3.1. Osnovne hemijske karakteristike hroma.....	21
3.3.2. Hemijski oblici i biološka dostupnost hroma	22
3.3.3. Uticaj hroma na metabolizam hranljivih materija	25
3.3.3.1. Efekti hroma na metabolizam ugljenih hidrata	25
3.3.3.2. Efekti hroma na metabolizam lipida	25
3.3.3.3. Efekti hroma na metabolizam proteina	26
3.3.4. Značaj i efekti uključivanja hroma u obroke za krave u laktaciji	26
4. POLAZNE HIPOTEZE U ISTRAŽIVANJU.....	36
5. MATERIJAL I METODE ISTRAŽIVANJA	38
5.1. Ogledne životinje.....	38
5.2. Hemijski sastav, fizička forma obroka i ishrana oglednih životinja.....	39
5.3. Ambijentalna temperatura i relativna vlažnost vazduha.....	44
5.4. Determinisanje prinosa i hemijskog sastava mleka.....	45
5.5. Biohemijski parametri krvi krava	47
5.6. Statistička analiza podataka	49
6. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA	50
6.1. Indeks temperature i vlažnosti i nivo toplotnog stresa	50
6.2. Konzumiranje i fizička forma hrane.....	52
6.2.1. Konzumiranje suve materije obroka	52
6.1.2. Fizička struktura kompletno mešanog obroka i nekonzumiranog ostatka.....	56
6.3. Produktivnost i hemijski profil mleka	58
6.3.1. Prinos mleka	58
6.3.2. Sadržaj i prinos mlečne masti.....	64
6.3.3. Sadržaj i prinos proteina mleka	65

6.3.4. Sadržaj i prinos laktoze.....	67
6.3.5. Sadržaj i prinos suve materije mleka	68
6.3.6. Efikasnost iskorišćavanja hrane.....	70
6.4. Biohemijski pokazatelji krvi krava u ogledu	72
7. ZAKLJUČAK.....	79
8. LITERATURA	81
9. PRILOZI.....	97
10. BIOGRAFIJA KANDIDATA	126
Izjava o autorstvu	127
Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada	128
Izjava o korišćenju	129

LISTA SKRAĆENICA

ADF – Acid Detergent Fibre (Kisela deterdžentska vlakna)
AT – Ambijentalna Temperatura u °C
AST – Aspartat aminotransferaza
BEM – Bezazotne Ekstraktivne Materije
BHBA – Beta-hidroksibutirat
BUN – Blood Urea Nitrogen (Urea u krvi)
Ca – Kalcijum
Ca(H₂PO₄) – Monokalcijum fosfat
CaCO₃ – Kalcijum karboat
CH₄ – Metan
CO₂ – Ugljen-dioksid
Co – Kobalt
CON – Kontrolna grupa
Cr – Hrom
Cr³⁺ – Trovalentni hrom
Cr⁶⁺ – Šestovalentni hrom
CrP – Eksperimentalna grupa sa dodatkom hrom propionata
Cr-Tf – Transferin hroma
CrY – Kvasac obogaćen hromom
Cu – Bakar
CVB – Centraal Veevoederbureau (Centralni biro za stočnu hranu, Holandija)
Fe – Gvožđe
GLUT4 – Glucose Tansporter type 4 (Transporter glukoze tip 4)
GGT – Gama-Glutamil Transferaza
GTF – Glucose Tolerance Factor (Faktor tolerancije na glukozu)
I – Jod
IGF - R1 – Receptor insulinskog faktora rasta
IGF - 1 – Insulinu sličan faktor rasta
KSM – Konzumacija Suve Materije
LMWCr – Low-Molecular-Weight Chromium-binding substance (Hromodulin)
MgO – Magnezijum oksid
Mn – Mangan
NA – Nikotinska kiselina
NaCl – Natrijum hlorod
NaHCO₃ – Natrijum-hidrogenkarbonat
NAD⁺ – Nikotinamid-adenin-dinukleotid (koenzim I)
NADP⁺ – Nikotinamid-adenin-dinukleotid-fosfat (koenzim II)
NAM – Nikotinamid mononukleotid
NDF – Neutral Detergent Fibre (Neutralna deterdžentska vlakna)
NEFA – Non-Esterified Fatty Acids (Neesterifikovane masne kiseline)
NEL – Neto Energija za Laktaciju
P – Fosfor
PSPS – Penn State Partical Separator
RH – Relative Humidity (Relativna vlažnost vazduha)
SC – Sirova Celuloza
Se – Selen
SM – Suva Materija
SMa – Sirova Mast
SP – Sirovi Protein
SPe – Sirovi Pepeo

Tdb – Temperatura suvog termometra u °C

THI – Temperature and humidity index (Indeks Temperature i Vlažnosti vazduha)

TMR – Total Mixed Ration (Kompletno mešani obrok)

Twb – temperatura vlažnog termometra u °C

Zn – Cink

LISTA TABELA

Tabela 1. Rang 2024. godine prema srednjoj temperaturi vazduha, zajedno sa višegodišnjim prosekom i odstupanjem u odnosu na klimatsku normalu za period 1991-2020. (RHZ, 2025).	8
Tabela 2. Uporadni prikaz modela za izračunavanje Indeksa temperature i vlažnosti prema različitim autorima	13
Tabela 3. Vrednosti Indeksa temperature i vlažnosti pri različitim vrednostima temperature (°C) i relativne vlažnosti (%) (Ryman i sar., 2023)	14
Tabela 4. Uticaj dodavanja kvasca obogaćenog hromom na rektalnu temperaturu i frekvenciju disanja krava u uslovima toplotnog stresa	27
Tabela 5. Efekti dodavanja hroma u različitoj formi i količinama na proizvodne parametre krava u laktaciji	28
Tabela 6. Efekti dodavanja hroma u različitoj formi i količinama na hemijski sastav mleka	29
Tabela 7. Efekti dodavanja hroma u različitoj formi i količinama na pojedine parametre krvi krava u laktaciji	29
Tabela 8. Ujednačenost grupa na početku ogleda	39
Tabela 9. Hemijski sastav i karakteristike dodatka Kem TRACE 0,4% Cr	39
Tabela 10. Hemijski sastav komponenti kompletno mešanog obroka	41
Tabela 11. Sastav i hranljiva vrednost kompletno mešanog obroka	43
Tabela 12. Sastav premiksa korišćenog u kompletno mešanom obroku	44
Tabela 13. Prosečno konzumiranje SM obroka kod krava u laktaciji, po nedeljama eksperimentalnog perioda (kg/dan)	54
Tabela 14. Prosečno konzumiranje NEL obroka kod krava u laktaciji, po nedeljama eksperimentalnog perioda (MJ/dan)	54
Tabela 15. Prosečno konzumiranje SP (kg/dan) kod krava u laktaciji, po nedeljama eksperimentalnog perioda	55
Tabela 16. Relativno učešće PSPS-frakcija i prosečna veličina čestica kompletnih obroka	56
Tabela 17. Relativno učešće PSPS-frakcija i prosečna veličina čestica nekonsumiranog ostatka	57
Tabela 18. Efekat upotrebe hrom-propionata na proizvodnju i hemijski sastav mleka	58
Tabela 19. Rezultati analize prinosa i hemijskog sastava mleka, dobijenih u prvoj kontroli mlečnosti	59
Tabela 20. Rezultati analize prinosa i hemijskog sastava mleka, dobijenih u drugoj kontroli mlečnosti	60
Tabela 21. Rezultati analize prinosa i hemijskog sastava mleka, dobijenih u trećoj kontroli mlečnosti	61
Tabela 22. Inicijalno stanje biohemijskih parametara krvi kod krava u ogledu	72
Tabela 23. Stanje biohemijskih parametara krvi kod krava u laktaciji na sredini oglednog perioda	74
Tabela 24. Stanje biohemijskih parametara krvi kod krava na kraju oglednog perioda	76
Tabela 25. Prosečne vrednosti biohemijskih parametara krvi kod oglednih grupa krava za celi ogledni period	78

LISTA SLIKA

Slika 1. Uticaj klimatskih promena na poljoprivredu (Abebaw, 2025)	6
Slika 2. Šematski prikaz zone komfora, homeotermije i preživljavanja životinje.....	10
Slika 3. Razmena toplotne energije kod životinja.....	17
Slika 4. Hrom-propionat (PubChem Compound, CID: 129821077)	22
Slika 5. Mehanizam delovanja hroma u ćeliji.....	24
Slika 6. Boks sa životinjama u ogledu	38
Slika 7. Uzorkovanje sena za laboratorijsku analizu	40
Slika 8. Laboratorijska sušnica	41
Slika 9. Laboratorijski mlin	41
Slika 10. Sistem sita-Penn State Particle Separator	42
Slika 11. Distribucija obroka	42
Slika 12. Beleženje ambijentalne temperature i relativne vlažnosti vazduha, korišćenjem uređaja Data logger-Testo 174H.....	44
Slika 13. Izmužište sa opremom za mužu	45
Slika 14. Transport uzoraka mleka	46
Slika 15. Uređaj za hemijsku analizu mleka-LactoScope Filter C4+	46
Slika 16. Uzimanje uzoraka krvi.....	47
Slika 17. Izolovanje seruma	47
Slika 18. Uređaj za biohemijsku analizu krvi-A15, BioSystem	48

LISTA GRAFIKONA

Grafikon 1. Prikaz prosečne dnevne temperature (°C) i relativne vlažnosti (%) vazduha u toku celokupnog perioda istraživanja.....	50
Grafikon 2. Kretanje indeksa temperature i vlažnosti u toku celokupnog perioda istraživanja	51
Grafikon 3. Konzumiranje SM kompletno mešanog obroka, u toku celokupnog perioda istraživanja	53
Grafikon 4. Promene u sadržaju i prinosu mlečne masti kod eksperimentalnih grupa krava u toku celokupnog perioda istraživanja.....	64
Grafikon 5. Promene u sadržaju i prinosu proteina mleka kod eksperimentalnih grupa krava u toku celokupnog perioda istraživanja.....	66
Grafikon 6. Promene u sadržaju i prinosu laktoze kod eksperimentalnih grupa krava, u toku celokupnog perioda istraživanja.....	67
Grafikon 7. Promene u sadržaju i prinosu suve materije kod eksperimentalnih grupa krava u toku celokupnog perioda istraživanja.....	69
Grafikon 8. Efikasnost iskorišćavanja hrane kod eksperimentalnih grupa životinja u toku celokupnog istraživanja, kg 4% MKM/kg SM	70
Grafikon 9. Efikasnost iskorišćavanja energije kod eksperimentalnih grupa životinja u toku celokupnog istraživanja NEL, MJ/kg 4% MKM	71
Grafikon 10. Efikasnost iskorišćavanja SP, kg/kg SP mleka kod eksperimentalnih grupa životinja u toku celokupnog istraživanja	71

1. UVOD

Klimatske promene i globalno zagrevanje ubrajaju se među najsloženije izazove sa kojima se suočava čovečanstvo, jer svojim višestrukim posledicama utiču na prirodne ekosisteme, poljoprivredu i zdravlje ljudi i životinja. Jedan od najpouzdanijih pokazatelja ovih procesa jeste stalni rast globalne prosečne temperature, koja je u poslednjim decenijama beležila kontinuirani porast, što je dovelo do poremećaja u prirodnoj raspodeli resursa. Prema procenama Internacionalnog panela za klimatske promene (IPCC), prosečna površinska temperatura Zemlje već je viša za približno 1,1°C u odnosu na predindustrijski period, a glavni uzrok ove pojave je nagomilavanje gasova sa efektom staklene bašte, pre svega ugljen – dioksida (CO₂), u atmosferi (IPCC, 2021). Ove promene, međutim, zavise od geografskog položaja, pa se u nekim područjima, naročito u regionima sa toplijom klimom, posledice osećaju mnogo više. Naša zemlja, kao deo jugoistočne Evrope, posebno je ugrožena, jer se u proteklih decenijama beleži učestalija pojava ekstremnih vremenskih prilika, npr. dugi periodi suše, toplotni talasi i izrazito visoke temperature. Takvi klimatski trendovi ostavljaju posledice na stočarsku proizvodnju, pri čemu je mlečno govedarstvo jedan od najosetljivijih sektora. Osim direktnog fiziološkog stresa kod krava, klimatske promene utiču i na dostupnost i kvalitet stočne hrane, snabdevanje vodom, kao i na pojavu i širenje bolesti, što dodatno otežava proizvodnju i umanjuje njenu isplativost. Zbog toga klimatske promene ne treba posmatrati samo kao ekološki problem, već i kao ozbiljan društveno – ekonomski izazov. Ekstremni uslovi mogu ugroziti održivost poljoprivrede i bezbednost u snabdevanju hranom. Upravo iz tih razloga postaje neophodno razvijati strategije adaptacije i ublažavanja posledica, kako bi se očuvala dugoročna stabilnost proizvodnje mleka u uslovima sve izraženijeg toplotnog stresa.

Stres se u naučnoj literaturi definiše kao spoljašnji stimulus ili skup okolnosti koje remete homeostazu organizma i izazivaju adaptivne reakcije, pri čemu odgovor životinje na ovakve izazove uključuje povećanu potrošnju energije usmerenu na smanjenje ili neutralisanje nepovoljnih efekata spoljašnjeg faktora (Collier i sar., 2017). Među različitim oblicima stresa, toplotni stres zauzima značajno mesto u mlečnom govedarstvu, jer predstavlja jedno od bitnijih ograničenja savremene proizvodnje mleka. On nastaje kada je poremećena ravnoteža između toplote koju organizam krave generiše tokom metaboličkih i fizioloških procesa i sposobnosti životinje da tu toplotu prenese i oslobodi u okolinu. Kada je ovaj balans narušen, dolazi do niza fizioloških poremećaja, uključujući smanjen unos hrane, promene u endokrinom i metaboličkom sistemu, smanjenu proizvodnju mleka i povećanu podložnost bolestima, dok dugotrajna izloženost visokim temperaturama dodatno može dovesti do smanjenja reproduktivnih performansi (Hammami i sar., 2013; Collier i sar., 2017; Ramón-Moragues i sar., 2021). Zbog toga se toplotni stres ne posmatra samo kao faktor koji direktno utiče na produktivnost, već i kao značajan izazov u pogledu dobrobiti životinja i ekonomske efikasnosti proizvodnje. Za procenu stepena izloženosti toplotnom stresu koriste se različiti parametri, pri čemu je najznačajniji indeks temperature i vlažnosti vazduha (THI), koji kombinuje efekat temperature i relativne vlažnosti u jedinstvenu numeričku vrednost. Na taj način se omogućava kvantifikacija rizika od stresa kod goveda. Na osnovu dobijenih vrednosti definišu se kategorije stresa, što istraživačima i farmerima omogućava pravovremeno prepoznavanje rizika i primenu preventivnih mera u upravljanju datom situacijom. Izračunavanje THI vrši se različitim matematičkim formulama, a njegova interpretacija zavisi od definisanih pragova, pri čemu visokoproduktivne mlečne krave zahtevaju niže granične vrednosti zbog povećane osetljivosti na temperaturna odstupanja usled intenzivnog metabolizma i visokog nivoa proizvodnje mleka. Pored THI, savremena istraživanja sve više uključuju i dodatne pokazatelje, poput kombinovanih bioklimatskih indeksa i fizioloških markera stresa, kako bi se dobila sveobuhvatnija slika uticaja klimatskih uslova na performanse i dobrobit životinja.

Mehanizmi kojima se mlečne krave prilagođavaju izloženosti visokim temperaturama obuhvataju kompleksan skup fizioloških i bihevioralnih reakcija. Najčešće manifestacije uključuju povećanje frekvence disanja, aktivaciju evaporativnog hlađenja putem znojenja (Wang i sar., 2015), smanjenje unosa hrane (Corazzin i sar., 2020) i intenzivniju konzumaciju vode (Hauser i sar., 2023). Ove adaptivne promene imaju zaštitnu funkciju i omogućavaju očuvanje homeostaze i sprečavanje

hipertermije. Međutim one narušavaju ravnotežu energetske i nutritivne potrebe u organizmu. Posledično dolazi do smanjene raspoloživosti ključnih hranljivih materija potrebnih za metaboličke procese vezane za sintezu mleka i održavanje visokog proizvodnog potencijala. Negativni efekti toplotnog stresa naročito su izraženi kod visokoproduktivnih krava. Kod njih su metabolički zahtevi u periodu laktacije ekstremno visoki, što dodatno otežava održavanje fiziološke stabilnosti. Kod ovih životinja evidentira se visoko opterećenje organizma, budući da ograničen unos hrane ne može u potpunosti da pokrije potrebe za energijom, proteinima i mineralima. Kao posledica toga, dolazi do mobilizacije telesnih rezervi, što remeti energetske i nutritivne potrebe i povećava rizik od metaboličkih poremećaja. Promenjena dinamika hranidbenog ponašanja utiče na sastav i količinu proizvedenog mleka, kao i na njegov hemijski sastav. Adaptivni odgovori organizma na povišene temperature, koji su neophodni za preživljavanje, istovremeno predstavljaju limitirajući faktor za ostvarivanje genetskog potencijala u proizvodnji mleka.

U okviru nastojanja da se ublaže negativni efekti toplotnog stresa kod mlečnih krava, sve više se naglašava značaj ishrane kao faktora koji može doprineti očuvanju homeostatske ravnoteže i optimalnog metabolizma. Posebno mesto u ovom kontekstu zauzima hrom, zbog svoje uloge u regulaciji metabolizma ugljenih hidrata, lipida i proteina, kao i potencijala da unapredi adaptivne sposobnosti životinja izloženih visokim temperaturama. Savremena istraživanja ukazuju da dodatak hroma može doprineti povećanju insulinske osetljivosti (Nishimura i sar., 2021), čime se postiže efikasnije iskorišćavanje hranljivih materija i povoljniji energetski status u stresnim uslovima. Osnovne hemijske osobine ovog elementa, uključujući različita oksidaciona stanja i hemijske forme, predmet su intenzivnih istraživanja sa ciljem da se identifikuje oblik hroma koji pokazuje najveću praktičnu vrednost i biološku dostupnost (Wu i sar., 2021; Shan i sar., 2020). Posebna pažnja usmerena je na hrom-propionat (Vargas-Rodriguez i sar., 2014), koji se odlikuje visokom stabilnošću i značajnim potencijalom za poboljšanje metaboličke efikasnosti. Njegova primena se sve više razmatra kao deo nutritivne strategije u cilju održavanja proizvodnih performansi i smanjenja fiziološkog opterećenja tokom perioda toplotnog stresa.

Osim značajne uloge u regulaciji metabolizma ugljenih hidrata, lipida i proteina, hrom se sve češće povezuje i sa povoljnim efektima na proizvodne karakteristike krava u laktaciji. Istraživanja ukazuju da suplementacija ovim elementom može doprineti povećanom unosu suve materije, boljoj mlečnosti i stabilnom hemijskom sastavu mleka, čime se ostvaruje višestruki doprinos proizvodnoj efikasnosti (Stojković i sar., 2025). Pored toga, hrom se razmatra i kao potencijalni faktor u jačanju imunskog odgovora, što je naročito značajno u periodima kada je organizam izložen povećanom fiziološkom opterećenju, poput toplotnog stresa ili ranog stadijuma laktacije (Jovanović, 2017). Njegova primena prevazilazi ulogu klasičnog mikronutrijenta, jer se posmatra kao funkcionalni dodatak ishrani koji može doprineti boljem prilagođavanju organizma na stresne uslove i održavanju stabilnog zdravstvenog statusa. Poseban značaj ovakvih efekata ogleda se u činjenici da hrom omogućava dugoročnu stabilizaciju proizvodnih performansi.

Polazeći od navedenog, jasno se uočava da problem toplotnog stresa, kao i mogućnosti njegove prevencije ili ublažavanja kroz adekvatnu optimizaciju ishrane, naročito primenom dodataka poput hrom-propionata, predstavlja jedno od ključnih i savremenih istraživačkih pitanja u oblasti mlečnog govedarstva. S obzirom na sve izraženiji uticaj klimatskih promena na proizvodne sisteme, istraživanje adaptacionih mehanizama i nutritivnih strategija postaje od presudnog značaja za očuvanje zdravlja i dobrobiti životinja.

Ovaj rad ima za cilj da integriše i kritički sagleda postojeća saznanja o globalnim klimatskim promenama i njihovom uticaju na krave u laktaciji, da detaljno analizira fiziološke i metaboličke posledice toplotnog stresa, kao i da istakne specifičnu ulogu hroma kao mikronutrijenta sa izraženim potencijalom u unapređenju proizvodnih performansi krava u laktaciji i jačanju otpornosti organizma. Poseban akcenat stavlja se na razumevanje interakcije između nutritivnih dodataka i metaboličkih procesa, kako bi se objasnila uloga hroma u očuvanju homeostatske ravnoteže. Na taj način, rezultati istraživanja ne samo da mogu doprineti proširenju teorijskih znanja u ovoj oblasti, već i obezbediti naučno utemeljen osnov za primenu praktičnih rešenja u tehnologiji ishrane krava i održivom razvoju proizvodnje mleka. Dodatno, analizom ekonomskih aspekata i dostupnosti ovakvih suplemenata,

može se sagledati njihova šira primenljivost i značaj za poljoprivrednu praksu. Očekuje se da ovakav pristup omogući razvoj efikasnijih strategija adaptacije mlečnih krava na stresne uslove okruženja i doprinese unapređenju konkurentnosti proizvodnje u sve zahtevnijim klimatskim i tržišnim okolnostima.

2. NAUČNI CILJ ISTRAŽIVANJA

Cilj ovog istraživanja je ispitivanje mogućnosti i efekata primene hroma u formi hrom-propionata (suplement KemTRACE 0,4% Cr) u obroku za ishranu krava simentalke rase tokom laktacije u uslovima povišene ambijentalne temperature, sa posebnim akcentom na najznačajnije proizvodne pokazatelje i biohemijske parametre krvi. Ovo istraživanje ima za cilj da pruži korisne i praktične podatke o primeni hroma u ishrani muznih krava simentalke rase, koja je dominantna u domaćoj populaciji goveda (75-80%). Istraživanje se posebno fokusira na uslove letnjih meseci kada su visoke temperature čest izazov za produktivnost i zdravlje krava. Predmeti ovog istraživanja obuhvataju različite aspekte proizvodnje mleka, a rezultati će omogućiti bolje razumevanje benefita upotrebe hroma u uslovima povišenih temperatura.

S obzirom na stalnu potrebu za unapređenjem proizvodnje mleka, obezbeđivanjem kvalitetne ishrane i očuvanjem zdravlja muznih krava u uslovima toplotnog stresa, ciljevi istraživanja su višestruki.

Prvi cilj obuhvata utvrđivanje mikroklimatskih uslova (temperatura i relativna vlažnost) u kojima krave borave tokom eksperimenta. Ovi faktori direktno utiču na produktivnost i dobrobit životinja, što čini neophodnim razumevanje njihovih specifičnih potreba tokom letnjih meseci.

Drugi cilj jeste utvrđivanje konzumacije suve materije hrane iz kompletno mešanih obroka, što omogućava razumevanje nutritivnih potreba krava u laktaciji, kao i efikasnosti ishrane sa dodatkom hroma.

Treći cilj istraživanja odnosi se na ispitivanje efekata uključivanja hrom-propionata u kompletno mešane obroke za krave u laktaciji, sa naglaskom na proizvodne pokazatelje, kao što su prinos i hemijski sastav mleka. Primena hroma mogla bi uticati na povećanje količine mleka, kao i na poboljšanje njegove kvalitativne vrednosti, naročito u pogledu sadržaja nutrijenata bitnih za ishranu ljudi. Takođe, istraživanje će proceniti efikasnost iskorišćavanja konzumirane hrane za proizvodnju mleka, što je od velike važnosti za ekonomičnost proizvodnje mleka u uslovima toplotnog stresa.

U okviru istraživanja, analizirataće se metabolički profil krava, kroz određivanje koncentracija ključnih parametara krvnog seruma. Biohemijski parametri krvi, mogu pružiti značajne informacije o zdravlju krava, njihovoj sposobnosti da se prilagode visokim temperaturama i uticaju hrom propionata na metabolizam krava. Rezultati istraživanja poslužiće kao osnova za formulisanje preporuka o upotrebi hroma u praktičnoj proizvodnji mleka, sa ciljem unapređenja produktivnosti i održivosti u stočarstvu.

Na temelju utvrđenih rezultata, razmotriće se mogućnosti i način primene hrom propionata u ishrani krava u laktaciji, s posebnim akcentom na proizvodnju mleka tokom letnjih meseci, kada je toplotni stres najizraženiji. Na osnovu analiza biće formulisani zaključci o opravdanosti primene hroma u ishrani krava u laktaciji, a rezultati istraživanja će biti korisni za razvoj efikasnih i održivih strategija ishrane u stočarskoj proizvodnji.

S obzirom na nedostatak rezultata koja se bave upotrebom hroma u ishrani mlečnih krava simentalke rase u uslovima toplotnog stresa, rezultati ovog istraživanja biće upoređeni sa rezultatima drugih studija koje se bave primenom različitih oblika hroma u ishrani mlečnih goveda u sličnim okruženjima. Ovo će omogućiti dublje razumevanje potencijala hroma kao suplementa u ishrani krava, kako u domaćim, tako i u globalnim uslovima.

Zaključno, rezultati ovog istraživanja mogu značajno doprineti ne samo povećanju proizvodnje mleka, već i očuvanju zdravlja muznih krava, naročito u uslovima toplotnog stresa, što je ključno za konkurentnost domaće stočarske proizvodnje.

3. PREGLED LITERATURE

3.1. Globalno zagrevanje i klimatske promene

Globalno zagrevanje se ubraja među najozbiljnije i najkompleksnije izazove sa kojima se savremeno čovečanstvo suočava. Reč je o fenomenu koji se ogleda u postepenom, ali kontinuiranom porastu prosečne temperature na Zemlji, što je primarno uzrokovano ljudskim delatnostima koje narušavaju prirodnu ravnotežu atmosfere. U središtu ovog procesa nalazi se povećana koncentracija gasova sa efektom staklene bašte, čije akumuliranje u atmosferi pojačava toplotno zadržavanje, dovodeći do destabilizacije klimatskog sistema planete. Sveobuhvatno razumevanje različitih dimenzija ovog problema, od njegovih korena do potencijalnih posledica i mogućih odgovora, predstavlja osnovu za oblikovanje preporuka koje bi mogle ublažiti negativne posledice klimatskih promena.

Najznačajniji uzrok aktuelnog globalnog porasta temperature jeste povećano prisustvo gasova sa efektom staklene bašte, među kojima dominiraju ugljen – dioksid (CO₂) i metan (CH₄). Njihovo ispuštanje u atmosferu potiče uglavnom iz aktivnosti koje prate industrijski razvoj – sagorevanje fosilnih goriva (uglja, nafte i prirodnog gasa), intenzivna poljoprivreda, transport, kao i masovno krčenje šumskih površina. Ugljen – dioksid samostalno učestvuje sa približno 77% u ukupnim emisijama gasova staklene bašte koje direktno utiču na klimatske promene (Zhang i sar., 2015). Ovi podaci jasno ukazuju na neophodnost da se preispitaju energetske i industrijske potebe koje se još uvek oslanjaju na izvore energije sa visokim stepenom emisije štetnih gasova.

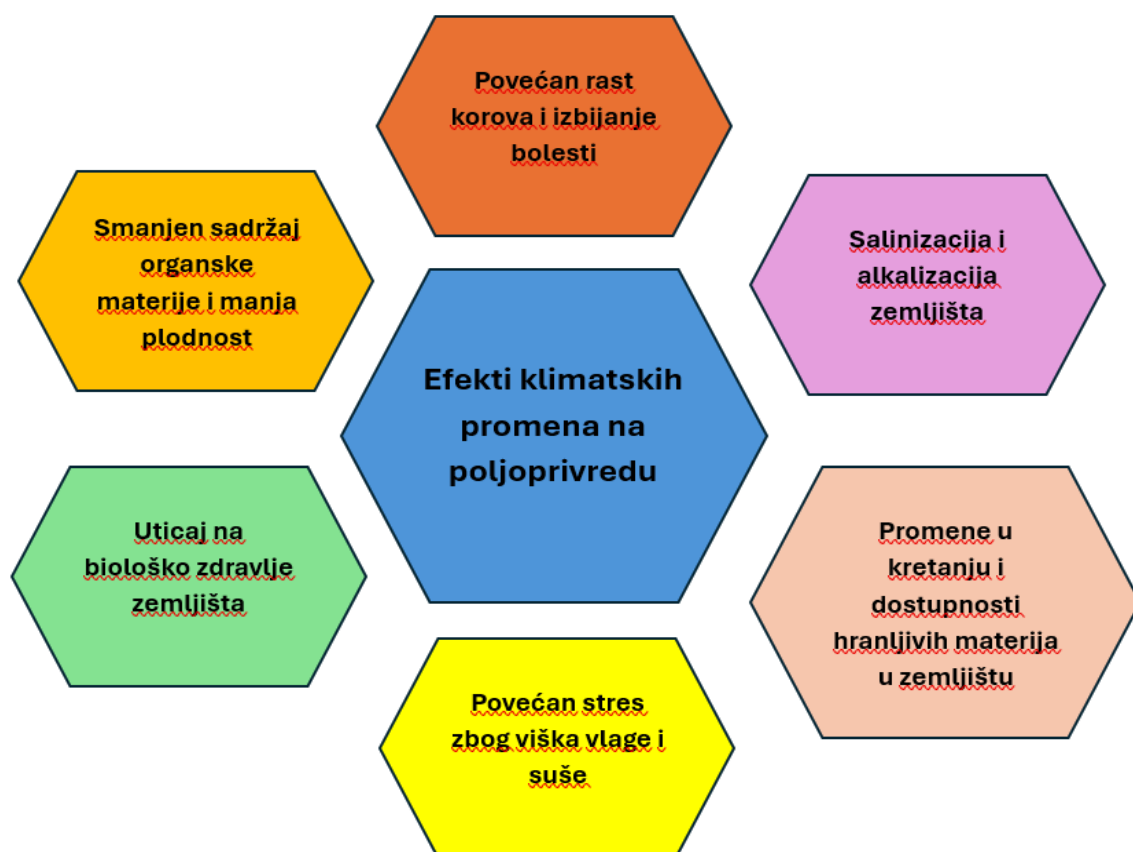
Modeli klimatskih projekcija upozoravaju da, ukoliko sadašnji trendovi emisija potraju bez odlučnih mera, postoji velika verovatnoća da će do povećanja prosečne globalne temperature od 1,5 °C doći već u periodu između 2030. i 2052. godine (Li i sar., 2022). Takođe, Internacionalni panel za klimatske promene izvestio je da se temperatura Zemlje povećava za 0,2 °C po deceniji, kao i da se predviđa porast prosečne globalne temperature površine Zemlje za 1,4 do 5,8 °C do 2100. godine (IPCC, 2007). Ovakvo zagrevanje, iako naizgled ograničeno u brojkama, ima potencijal da izazove duboke i nepovratne promene u prirodnim i društvenim sistemima. Posebno se ističe značaj hitne intervencije u vezi sa smanjenjem emisije metana, čije zanemarivanje može dovesti do dodatnog povećanja temperature za 0,1 °C po deceniji, ukoliko se ne sprovedu mere za njegovo ograničavanje (Nzotungicimpaye i sar., 2023). Sve navedeno podvlači značaj sinhronizovanog i blagovremenog reagovanja svih aktera na globalnom nivou, uključujući vlade, međunarodne organizacije, privatni sektor i civilno društvo.

Paralelno sa naporima za smanjenje, odnosno ublažavanje emisije gasova od ključnog značaja su i strategije adaptacije novonastalim klimatskim uslovima. Neki negativni uticaji klimatskih promena već su prisutni i ne mogu se u potpunosti izbeći. Prilagođavanje uključuje niz konkretnih mera koje omogućavaju zajednicama i državama da se izbore sa posledicama kao što su porast nivoa mora, češći i intenzivniji ekstremni vremenski uslovi (poplave, suše, toplotni talasi) i degradacija zemljišta (Hakim i Nakagoshi, 2014). Poseban značaj u tom procesu ima lokalizacija klimatskih informacija i njihov prenos zajednicama, jer je utvrđeno da dostupnost preciznih i relevantnih podataka povećava spremnost stanovništva da učestvuje u merama ublažavanja i adaptacije, posebno u najugroženijim područjima (Muliarta, 2024).

Treba naglasiti i da klimatski sistem planete funkcioniše kao međusobno povezani i delikatno izbalansirani niz procesa, što znači da svako značajnije odstupanje može imati lančane posledice. U tom kontekstu, razumevanje istorijskih klimatskih promena, ali i budućih scenarija zagrevanja, pomaže u identifikaciji kritičnih pragova – takozvanih "tipping point", čiji prelazak može izazvati dramatične i nepredvidive promene. Među najalarmantnijim scenarijima ubrajaju se potencijalno potpuno topljenje grenlandskog ledenog pokrivača i poremećaji u atlantskoj termohalinskoj cirkulaciji, koji bi mogli destabilizovati globalnu klimu na duži vremenski period (Chang, 2018; Xu i sar., 2022). Shodno tome, pravovremena i jasna komunikacija ovih rizika ključna je za pokretanje kolektivnog odgovora i oblikovanje preporuka koje se oslanjaju na naučne dokaze i predviđanja.

Ekonomске posledice izostanka pravovremenih reakcija na izazove koje donosi savremeno

pogoršanje klimatskih uslova su višestruke i potencijalno razorne. Brojna istraživanja pokazuju da savremeni klimatski trendovi negativno utiču na poljoprivrednu produktivnost, stabilnost tržišta i širu makroekonomsku ravnotežu, pri čemu se procenjuje da bi globalni privredni rast mogao biti ozbiljno usporen ukoliko se ne sprovedu sistemske i koordinisane mere za smanjenje ekoloških i klimatskih rizika (Hoegh-Guldberg i sar., 2019). Promene u temperaturi, padavinama i učestalosti ekstremnih vremenskih pojava direktno se odražavaju na pomeranje agroekoloških zona, degradaciju zemljišta, smanjenje plodnosti i sadržaja organske materije, kao i pogoršanje kvaliteta i dostupnosti vode, što dodatno komplikuje proizvodne procese u agrarnom sektoru (Slika 1).



Slika 1. Uticaj klimatskih promena na poljoprivredu (Abebew, 2025)

Ipak, paralelno sa negativnim uticajima, sve više se uočava razvoj lokalnih adaptivnih strategija među poljoprivrednicima. One obuhvataju promene u vremenu i obrascima setve, upotrebu sorti koje su otpornije na sušu, visoke temperature i druge stresne uslove, kao i diverzifikaciju proizvodnih aktivnosti radi smanjenja zavisnosti od jednog izvora prihoda (Neha i Ansari, 2023). Takvi odgovori postaju ključni za očuvanje prihoda i hrane na lokalnom nivou, naročito u ruralnim sredinama koje su ekonomski slabe.

Savremena naučna saznanja potvrđuju da porast prosečne temperature za svega 2 °C u umerenim i tropskim regionima može dovesti do značajnog smanjenja očekivanih prinosa osnovnih žitarica kao što su pšenica, pirinač i kukuruz (Yin i sar., 2024). Posebno su ugrožene regije kao što su Afrika i južna Azija, gde prediktivni modeli ukazuju na mogućnost smanjenja ukupnih poljoprivrednih prinosa i do 25% do kraja 2080. godine, ukoliko se ne preduzmu efikasne mere prilagođavanja (Abebew, 2025). Posledice takvih nepovoljnih klimatskih promena mogle bi imati dugoročne implikacije na sigurnost hrane i prehrambenu suverenost čitavih populacija.

Najveći teret ovakvih nepovoljnih uslova snose poljoprivrednici u zemljama u razvoju, jer je kiša osnovni izvor navodnjavanja, kao i zbog nemogućnosti pristupa savremenim tehnologijama i infrastrukturi koja bi im omogućila efikasnije upravljanje resursima (Twumasi i Jiang, 2020). Njihova

sposobnost prilagođavanja je ograničena kako tehnički, tako i finansijski, što dodatno povećava rizik od gubitka prinosa i prihoda.

Pored direktnih posledica na agrarni sektor, zanemarivanje investicionih i finansijskih rizika koji proističu iz klimatske nestabilnosti može izazvati velike gubitke i u industriji, građevinarstvu, transportu i drugim ključnim sektorima privrede. Mnoge nacionalne ekonomije postaju sve osetljivije na spoljne uticaje izazvane vremenskim ekstremima, što može dovesti do smetnji u lancima snabdevanja, rasta troškova proizvodnje i smanjenja ukupne konkurentnosti (Carleton i Hsiang, 2016; Gao i sar., 2023).

Dugoročna neaktivnost ne samo da produbljuje postojeće socioekonomske nejednakosti, već i povećava opasnost od destabilizacije tržišta rada i smanjenja javnih prihoda usled pada proizvodnje i fiskalnog opterećenja usmerenog na saniranje posledica prirodnih nepogoda. U tom kontekstu, pravovremeno ulaganje u otpornu infrastrukturu, obrazovanje i održive poljoprivredne tehnologije postaje neophodan uslov za stabilan i održiv razvoj u uslovima sve izraženijih ekoloških izazova.

3.1.1. Klimatske promene u Srbiji

Leto 2007. godine izdvaja se kao jedno od najekstremnijih u istoriji meteoroloških merenja u Srbiji, a upravo ta godina označava i prekretnicu u javnom i naučnom diskursu kada je reč o pojmovima toplotnog stresa i globalnog zagrevanja. U periodu od 14. do 24. jula, Srbiju je zahvatio snažan toplotni talas, tokom kog su izmerene rekordne temperature. Najviša temperatura ikada zabeležena u našoj zemlji izmerena je 24. jula te godine u Smederevskoj Palanci – čak 44,9 °C. Ovaj rekord premašio je dotadašnju najvišu temperaturu iz 1888. godine za 3,1 °C, što jasno govori o ozbiljnosti ovog klimatskog ekstrema (Unkašević i Tošić, 2011). Pomenuti događaj privukao je veliku pažnju javnosti i naučne zajednice, jer je predstavljao jasan signal o ubrzanju klimatskih promena u regionu. Ekstremne vrednosti temperatura tog leta imale su značajne posledice na produktivnost u poljoprivredi i stabilnost ekosistema. Istovremeno, ovi podaci ukazali su na potrebu za intenzivnijim proučavanjem uticaja toplotnog stresa, kako na populaciju, tako i na životinje i biljni svet, ali i na važnost prilagođavanja lokalnih politika globalnim trendovima klimatskih promena.

Međutim, ovaj događaj nije predstavljao usamljen slučaj, već deo šireg obrasca klimatskih ekstrema koji se sve učestalije javljaju u poslednjim decenijama. Tokom tog perioda naročito se uočava pojava ekstremno toplih leta. Posebno se izdvajaju leta 2007., 2012. i 2015. godine, koja su u stručnoj literaturi prepoznata kao jedna od najtoplijih zabeleženih, ne samo po apsolutnim vrednostima temperatura, već i po dužini trajanja toplotnih talasa. Ovakvi događaji, koji podrazumevaju i višenedeljne periode sa ekstremno visokim temperaturama, ukazuju na zabrinjavajući i kontinuirani trend rasta temperatura u regionu (Lukić i sar., 2021; Pecelj i sar., 2020). Dodatno, sve češća pojava takozvanih „tropskih dana“ kada maksimalna dnevna temperatura prelazi 30°C, jasno svedoči o intenziviranju ovog procesa. Meteorološke stanice širom zemlje već decenijama beleže jasan trend porasta srednjih i maksimalnih vrednosti temperature, a taj porast je praćen i produžavanjem perioda u kojem se toplotni talasi javljaju. Oni više nisu karakteristični isključivo za jul i avgust, što je ranije bio uobičajen obrazac, već se sve češće registruju već tokom juna, pa čak i krajem maja, dok njihovo trajanje neretko obuhvata i rane jesenje mesece, poput septembra. Na ovaj način, toplotni talasi više ne predstavljaju samo sezonsku pojavu vezanu za vrhunac leta, već postaju prošireni klimatski fenomen sa dugotrajnim posledicama po životnu sredinu i društvo u celini.

Prema podacima Republičkog hidrometeorološkog zavoda, RHZ (2025), na teritoriji Srbije, 2024. godina, sa srednjom godišnjom temperaturom vazduha od 13,3 °C, predstavlja najtopliju godinu u periodu od 1951. godine do danas. U Beogradu je zabeležena prosečna temperatura od 15,9 °C, što ovu godinu čini najtoplijom od početka sistematskih meteoroloških merenja na toj lokaciji, koja datiraju još od 1888. godine. Apsolutno najtoplija godina u istoriji instrumentalnih merenja registrovana je na svim glavnim meteorološkim stanicama u zemlji (Tabela 1). Ovi podaci jasno ilustruju kontinuirani trend porasta temperatura i potvrđuju da Srbija, kao deo šireg evropskog prostora, prati globalne klimatske obrasce.

Tabela 1. Rang 2024. godine prema srednjoj temperaturi vazduha, zajedno sa višegodišnjim prosekom i odstupanjem u odnosu na klimatsku normalu za period 1991-2020. (RHZ, 2025).

Stanica	Prosečna temperatura (°C) za 2024. godinu	Normala za period (°C) 1991-2020	Odstupanje od normale (°C)
Palić	14,2	11,8	2,5
Sombor	14,1	11,7	2,4
Novi Sad	14,8	11,9	2,9
Zrenjanin	14,5	12,1	2,3
Kikinda	14,4	11,9	2,5
B. Karlovac	14,3	12,0	2,3
Loznica	14,7	12,2	2,5
S. Mitrovica	14,0	11,8	2,1
Valjevo	14,4	12,0	2,4
Beograd	15,9	13,2	2,7
Kragujevac	14,4	12,1	2,3
S. Palanka	14,4	12,1	2,3
V.Gradište	14,0	11,8	2,2
C.Vrh	9,7	7,2	2,5
Negotin	14,7	12,4	2,3
Zlatibor	10,5	8,3	2,2
Sjenica	9,1	7,2	1,9
Požega	12,1	10,1	1,9
Kraljevo	14,3	11,9	2,4
Kopaonik	6,4	4,1	2,2
Kuršumlija	13,0	10,8	2,2
Kruševac	14,2	11,9	2,3
Čuprija	14,4	11,7	2,7
Niš	14,6	12,4	2,2
Leskovac	13,4	11,6	1,9
Zaječar	13,1	11,4	1,8
Dimitrovgrad	12,4	10,4	2,0
Vranje	13,6	11,6	2,0

Ovakvi vremenski uslovi imaju ozbiljne posledice na svakodnevni život. Takođe, trpe i poljoprivreda, stočarstvo, snabdevanje vodom, ali i energetska sistem. Letnje suše postaju sve učestalije, a potreba za navodnjavanjem raste, što dodatno opterećuje vodne resurse (Tošić i sar., 2021).

Naučna istraživanja upozoravaju da su ovakvi ekstremni toplotni događaji u našoj zemlji sve verovatniji u budućnosti. Modeli klimatskih promena ukazuju na to da će broj dana sa ekstremno visokim temperaturama nastaviti da raste, a toplotni talasi bi mogli da postanu još intenzivniji i dugotrajniji. Ovi nalazi ukazuju na hitnu potrebu za planiranjem i sprovođenjem mera prilagođavanja na klimatske promene – kako u urbanom planiranju, tako i u zdravstvenim sistemima, poljoprivredi i zaštiti životne sredine.

3.2. Toplotni stres

Stres se, prema Selye (1936), definiše kao reakcija organizma na štetne spoljašnje uticaje, odnosno stresore, pri čemu se javlja nespecifičan odgovor tela. Ovakva reakcija može negativno uticati na funkcije imunog sistema (Carrasco i van de Kar, 2003), dovesti do usporenog rasta i poremećaja reproduktivnih funkcija (Wolfenson i Roth, 2019), a u ekstremnim slučajevima može završiti smrću zbog neuspešne adaptacije organizma (Moberg, 2000).

Homeotermni organizmi imaju sposobnost da, u stabilnim uslovima sredine, putem precizno koordinisanih regulatornih mehanizama, održavaju konstantnu telesnu temperaturu u okviru uskih fizioloških granica. Ovo omogućava normalno odvijanje svih metaboličkih, biohemijskih i fizioloških funkcija unutar organizma.

Toplotni stres se definiše kao stanje narušene ravnoteže između produkcije toplote (termogeneze) i sposobnosti organizma da odaje višak toplote (termolize), čime se kompromituje termička homeostaza (Tao i sar., 2018). Krave u laktaciji su naročito osetljive na ovakve uslove zbog intenzivne metaboličke aktivnosti koja prati proces laktacije, što rezultira dodatnim stvaranjem metaboličke toplote (Carabano i sar., 2017). Povećani zahtevi za regulacijom telesne temperature tokom visokih ambijentalnih temperatura dovode do aktivacije različitih fizioloških mehanizama, uključujući povećanu frekvencu disanja, pojačano znojenje, smanjenu konzumaciju hrane i promene u ponašanju (Polsky i Keyserlingk, 2017). Kada temperatura okoline premaši normalne fiziološke granice, krave se oslanjaju na mehanizme disanja i evaporacije kako bi oslobodile višak produkovane toplote i održale stabilnu telesnu temperaturu (Collier i sar., 2019).

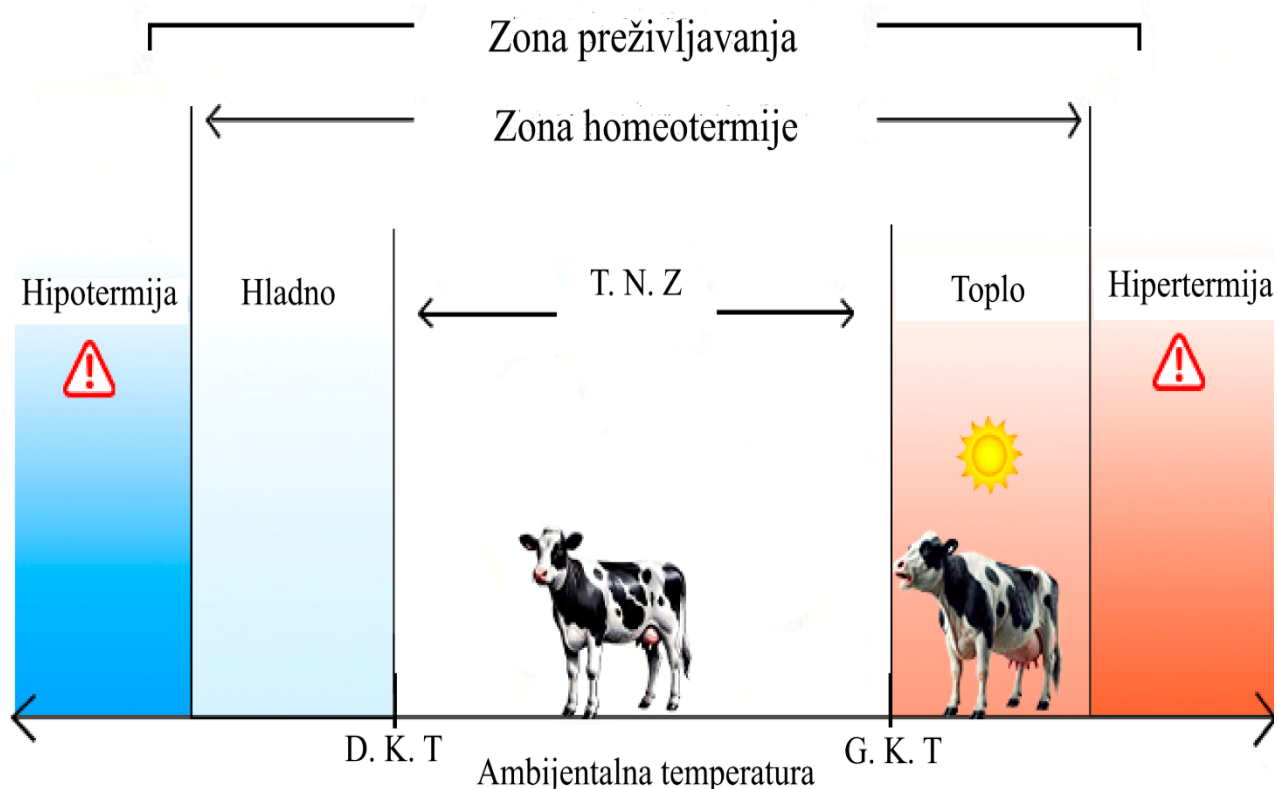
Dugotrajna izloženost toplotnom stresu dovodi do smanjenja unosa suve materije obroka (Fournel i sar., 2017), pada proizvodnje mleka (Osei-Amponsah i sar., 2020), kao i poremećaja u reproduktivnim funkcijama (Schüller i sar., 2016). Razumevanje fizioloških odgovora na toplotni stres predstavlja osnovu za razvoj adekvatnih strategija upravljanja i prilagođavanja sistema proizvodnje, sa ciljem očuvanja dobrobiti i proizvodnih performansi krava u laktaciji u uslovima toplotnog stresa.

3.2.1. Klimatski parametri za procenu toplotnog stresa kod muznih krava

Ambijentalna temperatura koja se nalazi u okviru termoneutralne zone predstavlja jedan od osnovnih činilaca za očuvanje dobrobiti i ostvarivanju punog genetskog potencijala krava u laktaciji, naročito u kontekstu savremenih klimatskih promena koje donose sve češće temperaturne ekstreme. Ovaj pojam se odnosi na raspon spoljašnjih temperatura u okviru kojeg organizam krave može da održava stabilnu telesnu temperaturu bez potrebe za dodatnim energetskim utroškom usmerenim na procese hlađenja ili zagrevanja tela. Drugim rečima, u okviru termoneutralne zone, telesna produkcija toplote je u ravnoteži sa njenim gubitkom, čime se omogućava optimalno funkcionisanje fizioloških procesa bez aktiviranja dodatnih mehanizama termoregulacije (Fodor i sar., 2018). U takvim uslovima, krave zadržavaju visok nivo konzumiranja hrane, što omogućava optimalnu konverziju hranljivih materija u proizvedeno mleko. Obezbeđenje ambijentalne temperature, koja je u okvirima termoneutralne zone je naročito važno kod visoko produktivnih grla čiji je metabolizam znatno ubrzaniji u odnosu na nisko produktivne krave, te su i osetljivija na odstupanja od optimalnih ambijentalnih uslova.

U uslovima koji prelaze granice ove zone, bilo ka višim ili nižim temperaturama, organizam krave je primoran da troši dodatnu energiju na održavanje homeostaze, što se direktno negativno odražava na njenu proizvodnju, reproduktivne performanse i opšte zdravstveno stanje. Krave u laktaciji najbolje podnose spoljašnje uslove kada se temperatura okoline kreće između 0 i 20 °C, dok se za postizanje maksimalne proizvodnje mleka kao najpovoljniji termalni opseg izdvaja uži raspon od 0 do 15 °C (Dejanović i sar., 2015). U tim uslovima se minimiziraju metabolički zahtevi organizma u vezi sa održavanjem telesne temperature, što omogućava maksimalno usmeravanje energije ka laktaciji i drugim fiziološkim procesima. Prelaz ovog praga može dovesti do toplotnog stresa, što značajno utiče na fiziološki status krava i smanjuje njihovu proizvodnju mleka i reproduktivne

performanse (Abdelatty i sar., 2018). Dugotrajna izloženost takvim uslovima može dovesti do hroničnog stresa, gubitka telesne mase i pada otpornosti organizma.



Slika 2. Šematski prikaz zone komfora, homeotermije i preživljavanja životinje

T. N. Z. – zona toplotnog komfora, D. K. T. – donja kritična temperatura, i G. K. T. – gornja kritična temperatura (Oliveira i sar., 2025).

Sa druge strane, optimalna relativna vlažnost vazduha predstavlja jedan od ključnih faktora koji značajno utiče na udobnost, zdravlje i proizvodne performanse krava. Vlažnost vazduha, u kombinaciji sa temperaturom, direktno utiče na toplotnu ravnotežu organizma, odnosno na sposobnost životinja da efikasno eliminišu višak telesne toplote. Kada je vlažnost vazduha previsoka, evaporacija znoja, kao i oslobađanje viška toplote izdahnutim vazduhom postaju otežani, čime se narušava proces termoregulacije i dolazi do izraženijih simptoma toplotnog stresa. Istraživanja ukazuju da se negativni efekti prekomerne vlažnosti ogledaju u smanjenju unosa hrane, povećanju respiratorne frekvence i smanjenju produkcije mleka. Prema rezultatima koje su izneli Widiastuti i sar. (2015), optimalni klimatski uslovi za proizvodnju mleka kod krava u laktaciji podrazumevaju prosečnu temperaturu vazduha od oko 18,3 °C uz relativnu vlažnost vazduha od približno 55%. Ovi parametri obezbeđuju ambijentalni komfor i omogućavaju kravi da održava homeostazu bez dodatnog fiziološkog opterećenja. Odstupanje od ovih vrednosti, naročito u pravcu povećanja vlažnosti uz visoke temperature, dovodi do pogoršanja uslova u sredini u kojoj boravi životinja, do smanjenja reproduktivnih sposobnosti i narušavanja opšteg zdravstvenog stanja grla.

Kada ambijentalna temperatura pređe gornju granicu termoneutralne zone, kod muznih krava dolazi do aktivacije niza fizioloških mehanizama koji su usmereni na gubitak viška telesne toplote, među kojima dominiraju periferna vazodilatacija i evaporativno hlađenje putem znojenja i ubrzanog disanja (Collier i sar., 2017). Ovi procesi, iako korisni u smislu regulacije telesne temperature, često imaju negativne posledice po druge organske sisteme. Naime, usled preraspodele krvotoka prema površinskim delovima tela, smanjuje se dotok krvi u unutrašnje organe, naročito u gastrointestinalni

trakt, što dovodi do poremećaja digestivnih funkcija i usporavanja metabolizma hranljivih materija. Posledično, dolazi do smanjenja učestalosti i količine konzumacije hrane. Ovaj pad apetita dodatno pogoršava energetske bilans i direktno utiče na produkciju mleka i reproduktivne funkcije.

Toplotni stres ima snažan negativan uticaj na imuni sistem mlečnih krava. Kada su krave izložene visokim temperaturama, dolazi do smanjenja proizvodnje imunoglobulina. Kao rezultat toga, povećava se verovatnoća pojave infekcija i bolesti povezanih sa endotoksemijom (Dahl i sar., 2016; Rakib i sar., 2020). Osim direktnog uticaja na imuni sistem, toplotni stres negativno utiče i na zdravlje digestivnog trakta. Visoke temperature mogu narušiti ravnotežu korisnih i štetnih bakterija u crevima (mikrobiotu), ali i povećati propustljivost crevne barijere. Kada se to dogodi, štetne supstance kao što su endotoksini (posebno lipopolisaharidi bakterijskog porekla) mogu proći u krvotok i izazvati sistemsko zapaljenje u organizmu (Chen i sar., 2018). Organizam krave tada troši više energije na borbu protiv zapaljenja i oksidativnog stresa, što umanjuje količinu energije dostupnu za važne procese kao što su proizvodnja mleka i obnavljanje reproduktivnih funkcija (Habimana i sar., 2023). Zbog toga dolazi do smanjene mlečnosti i problema sa plodnošću, što direktno utiče na ekonomsku isplativost proizvodnje.

Dugotrajno izlaganje toplotnom stresu može imati još ozbiljnije posledice. Višestruko izlaganje krava u laktaciji ili tokom perioda zasušenja, toplotnom stresu, može uzrokovati hronične metaboličke poremećaje. Hormonalne promene i prisustvo u krvi supstanci produkovanih u toku zapaljenskih procesa, mogu poremetiti način na koji organizam koristi i skladišti energiju, što povećava rizik od pojave metaboličkih poremećaja, kao što su masna jetra i ketoza (Noordhuizen, 2015). Ove bolesti dodatno narušavaju zdravlje i produktivnost, naročito u periodu nakon telenja, kada su potrebe za energijom najveće.

3.2.2. Indeks temperature i vlažnosti vazduha kao indikator toplotnog stresa

Indeks temperature i vlažnosti – THI (*Temperature and humidity index*) predstavlja jedan od najčešće korišćenih i najpouzdanijih pokazatelja za procenu uticaja ambijentalnih uslova na mlečne krave, posebno u kontekstu toplotnog stresa. Ova složena, ali standardizovana mera nastaje kombinovanjem dva ključna meteorološka parametra – temperature vazduha i relativne vlažnosti, čime se omogućava kvantitativna procena stepena termičkog opterećenja životinje. Pored same ambijentalne temperature, dodatni izvor termalnog opterećenja predstavlja sunčevo zračenje, koje može značajno doprineti akumulaciji toplote u organizmu. Njegovo precizno kvantifikovanje je otežano, a intenzitet efekata može biti delimično uslovljen morfološkim i fiziološkim karakteristikama životinje (Bohmanova i sar., 2007).

Temperaturno-humidni indeks se koristi u naučnim istraživanjima kao pouzdana referentna vrednost za ocenu fizioloških i produktivnih reakcija goveda (ali i drugih vrsta životinja) na visoke temperature. Li i sar. (2015) ističu njegovu dugogodišnju primenu u cilju kvantifikacije toplotnog stresa kod mlečnih krava, naglašavajući činjenicu da THI objedinjuje ključne faktore spoljašnje sredine u jedinstven pokazatelj koji olakšava upoređivanje različitih uslova i efekata. S obzirom na to da temperatura i vlažnost imaju međusobno pojačavajući efekat, njihovo zajedničko delovanje koje je obuhvaćeno vrednošću THI, omogućava tačnije određivanje nivoa stresa, u poređenju sa utvrđivanjem njihovog pojedinačnog efekta (Hossain i sar., 2022).

Brojna istraživanja potvrđuju da porast THI vrednosti ima snažan uticaj na ponašanje i fiziološke procese kod krava u laktaciji. McDonald i sar. (2020) su ukazali da se sa porastom ovog indeksa beleži i pojačana potrošnja vode, kao i izraženije kompetitivno ponašanje među životinjama, što upućuje na adaptivne odgovore organizma u pokušaju da se održi termalna ravnoteža. Pored toga, visoke vrednosti THI povezane su sa smanjenim konzumiranjem hrane, što direktno utiče na energetske ravnoteže krava i može dovesti do negativnog energetskog bilansa, naročito u periodu rane laktacije.

U praktičnom smislu, THI je koristan i za predviđanje rizika od pojave toplotnog stresa u različitim geografskim područjima i sezonama, što omogućava donošenje pravovremenih odluka u cilju smanjenja negativnih posledica po zdravlje i proizvodne performanse krava. Na primer, tokom

letnjih meseci kada THI redovno prelazi kritične pragove, preporučuje se korišćenje mera poput ventilacije, orošavanja ili hlađenja pomoću vodenih tuševa kako bi se smanjio stresni odgovor životinja.

Jedna od prednosti THI jeste njegova jednostavna primena i lako dostupni ulazni podaci, što ga čini pogodnim kako za naučne analize, tako i za svakodnevnu upotrebu na farmama.

3.2.2.1. Izračunavanje indeksa temperature i vlažnosti

U cilju kvantifikovanja uticaja ambijentalnih faktora, pre svega temperature i relativne vlažnosti vazduha, na fiziološke reakcije organizma, razvijen je niz indeksa koji integrišu ove parametre u jedinstvenu numeričku vrednost. Među njima, indeks temperature i vlažnosti predstavlja jedan od najčešće korišćenih pokazatelja za procenu toplotnog stresa kod životinja (NRC, 1971). Ovaj indeks je postao široko prihvaćen zbog svoje jednostavnosti i mogućnosti primene na osnovu rutinski dostupnih meteoroloških podataka, kao što su ambijentalna temperatura i relativna vlažnost.

Temperaturno-humidni indeks se ističe kao neinvazivna i praktična metoda za detekciju i praćenje toplotnog stresa kod životinja, bez potrebe za složenim ili skupim instrumentima. Osim što omogućava klasifikaciju nivoa stresa, njegova primena je značajna i u kontekstu predviđanja posledica produženih perioda visokih temperatura na zdravlje, metabolizam i proizvodne pokazatelje, naročito kod visokoproduktivnih krava. Granične vrednosti koje ukazuju na početak toplotnog stresa identifikovane su upravo putem THI vrednosti i obično variraju u zavisnosti od niza faktora kao što su genetske osobine životinja, faza laktacije, intenzitet proizvodnje, adaptacija na lokalnu klimu, ali i korišćena metodologija za izračunavanje samog indeksa, odnosno izbor konkretne formule i izvora meteoroloških podataka (Wang i sar., 2018).

Takođe, treba imati u vidu da THI predstavlja korisno sredstvo za inicijalnu procenu ambijentalnog okruženja, ali ne uzima u obzir sve relevantne elemente koji mogu doprineti akumulaciji toplotnog opterećenja kod organizma. Na primer, direktno sunčevo zračenje, brzina vetra, trajanje izloženosti i toplotna provodljivost podloge, takođe imaju značajnu ulogu, ali često ostaju van domašaja standardnih THI formula. Pored toga, individualne karakteristike životinja, poput starosti, fiziološkog stanja i telesne mase, mogu promeniti osetljivost na toplotno opterećenje, što THI sam po sebi ne može kvantifikovati. Uprkos tome, brojna istraživanja potvrđuju njegovu vrednost u eksperimentalnim studijama, te se i dalje koristi kao standardni alat u proceni uslova držanja domaćih životinja.

U savremenoj proizvodnji mleka, praćenje THI je integrisano u sisteme za upravljanje farmama (Stojković i sar., 2023). Precizno definisani pragovi THI vrednosti omogućavaju preduzimanje korektivnih mera, poput aktivacije sistema za hlađenje, ventilacije ili promene rasporeda distribucije hrane i muže, čime se umanjuju negativni efekti toplotnog stresa uz očuvanje nivoa proizvodnje životinja. Pored toga, kontinuirano praćenje THI parametara pruža mogućnost pravovremenog donošenja odluka zasnovanih na podacima, što doprinosi optimizaciji resursa i smanjenju ekonomskih gubitaka. Čak i kratkotrajne epizode povišenog THI mogu dovesti do smanjenja konzumiranja hrane i pada proizvodnje mleka, pa je preventivno delovanje od ključnog značaja. Uvođenje digitalnih tehnologija i senzorskih sistema omogućava precizno praćenje mikroklimatskih uslova u objektima i individualnih reakcija životinja, čime se postiže viši nivo kontrole. Na ovaj način, integracija THI indikatora u savremene sisteme upravljanja ne doprinosi samo dobrobiti životinja, već i dugoročnoj održivosti mlečnog govedarstva.

U tabeli 2 su prikazane najčešće korišćene jednačine koje su razvijene za izračunavanje THI prema različitim autorima i vremenskim periodima, čime se ilustruju varijacije u pristupu i parametrizaciji ovog pokazatelja.

Tabela 2. Upporedni prikaz modela za izračunavanje Indeksa temperature i vlažnosti prema različitim autorima

Formula THI	Autor
$THI_1 = (0,35 \times T_{db} + 0,65 \times T_{wb}) \times 1,8 + 32$	Bianca (1962)
$THI_2 = 1,8 \times AT - (1 - RH) \times (AT - 14,3) + 32$	Kibler (1964)
$THI_3 = (1,8 \times AT + 32) - [(0,55 - 0,0055 \times RH) \times (1,8 \times AT - 26)]$	NRC (1971)
$THI_4 = (0,8 \times T_{db}) \times (RH / 100) \times (T_{db} - 14,4) + 46,4$	Mader i sar. (2006)
$THI_5 = 3,43 + 1,058 \times T_{db} - 0,293 \times RH + 0,0164 \times T_{db} \times RH$	Berman i sar. (2016)

T_{db} - temperatura suvog termometra (°C)

T_{wb} - temperatura vlažnog termometra (°C)

AT - ambijentalna temperatura (°C)

RH - relativna vlažnost vazduha (%)

AT - dnevni prosek temperature (°C)

RH - prosečna dnevna relativna vlažnost (%)

Posmatrajući jednačine u tabeli 2 može se uočiti da se za izračunavanje indeksa temperature i vlažnosti primenjuju različiti matematički modeli. Svaka od ovih formula zasnovana je na specifičnom određivanju značaja ambijentalne temperature i relativne vlažnosti vazduha, pa se, shodno tome, može zaključiti da ne daju identične rezultate u svim klimatskim uslovima. Kod pojedinih pristupa naglasak je stavljen na veći značaj temperature, dok su u drugima izraženije komponente koje odražavaju vlažnost vazduha.

Prema navodima Bohmanova i sar. (2007), u geografskim regionima gde je relativna vlažnost od sekundarnog značaja za procenu nivoa toplotnog stresa, optimalnija je primena onih verzija THI modela u kojima je ovaj parametar slabije izražen u ukupnoj kalkulaciji. Suprotno tome, u oblastima sa izraženom i često povišenom relativnom vlažnošću, pogodnije su formule u kojima ovaj faktor ima veću težinu u izračunavanju rezultujuće vrednosti THI, čime se dobija realnija procena potencijalnog stresa kojem su životinje izložene. Ovakav pristup omogućava prilagođavanje metodologije lokalnim klimatskim uslovima, čime se postiže veća preciznost u proceni rizika po dobrobit i produktivnost mlečnih krava.

3.2.2.2. Kategorizacija vrednosti THI

Kategorizacija vrednosti indeksa temperature i vlažnosti predstavlja ključan korak u proceni toplotnog opterećenja kojem su izložene krave u laktaciji. Na osnovu izračunatih THI vrednosti moguće je precizno odrediti nivo stresa izazvanog kombinovanim delovanjem ambijentalne temperature i relativne vlažnosti vazduha. Standardizovani pragovi THI vrednosti omogućavaju diferencijaciju između umerene, visoke i ekstremne izloženosti toplotnom stresu, što je od značaja za planiranje i sprovođenje adekvatnih mera ublažavanja. U tabeli 3 prikazane su vrednosti THI u zavisnosti od različitih kombinacija temperature i relativne vlažnosti vazduha. Pored toga, ovakva klasifikacija omogućava poređenje rezultata različitih istraživanja, što doprinosi stvaranju jedinstvenih kriterijuma za evaluaciju rizika u mlečnom govedarstvu. Precizno praćenje i tumačenje THI vrednosti od posebne je važnosti u uslovima klimatskih promena, kada se očekuje sve češća pojava perioda ekstremnih toplotnih opterećenja.

Tabela 3. Vrednosti Indeksa temperature i vlažnosti pri različitim vrednostima temperature (°C) i relativne vlažnosti (%) (Ryman i sar., 2023)

Temperatura (°C)	Relativna vlažnost, %																			
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	
22,0	64	65	65	65	66	66	67	67	67	68	68	69	69	69	70	70	70	71	71	
23,0	65	65	66	66	66	67	67	68	68	68	69	69	70	70	71	71	71	72	72	
23,5	65	66	66	67	67	67	68	68	69	69	70	70	70	71	71	72	72	73	73	
24,0	66	66	67	67	68	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	
24,5	66	67	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	
25,0	67	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	
25,5	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	
26,0	67	68	69	69	70	70	71	71	72	73	73	74	74	75	76	76	77	77	78	
26,5	68	69	69	70	70	71	72	72	73	73	74	75	75	76	76	77	78	78	79	
27,0	68	69	70	70	71	72	72	73	73	74	75	75	76	77	77	78	78	79	80	
28,0	69	69	70	71	71	72	73	73	74	75	75	76	77	77	78	79	79	80	81	
28,5	69	70	71	71	72	73	73	74	75	75	76	77	78	78	79	80	80	81	82	
29,0	70	70	71	72	73	73	74	75	75	76	77	78	78	79	80	80	81	82	83	
29,5	70	71	72	72	73	74	75	75	76	77	78	78	79	80	81	81	82	83	84	
30,0	71	71	72	73	74	74	75	76	77	78	78	79	80	81	81	82	83	84	84	
30,5	71	72	73	73	74	75	76	77	77	78	79	80	81	81	82	83	84	85	85	
31,0	72	72	73	74	75	76	76	77	78	79	80	81	81	82	83	84	85	86	86	
31,5	72	73	74	75	75	76	77	78	79	80	80	81	82	83	84	85	86	86	87	
32,0	72	73	74	75	76	77	78	79	79	80	81	82	83	84	85	86	86	87	88	
33,0	73	74	75	76	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	86	87	88	89	
33,5	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	82	84	85	85	86	87	88	89	90	
34,0	74	75	76	77	78	79	80	80	81	82	83	85	85	86	87	88	89	90	91	
34,5	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	86	86	87	88	89	90	91	92	
35,0	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	
35,5	75	76	77	78	79	80	81	82	83	85	85	87	88	89	90	91	92	93	94	
36,0	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	
36,5	76	77	78	80	80	82	83	83	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	
37,0	76	78	79	80	81	82	83	84	85	87	87	89	90	91	92	93	94	95	96	
38,0	77	78	79	81	82	83	84	85	86	87	88	90	91	92	93	94	95	96	98	
38,5	77	79	80	81	82	83	84	86	87	88	89	90	92	93	94	95	96	98	99	
39,0	78	79	80	82	83	84	85	86	87	89	90	91	92	94	95	96	97	98	100	
39,5	78	79	81	82	83	84	86	87	88	89	91	92	93	94	96	97	98	99	101	
40,0	79	80	81	83	84	85	86	88	89	90	91	93	94	95	96	98	99	100	101	

Bez stresa: THI < 68; Blagi stres: 68-72 THI; Umeren stres: 72-79 THI; Ozbiljan stres: THI > 80

Prema ranijim istraživanjima, spoljašnji mikroklimatski uslovi smatrani su pogodnim za goveda kada je indeks temperature i vlažnosti (THI) ispod vrednosti 70, dok su intervali između 72 i 78 ukazivali na pojavu stresogenih uslova, a vrednosti iznad 78 bile su povezane sa izraženim nivoom toplotnog stresa, naročito kod visokomlečnih rasa (McDowell i sar., 1976). Ova klasifikacija predstavlja osnovu za procenu uticaja toplotnih uslova na dobrobit i produktivnost mlečnih krava. Sa druge strane, prema Hahn-u i sar. (2003), indeks temperature i vlažnosti (THI) se koristi za detaljniju klasifikaciju stepena toplotnog stresa kod goveda, pri čemu su definisani sledeći pragovi: bezbedno (< 68), blaga nelagodnost (68-72), nelagodnost (72-75), upozorenje (75-79), opasnost (79-84) i hitna situacija (≥ 84). Ova podela omogućava tačnije utvrđivanje stepena stresa, što je od velikog značaja za pravilno prilagođavanje uslova držanja životinja. Sličnu kategorizaciju pružaju Zimbelman i Collier (2011), koji THI dele na nivoe bez stresa (< 68), blagog stresa (68-72), umerenog stresa (72-80) i ozbiljnog stresa (≥ 80). Ove granice naglašavaju da se već pri nižim vrednostima THI mogu pojaviti značajni fiziološki odgovori životinja. Kadzere i sar. (2002) navode da se u subtropskim područjima toplotni stres inicijalno javlja već pri THI vrednosti od 70, što ukazuje na regionalne razlike u osetljivosti goveda na toplotni stres.

3.2.3. Mehanizmi adaptacije organizma na toplotni stres

Održavanje stabilne telesne temperature kod homeotermnih organizama u relativno uskim fiziološkim granicama, čak i pri značajnim oscilacijama spoljašnje temperature, rezultat je dugotrajnog procesa evolutivne adaptacije i prirodne selekcije (Baker, 1989). Ovaj mehanizam termoregulacije omogućava stabilno funkcionisanje biohemijskih reakcija, očuvanje enzimskih sistema i održavanje optimalnog fiziološkog statusa organizma, što je od presudnog značaja za preživljavanje, reprodukciju i proizvodnju. U uslovima povišene ambijentalne temperature, aktiviraju se složeni fiziološki odgovori čiji je cilj da se poveća oslobađanje toplote i smanji njena unutrašnja produkcija. Redukcija termogeneze postiže se kroz niz procesa kao što su smanjivanje apetita i unosa hrane, čime se smanjuje metaboličko stvaranje toplote, smanjenje lokomotorne aktivnosti kako bi se umanjila mišićna produkcija toplote i smanjenje proizvodnje mleka, s obzirom da je laktacija jedan od energetski najintenzivnijih fizioloških procesa.

Kod goveda, kao izrazitih homeotermnih životinja, prepoznaju se četiri osnovna fizička principa putem kojih se ostvaruje odavanje viška toplote akumulirane u telu. To su: kondukcija, konvekcija, radijacija i evaporacija (Kadzere i sar., 2002).

Ovi mehanizmi ne deluju izolovano, već su međusobno povezani i zavise od niza faktora, uključujući temperaturni gradijent između tela i okoline, brzinu i vlažnost vazduha, intenzitet sunčevog zračenja, kao i individualne karakteristike životinje poput boje dlake, debljine potkožnog masnog sloja i fiziološkog stanja. Ukoliko adaptacioni mehanizmi organizma zakažu ili nisu u stanju da adekvatno odgovore na opterećenje, dolazi do narušavanja opšteg zdravstvenog stanja, praćenog padom proizvodnih i reproduktivnih performansi životinja (Vujanac i sar., 2010).

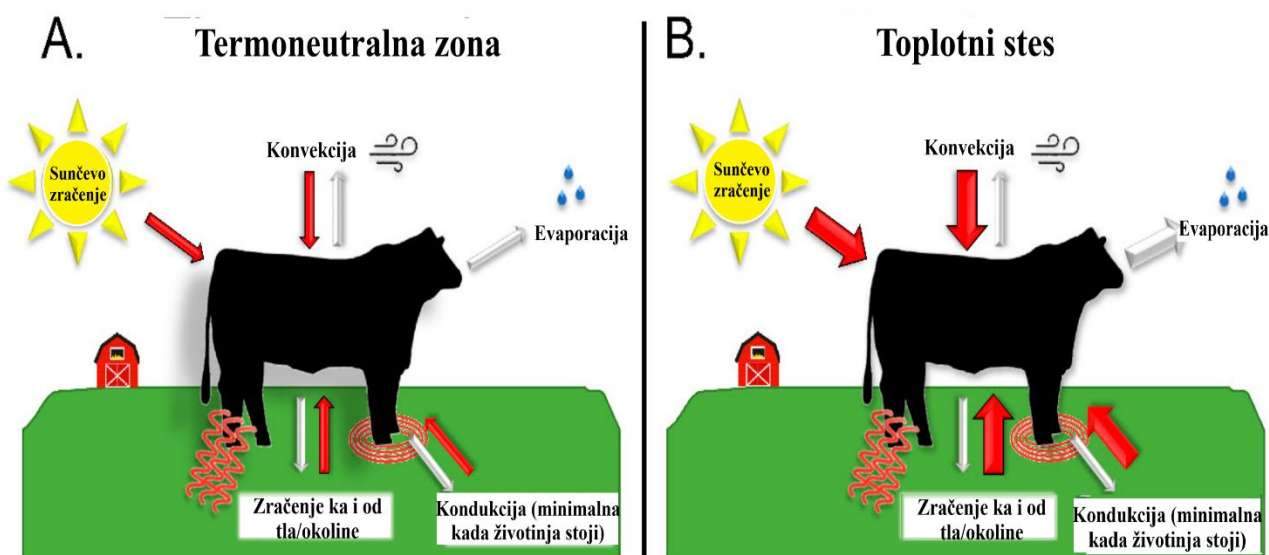
Kondukcija predstavlja proces prenosa toplote putem direktnog kontakta između tela, pri čemu su ključni faktori toplotna provodljivost samog tela životinje i materijala koji je u njenom okruženju. Intenzitet prenosa toplote kondukcijom proporcionalno se povećava sa veličinom površine kontakta, toplotnom provodljivošću materijala kroz koji se toplota prenosi, kao i sa temperaturnim gradijentom između dva tela uključena u ovaj proces (Morris, 1964). Da bi se ovaj način odavanja toplote maksimalno iskoristio, neophodno je održavati nisku temperaturu materijala unutar objekata u kojima se nalaze životinje. Međutim, efikasnost kondukcionog prenosa toplote kao mehanizma hlađenja ograničena je činjenicom da podovi i zidovi štala često imaju temperaturu koja je viša od telesne temperature krava, čime se smanjuje toplotni gradijent potreban za efikasan prenos toplote. Osim toga, krave koje stoje minimalno odaju toplotu kondukcijom zbog ograničenog kontakta sa hladnijim površinama. Upotreba duboke prostirke dodatno može umanjiti efikasnost kondukcionog hlađenja, jer prostirka proizvodi sopstvenu toplotu usled metabolizma mikroorganizama i sporo se hladi, što dodatno smanjuje mogućnost odavanja toplote sa tela životinja. Korišćenjem materijala za prostirku koji poseduju visoku toplotnu provodljivost može se znatno poboljšati prenos toplote i time doprineti efikasnijem hlađenju krava. Na ovaj način se smanjuje toplotni stres, što ima direktan uticaj na njihovo blagostanje i proizvodne performanse (Mičić, 2023). Takođe, izbor materijala sa odgovarajućim termo – fizičkim svojstvima može doprineti održavanju optimalnih uslova u mikroklimatskom okruženju štale.

Konvekcija se definiše kao proces prenosa toplote putem kretanja molekula vazduha ili tečnosti, pri čemu se toplota prenosi sa toplijeg na hladnije telo. Kod goveda, vazduh koji dolazi u kontakt sa površinom kože zagreva se i potom odnosi akumuliranu toplotu sa sobom, čime se ostvaruje efektivno rashlađivanje tela. Ovaj mehanizam može se odvijati spontano, usled prirodnog kretanja vazdušne mase (vetar), ili veštački, primenom ventilacionih sistema i uređaja za hlađenje u stajama, čime se značajno poboljšava konvekcijski prenos toplote i ublažava intenzitet toplotnog stresa kod krava, što se pozitivno odražava na njihovo zdravlje i proizvodne performanse (Cincović i sar., 2015). Povećanje brzine kretanja vazduha unutar objekta doprinosi smanjenju temperature i relativne vlažnosti, što intenzivira efekat hlađenja. Osim spoljašnjeg hlađenja površine tela, značajan deo konvekcijskog prenosa toplote kod goveda odvija se i putem respiratornog sistema, pri čemu se temperatura udahnutog vazduha podiže do nivoa telesne temperature, a izdahnutim vazduhom se iz organizma oslobađa određena količina toplote (Yousef, 1985). Efikasnost konvekcije zavisi od više

faktora, uključujući razliku u površinskoj temperaturi životinje i okolnog vazduha, brzinu strujanja vazduha, kao i površinu tela koja je izložena strujanju. Kod goveda sa većim telesnim okvirom i većom površinom kože, potencijal za konvekcijski gubitak toplote je veći, posebno ukoliko su uslovi ventilacije optimalni. U praksi, primena ventilatora u objektima za držanje mlečnih krava može značajno poboljšati protok vazduha, dok kombinacija sa sistemima za orošavanje dodatno povećava efikasnost rashlađivanja. U uslovima visokih spoljašnjih temperatura, pravilno dimenzioniran ventilacioni sistem može smanjiti temperaturu unutar objekta za nekoliko stepeni, što se direktno odražava na smanjenje THI vrednosti i poboljšanje dobrobiti životinja. Konvekcija je posebno značajna tokom noćnog perioda, kada spoljašnje temperature padaju i omogućavaju veći toplotni gradijent između tela životinje i okoline. Iskorišćavanje noćne ventilacije predstavlja ekonomičan način za smanjenje akumuliranog toplotnog opterećenja tokom dana. Dodatno, individualne razlike među životinjama, kao što su telesna masa, debljina dlačnog pokrivača i fiziološko stanje (npr. laktacija), mogu uticati na efikasnost konvekcijskog hlađenja. Krave sa gušćom i dužom dlakom imaju smanjenu efikasnost prenosa toplote konvekcijom, pa im je potrebna intenzivnija ventilacija.

Radijacija predstavlja proces prenosa toplotne energije putem zračenja toplote, pri čemu se energija prenosi kroz prostor bez fizičkog kontakta i biva apsorbovana na površini ozračenog tela. U kontekstu toplotne razmene kod životinja, radijacija se odnosi na emisiju i apsorpciju infracrvenog zračenja, čiji intenzitet zavisi od temperaturnih karakteristika tela i optičkih svojstava površine. Tokom dana, sunčeva energija dopire do životinja i objekata u obliku zračenja koje se direktno akumulira u tkivima, dok se u noćnim satima akumulirana toplota oslobađa u okolinu. Stepenn radijacione razmene toplote značajno je uslovljen osobinama materijala i boje površina koje zračenje primaju. Tamne i grube površine imaju veću sposobnost apsorpcije i emisije toplote u poređenju sa svetlim i glatkim površinama, što se može uočiti i kod građevinskih materijala koji se uglavnom upotrebljavaju u izgradnji stočarskih objekata. Boja dlake kod goveda takođe ima važnu ulogu u ovom procesu. Jedinke sa crnom ili tamnom dlakom apsorbuju veći procenat sunčevog zračenja u poređenju sa životinjama bele ili crvene dlake, što ih čini podložnijim toplotnom stresu u uslovima visokih temperatura. Pored boje i debljina, dužina i struktura dlake utiču na brzinu akumulacije i gubitka toplote putem radijacije.

Evaporacija predstavlja dominantan i energetski najefikasniji mehanizam za odavanje viška toplote kod goveda tokom izloženosti povišenim spoljnim temperaturama. Proces evaporativnog hlađenja odvija se prvenstveno putem znojenja i pojačane respiracije („dahtanja“), pri čemu se voda u obliku znoja ili vlage iz respiratornog trakta transformiše u vodenu paru, čime se ostvaruje efekat hlađenja organizma. Istraživanja pokazuju da ovaj vid oslobađanja toplote može doprineti i do 84% ukupnog gubitka toplote kod goveda, pri čemu se oko 65% odnosi na evaporaciju znojenjem, a preostalih 35% na gubitke usled pojačane respiracije (Wang i sar., 2015). Efikasnost ovih mehanizama u velikoj meri zavisi od ambijentalnih uslova, posebno od kombinacije temperature i relativne vlažnosti vazduha. Porast temperature okoline uz istovremeno povećanje relativne vlažnosti dovodi do smanjenja parcijalnog pritiska vodene pare između kože ili respiratornog trakta i spoljne sredine, što značajno umanjuje potencijal evaporativnog hlađenja (North i sar., 2023). U uslovima visoke vlažnosti vazduha, kapacitet znojenja i „dahtanja“ postaje ograničen, što često zahteva primenu dodatnih mera rashlađivanja, kao što su mehanička ventilacija, orošavanje ili kombinacija ova dva pristupa (Sejian i sar., 2018). Kod mlečnih krava znojenje se može manifestovati u dve osnovne forme: kao neosetno znojenje (*perspiratio insensibilis*), koje se odvija kontinuirano i obezbeđuje kontinuirani gubitak vlage evaporacijom, te kao vidljivo znojenje (*perspiratio sensibilis*), koje se javlja u uslovima znatnog porasta temperature okoline. Evaporativni gubici toplote mogu biti modulirani ishranom i statusom hidracije, pri čemu dehidracija smanjuje proizvodnju znoja i narušava termoregulaciju. Sa druge strane, genetski selekcionisane jedinke sa većim brojem i aktivnošću znojnih žlezda pokazuju bolju toleranciju na visoke temperature.



Slika 3. Razmena toplotne energije kod životinja (Most i sar., 2021)

U termoneutralnim uslovima (A), energija toplote iz okoline približno je uravnotežena sa gubitkom toplote, pa životinja ne koristi dodatnu energiju za održavanje stabilne telesne temperature. Tokom toplotnog stresa (B), količina toplote iz okoline prevazilazi normalni gubitak toplote, što primorava životinju da koristi dodatne procese odvođenja toplote radi očuvanja stabilne telesne temperature. Kada je toplotni stres ekstremno, ova homeostaza može biti narušena, što dovodi do hipertermije (Most i sar., 2021).

3.2.4. Uticaj toplotnog stresa na konzumaciju hrane i unos vode

Toplotni stres ima izrazito nepovoljan uticaj na fiziološke mehanizme regulacije unosa hrane kod mlečnih krava, prvenstveno delujući na centar za apetit u hipotalamusu. Takvo delovanje dovodi do smanjenja stimulacije za konzumiranje hrane odnosno suve materije obroka (Baile i sar., 1974), pri čemu se istovremeno beleži porast unosa vode. Ovaj porast je od suštinskog značaja za očuvanje ravnoteže telesnih tečnosti, sprečavanje dehidracije i održavanje normalnog funkcionisanja metaboličkih i fizioloških procesa tokom perioda toplotnog opterećenja (Waltner i sar., 2023). Rezultati istraživanja Corazzin i sar. (2020) ukazuju da produžena izloženost povišenim temperaturama dovodi do smanjenja konzumiranja kabaste hrane za čak 26%, unosa koncentrata za 3,6% i ukupnog TMR-a za oko 14%. Takođe Cowley i sar. (2015) su u eksperimentalnim uslovima sa THI vrednošću od približno 78, utvrdili da sedmodnevno izlaganje toplotnom stresu dovodi do smanjenja unosa hrane za oko 14%. Slične rezultate su zabeležili i Bouraoui i sar. (2002), koji navode prosečno smanjenje unosa suve materije obroka od oko 10% kod krava izloženih visokim temperaturama. Ovakvo smanjenje unosa hrane ima adaptivnu funkciju, organizam krave na taj način smanjuje proizvodnju metaboličke toplote koja nastaje procesima fermentacije u buragu (Garner i sar., 2016). Upravo burag predstavlja jedno od ključnih mesta toplotnog opterećenja, jer mikrobiološka fermentacija (pogotovo vlakana) proizvodi značajnu količinu toplote. Pod uticajem toplotnog stresa dolazi do promena u sastavu mikroflore buraga, pri čemu se redukuje broj bakterija odgovornih za razgradnju vlakana, što se odražava na slabiju svarljivost neutralno – deterdžentnih vlakana (NDF) (Feng, 2023). Time se dodatno komplikuje hranidbeni status životinje, jer smanjena svarljivost NDF-a smanjuje i sadržaj iskoristive energije u obroku, što može dovesti do smanjenja proizvodnje mleka i pogoršanja zdravstvenog statusa. Shi i sar. (2023) ističu da je ovaj problem posebno izražen kada su krave izložene intenzivnom toplotnom stresu, jer povećani energetske zahtevi za procese termoregulacije dodatno opterećuju organizam. U tim uslovima, jedna od prvih preporučenih strategija u formulisanju obroka jeste smanjenje udela NDF-a u ishrani (Robinson, 1998). Takvo prilagođavanje obroka pomaže u smanjenju količine toplote proizvedene u digestivnom

traktu, a kako se stepen toplotnog stresa povećava i konzumiranje hrane dodatno opada, nivo NDF-a bi trebalo postupno redukovati. Pored smanjenog unosa hrane, značajna je i promena u obrascu hranjenja. Krave često pomeraju najveći deo konzumiranja hrane na hladniji deo dana ili noćne sate, što predstavlja dodatni adaptivni mehanizam. Međutim, ovaj pomak u vremenu hranjenja može narušiti ravnotežu u fermentacionim procesima buraga i dovesti do oscilacija pH vrednosti. Istovremeno, produženi periodi bez uzimanja hrane mogu povećati rizik od metaboličkih poremećaja, poput acidoze.

Pod dejstvom toplotnog stresa, unos vode kod mlečnih krava pokazuje značajne promene usled niza fizioloških promena koje se dešavaju u organizmu krava. Povišene spoljašnje temperature, naročito kada su praćene visokom relativnom vlažnošću, dodatno pogoršavaju stanje, što rezultira izraženim povećanjem količine vode koju mlečne krave konzumiraju. Prema istraživanju Hauser i sar. (2023) krave holštajn rase izložene toplotnom stresu unosile su i do 1,3 puta više vode u poređenju sa periodima kada su bile u uslovima termalne neutralnosti. Ovaj podatak jasno ilustruje značaj vode kao ključnog faktora adaptacije u periodima kada je narušen balans između proizvodnje toplote i kapaciteta za hlađenje organizma. Pored kvantitativnog povećanja, menja se i sam obrazac unosa vode. Uočeno je da krave koje se hrane u jutarnjim časovima imaju tendenciju da veći deo dnevnog unosa vode realizuju tokom dana, dok krave koje konzumiraju obrok u večernjim satima veći deo svojih potreba za vodom zadovoljavaju noću. Ovakav raspored ukazuje na adaptivni odgovor krava, usmeren ka optimalnoj hidrataciji i rasporedom ishrane u uslovima toplotnog stresa (McDonald i sar., 2020). Drugim rečima, ne menja se samo količina unesene vode, već i način na koji je ona raspoređena tokom dana. Ova fleksibilnost u ponašanju odražava visok stepen prilagodljivosti mlečnih krava promenama spoljašnje sredine. Promene u obrascima ponašanja su u skladu sa zapažanjima da krave tokom toplotnog stresa provode više vremena stojeći, što se tumači kao mehanizam olakšavanja hlađenja putem evaporacije (Allen i sar., 2015). Još jedan važan aspekt odnosa između unosa vode i fiziološkog odgovora krava na toplotni stres ogleda se u povezanosti sa konzumiranjem hrane. Poznato je da u uslovima povišene temperature dolazi do pada unosa suve materije obroka za 10 – 15%, što dodatno komplikuje energetske bilans krava. Istovremeno, smanjen unos hrane prati proporcionalno veći unos vode, što životinjama omogućava da održe homeostazu i ublaže metabolički stres (Eslamizad i sar., 2020). Na taj način voda postaje svojevrsna „kompenzacija“ za smanjen unos hranljivih materija, jer doprinosi očuvanju ravnoteže fizioloških funkcija. Smanjena potrošnja hrane istovremeno znači i manju proizvodnju metaboličke toplote, zbog čega krave u uslovima toplotnog stresa postaju znatno oslonjenije na unos vode kao glavni mehanizam za regulaciju telesne temperature i očuvanje fizioloških procesa (Shapasand i sar., 2010). Ovaj međusobni odnos između hrane i vode jasno ukazuje na to da su adaptacije životinja u periodima toplotnog stresa višeslojne i međusobno povezane. U tom smislu, voda ne samo da zadovoljava osnovne potrebe za hidratacijom, već predstavlja ključan faktor preživljavanja i održanja produktivnosti mlečnih krava u izazovnim klimatskim uslovima.

Temperatura vode za piće kod mlečnih krava zauzima značajno mesto u istraživanjima koja se bave očuvanjem njihove produktivnosti i zdravlja, posebno u uslovima povišenih ambijentalnih temperatura. Temperatura vode je značajan faktor koji direktno utiče na fiziološke procese kod životinja. Naime, dostupnost hladnije vode tokom toplih perioda godine omogućava efikasniju termoregulaciju i predstavlja važnu strategiju u smanjenju negativnih posledica toplotnog stresa. Schütz i sar., (2010) ukazuju da junad u tovu, kada imaju obezbeđen pristup hladnijoj vodi za piće, unose veću količinu tečnosti. Tako, na primer, jedinke koje su napajane vodom temperature oko 18 °C ostvarile veći prirast u poređenju sa grlima koja su imala pristup toplijoj vodi, od približno 31 °C. Ove razlike bile su naročito izražene tokom letnjih meseci, kada je prosečna spoljašnja temperatura dostizala 29,7 °C. Takođe je utvrđeno da hladnija voda može smanjiti temperaturu buraga za čak 8,5 °C, što direktno doprinosi lakšem odavanju toplote u uslovima povišene temperature (Cooper-Prado i sar., 2011). To ukazuje da voda nije samo sredstvo za hidrataciju, već i aktivan činilac u procesima regulacije telesne temperature. U skladu s tim, dostupnost hladne vode posmatra se kao deo šireg sistema mera kojima se podržava fiziološka otpornost krava u laktaciji u nepovoljnim klimatskim uslovima (Polsky i Keyserlingk, 2017). Zapaženo je i da krave pod toplotnim stresom preferiraju

hladnije izvore vode, što ukazuje da temperatura vode za piće treba da bude usklađena sa donjim granicama njihovog termalnog komfora (Burkhardt i sar., 2024). Konkretno, obezbeđivanje vode koja je približno 10 °C hladnija od temperature okruženja može dovesti do smanjenja telesne temperature i frekvence disanja, čime se postiže direktno olakšanje u periodima toplotnog stresa (Polsky i Keyserlingk, 2017).

3.2.5. Uticaj toplotnog stresa na prinos i hemijski sastav mleka

Toplotni stres predstavlja jedan od najznačajnijih faktora koji ograničava proizvodnju mleka kod krava u laktaciji, budući da istovremeno narušava unos hrane i efikasnost metaboličkih procesa presudnih za održavanje stabilne laktacije. Povećane spoljne temperature otežavaju životinjama održavanje homeostatske ravnoteže, što dovodi do smanjenja konzumiranja hrane i poremećaja u preraspodeli hranljivih materija u organizmu. Krajnji rezultat ovih promena ogleda se u značajnom padu proizvodnje mleka. Brojna istraživanja ukazuju na postojanje jasne veze između porasta vrednosti indeksa temperature i vlažnosti i smanjenja prinosa mleka, pri čemu su precizno definisani određeni pragovi nakon kojih dolazi do izraženijih negativnih posledica. Prema dostupnim podacima, prvi vidljivi negativni efekti nastupaju kada THI pređe vrednost od približno 65, dok su gubici u proizvodnji mleka naročito intenzivni pri vrednostima iznad 70 (Ekine-Dzivenu i sar., 2020; Narmilan i sar., 2021). Kada THI dostigne 78, evidentira se snažan pad u proizvodnji, dok vrednosti iznad 82 mogu izazvati i letalne ishode kod životinja (Cincović i sar., 2011). Prema nalazima Bouraoui i sar. (2002), dnevni THI pokazuje jasnu negativnu korelaciju sa prinosom mleka: porast ovog parametra sa 68 na 78 smanjuje produkciju mleka za približno 21%. Slične tendencije potvrđuju i podaci Bernabucci i sar. (2010), prema kojima toplotni stres dovodi do različitih nivoa smanjenja proizvodnje mleka u zavisnosti od faze laktacije. Tako, u sredini laktacije pad iznosi oko 35%, dok u ranoj fazi opada za oko 14%. Međutim, Hauser i sar. (2023) naglašavaju da su krave u ranoj laktaciji posebno osetljive, pri čemu pad proizvodnje mleka može biti izraženiji nego u kasnijim fazama. Ove rezultate dodatno potvrđuju Bezdiček i sar. (2023), koji su utvrdili da izlaganje visokim temperaturama značajno umanjuje mlečnost: prosečan prinos mleka kod krava u hladnijim periodima je bio viši za 7,37% u odnosu na topliji period. Negativne posledice toplotnog stresa ne svode se isključivo na trenutni pad količine proizvedenog mleka, već se ogledaju i u poremećajima endokrinog i metaboličkog statusa krava. Naime, tokom izloženosti povišenim temperaturama dolazi do pada koncentracije prolaktina, hormona od presudnog značaja za sintezu mleka. Wang i sar. (2020) ističu da krave koje se nalaze u uslovima toplotnog stresa ispoljavaju značajne promene u prisustvu pojedinih metabolita u krvi, što ukazuje na narušavanje fizioloških mehanizama uključenih u proces laktacije. Dodatno, Liu i sar. (2017) su zabeležili da produžena izloženost visokim temperaturama dovodi do promena u profilu masnih kiselina u mleku, čime se menja njegov hemijski sastav, nutritivna vrednost i ukupna prihvatljivost za potrošače. Najizraženiji pad proizvodnje mleka nastaje u periodu kada homeoretski mehanizmi više ne funkcionišu optimalno, te proizvodnja mleka postaje u najvećoj meri zavisna od količine i kvaliteta unete hrane (Vujanac i sar., 2012).

Negativni efekti toplotnog stresa ne ispoljavaju se samo kroz kvantitativno smanjenje proizvodnje mleka, već podjednako utiču i na njegove kvalitativne karakteristike, koje obuhvataju sadržaj masti, proteina i laktoze. Brojna istraživanja dosledno ukazuju na pad sadržaja suve materije mleka u uslovima toplotnog stresa, što se naročito odražava kroz smanjene vrednosti proteina i masti (Cincović i sar., 2011; Maggolino i sar., 2020; Mylostyvyi i sar., 2021). Konkretno, kada vrednosti THI pređu kritičnu granicu od 72, zabeleženo je smanjenje sadržaja proteina mleka sa približno 2,96% na 2,88%, dok se nivo mlečne masti smanjuje sa 3,58% na 3,24% (Ma i sar., 2024). Ovi podaci potvrđuju da toplotni stres ne smanjuje samo količinu proizvedenog mleka, već i njegovu hranljivu vrednost. Razlozi koji dovode do promena u hemijskom sastavu mleka su složeni i višestruki. Kao jedan od osnovnih faktora navodi se smanjena konzumacija suve materije obroka, jer krave usled toplotnog stresa pokazuju izraženo smanjenje apetita, što vodi negativnom energetsom bilansu (Zhao i sar., 2019). Pored toga, povećani energetske zahtevi za održavanje termoregulacije, dodatno usložnjavaju metaboličke procese i smanjuju raspoloživu energiju za sintezu komponenata mleka

(Mylostyvyi i sar., 2021). Time se remeti metabolička homeostaza, što rezultira redukovanom sintezom proteina i masti u mlečnoj žlezdi (Corazzin i sar., 2020). Poremećaji funkcije mlečne žlezde nastaju usled promena u ekspresiji gena odgovornih za metabolizam masti i proteina. Na molekularnom nivou, toplotni stres izaziva smanjenu aktivnost gena uključenih u biosintezu mlečne masti i proteinskih frakcija, što se manifestuje u nižem prinosu i izmenjenom hemijskom sastavu mleka (Li i sar., 2017). Još jedan važan aspekt kvaliteta mleka odnosi se na promene u profilu masnih kiselina. Tokom letnjih meseci i pri visokim vrednostima THI menja se lipidni sastav, pri čemu opada udeo kratkolančanih masnih kiselina, dok raste prisustvo dugolančanih masnih kiselina. Ove promene imaju praktične posledice na tehnološka svojstva mlečnih proizvoda – mleko proizvedeno u uslovima toplotnog stresa često pokazuje povećanu viskoznost i izmenjena senzorna svojstva, što je naročito izraženo kod proizvodnje maslaca i sireva (Liu i sar., 2017). Pored hemijskog sastava, evidentirano je da toplotni stres utiče i na zdravstvene indikatore kvaliteta mleka. Broj somatskih ćelija u mleku značajno raste pri visokim spoljnim temperaturama, što ukazuje na narušenu imunološku funkciju i veću podložnost zapaljenskim procesima u mlečnoj žlezdi (Weng i sar., 2024). Povećan broj somatskih ćelija ne samo da umanjuje higijensku vrednost mleka, već dodatno narušava njegovu upotrebnu vrednost za mlečnu industriju.

Uticaj toplotnog stresa na sadržaj laktoze u mleku predstavlja kompleksan fenomen, koji je usko povezan sa promenama u metaboličkom statusu krava. Istraživanja Rhoads i sar. (2009), dokumentovala su blago, ali dosledno smanjenje koncentracije laktoze u mleku od 2,1% tokom perioda izloženosti visokim temperaturama. Ove promene se smatraju direktno povezanim sa ograničenom dostupnošću glukoze, mlečnoj žlezdi, jer je glukoza ključni supstrat za sintezu laktoze. Toplotni stres može poremetiti funkcionisanje glikogenih i glukoneogenih metaboličkih puteva, što dovodi do smanjene dostupnosti glukoze u mlečnoj žlezdi, a time i do ograničene sinteze laktoze tokom laktacije (Maggiolino i sar., 2020). Pored toga, toplotni stres negativno utiče na efekat insulina, hormona koji reguliše transport glukoze i metaboličke aktivnosti u organizmu životinje (Li i sar., 2017). Ovi poremećaji mogu dodatno ograničiti sposobnost krava da održavaju optimalnu sintezu laktoze, što se reflektuje u blagom, ali značajnom smanjenju koncentracije ovog disaharida u mleku. Istovremeno, promenjena raspodela krvnog protoka prema perifernim delovima tela, u cilju oslobađanja toplote, može dodatno smanjiti prokrvljenost mlečne žlezde, što otežava transport glukoze i drugih nutrijenata. Takođe, povišeni nivoi kortizola i drugih hormona stresa direktno utiču na metabolizam glukoze i proteina, što dodatno smanjuje sintezu laktoze i mlečnih proteina.

Važno je naglasiti da se kvalitativne promene mleka usled toplotnog stresa ne mogu u potpunosti objasniti samo smanjenim unosom hrane. One su rezultat kompleksnog spleta fizioloških, metaboličkih i biohemijskih faktora, uključujući i povećanu proizvodnju slobodnih radikala, oksidativni stres, kao i poremećaj u hormonskoj regulaciji.

3.3. Razvoj naučnih saznanja o hromu

Hrom je jedan od značajnih elemenata iz grupe prelaznih metala, prisutnih u Zemljinoj kori. Otkriće ovog hemijskog elementa vezuje se za rad francuskog hemičara Louis Nicolas Vauquelina, koji je 1797. godine uspeo da ga izoluje iz minerala bogatih olovom i drugim elementima (Weeks, 1932). Time je otvoren put ka daljem razumevanju osobina i primene ovog metala, čije su karakteristike i mineralni oblici od tada privlačili pažnju istraživača i industrije. Pored svog industrijskog značaja, hrom je u velikoj meri povezan i sa pitanjima ekološke bezbednosti i zdravlja ljudi. Istorijska i savremena prisutnost ovog elementa u životnoj sredini ne može se posmatrati samo kroz prizmu geohemijskih svojstava, već i kroz ispoljene biološke i toksične efekte. Proučavanje hroma tokom vremena kroz različite discipline, od geologije i hemije do biologije i medicine, ukazuje na njegovu višestruku relevantnost. Hrom je postao predmet interesovanja ne samo u okviru fundamentalnih naučnih istraživanja, već i u kontekstu praktične primene i procene potencijalnih rizika. Prisustvo ovog elementa u različitim oblicima u prirodnom okruženju dodatno naglašava složenost u razumevanju njegovog ponašanja i uticaja. Iako se prvobitno razmatrao pre svega kroz prizmu mineralogije i industrijskih procesa, vremenom je sve više prepoznata uloga hroma u živim

organizmima.

Pre nepunih sedam decenija hrom (Cr) je prvi put prepoznat kao esencijalan element u regulaciji metabolizma glukoze kod eksperimentalnih životinja, konkretno pacova (Schwarz i Mertz, 1959), a kasnije je potvrđena i njegova važnost kod ljudi (Jeejebhoy i sar., 1977).

3.3.1. Osnovne hemijske karakteristike hroma

Ovaj mineral se u prirodi pojavljuje u više oksidacionih stanja, u rasponu od -2 do $+6$, ali su najzastupljeniji oblici trovalentni (Cr^{3+}) i heksavalentni (Cr^{6+}). Trovalentni oblik hroma smatra se najstabilnijim i ujedno biološki najprihvatljivijim, jer ne pokazuje toksične efekte kod ljudi i životinja (Lindemann, 1996). Ovaj oblik hroma je dominantno prisutan u ćelijama i telesnim tečnostima. Zbog svoje hemijske stabilnosti, Cr^{3+} ima ograničenu sposobnost prolaska kroz ćelijske membrane, što značajno smanjuje njegovu unutrašnju reaktivnost. Trovalentni hrom se uglavnom vezuje za transportne proteine u krvi, poput transferina i albumina, što omogućava njegovu kontrolisanu distribuciju u organizmu i smanjuje toksične efekte. Na taj način, njegov transport i raspodela nisu nekontrolisani procesi, već se odvijaju u precizno regulisanim mehanizmima. Vezivanje za proteinske komplekse obezbeđuje ne samo stabilnost jona hroma već i njegovu dostupnost ćelijama kojima je neophodan. Ovakav sistem raspodele može se posmatrati kao biološka zaštita organizma od potencijalne akumulacije i neželjenih efekata. Zbog slabije reaktivnosti, Cr^{3+} učestvuje u metaboličkim procesima uglavnom kao kofaktor enzima uključenih u regulaciju metabolizma glukoze, lipida i proteina. U tom kontekstu, njegova uloga se ne ogleda u direktnom katalitičkom delovanju, već u modulaciji i stabilizaciji enzimskih funkcija. Ove osobine čine trovalentni hrom ključnim mikronutrijentom sa stabilnim i bezbednim biološkim efektima (Mertz, 1992).

Nasuprot tome, heksavalentni hrom, koji uglavnom potiče iz industrijskih izvora, pokazuje visoku toksičnost i može izazvati ozbiljne zdravstvene probleme (Amata, 2013). Za razliku od trovalentnog oblika, Cr^{6+} se odlikuje izuzetnom reaktivnošću, što ga čini potencijalno opasnim za sve biološke sisteme sa kojima dolazi u kontakt. Heksavalentni hrom (Cr^{6+}) predstavlja izrazito snažan oksidacioni agens, naročito izražen u uslovima kisele sredine. U ovom obliku on je najčešće prisutan u vidu hromata (CrO_4^{2-}) ili dihmata ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$), jedinjenja koja karakteriše visok oksidacioni potencijal. Specifičnost Cr^{6+} ogleda se u njegovoj sposobnosti da relativno lako prolazi kroz biološke membrane, gde nakon ulaska u ćeliju stupa u interakciju sa različitim makromolekulima, među kojima su proteini i nukleinske kiseline. Upravo ta kombinacija visoke reaktivnosti i snažnog oksidacionog kapaciteta čini ga izuzetno štetnim. Tokom ovih procesa dolazi do njegove postupne redukcije u trovalentni oblik (Cr^{3+}). Ipak, ovaj prelaz nije neutralan, već se tokom redukcije oslobađaju slobodni radikali koji izazivaju oksidativna oštećenja ćelijskih komponenti. Oksidativni stres koji pritom nastaje ima dalekosežne posledice, jer slobodni radikali mogu destabilizovati proteine, lipide i nukleinske kiseline. Najteže posledice se ispoljavaju na DNK, gde dolazi do prekida lanaca i vezivanja stranih molekula za njenu strukturu. Takva oštećenja predstavljaju mehanizam kojim Cr^{6+} može indukovati mutagene i kancerogene procese (Pechova i Pavlata, 2007). Štetni efekti ovakvog tipa dovode do poremećaja normalne funkcije ćelija, što na nivou tkiva može da preraste u patološke procese. Dodatno, poremećaji u stabilnosti genoma prouzrokovani prisustvom Cr^{6+} ometaju normalne procese ćelijskog ciklusa, čime se povećava verovatnoća nekontrolisane proliferacije i razvoja malignih oboljenja. Zbog izrazite citotoksičnosti i karcinogenog potencijala, hrom u heksavalentnom stanju se smatra jednim od najopasnijih oblika teških metala prisutnih u životnoj sredini.

Dugoročno prisustvo hroma u životnoj sredini, naročito u podzemnim vodama, dovodi do mogućnosti kontaminacije izvora. Heksavalentni hrom se, zahvaljujući svojoj visokoj mobilnosti, lako širi kroz podzemne vodene tokove, što može dovesti do trajnih posledica po lokalne ekosisteme i javno zdravlje (Wilkin i sar., 2018). Mobilnost ovog oblika hroma je posebno problematična jer omogućava da kontaminacija, nastala u ograničenom prostoru, vremenom zahvati šira područja i time poveća rizik od izloženosti. Pored toga, njegova akumulacija u sedimentima predstavlja dodatni problem, jer može dovesti do sekundarne kontaminacije i otežati procese dekontaminacije. Prisustvo

u sedimentima obezbeđuje trajni rezervoar toksičnih jedinjenja, koja se u izmenjenim uslovima kao što su promena pH ili oksidaciono-redukcionog potencijala mogu ponovo mobilisati.

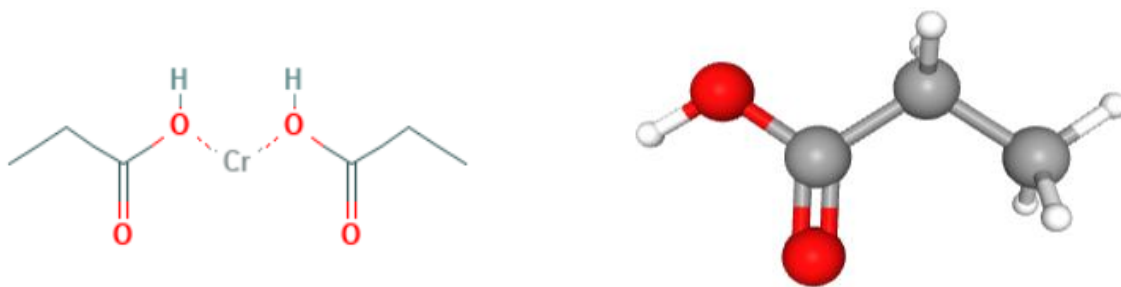
Sa druge strane, trovalentni hrom (Cr^{3+}) je esencijalni mikronutrijent za ljude i životinje, jer učestvuje u metaboličkim procesima koji utiču na metabolizam ugljenih hidrata, lipida i proteina (Anderson, 1981). Njegovo prisustvo u adekvatnim količinama doprinosi očuvanju normalnog funkcionisanja organizma, uključujući održavanje optimalnog nivoa glukoze u krvi (Hua i sar., 2012). Na taj način se jasno uočava kontrast između biološke korisnosti Cr^{3+} i toksičnosti Cr^{6+} , što dodatno naglašava značaj pažljivog razgraničavanja ovih formi u prirodnim i antropogenim uslovima. Zbog toga, iako hrom u višim oksidacionim stanjima može biti toksičan, trovalentni oblik ima ključnu ulogu u zdravlju, proizvodnji i fiziološkoj stabilnosti životinja i ljudi. Razumevanje ovih razlika omogućava preciznije definisanje nutritivnih potreba, ali i efikasnije sprovođenje mera zaštite životne sredine. Hrom se može sagledavati kao element dvostruke prirode – istovremeno esencijalan i opasan, u zavisnosti od svog hemijskog oblika i koncentracije u okruženju.

3.3.2. Hemijski oblici i biološka dostupnost hroma

Hemijski oblik u kojem se hrom unosi u organizam ima ključnu ulogu u njegovoj bioraspoloživosti, jer direktno utiče na stepen fiziološkog odgovora koji se postiže suplementacijom ovim elementom (Linndermann, 1996).

Neorganski oblici, kao što je hrom-hlorid, karakterišu se ograničenom resorpcijom u gastrointestinalnom traktu, što važi kako za ptice, tako i za sisare. Ovaj slab apsorptivni kapacitet značajno redukuje nutritivnu vrednost neorganskih izvora hroma i ograničava njihovu praktičnu primenu kao aditiva u ishrani životinja (Safwat i sar., 2020).

Nasuprot tome, organski oblici hroma, među kojima su najzastupljeniji hrom-propionat (Vargas-Rodriguez i sar., 2014), hrom-metionin (Wu i sar., 2021), hrom-pikolinat (Hepburn i sar., 2003) i hrom iz kvasca (Shan i sar., 2020), pokazuju znatno bolju bioraspoloživost. Različite studije ukazuju da organski kompleksi omogućavaju efikasniju apsorpciju i transport hroma do ciljnih tkiva, što potencijalno pojačava metaboličke i fiziološke odgovore u organizmu.



Slika 4. Hrom-propionat (PubChem Compound, CID: 129821077)

Hrom-hlorid može izazvati ćelijsku degeneraciju i oštećenje DNK u različitim tipovima ćelija, pri dugotrajnoj suplementaciji ili izlaganju visokim dozama, jer prekomerna koncentracija hroma može poništiti korisne metaboličke efekte i dovesti do ćelijske toksičnosti ili potencijalno onkogenih promena (Czarnek i sar., 2025). Slično, određene forme organskog hroma, iako se generalno smatraju korisnim, mogu delovati štetno na organizam. Na primer, hrom-pikolinat, koji je ranije bio široko korišćen, može pored pozitivnog uticaja na metabolizam izazvati oksidativna oštećenja DNK i peroksidaciju lipida (Hepburn i sar., 2003). Ovi rezultati naglašavaju potrebu za pažljivim razmatranjem tipa i doze, pri korišćenju pojedinih formi hroma, kao suplemenata.

Uzimajući u obzir razlike između neorganskih i organskih oblika, jasno je da izbor odgovarajućeg oblika hroma predstavlja ključni faktor u definisanju efikasnosti suplementacije. Istovremeno, potrebno je pratiti potencijalne rizike i osigurati da korišćenje hroma bude u okviru bezbednih granica, kako bi se maksimizirao njegov metabolički efekat, a smanjila mogućnost

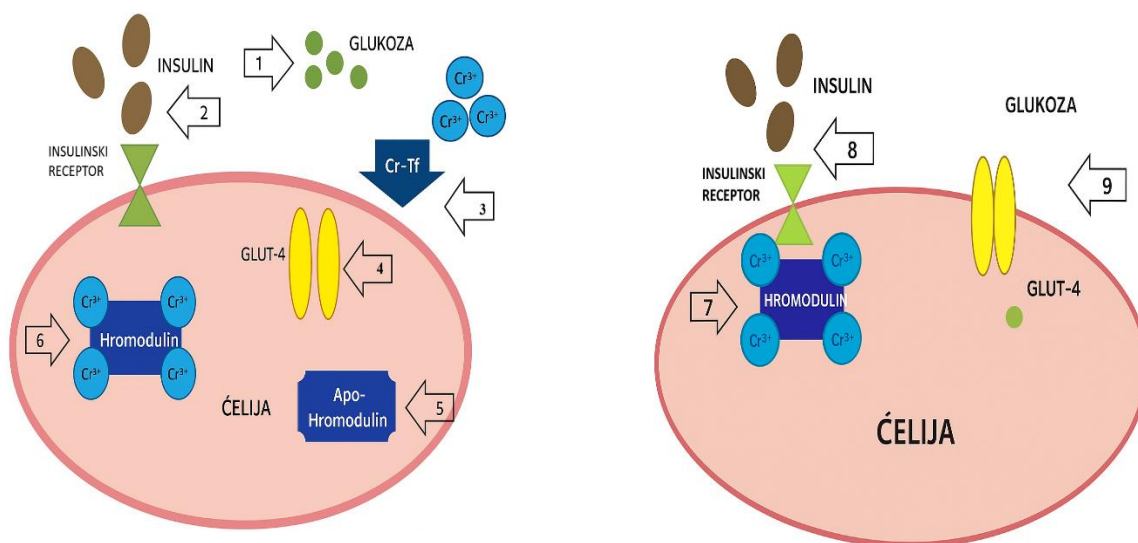
negativnih posledica po ćelijsku funkciju. Razumevanje mehanizama apsorpcije, distribucije i potencijalne toksičnosti različitih hemijskih formi hroma predstavlja osnovu za racionalno korišćenje ovog mikronutrienta u ishrani životinja i ljudi.

NASEM (2021) u svojim preporukama navodi da hrom-propionat (CrP) ne bi trebalo dodavati u količinama većim od 0,5 mg Cr/kg suve materije obroka. Ova smernica se poklapa sa rezultatima koje su objavili Vargas-Rodriguez i sar. (2014), u čijem istraživanju je upotrebljen hrom-propionat u dnevnoj dozi od 8 mg po kravi, pri čemu su zabeleženi pozitivni efekti na povećanje konzumiranja hrane. Sa druge strane, Shan i sar. (2020) su u svom istraživanju ukazali da optimalna količina hroma može biti niža i iznositi oko 0,36 mg Cr/kg suve materije obroka, pri čemu je korišćen hrom iz kvasca. Ovi rezultati ukazuju da se preporučene doze mogu razlikovati u zavisnosti od hemijskog oblika hroma i izvora iz kojeg potiče. Dodatno, Soltan (2010) naglašava da dnevna suplementacija u količini od 6 mg po kravi može imati značajne pozitivne efekte u uslovima toplotnog stresa, što potvrđuje da hrom može doprineti boljoj adaptaciji životinja na nepovoljne klimatske faktore. Slične razlike uočene su i kod neorganskih oblika hroma. Naime, Zade i sar. (2014) su pokazali da se efekti na prinos mleka mogu primetiti tek pri primeni znatno većih količina, odnosno oko 20 mg po grlu na dan.

Iz svega navedenog postaje jasno da različiti oblici hroma ne ispoljavaju jednake efekte kod mlečnih krava. Najverovatnije je da se ovi rezultati mogu objasniti razlikama u nivou apsorpcije i iskorišćavanja hroma iz različitih izvora (Spears i sar., 2017). Organski oblici hroma, kao što su hrom-propionat i hrom iz kvasca, obično pokazuju veću dostupnost, dok je kod neorganskih formi potrebna veća količina dodatog hroma kako bi se postigli merljivi efekti. Takve razlike zahtevaju pažljivo razmatranje prilikom određivanja optimalne količine u ishrani. Navedeni različiti rezultati istraživanja ukazuju na složenost uloge hroma i potrebu da se definiše razlika između organskih i neorganskih dodataka, u pogledu načina i efikasnosti njihove primene. Upravo zbog toga preporuke kao što su one koje daje NASEM (2021) predstavljaju osnovu, ali se u praksi uvek mora uzeti u obzir i konkretan oblik dodatka koji se koristi.

Apsorpcija hroma u digestivnom traktu odvija se pretežno u tankom crevu, gde ovaj element koristi iste mehanizme resorpcije kao i drugi esencijalni mikroelementi, poput gvožđa, cinka i mangana, sa kojima ulazi u konkurenciju (Bjørklund i sar., 2017). Istraživanja na pacovima ukazala su da je najintenzivnija resorpcija hroma u jejunumu, zatim u ileumu, dok je duodenum u manjoj meri uključen u ovaj proces (Chen i sar., 1973). Kada dospe u krvotok, hrom se najvećim delom vezuje za transferin, protein čija je primarna uloga u transportu gvožđa. Smatra se da se oko 80% apsorbovanog hroma (u obliku Cr^{3+}) prenosi vezan za ovaj protein, čime se obezbeđuje njegova stabilnost i mogućnost distribucije do različitih tkiva, među kojima posebno mesto zauzimaju adipociti (Liu i Yang, 2007). Kompleks koji je nastao između transferina i hroma poboljšava ćelijsku apsorpciju, naročito kada su nivoi insulina povišeni, što ukazuje na to da hrom može uticati na osetljivost na insulin i na njegovu regulaciju (Lewicki i sar., 2014). Mehanizam ulaska hroma vezanog za transferin u ćeliju povezan je sa aktivnošću receptora za transferin. Ovi receptori reaguju na promene koncentracije insulina u krvi. Povećanje insulina stimuliše premeštanje receptora iz intracelularnih vezikula ka ćelijskoj membrani, čime se obezbeđuje efikasniji prijem transferinskog kompleksa (Kandror, 1999). Na površini ćelije receptori vezuju transferin sa hromom, nakon čega se endocitozom čitav kompleks unosi u unutrašnjost ćelije (Jovanović, 2017). Unutar novonastale vezikule, pod dejstvom ATP pumpi dolazi do smanjenja pH vrednosti, što uzrokuje odvajanje hroma od transferina. Nakon što se oslobodi, hrom se vezuje za specifični protein poznat kao apohromodulin, formirajući kompleks hrom-vezani hromodulin (Vincent, 2000). Pretpostavlja se da upravo ovaj kompleks predstavlja ključni oblik putem koga hrom ostvaruje svoje metaboličke funkcije, posebno u regulaciji metabolizma ugljenih hidrata. Važno je naglasiti da se pomenuti procesi odvijaju sinhronizovano i da svaki od njih ima svoju specifičnu ulogu – od inicijalne apsorpcije u crevima, preko transporta transferinom, do formiranja hromodulina u ćelijama. Na taj način se obezbeđuje da hrom bude ne samo distribuiran do ciljnih tkiva, već i da se aktivno uključi u regulaciju energetske ravnoteže organizma. Ovo posebno dobija na značaju u uslovima povećanih metaboličkih potreba, kao što su stanja povišenog nivoa insulina, kada hrom može doprineti poboljšanom iskorišćavanju

glukoze.



Slika 5. Mehanizam delovanja hroma u ćeliji

Kao odgovor na povećanje koncentracije glukoze (1), insulin se luči u cirkulaciju (2). Povećana koncentracija insulina u krvi izaziva veću mobilizaciju hroma do ciljnih ćelija, uglavnom posredstvom transferina (Cr-Tf) (3). GLUT-4 unutar ćelije je neaktivan, bez transporta glukoze (4). Hromodulin se skladišti u Apo formi (5). Četiri jona Cr^{3+} se vezuju za apohromodulin, čineći ga aktivnim kao hromodulin (6), koji se zatim vezuje za aktivno mesto na insulinskom receptoru (7), čime se dovršava aktivacija i pojačava insulinski signal (8). Sledi niz kaskadnih fosforilacionih reakcija koje stimulišu translokaciju GLUT4 do plazma membrane (9), omogućavajući unos glukoze u ćeliju (Moreira i sar., 2020).

Prisustvo trovalentnog hroma u organizmu najčešće se povezuje sa organima koji obavljaju ključne funkcije u procesima detoksikacije i izlučivanja, a posebno sa jetrom i bubrezima. Pored toga, poznato je da se ovaj element iz krvotoka relativno brzo vezuje za koštano tkivo, dok se značajne količine mogu naći i u slezini (Stoecker, 1999), kao i u testisima (Bampidis i sar., 2020). Istraživanja na prepelicama dodatno potvrđuju ove nalaze, ukazujući da izlaganje životinja trovalentnom hromu, dodavanjem u konzumiranu hranu, ali i kontakt sa heksavalentnim formama, dovode do uočljivog povećanja njegove koncentracije u vitalnim organima (Alijagić i sar., 2018). Sposobnost vezivanja i akumulacije ukazuje na specifičan mehanizam raspodele hroma unutar organizma, što može imati dugoročni uticaj na metabolizam. Važno je naglasiti da pomenuti procesi ne odražavaju samo trenutni unos ovog mikroelementa, već i kumulativni efekat izloženosti tokom vremena. Posebno značajno ostaje pitanje u kojoj meri ovakvi obrasci akumulacije dugoročno utiču na zdravlje životinja, ali i na bezbednost proizvoda životinjskog porekla namenjenih ishrani ljudi.

Veći deo neapsorbovanog hroma iz organizma se izlučuje fecesom, dok je urin primarni put eliminacije apsorbovanog hroma, pri čemu se određene količine mogu detektovati i u mleku (Bampidis i sar., 2020).

3.3.3. Uticaj hroma na metabolizam hranljivih materija

Ispitivanja uloge hroma u metabolizmu hranljivih materija prvo su sprovedena na eksperimentalnim životinjama i ljudima, a kasnije su obuhvatila i različite vrste domaćih životinja, uključujući svinje, konje, goveda i živinu (Amata, 2013). Tokom istraživanja primenjivane su različite eksperimentalne metodologije, počev od kontrolisanih laboratorijskih oglada do ispitivanja u realnim farmskim uslovima, što je omogućilo sagledavanje fiziološkog odgovora životinja na dodatak hroma u ishrani. Posebna pažnja bila je usmerena na praćenje promena u nivou glukoze u krvi, insulinskoj osetljivosti i iskorišćavanju hranljivih materija, budući da se pretpostavljalo da hrom ima značajnu ulogu u regulaciji energetskeg metabolizma. Takođe, zabeleženi su i efekti na prirast, mlečnost i opšte zdravstveno stanje životinja, što je pružilo širu sliku o njegovom biološkom značaju.

3.3.3.1. Efekti hroma na metabolizam ugljenih hidrata

Uloga hroma u regulaciji metabolizma ugljenih hidrata kod krava u laktaciji predstavlja jedno od značajnijih polja savremenih istraživanja u oblasti fiziologije i ishrane životinja. Ovaj element se danas prepoznaje kao sastavni deo faktora tolerancije na glukozu (GTF, *Glucose Tolerance Factor*), specifičnog kompleksa koji učestvuje u jačanju biološkog delovanja insulina u različitim tkivima (Nishimura i sar., 2021). Prisustvo hroma omogućava povećanu osetljivost tkiva na insulin, čime se olakšava unos glukoze u ćeliju i održava stabilna glikemija. Ovo je posebno važno tokom laktacije kada se intenzivira metabolizam i može doći do razvoja insulinske rezistencije (Malik i sar., 2024). Takođe efekti dodavanja hroma su primećeni i kod junica, kod kojih oralna suplementacija hroma u dozi od 5 do 15 mg dnevno ubrzava povlačenje glukoze iz krvi i povećava njeno apsorbovanje u tkiva (Sumner i sar., 2007).

Molekularni mehanizam delovanja hroma povezan je sa specifičnim oligopeptidom male molekulske mase, poznatim kao hromodulin ili *Low-Molecular-Weight Chromium-Binding Substance* (LMWCr). Ovaj oligopeptid, čiju su ulogu utvrdili Yamamoto i sar. (1987) sastoji se od samo četiri aminokiseline: glicina, cisteina, glutamata i aspartata. Uprkos svojoj maloj veličini, hromodulin može da veže četiri jona hroma. Neaktivna forma ovog peptida, poznata kao apohromodulin, ne učestvuje u metabolizmu sve dok se ne veže za hrom, kada formira aktivni holohromodulin. Holohromodulin se potom veže za insulinske receptore u ćelijskoj membrani i povećava njihovu aktivnost, posebno povećavajući aktivnost enzima tirozin-kinaza (Bhandari i sar., 2016). Ovo pojačavanje efekta insulina, uz pomoć tirozin-kinaze dovodi do efikasnijeg prenosa glukoze u ćelije, prvenstveno putem transportera GLUT4- *Glucose Transporter Type 4* (Davis i sar., 1997).

Pored direktnog efekta na insulinske receptore, hrom utiče i na fluidnost ćelijske membrane, što dodatno olakšava prenos glukoze. Povećanje fluidnosti membrane je povezano sa poboljšanjem bazalnog transporta glukoze (Evans i Bowman, 1992).

Na ćelijskom nivou, efekti hroma uključuju povećanje broja dostupnih insulinskih receptora kao i poboljšanje afiniteta receptora prema insulinu i modulaciju intracelularnog signalnog puta (Hua i sar., 2012). Konačan rezultat ovih procesa je poboljšano korišćenje glukoze, što je potvrđeno u istraživanjima na pacovima, ljudima, svinjama, konjima i govedima (Jovanović, 2017).

In vivo eksperimenti, posebno testovi tolerancije na glukozu, jasno pokazuju da suplementacija hroma dovodi do brže eliminacije glukoze iz krvi i povećanja efikasnosti insulina u ciljanim tkivima (Subiyatno i sar., 1996). Sve ove osobine čine hrom jednim od faktora u regulaciji metabolizma ugljenih hidrata i održavanju energetske ravnoteže organizma.

3.3.3.2. Efekti hroma na metabolizam lipida

Utvrđeno je da dodatak hroma u ishrani može stimulirati lipogenezu u adipocitima, uz istovremeno smanjenje razlaganja triglicerida tj. oslobađanja masnih kiselina iz masnog tkiva. Pretpostavlja se da je ovaj efekat posredovan interakcijom hromodulina sa insulinskim receptorima,

čime se poboljšava vezivanje insulina i podstiče veći ulazak glukoze u adipocite (Bhanderi i sar., 2016). Pored toga, primećeno je da hrom deluje i na metabolizam lipoproteina, utičući na ravnotežu između holesterola i triglicerida. Ovaj mehanizam se dovodi u vezu sa potencijalnim smanjenjem rizika od aterogeneze, iako detaljni molekularni procesi i dalje nisu u potpunosti razjašnjeni (Abraham i sar., 1982). Sličan efekat opisan je i kod ljudi, gde je suplementacija hromom povezana sa smanjenjem koncentracija LDL holesterola, triglicerida i ukupnog holesterola, uz istovremeno povećanje HDL holesterola (Bhanderi i sar., 2016; Jovanović, 2017). Takođe McNamara i Valdez (2005) su pratili uticaj hrom-propionata na ravnotežu između lipogeneze i lipolize kod mlečnih krava u peripartalnom periodu. Rezultati su ukazali da suplementacija hromom dovodi do povećane akumulacije masti u adipocitima i smanjenog neto oslobađanja masnih kiselina, što se objašnjava boljom osetljivošću insulinskih receptora i efikasnijim preusmeravanjem raspoložive glukoze ka metaboličkim putevima sinteze lipida (Jovanović i sar., 2017). Ovaj efekat ima poseban značaj u periodu rane laktacije, kada je energetska defecit izrazit, a krave sklonije prekomernom oslobađanju neesterifikovanih masnih kiselina (NEFA) u krv. Novija istraživanja dodatno rasvetljavaju mehanizme delovanja hroma. Wen i sar. (2024) ističu da hrom može modulisati metabolizam glukoze i lipida u jetri i na taj način vršiti kontrolu nivoa NEFA u uslovima povećane mobilizacije masti. Zahvaljujući tome, hrom predstavlja potencijalni nutritivni modulator metaboličkog stresa kod visokomlečnih krava, posebno u periodima kada je prisutna izražena mobilizacija rezervi masti. Dodatno, sve veći broj istraživanja ukazuje na povezanost između statusa hroma i smanjenja rizika od metaboličkih poremećaja kao što su masna infiltracija jetre i ketoza, budući da adekvatna iskorišćenost glukoze u adipocitima smanjuje preopterećenje jetre slobodnim masnim kiselinama.

3.3.3.3. Efekti hroma na metabolizam proteina

Suplementacija hromom, naročito u obliku hrom-pikolinata, pokazala se značajnom u unapređenju delovanja insulina u ćelijama skeletnih mišića pacova, pri čemu dolazi do stimulacije unosa aminokiselina i intenziviranja sinteze proteina, što se u krajnjem ishodu može odraziti na povećanje mišićne mase (Peng i sar., 2010). Još ranije, Roginski i Mertz (1969) ukazali su da dodavanje hroma pacovima u hranu sa niskim sadržajem proteina, pospešuje apsorpciju aminokiselina u različita tkiva, kao i njihovu ugradnju u proteinske strukture srčanog mišića, čime je potvrđena uloga ovog elementa u metaboličkim procesima. Povezanost hroma i metabolizma aminokiselina objašnjava se nizom mehanizama, među kojima se ističu povećana iskoristivost neorganskog hroma, transformacija viška triptofana u nikotinat ili pikolinat, kao i doprinos tripeptida glutationa, komponente faktora tolerancije na glukozu (GTF), u omogućavanju biološke aktivnosti hroma (Mowat, 1994). Dodatno, proteini plazme, kao što su transferin i albumini, imaju važnu ulogu u olakšavanju transporta i apsorpcije hroma, dok pojedine aminokiseline svojim delovanjem na stimulaciju sekrecije insulina posredno povećavaju potrebu organizma za ovim elementom (Bhanderi i sar., 2016). Na taj način, hrom se pokazuje kao značajan regulator metaboličkih puteva u kojima su aminokiseline neophodne, a njegovo prisustvo doprinosi efikasnijem korišćenju nutrijenata i očuvanju metaboličke ravnoteže. Posebno je važno naglasiti da se efekti hroma ne manifestuju izolovano, već u interakciji sa endogenim regulatornim faktorima, čime se objašnjava njegova kompleksna uloga u procesima posredovanim proteinima. Ovo ukazuje na to da suplementacija hromom ne samo da ima direktan značaj za iskorišćavanje aminokiselina, već i šire implikacije u održavanju optimalnih fizioloških funkcija i homeostaze organizma.

3.3.4. Značaj i efekti uključivanja hroma u obroke za krave u laktaciji

Suplementacija obroka hromom može značajno uticati na metaboličke procese kod mlečnih krava, naročito u ranoj fazi laktacije i u uslovima pojačanog fiziološkog stresa, kao što je toplotni stres.

Kao homeotermni organizmi, goveda su prinuđena da intenziviraju procese eliminacije viška toplote kako bi očuvala stabilnu unutrašnju temperaturu organizma tokom izlaganja povišenim

ambijentalnim temperaturama i time sačuvala optimalne uslove za metaboličke procese. Kod krava se najizraženiji mehanizam rashlađivanja ostvaruje značajnim povećanjem respiratorne frekvence, čime se putem evaporacije sa površine disajnih puteva ubrzava odvođenje toplote (Brown-Brandl i sar., 2005). U situacijama kada ovi kompenzatorni mehanizmi nisu dovoljni da u potpunosti neutrališu toplotno opterećenje, dolazi do progresivnog nakupljanja toplote u telu i posledičnog porasta centralne telesne temperature, što se najpouzdanije registruje merenjem rektalne temperature (Shan i sar., 2020). Zbog svoje jednostavnosti, dostupnosti i visoke korelacije sa stepenom toplotnog opterećenja, rektalna temperatura i frekvencija disanja i dalje predstavljaju osnovne i široko prihvaćene fiziološke indikatore za procenu intenziteta toplotnog stresa kod visokomlečnih krava (Dikmen i Hansen, 2009). Istraživanja pokazuju da upotreba hromnog kvasca može imati pozitivan efekat na snižavanje rektalne temperature i frekvencije disanja kod krava pod uticajem povišene ambijentalne temperature (Shan i sar., 2020; Wo i sar., 2023). Rezultati pomenutih istraživanja su prikazani u tabeli 4.

Tabela 4. Uticaj dodavanja kvasca obogaćenog hromom na rektalnu temperaturu i frekvencu disanja krava u uslovima toplotnog stresa

Pokazatelj	CON	CrY	p-vrednost	Autor
Rektalna temperatura, °C	39,6	39,4	0,03	Wo i sar. (2023)
	39,7	39,4	0,02	Shan i sar. (2020)
Frekvencija disanja, broj respiracija/min	79,3	73,2	0,08	Wo i sar. (2023)
	81,1	75,3	0,02	Shan i sar. (2020)

CON: kontrolna grupa, bez suplementacije kvasca obogaćenog hromom

CrY: ogledna grupa, suplementacija kvasca obogaćenog hromom u količini od 0,36 mg/kg suve materije

Jedan od metaboličkih mehanizama delovanja dodatog hroma na ublažavanje efekata toplotnog stresa kod mlečnih krava jeste i povećanje koncentracije nikotinamidmononukleotida (NAM) u krvnoj plazmi (Wo i sar., 2023). Nikotinamid (poznat i kao niacinamid) je amidni oblik vitamina B3, dok je nikotinska kiselina alternativni oblik ovog hidrosolubilnog vitamina B3 (Maiese, 2020). Nikotinamid mononukleotid je prekursor nikotinamid-adenin-dinukleotida (NAD⁺, koenzim I) i neophodan je za sintezu nikotinamid-adenin-dinukleotid-fosfata (NADP⁺, koenzim II). Poznato je da NAM izaziva prolazni lokalni vazodilatatorni efekat (Ogawa i sar., 2007), koji doprinosi odvođenju toplote (Hirst i sar., 1995; Burns i sar., 1997). Povećana koncentracija NAM u plazmi deluje kao snažan vazodilatator i pomaže odvođenju toplote kod krava, čime doprinosi smanjenju rektalne temperature, a indirektno i poboljšanju koncentracije glukoze u serumu i proizvodnji mleka kod krava pod uticajem toplotnog stresa (Wo i sar., 2023).

Dodavanje hroma u obroke za krave dovodi do poboljšanog konzumiranja hrane tokom rane laktacije, čime se smanjuje disbalans u energetskej ravnoteži koji je u tom periodu posebno izražen (Soltan, 2010). Ovaj element doprinosi efikasnijem iskorišćavanju hranljivih materija, što potvrđuju i rezultati Bakr i sar. (2023), koji su zabeležili povoljnije serumske pokazatelje metabolizma kod životinja koje su dobijale dodatak hroma. Poboljšana dostupnost glukoze može imati stimulativan efekat na apetit, čime se obezbeđuje stabilniji unos suve materije. Mirzaei i sar. (2011), ističu da suplementacija hromom može ublažiti negativne posledice toplotnog stresa na konzumaciju hrane, omogućavajući životinjama da održe stabilniji unos hrane čak i u nepovoljnim klimatskim uslovima. Naime, toplotni stres može intenzivirati metabolizam glukoze i povećati potrebe za hromom, što dovodi do relativnog deficita ovog elementa (Bin-Jumah i sar., 2020), dok njegova suplementacija omogućava kompenzaciju tog deficita. To je posebno važno jer stresni faktori, poput visokih temperatura, često dovode do smanjenja apetita i ograničavanja unosa hrane, što dodatno pogoršava energetske deficit u ranoj laktaciji. Shan i sar. (2020) navode da suplementacija hroma kod mlečnih krava izloženih toplotnom stresu može doprineti povećanoj konzumaciji hrane, pri čemu nije zabeležen značajan uticaj na prinos mleka. Autori objašnjavaju da je odsustvo promene u produkciji mleka verovatno povezano sa činjenicom da su životinje bile u srednjoj fazi laktacije, kada se dodatni

unos hranljivih materija češće usmerava na poboljšanje telesne kondicije nego na proizvodnju mleka. U tom kontekstu, povećan unos suve materije hrane može odražavati metaboličku preraspodelu energije u korist obnavljanja telesnih rezervi, što je posebno važno kod krava izloženih produženom toplotnom stresu. Neesterifikovane masne kiseline (NEFA) čine jedan od ključnih izvora energije za jetru tokom peripartalnog perioda. Rezultati većeg broja studija (Hayirli i sar., 2001; Smith i sar., 2005; Soltan, 2010) ukazali su da suplementacija hromom može istovremeno povećati konzumaciju suve materije obroka i smanjiti koncentracije NEFA u krvi. Iako još uvek nije moguće sa sigurnošću utvrditi da li niže koncentracije NEFA podstiču veći unos hrane ili je možda veći unos hrane razlog za niže koncentracije NEFA (Yasui i sar., 2014). McNamara i Valdez (2005) sugerišu da suplementacija hrom-propionatom može smanjiti neto lipolizu. Ovakav mehanizam pruža dodatnu podršku pretpostavci da redukovane koncentracije NEFA mogu doprineti povećanoj konzumaciji hrane. Pored toga, treba naglasiti i ulogu hroma u prevenciji metaboličkog poremećaja insulinske rezistencije. Primena hrom propionata u optimalnim količinama može ublažiti insulinsku rezistenciju izazvanu visoko koncentrovanim obrocima, što rezultira boljim iskorišćavanjem hranljivih materija i povećanom produktivnošću krava u laktaciji (Leiva i sar., 2014).

Hrom-propionat ispoljava pozitivan efekat na povećanje koncentracije isparljivih masnih kiselina u buražnom sadržaju, uključujući acetat, propionat i butirat, što je posledica veće konzumacije hrane i poboljšanog energetskog statusa životinja (Zhao i sar., 2023). Propionska kiselina, jedna od ključnih isparljivih masnih kiselina, nastaje fermentacijom ugljenih hidrata dejstvom mikroorganizama buraga i predstavlja primarni prekursor za sintezu glukoze, obezbeđujući i do 90% ukupne glukoze u organizmu krava (Zhang i sar., 2018). Prema nalazima Lin i sar. (2019), između ukupne produkcije isparljivih masnih kiselina i strukture mikroorganizama buraga postoji značajna korelacija. Suplementacija CrP dovodi do povećane zastupljenosti amilolitičkih bakterija, poput rodova *Bacteroides*, *Ruminobacter*, *Succinimonas* i vrste *Succinimonas amylolytica*, čime se poboljšava razgradnja i iskorišćavanje rastvorljivih ugljenih hidrata (Kim i sar., 2022). Ovakve promene u mikrobnoj zajednici ukazuju na to da CrP ne samo da optimizuje energetski metabolizam, već i aktivno modifikuje mikrobiološku dinamiku u pravcu efikasnijeg korišćenja hranljivih materija. Može se zaključiti da CrP doprinosi poboljšanom energetskom snabdevanju organizma, kako direktnim povećanjem dostupnosti glukoznih prekursora, tako i stimulacijom mikroflore buraga da intenzivnije razgrađuje i fermentiše lako dostupne ugljene hidrate (Yasui i sar., 2014). Ovaj sinergijski efekat predstavlja jedan od mehanizama kojim suplementacija hromom dovodi do značajnog povećanje konzumacije hrane, što pozitivno utiče na povećanje prinosa mleka (Zhao i sar., 2023). Sa druge strane, toplotni stres dovodi do promene u odnosu konzumirane kabaste i koncentrovane hrane, pri čemu krave značajno povećavaju udeo koncentrata u odnosu na kabastu hranu (Uyeno i sar., 2010). Ova promena u strukturi obroka favorizuje razmnožavanje bakterija koje efikasno koriste lako rastvorljive ugljene hidrate i proizvode laktat kao glavni metabolit (Zhao i sar., 2019). Posledično dolazi do porasta koncentracije laktata u buragu, što izaziva pad pH vrednosti buražnog sadržaja, smanjenje ukupnog unosa hrane, selektivno konzumiranje pojedinih komponenti obroka, skraćanje vremena preživanja i smanjenu sekreciju bikarbonata iz pljuvačke (Kim i sar., 2022; Wang i sar., 2023). Ovi faktori zajedno doprinose nastanku subakutne i akutne ruminalne acidoze kod krava izloženih toplotnom stresu. Kombinacija kalcijum-propionata i hrom-propionata pokazuje izraženo inhibitorno dejstvo na razmnožavanje bakterija iz roda *Lactobacillus* (porodica Lactobacillaceae), čime se značajno smanjuje proizvodnja laktata i ublažavaju negativni efekti toplotnog stresa na buražnu fermentaciju i opšte zdravstveno stanje životinje (Zhao i sar., 2023).

Postoje jasni pokazatelji da hrom ima značajan uticaj na povećanje prinosa mleka. Istraživanja ukazuju da dodavanje hroma u ishranu pozitivno utiče na reproduktivne i proizvodne performanse krava naročito u uslovima toplotnog stresa (Soltan, 2010). Slične nalaze izneli su Leal i sar. (2021), koji su utvrdili da ishrana mlečnih krava kvascem sa visokim sadržajem hroma, tokom toplih perioda, rezultira povećanom proizvodnjom mleka i povoljnijim metaboličkim pokazateljima, naglašavajući značaj hroma u efikasnijem iskorišćavanju energije. Mehanizmi putem kojih hrom doprinosi ovim efektima su složeni i višestruki. Dodatak hroma u obliku hrom-metionina poboljšava mlečnost krava zahvaljujući boljem iskorišćavanju glukoze i povećanoj osetljivosti na insulin (Wu i sar., 2021).

Prema navodima Baumgarda i Rhoads (2013), smanjena proizvodnja mleka u uslovima toplotnog stresa može se u velikoj meri povezati sa nižom stopom sinteze laktoze. Stewart i sar. (2022) takođe ukazuju na ovu pojavu, ističući da je smanjena koncentracija glukoze u krvi ograničavajući faktor u procesu sinteze laktoze. S obzirom na to da je glukoza osnovni prekursor za formiranje laktoze u mlečnoj žlezdi, njen manjak se direktno odražava na količinu proizvedenog mleka (Lin i sar., 2016). Laktoza, kao osmoregulatorni šećer u mleku, određuje osmotski pritisak, a samim tim i količinu vode koja se transportuje u mlečnu alveolu, čime se reguliše zapremina proizvedenog mleka. U tom smislu, prisustvo dovoljne količine glukoze u krvotoku predstavlja ključan preduslov za nesmetanu sintezu mleka. Dodavanje hroma, koji doprinosi stabilizaciji nivoa glukoze, može imati posredan efekat na povećanje sinteze laktoze, a samim tim i mleka (Lashkari i sar., 2018). Povećanje proizvodnje mleka nakon suplementacije hromom može se objasniti i stimulacijom signalnih puteva koje pokreće insulinu sličan faktor rasta 1 (IGF-1R) preko svojih receptora, a koji pokazuju visok stepen strukturne i funkcionalne sličnosti sa insulinskim receptorima (McCarty, 1993). Ovaj efekat je sličan fiziološkom delovanju sintetičkog bovinog somatotropina (Al-Saiady i sar., 2004), jer oba pristupa indirektno podižu aktivnost IGF-1 sistema, stimulišući proliferaciju i diferencijaciju sekretornih ćelija i povećavajući ukupnu laktacionu sposobnost krava.

U tabeli 5 prikazani su efekti dodavanja hroma u različitim oblicima i količinama na proizvodne parametre krava u laktaciji.

Tabela 5. Efekti dodavanja hroma u različitoj formi i količinama na proizvodne parametre krava u laktaciji

Faza i broj laktacija	Oblik i količina hroma	Efekat	Autor
Srednja faza laktacije (krave sa više laktacija)	Kvasac obogaćen hromom (0; 4 g/dan); uslovi toplotnog stresa	Povećano konzumiranje suve materije obroka i veća proizvodnja mleka	Al-Saiady i sar. (2004)
Rana laktacija (prvotelke i krave sa više laktacija)	Hrom-metionin (0; 0,03; 0,06 mg/kg metaboličke mase)	Povećano konzumiranje suve materije obroka i veća proizvodnja mleka	Smith i sar. (2005)
Rana laktacija (krave sa više laktacija)	Hrom-propionat (0; 10 mg/dan)	Povećano konzumiranje suve materije obroka i veća proizvodnja mleka	McNamara i Valdez (2005)
Rana laktacija (krave sa više laktacija)	Hrom-metionin (0; 6 mg/dan); uslovi toplotnog stresa	Povećano konzumiranje suve materije obroka i veća proizvodnja mleka	Soltan (2010)
Rana laktacija (prvotelke i krave sa više laktacija)	Hrom-metionin (0; 0,05; 0,10 mg/kg metaboličke mase)	Povećano konzumiranje suve materije obroka i veća proizvodnja 4% MKM	Mirzaei i sar. (2011)
Rana laktacija (krave sa više laktacija)	Hrom-metionin (0; 8 mg/dan)	Bez promene proizvodnje mleka	Kafilzadeh i sar. (2012)
Rana laktacija (prvotelke i krave sa više laktacija)	Hrom-propionat (0; 8 mg/dan)	Povećano konzumiranje suve materije obroka, ali bez promene proizvodnje mleka	Vargas-Rodriguez i sar. (2014)
Rana laktacija (prvotelke i krave sa više laktacija)	Hrom-propionat (0; 2,5 g/dan)	Bez promene proizvodnje mleka	Leiva i sar. (2015)
Srednja faza laktacije (krave sa više laktacija)	Kvasac obogaćen hromom (0; 0,18; 0,36; 0,54 mg Cr/kg suve materije obroka); uslovi toplotnog stresa	Povećano konzumiranje suve materije obroka i veća proizvodnja mleka	Shan i sar. (2020)
Srednja faza laktacije (krave sa više laktacija)	Kvasac obogaćen hromom (0; 0,36 mg Cr/kg suve materije obroka); uslovi toplotnog stresa	Bez promene u konzumiranju suve materije obroka ali povećana proizvodnja mleka	Wo i sar. (2023)

U literaturi postoje oprečni podaci o uticaju suplementacije hromom na hemijski sastav mleka kod krava u laktaciji. Rezultati istraživanja Yasui i sar. (2014) ukazuju da suplementacija hromom ima minimalan ili statistički zanemarljiv uticaj na sastav mleka. Međutim, novija ispitivanja ukazuju da dodavanje hroma u obrok – posebno u organski vezanim oblicima kao što su hrom-metionin ili hrom-propionat može imati pozitivan efekat na određene komponente mleka. Abdou i sar. (2024) su ukazali da suplementacija hrom-metioninom značajno povećava sadržaj proteina u mleku i ukupnu proizvodnju mleka, verovatno zbog poboljšanog iskorišćavanja energije i azotnih jedinjenja u organizmu krava u laktaciji. Do sličnih rezultata došli su i Wu i sar. (2021), koji su utvrdili povećanje procenta proteina mleka kod krava kojima je u obrok uključen hrom. Sa druge strane, efekat na sadržaj mlečne masti znatno je manje konzistentan. Rezultati istraživanja većeg broja autora nisu ukazali na značajan uticaj suplementacije hromom na udeo masti u mleku (Smith i sar., 2005; Soltan, 2010; Baiomy, 2012; Wang i sar., 2023), dok su McNamara i Valdez (2005) zabeležili smanjenje koncentracije mlečne masti kod krava hranjenih hrom-propionatom. Sadri i sar. (2009) su utvrdili i smanjenje sadržaja proteina u mleku nakon suplementacije obroka hromom, što je u suprotnosti sa većinom novijih studija. Ovi oprečni rezultati delimično se mogu objasniti činjenicom da promene u sastavu mleka ne zavise samo od prisustva hroma u obroku, već i od brojnih drugih faktora: energetskog balansa životinje, stepena toplotnog stresa, hormonalnog statusa, genetskog potencijala, oblika i doze primenjenog hroma, kao i faze laktacije. Trovalentni hrom igra važnu ulogu u poboljšanju osetljivosti na insulin i regulaciji koncentracije glukoze u krvi (Zhang i sar., 2014). Stabilnija glikemija indirektno može doprineti većoj sintezi laktoze – primarnog osmotskog regulatora u mleku, što je posebno izraženo kod krava izloženih toplotnom stresu (Shan i sar., 2020). Iako suplementacija hromom ne pokazuje univerzalan i snažan direktan uticaj na sve komponente mleka, postoji dovoljno dokaza da u određenim uslovima (posebno kada se koriste organski oblici hroma i kod krava u negativnom energetskom balansu ili toplotnom stresu) može dovesti do blagog povećanja sadržaja proteina i laktoze, uz varijabilan ili neutralan efekat na mlečnu mast (Wo i sar., 2023). Ipak, činjenica da je uočeno poboljšanje opšteg metabolizma hranljivih materija kod krava koje su konzumirale obroke sa dodatim hromom, ukazuje da ovaj element indirektno utiče na kvantitet i kvalitet mlečne masti. Takođe, utvrđena variranja u rezultatima različitih istraživanja mogu biti posledica razlika u formi i doziranju hroma, fazi laktacije, kao i specifičnostima primenjenog sistema ishrane. Ovakav pristup omogućava bolje razumevanje ne samo potencijala hroma za unapređenje proizvodnje, već i njegovog doprinosa optimizaciji kvaliteta mleka, što je od posebnog značaja u uslovima intenzivne proizvodnje mleka.

U tabeli 6. prikazani su efekti dodavanja hroma u različitim oblicima i količinama na hemijski sastav mleka.

Tabela 6. Efekti dodavanja hroma u različitoj formi i količinama na hemijski sastav mleka

Faza i broj laktacije	Oblik i količina hroma	Efekat	Autor
Srednja faza laktacije (krave sa više laktacija)	Kvasac obogaćen hromom (0; 4 g/dan); uslovi toplotnog stresa	Bez značajnih promena u sadržaju mlečne masti, proteina mleka, laktoze i suve materije bez masti	Al-Saiady i sar. (2004)
Rana laktacija (prvotelke i krave sa više laktacija)	Hrom-metionin (0; 0,03; 0,06 mg/kg metaboličke mase)	Bez značajnih promena u sadržaju mlečne masti, proteina mleka, laktoze i suve materije bez masti	Smith i sar. (2005)
Rana laktacija (krave sa više laktacija)	Hrom-propionat (0; 10 mg/dan)	Bez značajnih promena u sadržaju mlečne masti, proteina mleka, laktoze i suve materije bez masti	McNamara i Valdez (2005)
Rana laktacija (krave sa više laktacija)	Hrom-metionin (0; 6 mg/dan); uslovi toplotnog stresa	Bez značajnih promena u sadržaju mlečne masti, proteina mleka, laktoze i suve materije bez masti	Soltan (2010)
Rana laktacija (krave sa više laktacija)	Hrom-metionin (0; 8 mg/dan)	Smanjenje sadržaja laktoze i suve materije bez masti, dok su mlečna mast i protein mleka ostali nepromenjeni	Kafilzadeh i sar. (2012)
Rana laktacija (prvotelke i krave sa više laktacija)	Hrom-propionat (0; 8 mg/dan)	Bez značajnih promena u sadržaju mlečne masti, proteina mleka, laktoze i suve materije bez masti	Vargas-Rodriguez i sar. (2014)
Rana laktacija (krave sa više laktacija)	Hrom-propionat (0; 8 mg/dan)	Bez značajnih promena u sadržaju mlečne masti, proteina mleka, laktoze i suve materije bez masti	Yasui i sar. (2004)
Srednja faza laktacije (krave sa više laktacija)	Kvasac obogaćen hromom (0; 0,18; 0,36; 0,54 mg Cr/kg suve materije obroka); uslovi toplotnog stresa	Linearno povećanje sadržaja laktoze, dok su mlečna mast, protein mleka i suva materija bez masti ostali nepromenjeni	Shan i sar. (2020)
Srednja faza laktacije (krave sa više laktacija)	Kvasac obogaćen hromom (0; 0,36 mg Cr/kg suve materije obroka); uslovi toplotnog stresa	Povećanje sadržaja laktoze i proteina mleka, dok su mlečna mast i suva materija mleka ostali nepromenjeni	Wo i sar. (2023)

Hrom pozitivno utiče na metabolizam glukoze, jer poboljšava njen ćelijski unos tako što pojačava vezivanje insulina za receptore na površini ćelija, naročito u insulin-zavisnim organima kao što su mišići i masno tkivo (McNamara i Valdez, 2005). Zbog toga su životinje koje hranom dobijaju dodatnu količinu hroma, u mogućnosti da konzumiraju više hrane, proizvedu veću količinu mleka i brže obnove zalihe masti (Soltan, 2010). Ovaj efekat smanjuje potrebu za većom koncentracijom insulina u krvi (Vincent, 2015). Međutim, rezultati istraživanja nisu potpuno jedinstveni. Mirzaei i sar. (2011) nisu utvrdili značajnu razliku u odnosu insulin/glukoza između kontrolne grupe i grupe kojoj je u obrok uključivan hrom-metionin, što znači da suplementacija nije značajno promenila insulinu osetljivost krava izloženih toplotnom stresu. Ipak, primećeno je da je koncentracija insulina u serumu bila niža kod životinja koje su dobijale hrom-metionin. Slična zapažanja izneli su Kumar i sar. (2015) kod teladi i Kargar i sar. (2018) kod visokomlečnih krava, u uslovima toplotnog stresa – u oba slučaja suplementacija hromom dovela je do smanjenja koncentracije insulina u krvi. Nasuprot tome, Hayirli i sar. (2001) navode suprotne efekte: suplementacija hromom povećala je koncentraciju insulina i odnos insulin/glukoza, a istovremeno smanjila koncentraciju glukoze u krvi. Razlike u rezultatima verovatno proizlaze iz različitih izvora i doza hroma, oblika suplementa, intenziteta toplotnog stresa, faze laktacije i opšteg fiziološkog stanja životinja.

Nikotinamidmononukleotid (NAM) predstavlja važan prekursor nikotinamid-adenin-dinukleotida (NAD⁺), koenzima, koji učestvuje u brojnim metaboličkim putevima ključnim za održavanje ćelijske homeostaze (Wo i sar., 2023). Dodavanje hroma u obroke za krave, povećava koncentraciju NAM u krvnoj plazmi, a time i raspoloživost NAD⁺, čime se obezbeđuje dodatna podrška respiratornom lancu, poboljšava iskorišćenje glukoze i smanjuje rizik od oksidativnog stresa (Maiese, 2020). Povećanje dostupnosti nikotinamidmononukleotida (NAM) kod krava u laktaciji doprinosi poboljšanju proizvodnje mleka, smanjenju negativnog energetskeg bilansa i povoljno utiče na metabolizam glukoze i lipida u stresnim uslovima (Wei i sar., 2018). Posebno su značajni rezultati nekoliko studija koje potvrđuju da nikotinska kiselina (NA) i nikotinamidmononukleotid (NAM) utiču na povećanje koncentracije glukoze, kako u termoneutralnim uslovima, tako i tokom izloženosti toplotnom stresu, što ukazuje na njihov povoljan uticaj na metaboličku adaptaciju krava (Di Costanzo i sar., 1997; Wei i sar., 2018). Povećane vrednosti NAM u krvnoj plazmi pri suplementaciji kvascem obogaćenim hromom dovode do povećanja koncentracije glukoze u krvi krava (Wo i sar., 2023).

Takođe postoje istraživanja u kojima je uočen uticaj hroma na povećanje koncentracije glukagona u krvnoj plazmi krava u laktaciji (Smith i sar., 2008). Glukagon igra ključnu ulogu u stimulisanju glukoneogeneze u jetri i homeostatskoj regulaciji metabolizma glukoze (Sadri i sar., 2012). Suplementacija hromom, povećanjem koncentracije glukagona u krvnoj plazmi, povećava glukoneogenezu, što pozitivno utiče na produkciju mleka kod krava (Herbein i sar., 1985). Pokazano je da hrom smanjuje potrebu za velikim količinama insulina. Kada je insulina manje u krvi, pankreas luči više glukagona, što povećava njegovu koncentraciju u krvnoj plazmi (McCarty, 1996).

Brojna istraživanja ukazuju da suplementacija hrom-propionatom može uticati na smanjenje koncentracije neesterifikovanih masnih kiselina (NEFA) kod krava pre teljenja (Hayirli i sar., 2001; Smith i sar., 2008; Soltan, 2010). Ovaj efekat se često dovodi u vezu sa povećanim unosom suve materije (Yasui i sar., 2014), što je u skladu sa nalazima Hayirli i sar. (2001), koji su utvrdili da je viša koncentracija insulina praćena nižim nivoima NEFA kod krava koje su dobijale obroke obogaćene hromom. Takođe, hrom-propionat može direktno uticati na lipolitičku aktivnost u masnom tkivu, povećavajući njegovu osetljivost na insulin, koji inhibira aktivnost hormon senzitivne lipaze i time smanjuje mobilizaciju masnih kiselina (McNamara i Valdez, 2005). Almeida i Barajas (2001) ukazuju da smanjenje NEFA kod tovne junadi suplementisane hromom može biti povezano sa nižim koncentracijama kortizola u krvi.

Smanjenje koncentracije β -hidroksibutirata (BHBA) objašnjava se činjenicom da su ketonska tela produkt nepotpune oksidacije masnih kiselina, tako da niži nivoi BHBA kod krava koje su konzumirale obrok sa dodatkom hroma može ukazivati na efikasniju oksidaciju lipida u jetri (Sadri i sar., 2012). Ovakav metabolički odgovor doprinosi boljem energetskeg balansu tokom rane laktacije, što bi delimično moglo objasniti pozitivan uticaj na prinos mleka kod životinja hranjenih obrocima sa dodatkom hrom-metionina (Sadri i sar., 2009). Ipak, rezultati nisu uvek konzistentni.

Tako, Smith i sar. (2005) i Yasui i sar. (2014) navode da suplementacija hromom kod krava u laktaciji nije imala značajan uticaj na koncentraciju NEFA i BHBA.

Pored toga, suplementacija hromom utiče na povećanje nivoa ukupnih proteina u krvi, što predstavlja indirektan pokazatelj njegovog povoljnog delovanja na opšti metabolizam i sintezu proteina (Baioomy, 2012). Sadržaj uree u krvi (BUN-Blood urea nitrogen), koji se smatra pouzdanim markerom efikasnosti metabolizma proteina, u većini slučajeva ostaje stabilan u periodu suplementacije hromom, što sugeriše da ovaj element ne narušava metabolizam proteina, već naprotiv, može doprineti boljoj preraspodeli aminokiselina i njihovom usmeravanju ka procesima sinteze mleka (Leal i sar., 2021). Odsustvo uticaja hroma na koncentraciju uree u krvi ukazuje na to da funkcija jetre u procesu detoksikacije amonijaka nije narušena, odnosno eventualne promene nisu dovoljno izražene da bi imale fiziološki značaj (Kitchalong i sar., 1995; Bunting i sar., 2000). Ovakvi nalazi sugerišu da dodatak hroma nije opteretio metaboličke kapacitete jetre, što je naročito važno u periodima povećanog metaboličkog stresa kod mlečnih krava. Takođe, postoje istraživanja koja potvrđuju da hrom može pospešiti iskorišćavanje azotnih jedinjenja, smanjujući njihov gubitak putem urina, što dodatno povećava efikasnost korišćenja aminokiselina za sintezu proteina mleka (Lashkari i sar., 2018). Na ovaj način, suplementacija hromom ne samo da doprinosi boljem energetsom i proteinskom bilansu u organizmu, već i obezbeđuje optimalnije uslove za sintezu proteina mleka, što se posebno ogleda u fazama povećanih metaboličkih zahteva, kao što je rana laktacija.

U tabeli 7. prikazani su efekti dodavanja hroma u različitim odblicima i količinama na pojedine parametre krvi krava u laktaciji.

Tabela 7. Efekti dodavanja hroma u različitoj formi i količinama na pojedine parametre krvi krava u laktaciji

Faza i broj laktacije	Oblik i količina hroma	Efekat	Autor
Rana laktacija (prvotelke i krave sa više laktacija)	Hrom-metionin (0; 0,03; 0,06; 0,12 mg/kg metaboličke mase)	Smanjenje sadržaja insulina, dok se koncentracija glukoze, NEFA, BHBA nije menjala	Hayirli i sar. (2001)
Srednja faza laktacije (krave sa više laktacija)	Kvasac obogaćen hromom (0; 4 g/dan); uslovi toplotnog stresa	Nije bilo efekta na koncentraciju glukoze	Al-Saiady i sar. (2004)
Rana laktacija (prvotelke i krave sa više laktacija)	Hrom-metionin (0; 0,03; 0,06 mg/kg metaboličke mase)	Nije bilo efekta na koncentraciju glukoze, insulina, glukagona i NEFA	Smith i sar. (2005)
Rana laktacija (krave sa više laktacija)	Hrom-metionin (0; 6 mg/dan); uslovi toplotnog stresa	Smanjenje koncentracije kortizola i NEFA, dok je sadržaj glukoze i insulina bio nepromenjen	Soltan (2010)
Rana laktacija (prvotelke i krave sa više laktacija)	Hrom-metionin (0; 0,05; 0,10 mg/kg metaboličke težine); uslovi toplotnog stresa	Nije bilo efekta na koncentraciju glukoze, insulina, glukagona, NEFA niti BHBA	Mirzaei i sar. (2011)
Rana laktacija (krave sa više laktacija)	Hrom-metionin (0; 8 mg/dan)	Povećanje sadržaja glukoze i insulina, pad nivoa NEFA, dok je sadržaj kortizola bio nepromenjen	Kafilzadeh i sar. (2012)
Rana laktacija (krave sa više laktacija)	Hrom-propionat (0; 8 mg/dan)	Nije bilo efekta na koncentraciju glukoze, insulina, glukagona, NEFA	Yasui i sar. (2014)
Rana laktacija (prvotelke i krave sa više laktacija)	Hrom-propionat (0; 2,5 g/dan)	Povećanje koncentracije NEFA, dok nije bilo efekta na sadržaj glukoze	Leiva i sar. (2015)
Srednja faza laktacije (krave sa više laktacija)	Kvasac obogaćen hromom (0; 0,18; 0,36; 0,54 mg Cr/kg suve materije obroka); uslovi toplotnog stresa	Nije bilo efekta na koncentraciju glukoze	Shan i sar. (2020)
Srednja faza laktacije (krave sa više laktacija)	Kvasac obogaćen hromom (0; 0,36 mg Cr/kg suve materije obroka); uslovi toplotnog stresa	Povećanje koncentracije glukoze uz smanjenje koncentracije insulina, dok je sadržaj kortizola i glukagona bio nepromenjen	Wo i sar. (2023)

4. POLAZNE HIPOTEZE U ISTRAŽIVANJU

Mikroklimatski uslovi, pre svega temperatura i relativna vlažnost vazduha, predstavljaju značajne spoljašnje faktore koji direktno utiču na proizvodni potencijal krava u laktaciji. Tokom letnjeg perioda, kada su životinje izložene izraženom toplotnom opterećenju, postoji intencija narušavanja homeostaze organizma. Posledično se mogu registrovati promene u fiziološkim procesima koje se manifestuju kroz smanjen apetit, redukovan prinos mleka i poremećaje u metaboličkom statusu. Toplotni stres, kao kompleksan izazov u proizvodnji, dovodi i do izmena u hemijskom sastavu mleka, čime se dodatno ugrožava kvalitet proizvoda. Imajući u vidu sve navedene efekte, proučavanje strategija za ublažavanje posledica nepovoljnih klimatskih uslova nameće se kao neophodan preduslov za očuvanje visokog nivoa proizvodnje i održavanje dobrog zdravstvenog stanja krava u laktaciji.

Jedan od bitnih faktora koji može doprineti smanjenju negativnih efekata toplotnog stresa jeste dodavanje hroma u obroke za proizvodne životinje. Hrom je esencijalan mikroelement koji igra značajnu ulogu u metabolizmu glukoze, lipida i proteina. Prisustvo hroma u organizmu je od fundamentalnog značaja za pravilno funkcionisanje ovih metaboličkih procesa, naročito kod krava u laktaciji, koje imaju povećane energetske i nutritivne zahteve. U uslovima povišene temperature, kada životinje troše više energije kako bi održale telesnu temperaturu, dodavanje hroma u konzumirane obroke može pomoći u očuvanju ravnoteže i smanjenju metaboličkog stresa.

Hrom se ubraja u elemente koji mogu doprineti ublažavanju negativnih efekata različitih stresnih faktora, uključujući i toplotni stres, zahvaljujući njegovoj ulozi u adaptivnim mehanizmima organizma. Njegovo delovanje je povezano sa smanjenjem intenziteta oksidativnog stresa, koji često prati izlaganje visokim temperaturama, čime se redukuje ili eliminiše oštećenje ćelijske membrane, kao i proteinskih molekula i genetskog materijala. Pored toga, hrom može doprineti boljem iskorišćavanju hranljivih materija i energije iz hrane, što je od posebnog značaja tokom laktacije kada su metabolički zahtevi povećani. Kao rezultat, suplementacija hromom, obroka za muzne krave, može pozitivno uticati ne samo na proizvedenu količinu, već i na poboljšanje hemijskog sastava i nutritivnog kvaliteta mleka.

Jedan od ključnih segmenata ovog istraživanja odnosi se na evaluaciju uticaja hrom-propionata u obrocima za mlečne krave, budući da ovaj oblik mikroelementa pokazuje visoku biodostupnost i efikasnost u organizmu. Kako je sadržaj hroma u komponentama stočne hrane nedovoljan za optimalno odvijanje metaboličkih procesa, naročito u uslovima povišene ambijentalne temperature, suplementacija ovim jedinjenjem predstavlja efikasnu strategiju za obezbeđivanje adekvatnog statusa hroma u organizmu krava.

Na osnovu prethodno iznetih činjenica može se postaviti hipoteza da suplementacija hromom, kompletno mešanih obroka (TMR) za krave u laktaciji može ublažiti negativne posledice toplotnog stresa. Pretpostavlja se da dodatak ovog mikroelementa može podstaći veću konzumaciju hrane i poboljšati efikasnost iskorišćavanja hranljivih materija i energije. Istovremeno, očekuje se pozitivan uticaj na stabilnost proizvodnje mleka, kako u pogledu kvantiteta, tako i u pogledu kvalitativnog sastava, uključujući sadržaj proteina, masti i drugih ključnih nutrijenata. Takvi efekti mogli bi doprineti unapređenju proizvodnih performansi i očuvanju povoljnog metaboličkog statusa muznih krava, što bi u krajnjoj liniji rezultiralo održavanjem visokog nivoa proizvodnje u uslovima termičkog opterećenja.

Takođe, pretpostavlja se da bi rezultati ovog istraživanja mogli značajno doprineti formulisanju preciznih preporuka za primenu hrom-propionata u obrocima za krave u laktaciji, simentalske rase. S obzirom na veoma ograničen broj, odnosno i praktičan izostanak prethodnih istraživanja koja se bave primenom hroma u obrocima za krave simentalske rase, ovo istraživanje pruža novu i relevantnu naučnu vrednost, naročito u kontekstu upotrebe ovog suplementa u uslovima toplotnog stresa, koji su sve češći i intenzivniji u savremenoj stočarskoj proizvodnji. Dobijeni nalazi mogu poslužiti kao osnova za razumevanje kako hrom-propionat utiče na metaboličke procese, imunološki odgovor i proizvodne performanse životinja, čime se doprinosi unapređenju celokupne tehnologije ishrane. Na osnovu rezultata istraživanja, biće moguće formulisati preporuke koje mogu

koristiti farmerima da optimizuju efikasnost proizvodnje mleka, smanje negativne posledice stresa na zdravlje krava i obezbede stabilan kvalitet mleka u izazovnim proizvodnim uslovima. Pored toga, istraživanje otvara prostor za dalje proučavanje optimalnih količina i perioda primene hrom-propionata, kao i potencijalnih interakcija sa drugim komponentama obroka, što može doprineti razvoju sveobuhvatnih strategija suplementacije. Rezultati takođe naglašavaju potrebu za dugoročnom evaluacijom kako bi se procenio kumulativni efekat suplementacije na reproduktivne i metaboličke pokazatelje, čime se formira šira baza za donošenje naučno utemeljenih odluka u praksi.

5. MATERIJAL I METODE ISTRAŽIVANJA

5.1. Ogledne životinje

Istraživanje je izvedeno na farmi mlečnih krava “DMN” blizu Požarevca, 100 km jugoistočno od Beograda, Srbija (44°33'13" N, 21°17'05" E). Svi postupci na životinjama sprovedeni su u skladu sa Zakonom o zaštiti životinja (2009; 41/2009). Eksperiment je odobren od strane Etičkog odbora za eksperimente na životinjama Poljoprivrednog fakulteta, Univerzitet u Beogradu, broj 323-07-05873/2022-05.

Istraživanje je obuhvatilo 70 krava simentalске rase, od čega 18 prvotelki i 52 krave sa više laktacija. One su bile podeljene ravnomerno u dve fizički odvojene grupe, kontrolnu (CON) i eksperimentalnu (CrP), (n = 35 svaka) na osnovu trajanja laktacije, prinosa mleka i laktacije po redu. Svaka grupa je obuhvatala devet prvotelki i 26 krava sa više laktacija. Krave u ogledu su bile smeštene u dva odvojena boksa, u objektu sa slobodnim sistemom držanja sa mehaničkom ventilacijom i imale su slobodan pristup svežoj vodi iz grupnih pojilica. Kravama je u svakom boksu bilo na raspolaganju po 42 ležišta sa gumenim prostirkama. Izdubavanje je vršeno automatski pomoću skrepera. Eksperiment je sproveden tokom jula i avgusta i trajao je 8 nedelja. Period privikavanja životinja trajao je 7 dana.



Slika 6. Boks sa životinjama u ogledu

Muža je sprovedena dva puta dnevno, u 07:00 i 19:00 časova, u izmuzištu tipa „riblja kost“ koje je bilo integrisano u isti objekat u kojem su bile smeštene eksperimentalne životinje. U izmuzištu je korišćena muzna oprema GEA (Düsseldorf, Nemačka). Primena ovog sistema omogućava standardizovan i efikasan proces muže, čime se obezbeđuje stabilan prinos mleka, očuvanje mikrobiološke ispravnosti i smanjenje rizika od oboljenja vimena. Tehnološki dizajn sistema jasno definiše osnovne faze muže: fazu stimulacije, glavnu fazu izlučivanja mleka, završno izmuzavanje i automatsko skidanje muzne jedinice. Dodatno, sistem je opremljen funkcijom automatskog pranja i dezinfekcije, što osigurava visok higijenski standard i smanjuje mogućnost mikrobiološke kontaminacije. Na taj način se postiže veća pouzdanost u pogledu kvaliteta mleka i održava dobro zdravstveno stanje mlečnih krava.

Eksperiment je postavljen kao jednofaktorijski ogled, sa dva tretmana, gde je ispitivan uticaj dodavanja hroma u obliku hrom-propionata u kompletno mešanom obroku (TMR) za krave u laktaciji u uslovima toplotnog stresa. Praćen je efekat pomenutog preparata na konzumaciju SM obroka,

selektivno konzumiranje hrane, prinos i hemijski sastav mleka kao i najznačajnije pokazatelje metaboličkog profila krava. Kontrolna grupa je konzumirala TMR sa dodatkom 200 g prekrupе kukuruza/po kravi/po danu, dok je u TMR za oglednu grupu dodavano 198 g prekrupе kukuruza prethodno pomešanih sa 2 g KemTRACE (0,4% Cr, Kemin Industries, Des Moines, Iowa, SAD). U tabeli 8 su prikazani parametri značajni za ujednačenost eksperimentalnih grupa na početku ogleda.

Tabela 8. Ujednačenost grupa na početku ogleda

Pokazatelji	CON	CrP
Dnevna proizvodnja mleka u nedelji pre početka ogleda, kg/dan	29,14	29,11
Faza laktacije, dana	115,89	115,09
Laktacija po redu	2,77	2,74

CON: kontrolna grupa (n = 35, bez suplementacije hrom-propionatom);

CrP: ogledna grupa (n = 35, dodatak hrom-propionata, 8 mg Cr/po kravi/po danu)

Na početku eksperimenta nisu uočene statistički značajne razlike ($p > 0,05$) između parametara posmatranih u oglednoj i kontrolnoj grupi krava. Kao što je prikazano u tabeli 8, eksperimentalne grupe su bile ujednačene u pogledu uzrasta, faze laktacije i prinosa mleka.

5.2. Hemijski sastav, fizička forma obroka i ishrana oglednih životinja

Obe grupe krava konzumirale su identičan kompletno mešani obrok – Total Mixed Ration (TMR). Oglednoj grupi krava (CrP) je u TMR dodavano 198 g mlevenog kukuruza i 0,34 mg Cr/kg SM (2 g KemTRACE 0,4% Cr, Kemin Industries, Des Moines, Iowa, SAD), dok je kontrolna grupa (CON) dobijala 200 g mlevenog kukuruza dodanog u TMR.

Tabela 9. Hemijski sastav i karakteristike dodatka KemTRACE 0,4% Cr

Hemijski sastav i karakteristike	Količina
Ukupno hroma (Cr)	0,4%
Ca	35-40%
pH 10% rastvora	6,5-7,5
Ostatak	manje od 5%
Boja	zelena
Miris	blago oštar
Gustina	961,1-1441,7 kg/m ³

Kabasti deo obroka se sastojao od silaže cele biljke kukuruza, senaže lucerke, senaže raži, sena lucerke i pšenične slame. Seno lucerke je spremno iz drugog otkosa, i košeno je u fazi butonizacije. Senaža lucerke je dobijena iz prvog otkosa, takođe košenjem u fazi butonizacije, sa sadržajem suve materije od 418 g/kg, uz upotrebu inokulanta za siliranje lucerke (Agrounik Silko, za lucerku). Senaža raži je pripremana u fazi pre klasanja, i košena je pri visini biljke od oko 70 cm. Sadržaj suve materije je iznosio 428 g/kg, a pri spremanju je korišćen inokulant (Agrounik Silko, za trave i žitarice). Silaža cele biljke kukuruza je spremna u momentu kada se zrno nalazilo u mlečno-voštanoj fazi zrelosti, sa sadržajem suve materije 333 g/kg, uz dodatak inokulanta za siliranje kukuruza (Agrounik Silko, za kukuruz). Sva silirana hraniva bila su skladištena u horizontalnim silo trenčevima. Senaža lucerke se karakterisala pH vrednošću od 4,63, a sadržaj mlečne kiseline iznosio

je 2,58% SM, dok je sadržaj sirćetne kiseline bio 0,88%. Senaža raži se odlikovala pH vrednošću od 4,55, dok su sadržaj mlečne i sirćetne kiseline bili 0,79% odnosno 1,00% SM. Kod silaže cele biljke kukuruza pH je iznosila 4,08, a sadržaj mlečne kiseline je bio 3,24%, sirćetne 1,36%, dok je buterna kiselina bila zastupljena u količini od 0,13% SM.

Inokulanti koji su primenjeni u procesu siliranja korišćenih hraniva, sadržali su različite sojeve selekcionisanih bakterija sa ciljem optimizacije fermentacionih procesa i očuvanja hranljive vrednosti mase. Preparat Silko za lucerku činile su kulture *Lactobacillus plantarum* i *Pediococcus spp.*, koje se odlikuju sposobnošću da brzo snižavaju pH vrednost i obezbeđuju stabilnu fermentaciju. Za potrebe siliranja trave i žitarica korišćen je inokulant Silko za trave i žitarice, koji je sadržao odabrane sojeve mlečnih bakterija iz roda *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus buchneri* i *Lactobacillus casei*, poznate po pozitivnom uticaju na aerobnu stabilnost i inhibiciju neželjenih mikroorganizama. Inokulant Silko za kukuruz bio je formulisan sa četiri specijalno odabrana soja bakterija *Lactobacillus plantarum* i *Lactobacillus buchneri*, čime se nastojalo postići optimalno zakišeljavanje i poboljšana mikrobiološka stabilnost silaže. Upotreba ovakvih inokulanata može doprineti ne samo povećanju hranljive vrednosti i svarljivosti obroka, već i dugoročnoj stabilnosti i kvalitetu silaže, što može imati značajan uticaj na produktivnost i zdravlje životinja.

Hemijska analiza uzoraka hraniva koja su činila kompletno mešani obrok za krave u ogledu, TMR-a, kao i nekonzumiranog ostatka, obavljena je u Laboratoriji za ishranu domaćih i gajenih životinja Poljoprivrednog fakulteta Univerziteta u Beogradu. Uzorci namenjeni hemijskoj analizi prikupljeni su u pravilnim intervalima, dva puta nedeljno tokom čitavog trajanja eksperimenta, čime je obezbeđena reprezentativnost. Nakon sakupljanja, uzorci su transportovani u ručnom frižideru na kontrolisanu temperaturu od približno 8 °C, a zatim zamrzavani na -20 °C do momenta sprovođenja analitičkih procedura. Ovakav postupak obezbedio je očuvanje hemijskog sastava uzoraka hraniva i obroka i sprečavanje degradacije hranljivih materija pre same analize. Primenjena metodologija osigurala je visoku pouzdanost analiza i omogućila adekvatnu interpretaciju nutritivnih parametara u skladu sa ciljevima istraživanja.



Slika 7. Uzorkovanje sena za laboratorijsku analizu

Uzorci su najpre podvrgnuti procesu sušenja na temperaturi od 55 °C u sušnici sa veštačkom ventilacijom, tokom perioda od 48 sati, kako bi se postiglo stabilno uklanjanje vlage i sprečila pojava mikrobioloških promena koje bi mogle uticati na hemijski sastav. Nakon toga, osušeni materijal je samleven na laboratorijskom mlinu (Kinematica PX-MFC 90D, Malters, Švajcarska) kroz sito prečnika 1 mm, čime je obezbeđena ujednačena granulacija uzoraka pogodna za dalju hemijsku analizu. Ovaj postupak obezbeđuje homogenost materijala, što je od posebnog značaja za dobijanje

pouzdatih i reprezentativnih rezultata.



Slika 8. Laboratorijska sušnica



Slika 9. Laboratorijski mlin

Uzorci su analizirani prema zvaničnim metodama AOAC (AOAC, 2002). Sadržaj suve materije (SM) je determinisan sušenjem na 105 °C tokom 16 sati (metoda 967.03). Sadržaj sirovog pepela je određen sagorevanjem uzorka na 540-600 °C tokom 2 sata (metoda 942.05). Sadržaj sirovog proteina (SP) je određen Kjeldahl metodom koristeći K₂SO₄/Cu katalizator-Kjeltabs S 3.5, na Buchi Distillation Unit K-350 +Speed Digester 439 +Acid Scrubber B-414 +SI Analytics Automatic Titrator TitroLine 7000. Sadržaj sirovih masti (SMa) određen je korišćenjem dietil-etera u Soxhlet aparaturi (metoda 920.39). Sirova celuloza (SC) je određena prema metodi Henneberga i Stohmanna (metoda 978.10). Sadržaj NDF je određen metodom 2002.04 koristeći termostabilnu α -amilazu (A3306; Sigma-Aldrich, St. Louis, Misuri, SAD) bez korišćenja natrijum-sulfita i bez korekcije za sadržaj pepela. Sadržaj ADF je određen metodom 973.18. Hemijski sastav hraniva koja su ulazila u sastav TMR-a prikazani su u tabeli 10.

Tabela 10. Hemijski sastav komponenti kompletno mešanog obroka

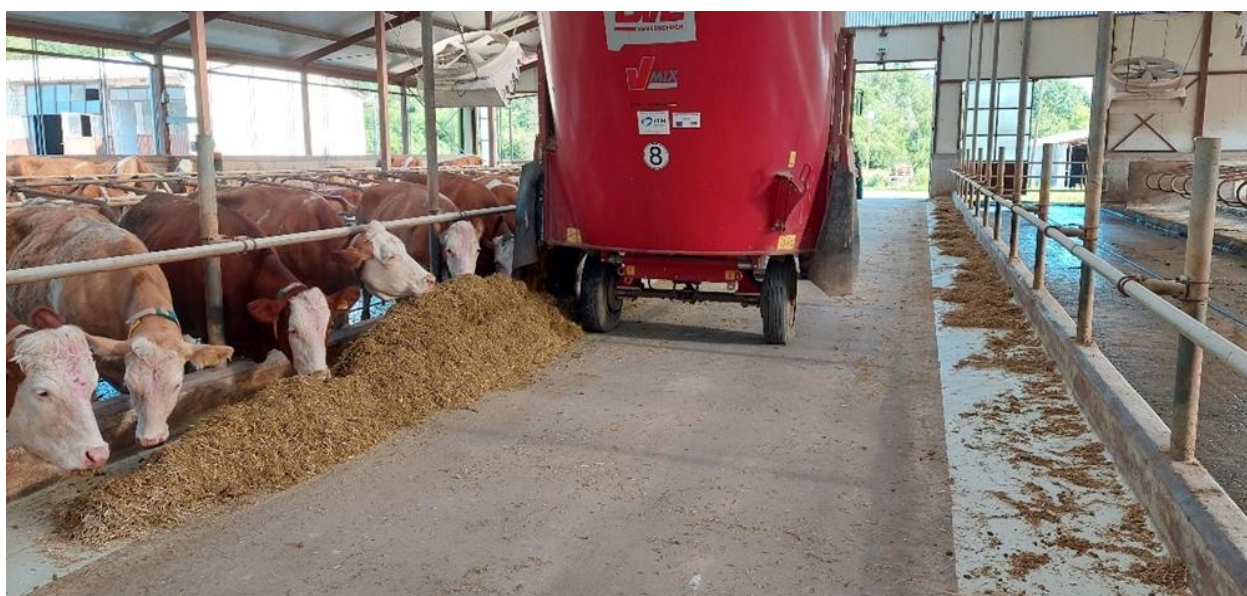
Hranivo	SM, %	U suvoj materiji, %					
		SP	SMa	SC	NDF	ADF	SPe
Silaža cele biljke kukuruza	33,3	8,69	3,70	21,26	47,79	26,36	5,26
Senaža lucerke	41,83	24,95	3,66	21,64	33,01	29,16	12,10
Senaža raži	42,83	16,76	4,36	31,70	58,12	37,07	5,22
Seno lucerke	88,21	15,64	2,04	30,89	48,04	38,79	6,86
Pšenična slama	90,66	3,92	1,49	39,62	72,64	48,50	6,46
Sojina sačma	89,76	49,40	2,42	5,23	15,85	10,54	6,40
Pogača uljane repice	91,33	32,08	13,72	12,57	24,43	18,69	6,25
Koncentrat	88,09	9,88	3,01	2,14	13,96	3,78	1,62

Pored hemijske analize vršena je i procena fizičke forme TMR-a i nekonzumiranog ostatka korišćenjem Penn State Particle Separator (PSPS).



Slika 10. Sistem sita-Penn State Particle Separator

Sadržaji kalcijuma, fosfora i hroma u TMR-u i nekonzumiranom ostatku determinisani su korišćenjem induktivno povezanom plazma masenom spektrometrijom (ICP-MS), primenom Thermo iCAP Q (Thermo Scientific, Bremen, Nemačka) uz prethodnu digestiju uzoraka pomoću START D mikrotalasnog sistema za digestiju (Milestone S.r.l., Sorisole, Italija). Sadržaj Bezazotnih ekstraktivnih materija, BEM, određen je računski BEM, % = 100% SM - (sirovi pepeo + SP + SMA + SC), dok je sadržaj neto energije za laktaciju u obroku (NEL) izračunat korišćenjem CVB Feed Table (CVB, 2021). Obrok je formulisan korišćenjem CVB modela: CVB Table Booklet Feeding of Ruminants 2008 (CVB, 2008), kao i CVB Feed Table (CVB, 2021), za krave telesne mase 650 kg, sa proizvodnjom mleka od 29 kg/dan, sa 4,0% mlečne masti i 3,4% proteina. TMR je distribuiran jednom dnevno u 7:00 ujutru uz pomoć miks-prikolice BVL zapremine 8 m³ sa integrisanom vagom za merenje mase hraniva.



Slika 11. Distribucija obroka

Tabela 11. Sastav i hranljiva vrednost kompletno mešanog obroka

Komponente	Sadržaj, kg SM/dan
Silaža cele biljke kukuruza	4,85
Senaža lucerke	1,75
Senaža raži	1,66
Seno lucerke	2,56
Pšenična slama	1,49
Prekrupa kukuruza	0,176
Sojina sačma	1,91
Pogača uljane repice	0,26
Koncentrat	6,40
Melasa	0,73
Glicerol	0,40
IncapsPro ¹	0,08
NaHCO ₃	0,14
MgO	0,05
CaCO ₃	0,26
Ca(H ₂ PO ₄)	0,08
NaCl	0,1
Premiks	0,1
Hemijski sastav	% SM
Suva materija	51,46
Sirovi protein	14,66
Sirova celuloza	16,22
Frakcija vlakana nerastvorljiva u kiselom deterdžentu, ADF	19,22
Frakcija vlakana nerastvorljiva u neutralnom deterdžentu, NDF	28,63
Sirove masti	2,62
Bezazotne ekstraktivne materije	9,05
Sirovi pepeo	8,91
Ca	0,95
P	0,39
Cr, mg/kg	0,17
NEL, MJ/kg	6,27

¹IncapsPro – Protektirana urea (INBERG, Beograd, Srbija)

Tabela 12. Sastav premiksa korišćenog u kompletno mešanom obroku

Komponenta, u kg premiksa	Sadržaj
Fe, mg	3000
Cu, mg	1200
Mn, mg	6000
Zn, mg	8000
I, mg	100
Se, mg	30
Co, mg	40
Vitamin A, IJ	1 500 000
Vitamin D ₃ , IJ	300 000
Vitamin E, mg	4000
Biotin, mg	20
Niacin, mg	2000
Antioksidant, mg	10 000

5.3. Ambijentalna temperatura i relativna vlažnost vazduha

Ambijentalna temperatura (AT) i relativna vlažnost (RH) su merene tri puta dnevno u 06:00, 14:00 i 22:00 časa korišćenjem Data logger-a Testo 174H (Testo Ltd., Hampshire, UK), koji je bio postavljen u centru objekta, 1,5 m iznad tla. Indeks temperature i vlažnosti (THI-Temperature-Humidity Index) je izračunat upotrebom modela prema Dunn i sar. (2014):

$$THI = (1.8 \times AT + 32) - (0.55 - 0.0055 \times RH) \times (AT - 26.8),$$

gde je AT ambijentalna temperatura (°C), a RH relativna vlažnost (%).



Slika 12. Beleženje ambijentalne temperature i relativne vlažnosti vazduha, korišćenjem uređaja Data logger-Testo 174H

5.4. Determinisanje prinosa i hemijskog sastava mleka

Muža je obavljana dva puta dnevno (07:00 i 19:00 časova), a pojedinačni prinos mleka je beležen prilikom svake muže korišćenjem uređaja (DemaTron 70, GEA Farm Technologies, Düsseldorf, Nemačka).



Slika 13. Izmuzište sa opremom za mužu

Uzorci mleka prikupljani su tri puta tokom trajanja eksperimentalnog perioda i to u trećoj, petoj i osmoj nedelji oglada. Za potrebe analize hemijskog sastava mleka, korišćen je merač kompanije GEA Farm Technologies, Düsseldorf, Nemačka, koji omogućava dobijanje reprezentativnih uzoraka zahvaljujući principu kontinuiranog odvajanja manjih količina mleka u poseban rezervoar tokom celokupnog procesa muže. Na taj način obezbeđeno je da uzorci sadrže proporcionalne količine mleka iz svih faza muže, čime se izbegavaju varijacije u hemijskom sastavu koje se posebno izražavaju u sadržaju mlečne masti, što ovaj metod čini standardnim i široko prihvaćenim u analizi kvaliteta mleka. Dobijeni uzorci mleka pažljivo su preneti u plastične boce zapremine 48 mL. Nakon prikupljanja, uzorci su transportovani u laboratoriju u prenosivom frižideru pri konstantnoj temperaturi od 4 °C, najkasnije 30 minuta nakon uzorkovanja, pri čemu je održavanje niske temperature imalo ključnu ulogu u očuvanju mikrobiološkog kvaliteta i sprečavanju neželjenih biohemijskih promena. Posebna pažnja posvećena je i pravilnom označavanju bočica kako bi se obezbedila precizna identifikacija svakog uzorka, čime je celokupan postupak prikupljanja i rukovanja uzorcima mleka u potpunosti usklađen sa preporukama za izvođenje oglada u mlečnom govedarstvu i obezbeđena metodološka doslednost i naučna validnost dobijenih rezultata.



Slika 14. Uzimanje uzoraka mleka za hemijsku analizu



Slika 14. Transport uzoraka mleka

Hemijski sastav mleka, uključujući osnovne parametre kao što su sadržaj masti, proteina, laktoze i suve materije, određen je primenom infracrvene spektroskopije korišćenjem instrumenta LactoScope Filter C4+ (Delta Instruments, Drachten, Netherlands). Ova metoda predstavlja standardizovan i pouzdan postupak za analizu hemijskog sastava mleka, jer omogućava brzu i preciznu procenu kvalitativnih i kvantitativnih karakteristika. Hemijska analiza sprovedena je u laboratoriji mlekare Homolje u Petrovcu na Mlavi.



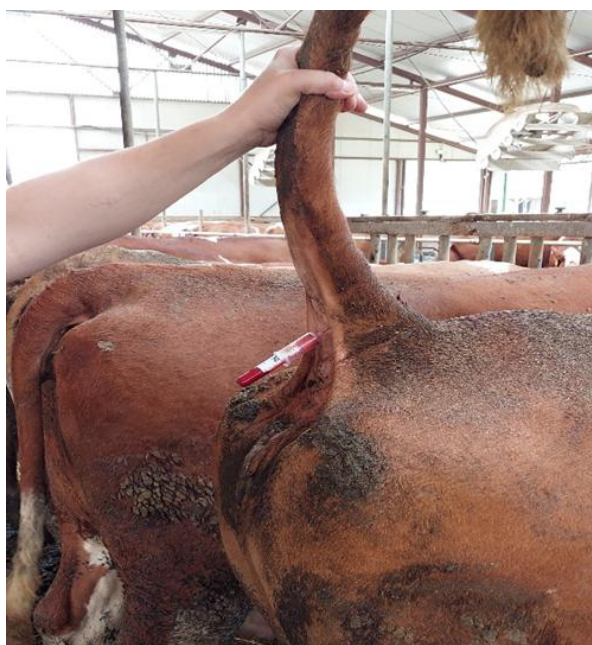
Slika 15. Uređaj za hemijsku analizu mleka-LactoScope Filter C4+

Na osnovu dobijenih vrednosti za hemijski sastav mleka, izvršen je proračun ukupno proizvedenih količina masti, proteina, laktoze i suve materije. Vrednosti su dobijene množenjem procentualnog učešća svake komponente sa ukupnom količinom mleka proizvedenom po jednoj životinji, što je omogućilo detaljnu procenu prinosa ključnih hranljivih materija (Calvache i sar., 2024). Ovakav pristup omogućava ne samo praćenje kvaliteta mleka, već i preciznu procenu produktivnosti svake životinje pojedinačno u ogledu.

5.5. Biohemijski parametri krvi krava

Uzorci krvi su prikupljeni od po 15 krava iz svake eksperimentalne grupe punkcijom repne vene (*vena coccigea*) i odmah prebačeni u vakutajnere bez aktivatora za zgrušavanje (10,0 mL, BD Vacutainer, Plymouth, Devon, UK) namenjene za biohemijske analize. Uzimanje uzoraka vršeno je približno jedan sat pre jutarnjeg hranjenja, kako bi se osigurala reprezentativnost biohemijskih parametara. Uzorci su transportovani u laboratoriju u prenosivom frižideru na temperaturi od 4 °C, u roku od 60 minuta nakon prikupljanja, čime je obezbeđeno očuvanje stabilnosti biološkog materijala. Nakon transporta, serum je izdvojen u laboratoriji, standardnim postupkom, nakon spontanog zgrušavanja krvi na sobnoj temperaturi.

Po završetku procesa koagulacije, uzorci su centrifugirani pri $1500 \times g$ u trajanju od 10 minuta, čime je omogućeno potpuno razdvajanje seruma od ćelijskog dela krvi. Dobijeni serum je pažljivo prenet u merne polipropilenske epruvete zapremine 1,5 mL (Eppendorf AG, Hamburg, Nemačka) i odmah uskladišten do trenutka analize. Posebna pažnja posvećena je sterilnosti pribora i pravilnom označavanju epruveta, kako bi se obezbedila potpuna sledljivost uzoraka. Održavanje hladnog lanca tokom svih faza rukovanja imalo je ključni značaj za očuvanje stabilnosti metabolita.



Slika 16. Uzimanje uzoraka krvi



Slika 17. Izolovanje seruma

Određivanje koncentracije biohemijskih parametara krvi izvršeno je na automatskom biohemijskom analizatoru (A15, BioSystems, Spain), uz primenu originalnih komercijalnih testova istog proizvođača, što je omogućilo visok stepen standardizacije i pouzdanosti dobijenih rezultata. Ovakav pristup značajno smanjuje mogućnost metodoloških grešaka i obezbeđuje konzistentnost merenja između različitih uzoraka. Korišćenje automatizovanih sistema u ovakvim ispitivanjima ima prednost u odnosu na manuelne metode jer omogućava veću tačnost, bržu obradu podataka i smanjenje varijabilnosti uzrokovane ljudskim faktorom. Na ovaj način obezbeđeni su rezultati koji su direktno uporedivi sa podacima iz drugih relevantnih istraživanja. Dodatno, ovakav metod rada doprinosi uštedi vremena u eksperimentalnom postupku, čime se omogućava analiza većeg broja uzoraka u kraćem periodu. Time se povećava efikasnost istraživanja, dok se istovremeno postiže visok nivo preciznosti i ponovljivosti merenja.

Koncentracija glukoze je određena enzimskom reakcijom u prisustvu glukoza-oksidge-peroksidaze (glukoza oksidaza/peroksidaza metod), što predstavlja jednu od najpouzdanijih i

najčešće korišćenih metoda u kliničkoj biohemiji.

Koncentracija ukupnih proteina određena je reakcijom pri kojoj joni bakra reaguju sa peptidnim vezama, pri čemu nastaju ljubičasto obojeni kompleksi (biuretska reakcija). Ova metoda se odlikuje visokim stepenom specifičnosti i dugom tradicijom primene u analizi serumskih proteina.

Koncentracija albumina određena je metodom koja se zasniva na vezivanju albumina za bromkrezol zeleno i formiranju kompleksa čija je boja proporcionalna koncentraciji albumina u serumu (metod bromkrezol zeleno).

Koncentracija kalcijuma je određena kolorimetrijskom metodom, reakcijom kalcijuma sa arsenazo III ligandom i formiranjem obojenog jedinjenja čiji intenzitet boje je proporcionalan koncentraciji kalcijuma u serumu (arsenazo metod).

Koncentracija fosfora je određena kolorimetrijskom metodom, reakcijom fosfora sa molibdenom i formiranjem fosfomolibdata.

Koncentracija uree je određena enzimskom metodom pomoću ureaze i glutamat-dehidrogenaze (ureaza/glutamat dehidrogenaza metod).

Koncentracija ukupnog bilirubina je određena reakcijom bilirubina sa diazotizovanom sulfanilnom kiselinom (metoda diazotizovane sulfanilne kiseline).

Koncentracija triglicerida je određena enzimskom metodom pomoću glicerol-fosfat-oksidge i peroksidaze (glicerol-fosfat-oksidge/peroksidaza metod).

Koncentracija β -hidroksi buterne kiseline (BHBA) je određena kinetičko enzimskom metodom, koja se zasniva na oksidaciji D-3-hidroksibutirata u acetoacetat uz pomoć enzima 3-hidroksibutirat dehidrogenaze. U ovoj reakciji dolazi do redukcije koenzima NAD^+ u $\text{NADH} + \text{H}^+$ pri čemu količina D-3-hidroksibutirata koji nastaje je direktno proporcionalna njegovoj količini u uzorku seruma.

Aktivnost aspartat-aminotransferaze (AST) je određena kinetičkom metodom koja se zasniva na brzini oksidacije NADH u kuplovanju reakciji malat dehidrogenaze (IFCC metod).

Aktivnost enzima gama-glutamil transferaze (GGT) je određen kolorimetrijskom metodom (IFCC metod).



Slika 18. Uređaj za biohemijsku analizu krvi-A15, BioSystem

5.6. Statistička analiza podataka

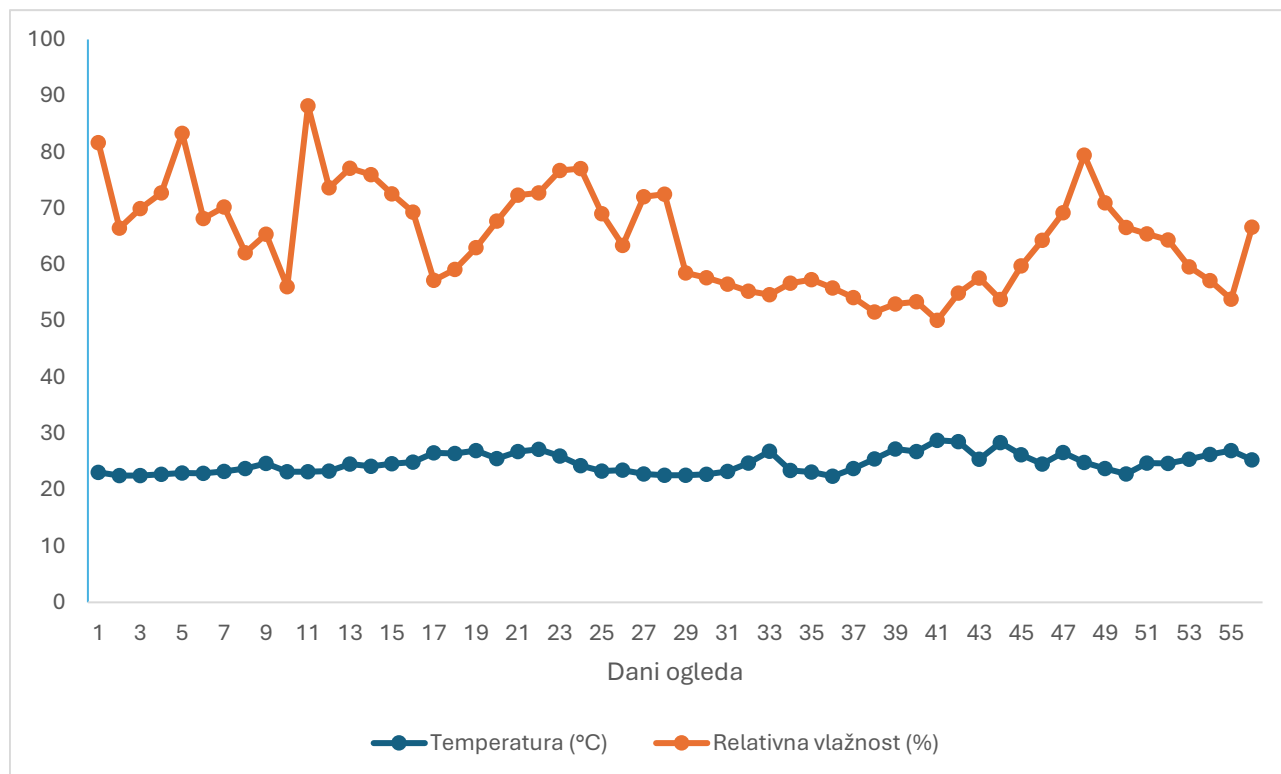
Podaci iz istraživanja analizirani su korišćenjem deskriptivnih statističkih pokazatelja, kao što su aritmetička sredina, standardna devijacija i koeficijent varijacije. Statistička obrada prikupljenih podataka sprovedena je korišćenjem JASP v.0.15 (JASP Team, 2021) programskog paketa. Za procenu statističke značajnosti razlika između srednjih vrednosti korišćen je Studentov t-test. Značajnost rezultata bila je testirana na nivoima $p < 0,05$ i $p < 0,01$. U cilju dodatne validacije rezultata, sve analize su sprovedene uz pažljivo praćenje statističkih pretpostavki za primenu odabranih testova.

6. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA

6.1. Indeks temperature i vlažnosti i nivo toplotnog stresa

Istraživanje efekta dodavanja hroma u obroke za krave simentalke rase u laktaciji, sprovedeno je u najtoplijem periodu godine, tokom letnjih meseci (jul i avgust) sa najvišom prosečnom temperaturom.

Tokom eksperimentalnog perioda u objektu gde su boravile životinje praćeni su ključni mikroklimatski parametri – temperatura i relativna vlažnost vazduha. Podaci o vrednostima navedenih parametara prikazani su na grafikonu 1.



Grafikon 1. Prikaz prosečne dnevne temperature (°C) i relativne vlažnosti (%) vazduha u toku celokupnog perioda istraživanja

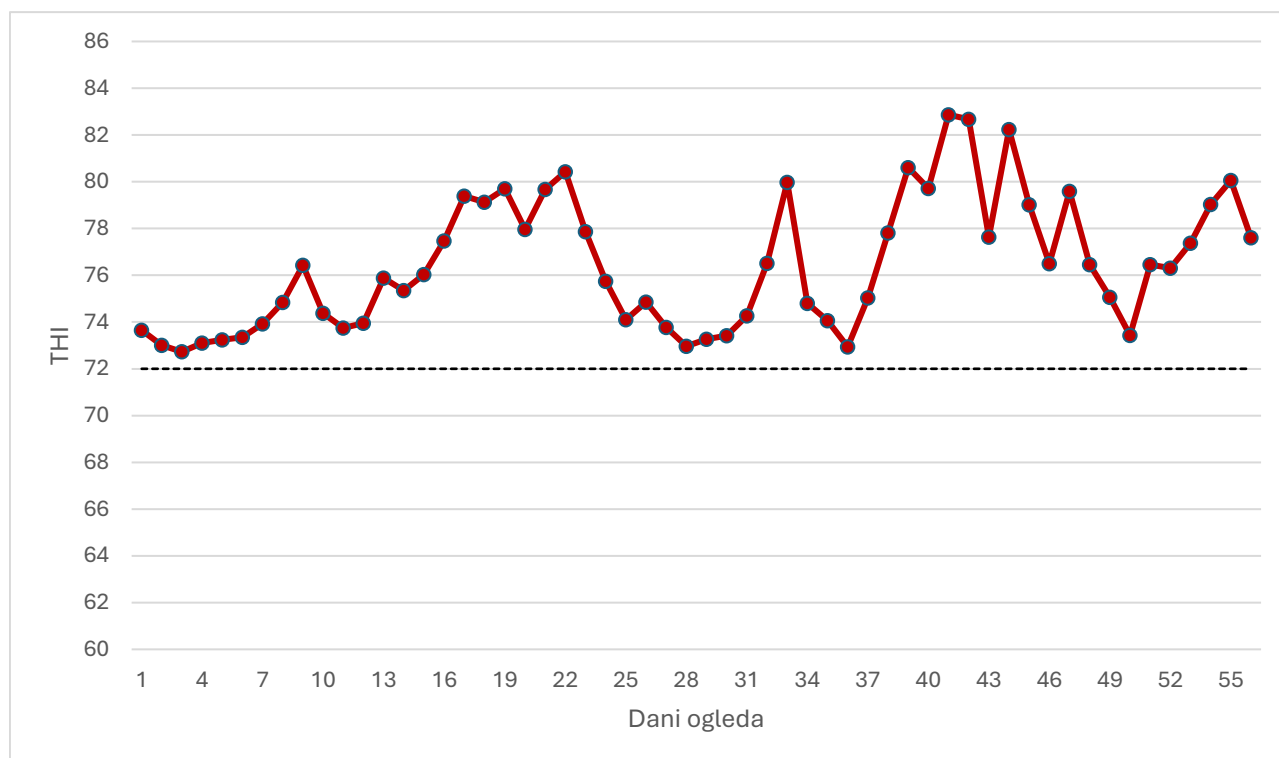
Prosečne dnevne vrednosti temperature vazduha tokom eksperimentalnog perioda kretale su se u opsegu između 22,4 °C i 28,8 °C, dok je prosečna dnevna temperatura za ceo period ogleda iznosila $24,73 \pm 1,75$ °C. Optimalni temperaturni opseg za krave holštajn rase kreće se između 0 °C i 20 °C (Guo i sar., 2023). Prema istraživanjima, gornja kritična temperatura za mlečne krave iznosi oko 25,0-26,0 °C (Herbut i sar., 2018), dok pojedine studije navode nešto širi raspon od 24,0 do 27,0 °C (Santos i sar., 2019). Kada temperatura vazduha pređe ove vrednosti, toplotni stres postaje izražen, što može negativno uticati na dobrobit i produktivnost krava. Pri temperaturama iznad 25 °C dolazi do smanjenja efikasnosti evaporativnog gubitka toplote, zbog čega se organizam krava oslanja na perifernu vazodilataciju kako bi održao telesnu temperaturu u fiziološkim granicama (Santos i sar., 2019).

Za razliku od temperature vazduha, zabeležene su izraženije oscilacije relativne vlažnosti vazduha u objektu, u rasponu od 50,1% do 88,2%. Ove varijacije rezultat su promena u ventilaciji objekta, ali i atmosferskih uslova, poput količine padavina i fluktuacija temperature. Prosečna dnevna relativna vlažnost vazduha tokom trajanja eksperimenta iznosila je $64,9 \pm 9,13$ %. Nagli skokovi dnevne prosečne relativne vlažnosti mogu ukazivati na povećane količine padavina tokom određenih

letnjih dana, što može dodatno doprineti toplotnom stresu kod životinja.

Vrednosti relativne vlažnosti iznad 70% smatraju se pragom iznad kojeg mogu nastupiti negativne posledice po zdravlje i produktivnost krava u laktaciji, naročito kada su udružene sa temperaturama višim od 25 °C (Narmilan i sar., 2021). Visoka relativna vlažnost smanjuje efikasnost evaporativnog hlađenja, čime se otežava prirodni mehanizam regulacije telesne temperature kod krava. Prema istraživanju Schütz i sar. (2010), mlečne krave postaju značajno osetljivije kada je relativna vlažnost povišena, što dovodi do povećane frekvence disanja kao pokušaja organizma da se rashladi (Yano i sar., 2018).

Kombinacijom parametara temperature i vlažnosti vazduha izračinat je Indeks temperature i vlažnosti (THI). Vrednosti ovog indeksa prikazane su na grafikonu 2.



Grafikon 2. Kretanje indeksa temperature i vlažnosti u toku celokupnog perioda istraživanja

Grafikon 2 prikazuje dinamiku kretanja indeksa temperature i vlažnosti (THI) tokom celokupnog osmonedeljnog trajanja eksperimentalnog ispitivanja. Vrednosti temperaturno-humidnog indeksa su tokom celog posmatranog perioda bile iznad praga od 72, što jasno ukazuje na prisustvo konstantnog toplotnog stresa kod oglednih grupa. Prosečna zabeležena vrednost THI iznosila je $76,45 \pm 2,80$, uz uočljive dnevne fluktuacije koje odražavaju promene u mikroklimatskim uslovima.

Na početku ispitivanja, THI je bio relativno stabilan, krećući se u rasponu od 73 do 74, ali se već nakon prvih sedam dana beleži postepen porast. Od druge nedelje, učestalost vrednosti iznad 76 je sve izraženija, što ukazuje na pogoršanje ambijentalnih uslova. Značajan skok indeksa primećen je od 16. dana, kada THI približio vrednosti 78, čime se ulazi u zonu intenzivnog toplotnog opterećenja. U nastavku eksperimenta THI beleži blage oscilacije, ali u proseku ostaje u uzlaznom trendu, dostižući najviše vrednosti u poslednjoj trećini oglednog perioda, kada su u pojedinim danima zabeleženi nivoi iznad 82.

Kratkotrajna sniženja THI, zabeležena oko 28. i 36. dana oglada, predstavljaju odgovor na trenutne meteorološke promene, uzrokovane padavinama i privremenim osveženjem vazduha. Međutim, ove oscilacije su bile kratkotrajne, nakon čega je zabeležen nastavak porasta vrednosti THI, i nepovoljnih termalnih uslova.

U prethodno sprovedenim studijama, THI vrednost od 72 je najčešće korišćen prag za definisanje početka toplotnog stresa kod mlečnih krava (Shan i sar., 2020; Wo i sar., 2023). Ipak,

pojedini autori sugerišu da se prvi negativni fiziološki i produkcionni odgovori mogu pojaviti već pri vrednostima THI od 68 (Collier i sar., 2017), što implicira da se prag stresa može razlikovati u zavisnosti od genotipa, nivoa proizvodnje, kao i efikasnosti adaptacije na mikroklimatske uslove.

Povišene temperature koje dovode do visokih THI vrednosti imaju direktan uticaj na energetski bilans organizma krava, remete termoregulacione mehanizme i utiču na normalno odvijanje metaboličkih procesa kod životinja. Navedeno se manifestuje kroz pad konzumacije hrane, povećano lučenje hormona stresa i smanjenu proizvodnju mleka (Polsky i Keyserlingk, 2017). Kada THI premašuje vrednost od 80, toplotni stres postaje naročito izražen i često rezultira ozbiljnim fiziološkim poremećajima, uključujući hormonalni disbalans i redukciju reproduktivne sposobnosti (Lee i sar., 2024).

Posebnu pažnju u savremenim istraživanjima dobija uloga fizioloških parametara kao što su rektalna temperatura i frekvenca disanja. Ovi pokazatelji omogućavaju pravovremeno prepoznavanje stepena toplotnog opterećenja. Frekvenca disanja od preko 120 udisaja u minuti smatra se jasnim pokazateljem izraženog toplotnog stresa (Chrast i sar., 2023).

Uslovi toplotnog stresa zahtevaju sprovođenje različitih mera, koje uključuju primenu sistematskog hlađenja, optimizaciju nutritivnog sastava obroka i prilagođavanje mikroklimatskih parametara u objektima radi smanjenja toplotnog opterećenja.

Potrebno je obezbediti neprekidno praćenje termalnog stanja životinja u realnom vremenu, što je omogućeno savremenim tehnologijama za automatsko prikupljanje i analizu fizioloških i ekoloških podataka (Liu i sar., 2019). Digitalni senzori, pametne ogrlice i drugi biosenzorski alati omogućavaju rano prepoznavanje nepovoljnih uslova i prilagođavanje strategija upravljanja (Stojković i sar., 2023).

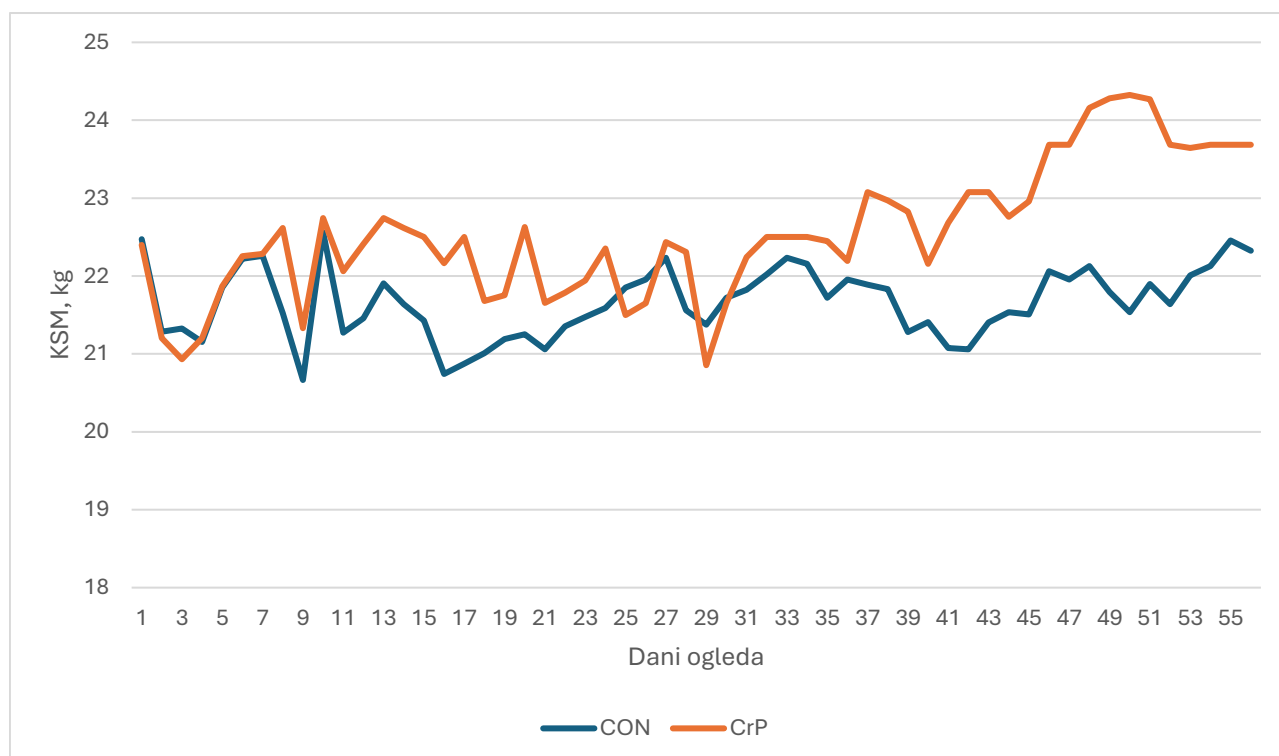
Temperaturno-humidni indeks je danas prepoznat kao jedan od ključnih pokazatelja uticaja klimatskih promena na zdravlje i produktivnost mlečnih krava. U kontekstu globalnog zagrevanja, broj dana sa povišenim THI vrednostima beleži stalni porast, naročito u regionima sa izraženim letnjim vrućinama, poput suptropskih i tropskih zona (Fodor i sar., 2018). Ovi trendovi nameću potrebu za adaptivnim merama kako bi se očuvala održivost proizvodnje mleka.

Problem dodatno komplikuje činjenica da sposobnost krava da se fiziološki prilagode produženim periodima povišenih temperatura ima svoja ograničenja. Kada su izložene višednevnim ili višenedelnim periodima visokog THI, životinje troše znatne energetske resurse na termoregulaciju, što narušava njihovu produktivnost i reproduktivne performanse (Fan i sar., 2018). Stoga je od suštinske važnosti razvijati i primenjivati preventivne strategije koje će umanjiti negativne efekte toplotnog stresa – kako u okviru objekata (npr. ventilacija, orošavanje, izolacija), tako i kroz prilagođene prakse ishrane i selekcije otpornih jedinki.

6.2. Konzumiranje i fizička forma hrane

6.2.1. Konzumiranje suve materije obroka

Rezultati analize konzumiranja suve materije obroka (KSM), zasnovani na svakodnevnom praćenju količine unete hrane i preostalog nekonsumiranog dela, pokazuju da su krave koje su tokom eksperimentalnog perioda bile hranjene TMR-om sa dodatkom hrom-propionata postigle povećanje konzumiranja suve materije od 4,11% u poređenju sa kontrolnom grupom. Ove razlike bile su statistički značajne ($p < 0,01$). Detalji konzumiranja hrane tokom ogleda prikazani su na grafikonu 3.



Grafikon 3. Konzumiranje SM kompletno mešanog obroka, u toku celokupnog perioda istraživanja

CON: kontrolna grupa (n= 35, bez suplementacije hrom-propionatom);

CrP: ogledna grupa (n = 35, dodatak hrom-propionata, 8 mg Cr/po kravi/po danu)

Analizom podataka prikazanih na grafikonu 3. može se primetiti da je KSM u prvih sedam dana eksperimenta bila slična u obe posmatrane grupe, što sugerise da inicijalno nije bilo značajnih razlika u reakciji krava u ogledu. Međutim, nakon tog perioda, uočava se jasna razlika u konzumaciji između grupa, pri čemu je grupa krava suplementisanih hrom-propionatom (CrP) pokazala povećane vrednosti u poređenju sa kontrolnom grupom (CON). Ovaj rezultat može se objasniti vremenskim periodom koji je bio potreban da preparat pokaže svoje biološke efekte, s obzirom na to da suplementi ovog tipa često zahtevaju određeni vremenski interval kako bi uticali na metabolizam životinja. Povećanje konzumacije suve materije kod krava koje su konzumirale obrok sa hrom-propionatom može biti povezano sa smanjenjem oksidativnog stresa, što je u skladu sa prethodnim izveštajima o sposobnosti hroma da modulira antioksidativne mehanizme (Shan i sar., 2020). Ovi podaci sugerisu da suplementacija hrom-propionatom poboljšava KSM, što može pozitivno uticati na proizvodnju i zdravlje životinja, naročito u uslovima metaboličkog stresa. Takođe, povećana konzumacija hrane može doprineti boljoj ravnoteži u metabolizmu energije, što je od ključne važnosti za održavanje optimalnog zdravstvenog i proizvodnog statusa krava tokom laktacije. Prosečna konzumacija hrane u kontrolnoj grupi krava iznosila je $21,66 \pm 0,45$ kg, dok je u grupi koja je konzumirala hrom-propionat bila nešto viša i iznosila je $22,55 \pm 0,84$ kg. Ovaj pozitivan efekat sugerise da suplementacija hroma u obroke za krave simentalne rase u laktaciji, predstavlja potencijalno efikasnu strategiju ishrane za unapređenje unosa hrane kod krava izloženih toplotnom i drugim oblicima stresa.

Pored vizuelnog prikaza na grafikonu 3. podaci u tabeli 13 potvrđuju isti trend, pri čemu je nakon sličnih vrednosti u prvoj nedelji zabeleženo postepeno povećanje konzumiranja SM u CrP grupi u odnosu na kontrolu, naročito u drugoj polovini ogleda, što ukazuje na pozitivan efekat suplementacije hrom-propionatom u uslovima toplotnog stresa.

Tabela 13. Prosečno konzumiranje SM obroka kod krava u laktaciji, po nedeljama eksperimentalnog perioda (kg/dan)

Nedelja	CON	CrP	p-vrednost
I	21,79±0,54	21,73±0,61	0,85
II	21,57±0,58	22,36±0,51	0,02
III	21,08±0,23	22,13±0,43	< 0,01
IV	21,72±0,31	22,00±0,37	0,15
V	21,86±0,30	22,11±0,63	0,38
VI	21,50±0,39	22,62±0,37	< 0,01
VII	21,77±0,29	23,34±0,50	< 0,01
VIII	21,90±0,32	23,94±0,33	< 0,01
$\bar{X}$	21,66±0,45	22,55±0,84	< 0,01

CON: kontrolna grupa (n = 35, bez suplementacije hrom-propionatom);

CrP: ogledna grupa (n = 35, dodatak hrom-propionata, 8 mg Cr/po kravi/po danu)

Vrednosti prikazane u tabeli 13 ukazuju da su statistički značajne razlike između grupa izraženije u kasnijim fazama ogleda, što potvrđuje postojanje odloženog, kumulativnog efekta hrom-propionata nakon višenedelnog uključivanja u obrok.

Pored praćenja konzumiranja suve materije obroka (SM), tokom trajanja ogleda utvrđeno je i prosečno konzumiranje energije (NEL) po pojedinim nedeljama eksperimenta i to kako u kontrolnoj (CON), tako i u oglednoj grupi (CrP). Podaci su prikazani u tabeli 14.

Tabela 14. Prosečno konzumiranje energije (NEL) obroka kod krava u laktaciji, po nedeljama eksperimentalnog perioda (MJ/dan)

Nedelja	CON	CrP	p-vrednost
I	136,65±3,39	136,28±3,83	0,85
II	135,27±3,64	140,20±3,21	0,02
III	132,18±1,46	138,73±2,68	< 0,01
IV	136,17±1,94	137,92±2,33	0,15
V	137,09±1,86	138,61±3,97	0,38
VI	134,81±2,43	141,84±2,30	< 0,01
VII	136,50±1,82	146,36±3,16	< 0,01
VIII	137,34±2,03	150,10±2,07	< 0,01
$\bar{X}$	135,75±2,77	141,25±5,26	< 0,01

CON: kontrolna grupa (n= 35, bez suplementacije hrom-propionatom);

CrP: ogledna grupa (n = 35, dodatak hrom-propionata, 8 mg Cr/po kravi/po danu)

Uz analizu konzumiranja suve materije obroka (SM) i energije (NEL), sprovedeno je i praćenje prosečnog unosa sirovih proteina (SP) po nedeljama eksperimenta u kontrolnoj (CON) i oglednoj grupi (CrP). Dobijeni rezultati prikazani su u tabeli 15.

Tabela 15. Prosečno konzumiranje SP (kg/dan) kod krava u laktaciji, po nedeljama eksperimentalnog perioda

Nedelja	CON	CrP	p-vrednost
I	3,19±0,08	3,19±0,09	0,85
II	3,16±0,08	3,28±0,07	0,02
III	3,09±0,03	3,24±0,06	< 0,01
IV	3,18±0,04	3,22±0,05	0,15
V	3,20±0,04	3,24±0,09	0,38
VI	3,15±0,06	3,32±0,05	< 0,01
VII	3,19±0,04	3,42±0,07	< 0,01
VIII	3,21±0,05	3,51±0,05	< 0,01
$\bar{X}$	3,17±0,06	3,30±0,12	< 0,01

CON: kontrolna grupa (n = 35, bez suplementacije hrom-propionatom);

CrP: ogledna grupa (n = 35, dodatak hrom-propionata, 8 mg Cr/po kravi/po danu)

Trendovi konzumiranja energije (NEL) i sirovih proteina (SP) u potpunosti prate obrazac uočen kod konzumiranja suve materije obroka (SM), sa izraženijim razlikama između grupa u kasnijim fazama ogleda. Ovakva podudarnost jasno se ogleda u identičnim p-vrednostima po nedeljama eksperimenta za sva tri praćena parametra (tabele 13, 14 i 15), što ukazuje na sinhronizovan i konzistentan odgovor životinja na suplementaciju hrom-propionatom.

Jedan od najvažnijih indikatora toplotnog stresa kod mlečnih krava predstavlja smanjenje konzumacije suve materije (Bin-Jumah i sar., 2020). Pod uslovima povišene ambijentalne temperature i visoke vlažnosti, smanjenje unosa hrane može dostići čak 30 % u odnosu na normalne uslove (Wheelock i sar., 2010). Takav pad u unosu hrane ima višestruke negativne posledice na fiziološko i metaboličko stanje životinja, uključujući smanjenje proizvodnje mleka, narušenu reproduktivnu funkciju i opšte pogoršanje stanja organizma, što dodatno ugrožava održivost proizvodnje.

Hrom je esencijalni mikronutrijent koji igra važnu ulogu u regulaciji metaboličkih procesa, a pozitivan efekat njegove suplementacije rezultat je antioksidativnog delovanja (Maiese, 2020; Wo i sar., 2023). Primena hroma, naročito u formi kvasca obogaćenog hromom, pokazala je značajan potencijal u unapređenju konzumiranja suve materije (KSM) kod krava izloženih stresnim uslovima, uključujući visoke temperature (Shan i sar., 2020; Adili i sar., 2020). Dosadašnja istraživanja ukazuju da različiti oblici hroma pozitivno utiču na unos hrane kod krava u laktaciji, što implicira njegovu važnost u održavanju optimalne proizvodnje mleka (Mirzaei i sar., 2011; Vargas-Rodriguez i sar., 2014). Istraživanje sprovedeno na 64 krave holštajn rase u srednjoj fazi laktaciji (143. dan) ukazuje da suplementacija hrom-propionatom u dozama od 0, 4, 8 i 12 mg/dan po grlu povećava KSM proporcionalno količini dodatog hroma (Wang i sar., 2023). Slični efekti zabeleženi su i u studiji Al-Saiady i sar. (2004), gde je dodatak hroma iz kvasca povećao KSM za 9% u odnosu na kontrolnu grupu kod 160 krave holštajn rase (120 – 130 dana laktacije). McNamara i Valdez (2005) su, takođe, utvrdili da suplementacija hrom-propionatom (10 mg/d Cr po grlu) povećava KSM za 7% pre teljenja i 16% nakon teljenja kod krava koje su bile izložene metaboličkom stresu. Navedeni nalazi sugerišu

da suplementacija hromom predstavlja efikasan pristup za optimizaciju ishrane i proizvodne efikasnosti krava u laktaciji, posebno u stresnim uslovima, što ima značajan uticaj na produktivnost i dobrobit životinja.

Međutim, dostupna literatura ukazuje i na činjenicu da suplementacija hrom-propionatom ne rezultira uvek značajnim povećanjem konzumacije suve materije. Yasui i sar. (2014) u istraživanju sprovedenom na kravama holštajn rase nisu registrovali značajan uticaj dodatka hrom-propionata u količini od 8 mg/dan po grlu na KSM, bilo u periodu pre teljenja, kao i tokom rane ili srednje laktacije. Slični rezultati su zabeleženi i u studiji Garcia i sar. (2017), gde suplementacija hromom nije dovela do značajnijeg povećanja KSM.

Ova nesaglasnost može biti rezultat različitih faktora, kao što su razlike u količini dodatog hroma, specifičnost uslova u kojima su sprovedena istraživanja ili individualne karakteristike životinja koje su bile predmet istraživanja (Assis, 2020).

6.1.2. Fizička struktura kompletno mešanog obroka i nekonzumiranog ostatka

Penn State Particle Separator (PSPS) predstavlja standardizovanu i pouzdanu metodu za evaluaciju raspodele veličine čestica u kabastim hranivima i kompletno mešanim obrocima (TMR), omogućavajući razdvajanje hraniva i obroka na nekoliko frakcija prema dimenzijama čestica (Stojanović i sar., 2009; White i sar., 2017). Ova metoda je široko prihvaćena u praksi zbog svoje praktičnosti i efikasnosti, što je posebno značajno za svakodnevnu upotrebu na farmama sa velikim brojem životinja (Stojanović i sar., 2010; Oh i sar., 2016). Istraživanja sprovedena primenom PSPS pokazala su da utvrđivanje distribucije čestica u TMR-u predstavlja značajan korak u formulisanju obroka za visokomlečne krave, posebno u kritičnim fazama tranzicije i rane laktacije, kada je energetska i nutritivna status životinja od presudnog značaja za produktivnost i zdravlje (Stojanović i sar., 2012; Hartinger i sar., 2024). Dodatno, analiza raspodele čestica omogućava identifikaciju potencijalnih problema u kompletno mešanom obroku, uključujući preterano usitnjene ili previše krupne frakcije, koje mogu negativno uticati na konzumiranje hrane i aktivnost žvakanja pri konzumiranju i preživanju, čime PSPS sistem sita predstavlja neophodan alat za praktično i precizno determinisanje fizičke strukture TMR-a.

Rezultati analize fizičke forme TMR-a, korišćenjem PSPS sistema sita dati su u tabeli 16.

Tabela 16. Relativno učešće PSPS-frakcija i prosečna veličina čestica kompletnih obroka

Frakcija	Odnos frakcija, %		
	CON	CrP	p-vrednost
I (> 19 mm)	12.35±3.74	11.88±4.88	0.82
II (8-19 mm)	37±3.63	36±2.45	0.53
III (4-8 mm)	15.25±1.39	15.35±1.60	0.87
IV (< 4 mm)	35.5±3.16	36.38±2.88	0.57
Pros. veličina čestica (mm)	6.42±0.52	6.30±0.60	0.69

CON: kontrolna grupa (n = 35, bez suplementacije hrom propionatom);

CrP: ogledna grupa (n = 35, dodatak hrom-propionata, 8 mg Cr/po kravi/po danu)

Prihvaćeni normativi sugerišu da bi kompletno mešani obrok (TMR) trebalo da sadrži između 2-8% čestica većih od 19 mm, 30-50% čestica između 19 mm i 8 mm, 10-20% čestica između 8 mm i 4 mm, kao i do 40% čestica manjih od 4 mm (Heinrichs, 2013). Analizom distribucije pojedinih frakcija TMR-a u obe posmatrane grupe, utvrđeno je da je učešće prve frakcije u oba slučaja bilo iznad optimalnih vrednosti. Ostale frakcije su se nalazile u okviru referentnih vrednosti, što ukazuje na to da je raspodela čestica u odnosu na veličinu bila relativno uravnotežena, sa izuzetkom prve frakcije.

Statističkom analizom podataka utvrđeno je da ne postoje značajne razlike u distribuciji

pojedinih frakcija TMR-a između posmatranih grupa, niti u prosečnoj veličini čestica, što ukazuje na ujednačenost fizičke forme obroka u obe grupe. Utvrđeno odstupanje od preporuka, kada je u pitanju najkrupnija frakcija čestica može ukazivati na nedovoljno usitnjavanje kabastih hraniva, što potencijalno može uticati na selektivnu konzumaciju hrane od strane životinja. Istovremeno, činjenica da su preostale frakcije u okviru preporučenih vrednosti sugerise da je ukupna struktura TMR-a adekvatna za obezbeđivanje ravnoteže između kabastih i koncentrovanih komponenti u obroku.

Navedene analize svakako pružaju važne informacije za moguće unapređenje fizičke strukture kompletno mešanih obroka za ishranu krava u laktaciji, kako bi se postigla bolja efikasnost u ishrani, u cilju minimiziranja potencijalnih problema vezanih za neadekvatnu raspodelu veličina čestica.

Pored analize fizičke strukture kompletno mešanog obroka, sprovedena je i analiza fizičke strukture nekonzumiranog ostatka. Rezultati ove analize prikazani su u tabeli 17. Ova analiza omogućava procenu distribucije veličine čestica koje životinje nisu konzumirale, što je od ključne važnosti za razumevanje procesa selektivnog konzumiranja obroka. Krave često sortiraju duže čestice u korist kraćih, svarljivijih čestica, što dovodi do smanjenog unosa fizički efektivnih vlakana (Stojanović i sar., 2014a; Miller-Cushon i DeVries, 2010). Smanjeni unos fizički efektivnih neutralnih deterdžentskih vlakana (peNDF) usled sortiranja može nepovoljno uticati na funkciju buraga i proizvodne performanse životinja (Stojanović i sar., 2014b; Shaani i sar., 2017). Ovakav obrazac ponašanja u ishrani može dovesti do intenzivne fermentacije u buragu, pri čemu dolazi do povećane produkcije isparljivih masnih kiselina, ali istovremeno do nedovoljnog unosa vlakana potrebnih za stimulaciju žvakanja i lučenja pljuvačke, što predstavlja ključne mehanizme u održavanju stabilnog pH buraga. Posledično, poremećaji u preživljanju mogu rezultirati nižom proizvodnjom mleka, kao i smanjenjem sadržaja mlečne masti, što direktno utiče na ekonomsku isplativost proizvodnje (Stojanović i sar., 2011). Analiza nekonzumiranog ostatka stoga predstavlja važan indikator usklađenosti strukture obroka sa zahtevima životinja i kvalitetom pripreme TMR-a.

Dodatno, identifikovanje obrazaca selektivne konzumacije može pomoći u prilagođavanju tehnoloških postupaka pripreme hrane, kao što je produžavanje vremena pripreme TMR-a i optimizacija odnosa kabastih i koncentrovanih komponenti. Na taj način moguće je unaprediti stabilnost fermentacije u buragu, smanjiti gubitke i obezbediti optimalne uslove za maksimalnu produktivnost i poboljšati zdravstveno stanje krava.

Tabela 17. Relativno učešće PSPS-frakcija i prosečna veličina čestica nekonzumiranog ostatka

Frakcija	Odnos frakcija, %		
	CON	CrP	p-vrednost
I (> 19 mm)	35.86±13.45	31.57±13.10	0.56
II (8-19 mm)	44.43±7.85	48.29±12.92	0.52
III (4-8 mm)	11.14±2.85	11.29±2.36	0.92
IV (< 4 mm)	8.43±5.44	8.86±5.87	0.89
Pros.veličina čestica (mm)	13.58±2.84	12.92±2.41	0.65

CON: kontrolna grupa (n = 35, bez suplementacije-hrom propionatom);

CrP: ogledna grupa (n = 35, dodatak hrom-propionata, 8 mg Cr/po kravi/po danu)

Statističkom analizom podataka utvrđeno je da nisu prisutne značajne razlike u distribuciji pojedinih frakcija nekonzumiranog ostatka između posmatranih grupa, kao ni u prosečnoj veličini čestica, što upućuje na sličnost fizičke strukture nekonzumiranog ostatka u obe grupe. Ovi rezultati sugerisu da suplementacija hrom-propionatom nije imala uticaj na selektivno konzumiranje kompletnog obroka.

6.3. Produktivnost i hemijski profil mleka

6.3.1. Prinos mleka

Na osnovu detaljne analize dnevne proizvodnje mleka, uz praćenje kroz tri uzastopne kontrole hemijskog sastava mleka tokom celokupnog trajanja eksperimentalnog perioda, dobijeni rezultati jasno ukazuju na pozitivan uticaj dodatka hrom-propionata u ishrani muznih krava simentalke rase, u uslovima toplotnog stresa. Krave koje su bile deo eksperimentalne grupe, a koje su svakodnevno konzumirale obrok sa pomenutim dodatkom, ostvarile su značajno viši prinos mleka u poređenju sa životinjama iz kontrolne grupe, koje su bile hranjene standardnim obrokom bez dodatka hroma.

Konkretno, utvrđeno je da je prosečna dnevna proizvodnja mleka kod eksperimentalne grupe bila veća za 4,58%, što predstavlja kvantitativno izraženu i statistički potvrđenu razliku u korist tretirane grupe. Statistička analiza je pokazala visok nivo značajnosti ($p < 0,01$), čime se potvrđuje da ovako izražena razlika nije rezultat slučajnosti, već stabilnog efekta primenjenog dodatka u ishrani.

Pored apsolutne proizvodnje mleka, izvršeno je i preračunavanje prinosa na standardizovanu vrednost mleka korigovanog na 4% mlečne masti (4% MKM), kako bi se dobila uporediva mera proizvodnje, nezavisna od individualnih razlika u sadržaju mlečne masti. Na osnovu tih podataka, ustanovljeno je da su krave iz ogledne grupe ostvarile i viši prinos 4% MKM, pri čemu je razlika u odnosu na kontrolnu grupu iznosila 4,08%. Ova vrednost dodatno potvrđuje pozitivan uticaj suplementacije hrom-propionatom, ne samo na prinos već i na kvalitet proizvedenog mleka.

Rezultati su prikazani u tabeli 18, a dodatne analize hemijskog sastava mleka ukazale su i na pozitivne efekte dodavanja hroma na količine pojedinih osnovnih komponenti mleka. Naime, kod krava koje su dobijale obrok sa dodatkom hrom-propionata zabeleženo je statistički značajno povećanje u prinosu proteina mleka, laktoze i suve materije. Prinos proteina bio je veći za 4,21%, laktoze za 3,79%, dok je prinos suve materije bio veći za 3,51%, u odnosu na kontrolnu grupu. Sve ove razlike pokazale su visok nivo statističke značajnosti ($p < 0,01$).

Tabela 18. Efekat upotrebe hrom-propionata na proizvodnju i hemijski sastav mleka

Pokazatelj	CON	CrP	p-vrednost
Prinos mleka, kg/dan	27,91±2,96	29,19±3,38	< 0,01
4% MKM, kg/dan	28,17±0,93	29,32±0,70	< 0,01
Sadržaj mlečne masti, %	4,03±0,49	4,05±0,43	0,78
Prinos mlečne masti, kg/dan	1,12±0,04	1,17±0,03	< 0,01
Sadržaj proteina, %	3,40±0,31	3,43±0,31	0,51
Prinos proteina, kg/dan	0,95±0,03	0,99±0,02	< 0,01
Sadržaj laktoze, %	4,72±0,13	4,72±0,15	0,81
Prinos laktoze, kg/dan	1,32±0,04	1,37±0,03	< 0,01
Sadržaj suve materije, %	13,28±1,06	13,24±0,85	0,74
Prinos suve materije, kg/dan	3,70±0,12	3,83±0,09	< 0,01
Efikasnost iskorišćavanja hrane, kg 4% MKM/kg SM	1,29±0,05	1,28±0,07	0,76
Efikasnost iskorišćavanja energije, NEL MJ/kg 4% MKM	4,92±0,57	4,92±0,60	0,68
Efikasnost iskorišćavanja SP, kg/kg SP mleka	3,39±0,39	3,35±0,41	0,07

CON: kontrolna grupa (n = 35, bez suplementacije hrom-propionatom);

CrP: ogledna grupa (n = 35, dodatak hrom-propionata, 8 mg Cr/po kravi/po danu)

Određeni broj ranijih naučnih studija koje su se bavile uticajem dodatka hroma u ishrani mlečnih krava holštajn rase, ukazuju na kontradiktorne i često nedosledne nalaze u pogledu njihovih proizvodnih rezultata. Jedan od ključnih faktora koji doprinosi smanjenju prinosa mleka u uslovima toplotnog stresa jeste pad konzumacije suve materije obroka (West, 2003). Naime, u periodima visokih spoljašnjih temperatura, krave ispoljavaju smanjenu potrebu za hranom, što direktno utiče na energetski bilans organizma i sposobnost za sintezu mleka. Ovakve promene u hranidbenom ponašanju uslovljene su fiziološkim pokušajem organizma da redukuje metaboličko opterećenje i proizvodnju unutrašnje toplote. Zbog toga dolazi do poremećaja u ravnoteži između nutritivnih potreba krava u laktaciji i stvarnog unosa hranljivih materija, što se negativno odražava na proizvodne performanse.

Tabela 19. Rezultati analize prinosa i hemijskog sastava mleka, dobijenih u prvoj kontroli mlečnosti

Pokazatelj	CON	CrP	p-vrednost
Prinos mleka, kg/dan	28,74±2,73	29,64±2,85	0,18
4% MKM, kg/dan	29,89±2,84	30,67±2,95	0,26
Sadržaj mlečne masti, %	4,16±0,58	4,14±0,38	0,84
Prinos mlečne masti, kg/dan	1,20±0,21	1,22±0,12	0,57
Sadržaj proteina, %	3,38±0,31	3,43±0,29	0,45
Prinos proteina, kg/dan	0,97±1,13	1,01±0,11	0,13
Sadržaj laktoze, %	4,75±0,14	4,73±0,18	0,57
Prinos laktoze, kg/dan	1,36±0,14	1,40±0,14	0,29
Sadržaj suve materije, %	13,45±0,89	13,81±0,75	0,07
Prinos suve materije, kg/dan	3,88±0,55	4,09±0,43	0,08
Efikasnost iskorišćavanja hrane, kg 4% MKM/kg SM	1,36±0,13	1,36±0,13	0,98
Efikasnost iskorišćavanja energije, NEL MJ/kg 4% MKM	4,66±0,43	4,66±0,47	0,95
Efikasnost iskorišćavanja SP, kg/kg SP mleka	3,25±0,43	3,19±0,38	0,55

CON: kontrolna grupa (n= 35, bez suplementacije hrom-propionatom);

CrP: ogledna grupa (n = 35, dodatak hrom-propionata, 8 mg Cr/po kravi/po danu)

U okviru prve kontrole mlečnosti, nije uočena statistički značajna razlika ($p > 0,05$) u prosečnom dnevnom prinosu mleka između kontrolne i ogledne grupe, iako se eksperimentalna grupa hranjena obrokom sa hrom-propionatom, odlikovala većom proizvodnjom za 3,13 % u poređenju sa kontrolnom grupom. Ovo povećanje, iako numerički izraženo, nije dostiglo prag statističke značajnosti.

Sličan obrazac može se uočiti i kada se razmatra prinos mleka standardizovan na 4% mlečne masti, gde razlika u proizvodnji korigovanog mleka između posmatranih grupa takođe nije bila statistički potvrđena ($p > 0,05$). Dobijeni rezultati ukazuju na to da dodatak hrom-propionata, tokom prve dve nedelje nije ispoljio značajan uticaj na metaboličke procese koji su direktno povezani sa kvalitativnim karakteristikama mleka.

U pogledu hemijskog sastava mleka, sadržaj mlečne masti u prvoj kontroli bio je gotovo identičan kod oba posmatrana tretmana, što ukazuje na homogenost u fiziološkom odgovoru krava na ishranu, kada je reč o ovom parametru. Sadržaj proteina mleka kod krava iz ogledne grupe bio je

blago povišen u poređenju sa kontrolnom grupom, ali ova razlika, uprkos tendenciji, nije bila statistički utemeljena ($p > 0,05$), što sugerise da efekti suplementacije hromom na sintezu proteina nisu bili izraženi u inicijalnoj fazi ogleda.

Statistička razlika u procentu i prinosu laktoze između posmatranih grupa nije bila značajna ($p > 0,05$). Prinos praćenih sastojaka mleka, uključujući mlečnu mast, proteine i laktozu, bio je proporcionalan ukupnoj količini proizvedenog mleka i njegovom hemijskom sastavu, što se može smatrati očekivanim u uslovima kontrolisanog ogleda.

Što se tiče sadržaja suve materije, kao i njenog ukupnog prinosa, kod ogledne grupe uočena je blaga tendencija rasta u odnosu na kontrolnu. Ipak, ni ove razlike nisu pokazale statističku značajnost.

Ostvareni rezultati u prvoj kontroli mlečnosti mogu se tumačiti kao očekivani, imajući u vidu činjenicu da je period od početka primene dodatka hroma do trenutka analize bio relativno kratak.

Takođe, treba uzeti u obzir da metabolički odgovori krava na dodatke u ishrani često zahtevaju akumulaciju efekata kroz duži period. Kratak vremenski okvir ove kontrole nije omogućio potpunu ekspresiju potencijalnog pozitivnog uticaja hrom-propionata na sintezu mleka. Dodatno, mogući fiziološki mehanizmi delovanja hroma, koji uključuju regulaciju insulinske osetljivosti i energetske homeostazu, zahtevaju vreme za adaptaciju i postizanje ravnoteže u organizmu životinja.

Tabela 20. Rezultati analize prinosa i hemijskog sastava mleka, dobijenih u drugoj kontroli mlečnosti

Pokazatelj	CON	CrP	p-vrednost
Prinos mleka, kg/dan	28,49±2,70	30,28±4,04	0,03
4% MKM, kg/dan	28,07±2,66	30,36±4,06	0,04
Sadržaj mlečne masti, %	3,94±0,41	4,01±0,44	0,48
Prinos mlečne masti, kg/dan	1,13±0,17	1,22±0,23	0,06
Sadržaj proteina, %	3,42±0,34	3,42±0,36	0,99
Prinos proteina, kg/dan	0,97±0,12	1,04±0,18	0,09
Sadržaj laktoze, %	4,69±0,12	4,73±0,15	0,21
Prinos laktoze, kg/dan	1,34±0,13	1,43±0,19	0,02
Sadržaj suve materije, %	13,18±1,00	13,01±0,80	0,41
Prinos suve materije, kg/dan	3,76±0,44	3,94±0,60	0,14
Efikasnost iskorišćavanja hrane, kg 4% MKM/kg SM	1,30±0,12	1,37±0,18	0,06
Efikasnost iskorišćavanja energije, NEL MJ/kg 4% MKM	4,87±0,46	4,66±0,71	0,16
Efikasnost iskorišćavanja SP, kg/kg SP mleka	3,35±0,40	3,26±0,62	0,48

CON: kontrolna grupa (n = 35, bez suplementacije hrom-propionatom);

CrP: ogledna grupa (n = 35, dodatak hrom-propionata, 8 mg Cr/po kravi/po danu)

U tabeli 20 prikazani su rezultati druge kontrole mlečnosti, odnosno proizvodni rezultati eksperimentalnih grupa krava u tom periodu. Tokom ove kontrole utvrđena je statistički značajna razlika u količini proizvedenog mleka između grupa ($p = 0,03$), pri čemu su krave sa dodatkom hrom-propionata ostvarile veći prinos mleka za 6,28% u odnosu na kontrolnu grupu.

Kada se posmatra količina mleka korigovana na standardni sadržaj mlečne masti od 4%,

rezultati pokazuju sličan odnos među grupama kao i kod ukupnog prinosa mleka, što je prikazano u tabeli 20. Utvrđeno je da je ova razlika u prinosu mleka korigovanog na 4% mlečne masti između ispitivanih grupa bila statistički značajna ($p = 0,04$) i iznosi 8,16%. To dodatno potvrđuje prethodni rezultat o većem prinosu mleka u grupi krava koje su dobijale dodatak hroma, te ukazuje na konzistentnost pozitivnog trenda u proizvodnji mleka.

U pogledu hemijskog sastava mleka, tačnije sadržaja mlečne masti i proteina, nije utvrđena statistički značajna razlika između grupa ($p > 0,05$). Nasuprot tome, prinosi mlečne masti i proteina pokazuju tendenciju rasta u eksperimentalnoj grupi, iako razlike nisu dostigle nivo statističke značajnosti ($p = 0,06$ za prinos masti i $p = 0,09$ za prinos proteina). Ovi nalazi ukazuju da povećanje proizvodnje mleka nije bilo praćeno pogoršanjem njegovog hemijskog sastava.

U pogledu sadržaja laktoze, njen procenat bio je sličan u obe eksperimentalne grupe, bez statistički značajnih razlika. Međutim, analiza ukupnog prinosa laktoze pokazala je statistički značajan porast u grupi krava sa dodatkom hrom-propionata ($p = 0,02$), što ukazuje da je veća proizvodnja mleka u oglednoj grupi bila praćena proporcionalno većim prinosom laktoze usled stabilnog sadržaja ove komponente.

Kada se razmatra sadržaj suve materije u mleku, izražene u procentima, kao i njenog ukupnog prinosa, nije uočena statistički značajna razlika između eksperimentalnih grupa. To implicira da se ukupna koncentracija i količina suve materije nije razlikovala pod uticajem dodatka hroma.

Dobijeni rezultati druge kontrole mlečnosti potvrđuju početnu hipotezu da dodatak hroma može imati pozitivan efekat na proizvodne parametre kod mlečnih krava. Ovaj efekat nije bio uočen odmah, ali je registrovan, kao statistički značajan, nakon kontinuiranog prisustva hrom-propionata u obroku za simentalna mlečna grla.

Tabela 21. Rezultati analize prinosa i hemijskog sastava mleka, dobijenih u trećoj kontroli mlečnosti

Pokazatelj	CON	CrP	p-vrednost
Prinos mleka, kg/dan	27,11±3,11	29,15±3,18	< 0,01
4% MKM, kg/dan	27,11±3,11	29,23±3,19	< 0,01
Sadržaj mlečne masti, %	4,00±0,47	4,01±0,47	0,96
Prinos mlečne masti, kg/dan	1,08±0,16	1,17±0,18	0,04
Sadržaj proteina, %	3,42±0,31	3,44±0,28	0,65
Prinos proteina, kg/dan	0,93±0,13	1,01±0,14	0,02
Sadržaj laktoze, %	4,71±0,13	4,71±0,13	0,86
Prinos laktoze, kg/dan	1,28±0,16	1,37±0,13	0,01
Sadržaj suve materije, %	12,87±0,69	12,98±0,70	0,60
Prinos suve materije, kg/dan	3,49±0,46	3,78±0,44	0,01
Efikasnost iskorišćavanja hrane, kg 4% MKM/kg SM	1,23±0,14	1,23±0,13	0,88
Efikasnost iskorišćavanja energije, NEL MJ/kg 4% MKM	5,15±0,67	5,16±0,55	0,98
Efikasnost iskorišćavanja SP, kg/kg SP mleka	3,56±0,58	3,53±0,51	0,79

CON: kontrolna grupa (n = 35, bez suplementacije hrom-propionatom);

CrP: ogledna grupa (n = 35, dodatak hrom-propionata, 8 mg Cr/po kravi/po danu)

Na osnovu rezultata prikazanih u tabeli 21, može se po prvi put tokom trajanja oglednog perioda uočiti opadanje proizvodnje mleka u obe posmatrane grupe krava. Ovaj pad najverovatnije je posledica dugotrajne izloženosti životinja dejstvu toplotnog stresa. Ipak, intenzitet tog pada nije bio jednak. Znatno izraženiji pad beleži se u kontrolnoj grupi, gde su životinje konzumirale obrok bez dodatka hrom-propionata. U ovoj fazi ispitivanja, razlika u količini proizvedenog mleka između eksperimentalnih grupa iznosila je 7,52%, u korist mlečnih grla čiji je obrok bio suplementiran hromom (CrP grupa).

Još izraženije razlike mogu se uočiti kada se upoređuju vrednosti mleka korigovanog na 4% mlečne masti. U ovom segmentu rezultati dodatno potvrđuju prethodnu konstataciju o prednosti ogledne grupe, što ukazuje na to da primena hrom-propionata može imati pozitivan efekat na očuvanje standardizovanih proizvodnih parametara i u uslovima toplotnog stresa.

Kada se analiziraju hemijske komponente mleka, odnosno procenat masti, proteina, laktoze i suve materije, nije utvrđena statistički značajna razlika između posmatranih grupa. Relativne vrednosti ovih parametara ostale su na sličnom nivou.

Međutim, posmatrajući apsolutne prinose pojedinačnih komponenti, rezultati ukazuju na značajne razlike. Kod krava u laktaciji koje su dobijale dodatak hroma u obroku, prinos mlečne masti bio je veći za 8,33%, prinos proteina za 8,6%, dok su razlike u prinosima laktoze i suve materije iznosile 7,03% i 8,31% respektivno, u odnosu na kontrolnu grupu. Ove razlike su bile statistički značajne, što ukazuje na to da je veća proizvodnja mleka u oglednoj grupi bila praćena proporcionalnim porastom prinosa pojedinačnih komponenti mleka. Takođe je važno napomenuti da, iako se sadržaj osnovnih sastojaka mleka nije značajno razlikovao, kvantitativni prinosi tih sastojaka predstavljaju važan pokazatelj proizvodne efikasnosti i kvaliteta mleka.

Važno je istaći da se pomenute promene u proizvodnji mleka i prinosa njegovih sastojaka javljaju tek nakon određenog vremena izlaganja dodatku hroma, što ukazuje na potrebu za dužim trajanjem suplementacije da bi efekti postali uočljivi i merljivi. Ovi podaci dodatno prikazuju način na koji se organizam krava adaptira na nutritivne promene i pružaju osnovu za preporuke u praksi, naročito u uslovima kao što je toplotni stres kada je potrebno stabilizovati proizvodne performanse ili ublažiti efekte pada mlečnosti.

U istraživanju koje su sprovedi Wang i sar. (2023), koje je obuhvatilo 64 krave holštajn rase, sa prosečnim brojem dana u laktaciji od $147 \pm 7,8$ i sa prosečno $2,1 \pm 0,2$ laktacije, ispitivan je uticaj suplementacije hrom-propionatom (CrP) tokom perioda izraženog toplotnog stresa (prosečna vrednost THI iznosila je 77). Za proizvodnju mleka standardizovanu na sadržaj mlečne masti od 4%, nije zabeležen statistički značajan uticaj različitih tretmana. Efikasnost iskorišćenja hrane pokazala je tendenciju opadanja sa porastom dodate količine CrP, što ukazuje na mogućnost smanjene iskorišćenosti hranljivih materija kod većih nivoa dodatog hroma. Ovi rezultati sugerišu da optimalno dodavanje hroma može doprineti povećanju produktivnosti kroz stimulaciju apetita, ali i da prekomerna suplementacija ne donosi dodatnu korist, već može izazvati kontraefekte. Autori ovog istraživanja su naveli da su optimalne dnevne doze hrom-propionata u uslovima toplotnog stresa 4 i 8 mg/po kravi/po danu.

U ogledu koji su sprovedi Shan i sar. (2020), ukupno 24 krave holštajn rase, podeljene u 4 jednake grupe, bile su izložene uslovima toplotnog stresa tokom desetonedeljnog eksperimentalnog perioda, pri čemu je vrednost indeksa temperature i vlažnosti (THI) bila veća ili jednaka 72. U okviru studije, kravama je dodavan hrom iz kvasca u četiri različite koncentracije: kontrola, bez suplementacije; 0,18; 0,36 i 0,54 mg/kg suve materije hrane. Iako utvrđene razlike u prinosu mleka nisu bile statistički značajne, zabeleženi su sledeći prosečni dnevni prinosi: 22,5; 23,6; 24,2 i 23,8 litara, u zavisnosti od primenjene doze hroma. Autori sugerišu da povećanje proizvodnje mleka usled dodatka hroma u ishrani može biti manje izraženo kod krava koje se nalaze u srednjoj fazi laktacije. Ova faza je specifična po tome što krave teže ka popravljaju telesne kondicije i deponovanju hranljivih materija, umesto da ih pretežno usmeravaju ka proizvodnji mleka. Takođe, može se pretpostaviti da metabolički prioriteti krava u ovoj fazi laktacije preusmeravaju raspoloživu energiju sa proizvodnje mleka na oporavak telesnih rezervi, što može umanjiti efekat dodavanja hroma. Uprkos izostanku statistički značajnih razlika, zabeležen je trend rasta proizvodnje mleka sa

povećanjem doze hroma.

Zade i sar. (2014) sprovedli su istraživanje sa ciljem ispitivanja uticaja dodatka neorganskog hroma na mlečnost bivolica. Istraživanje je obuhvatilo 24 bivolice sa više laktacija, koje su bile ujednačene po broju dana laktacije, broju partusa, telesnoj masi i predviđenom datumu teljenja. Jedna grupa je dobijala standardan, kontrolni obrok, dok su preostale tri grupe hranjene obrocima sa dodatkom neorganskog hroma u količinama od 0,5; 1,0 i 1,5 mg Cr/kg suve materije hrane. Suplementacija je započeta 60 dana pre očekivanog teljenja i trajala je do 60. dana laktacije, što je omogućilo sveobuhvatan uvid u efekte hroma tokom peripartalnog i ranog laktacionog perioda. Najizraženiji pozitivan efekat suplementacije uočen je u grupi koja je dobijala najvišu dozu hroma, 1,5 mg Cr/kg SM obroka. U toj grupi zabeležen je porast prinosa mleka od čak 25,5% u odnosu na kontrolnu grupu. Ovako izražen efekat pri visokoj dozi dodatog Cr može se delimično objasniti slabijom apsorpcijom neorganskog oblika hroma, što zahteva veću koncentraciju u obroku kako bi se postigao biološki efekat (Spears i sar., 2017).

U sprovedenom istraživanju u uslovima izraženog toplotnog stresa, suplementacija hromom obroka za krave u laktaciji simentalne rase dovela je do značajnog povećanja konzumiranja suve materije, što je pratila i povećana proizvodnja mleka. Ovaj rezultat ukazuje na direktnu povezanost između poboljšanog energetskeg statusa i mlečnosti. Pored toga, zabeleženo je i pozitivno delovanje dodatka hroma na koncentraciju glukoze u krvi, što dodatno podržava pretpostavku da hrom ima ulogu u regulaciji energetskeg metabolizma kod krava izloženih visokim temperaturama (Nishimura i sar., 2021). Mehanizam kojim hrom može doprineti većoj dostupnosti glukoze, verovatno je povezan sa poboljšanjem funkcije insulina, čime se omogućava efikasniji transport glukoze do ćelija, uključujući i ćelije mlečne žlezde.

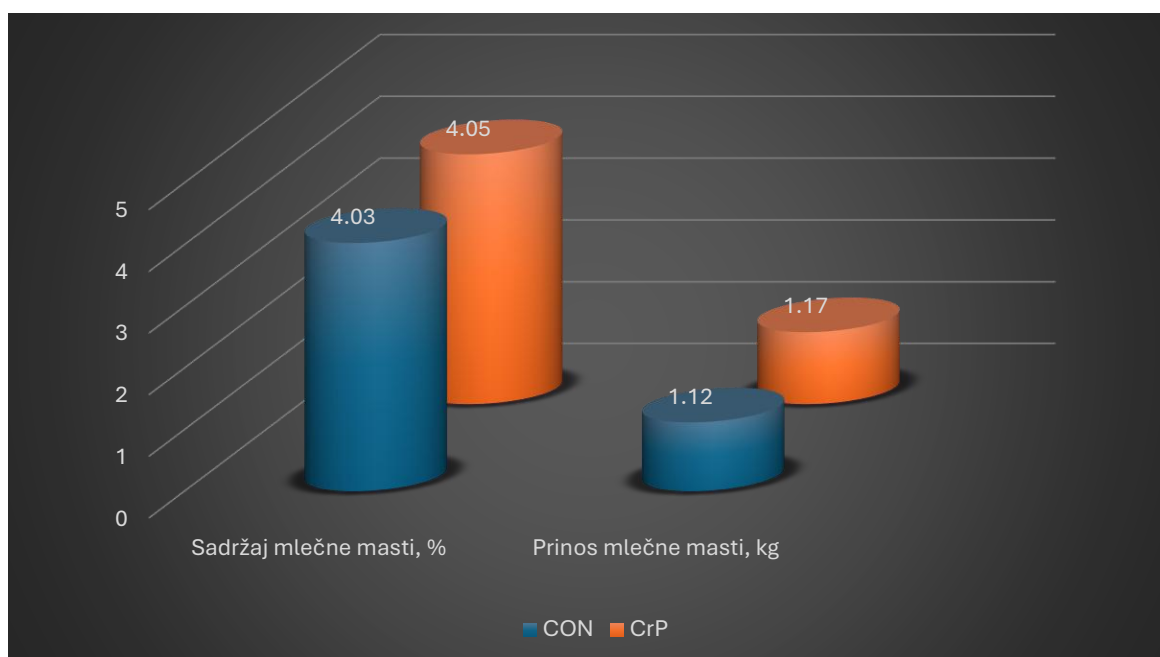
U okviru istraživanja Wo i sar. (2023), realizovan je ogled u trajanju od osam nedelja sa dvanaest krava holštajn rase, koje su se nalazile u srednjem stadijumu laktacije (125 ± 8 dana). Eksperimentalna grupa je hranjena obrokom sa dodatim hromom iz kvasca u količini od 0,36 mg Cr/kg suve materije obroka. Istraživanje je sprovedeno u uslovima izraženog toplotnog stresa, pri čemu je indeks temperature i vlažnosti (THI) iznosio u proseku $79,0 \pm 3,13$. Rezultati su pokazali da su krave koje su dobijale hrom iz kvasca, dnevno proizvodile u proseku 2,6 kg mleka više u odnosu na grla iz kontrolne grupe. Autori navode da bi ovakav porast mlečnosti mogao biti povezan sa efikasnijim iskorišćavanjem azota, što potvrđuje niža koncentracija uree u serumu kod krava iz eksperimentalne grupe. Pretpostavlja se da dodatak hroma pozitivno utiče na metaboličke procese vezane za azot, omogućavajući bolje iskorišćavanje proteina iz obroka, čime se smanjuje gubitak azota putem uree. Time se obezbeđuje veća dostupnost azota za sintezu proteina mleka, što se odražava na povećan prinos mleka. Takođe, rezultati ukazuju na to da bi dodatak hroma mogao imati važnu ulogu u optimizaciji proteinske ishrane u uslovima visokih spoljašnjih temperatura.

Sa druge strane, postoje istraživanja koja nisu potvrdila pozitivan efekat suplementacije hromom na povećanje mlečnosti kod krava. U studiji koju su sprovedli Yasui i sar. (2014), na 61 kravi holštajn rase, nije uočena statistički značajna razlika u količini proizvedenog mleka između eksperimentalne grupe krava koje su dobijale obrok sa dodatkom hrom-propionata i kontrolne grupe. Naime, prosečan dnevni prinos mleka iznosio je 42,5 kg kod grupe koja je konzumirala hrom, dok je kontrolna grupa ostvarila prosečan dnevni prinos od 42,0 kg, što ne predstavlja značajnu razliku u proizvodnim rezultatima. Slični rezultati dobijeni su i u istraživanju Leiva i sar. (2017), gde je ispitivan efekat dnevne suplementacije hrom-propionatom u količini od 2,5 g. U tom eksperimentu, krave koje su dobijale hrom davale su u proseku 21,5 kg mleka dnevno, dok je kontrolna grupa, bez dodatka hroma imala nešto veći dnevni prinos od 22,5 kg. Rezultati ovog oglada jasno ukazuju na izostanak pozitivnog uticaja suplementacije hromom na proizvodnju mleka u datim uslovima.

Ovakvi rezultati sugerišu da suplementacija hromom ne daje uvek konzistentne rezultate u pogledu povećanja mlečnosti i da postoje brojni faktori koji mogu uticati na varijabilnost odgovora, uključujući nutritivni status, stadijum laktacije, individualne razlike među grlima, kao i opšte uslove držanja i ishrane.

6.3.2. Sadržaj i prinos mlečne masti

Analiza dobijenih rezultata pokazala je da uključivanje hrom-propionata u obrok nije imalo statistički značajan efekat na sadržaj mlečne masti ($p > 0,05$). Međutim, iako razlike između eksperimentalnih grupa u pogledu sadržaja mlečne masti nisu bile potvrđene kao značajne, uočeno je povećanje ukupnog prinosa mlečne masti kod krava koje su dobijale ovaj dodatak. Ovo ukazuje da suplementacija hrom-propionatom može uticati na kvantitativne parametre proizvodnje mleka, čak i u odsustvu promena u njegovom hemijskom sastavu. Prinos mlečne masti je posledica većeg prinosa mleka, bez promene u sadržaju mlečne masti (Wu i sar., 2021). Grafički prikaz rezultata jasno potvrđuje ovu tendenciju, ilustrujući veći prinos mlečne masti u eksperimentalnoj grupi u poređenju sa kontrolnom. Ovi podaci sugerišu da uvođenje hrom-propionata u ishranu može imati praktičan značaj u unapređenju produktivnosti mlečnih krava, posebno u uslovima povećanih metaboličkih zahteva tokom laktacije.



Grafikon 4. Promene u sadržaju i prinosu mlečne masti kod eksperimentalnih grupa krava u toku celokupnog perioda istraživanja

CON: kontrolna grupa (n = 35, bez suplementacije hrom-propionatom);

CrP: ogledna grupa (n = 35, dodatak hrom-propionata, 8 mg Cr/po kravi/po danu)

Abdou i sar. (2024) sprovedi su ogled na 20 krava u ranoj fazi laktacije sa ciljem procene efekata dodatka hrom-metionina. U tretmanima je primenjena suplementacija hrom-metioninom u količini od 5 g po grlu dnevno. Analiza rezultata pokazala je da je dodatak hrom-metionina doveo do blagog porasta sadržaja mlečne masti (1,13%). Takođe, Wo i sar. (2023) sprovedi su istraživanje u kojem je zabeleženo povećanje sadržaja mlečne masti za 4,85% kod grupe krava koja je konzumirala obrok sa kvascem oboogaćenim hromom. Međutim, i pored ovog uočljivog porasta, razlika u odnosu na kontrolnu grupu nije dostigla statističku značajnost.

Mirzaei i sar. (2011) ispitivali su efekte hrom-metionina kod krava izloženih toplotnom stresu (THI = 77,7), karakterističnom za letnji period. Suplementacija hrom-metioninom u količini od 0,05 mg/kg metaboličke mase dala je najbolje rezultate u pogledu sadržaja mlečne masti, pri čemu je ovo povećanje iznosilo 6,64% u odnosu na kontrolnu grupu, dok je sadržaj mlečne masti bio za 9,8% veći u poređenju sa grupom koja je dobijala 0,10 mg/kg metaboličke mase. Autori navode da je povećanje sadržaja mlečne masti posledica povećanog udela suve materije mleka pri dozi hroma od 0,05 mg/kg

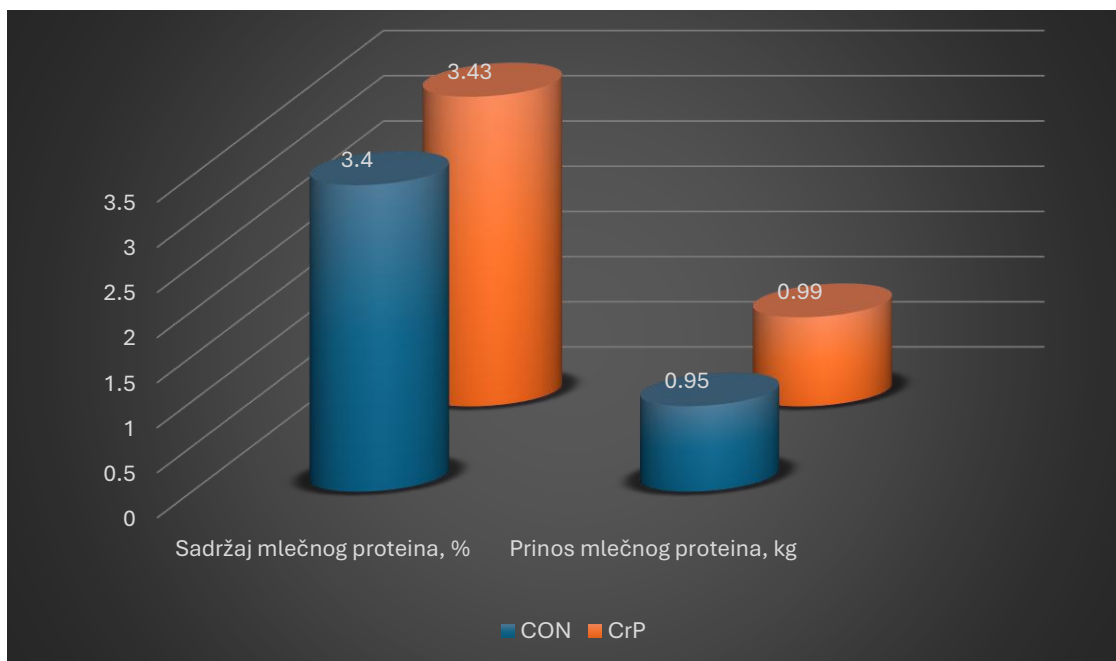
metaboličke mase.

Iako brojna istraživanja ukazuju na pozitivne efekte hroma na sadržaj mlečne masti, postoji i značajan broj studija u kojima nisu zabeleženi efekti suplementacije hromom na ovaj parametar (Shan i sar., 2020; Wang i sar., 2023; Vargas-Rodriguez i sar., 2014). Ova istraživanja ukazuju na to da efekat dodavanja hroma na sadržaj mlečne masti zavisi i od faktora kao što su tip obroka, genetske karakteristike krava, kao i uslovi u kojima se istraživanje sprovede.

Pored istraživanja koja nisu pokazala uticaj hroma na sadržaj mlečne masti, postoje i studije koje ukazuju na moguće smanjenje ovog parametra pri suplementaciji hromom. Soltan (2010) navodi da dodatak organskog hroma u količini od 6 mg dnevno dovodi do smanjenja procenta mlečne masti, sa vrednostima od 2,75% u četvrtoj nedelji nakon teljenja, 1,90% u osmoj nedelji i 2,24% u dvanaestoj nedelji. Ovi nalazi ukazuju da smanjenje koncentracije mlečne masti ne mora nužno biti povezano sa smanjenjem ukupnog prinosa, i u velikoj meri se poklapaju sa rezultatima aktuelnog istraživanja.

6.3.3. Sadržaj i prinos proteina mleka

U sprovedenom istraživanju utvrđeno je da dodavanje hrom-propionata u obrok krava u laktaciji nije dovelo do statistički značajnih promena u sadržaju proteina mleka ($p > 0,05$). Iako razlike između posmatranih grupa u pogledu koncentracije proteina u mleku nisu bile potvrđene kao statistički značajne, primećen je porast ukupnog prinosa proteina mleka u grupi koja je dobijala hrom-propionat. Navedeni rezultati ukazuju na to da dodatak hroma, iako nema značajan efekat na sadržaj proteina u mleku, može doprineti povećanju prinosa proteina, što predstavlja važan pokazatelj produktivnosti. Rezultati su potkrepljeni grafičkim prikazom (grafikon 5) koji jasno ilustruje veći prinos proteina mleka u eksperimentalnoj grupi u poređenju sa kontrolnom, čime se potvrđuje praktična relevantnost dobijenih podataka. Važno je naglasiti da odsustvo statističke značajnosti u sadržaju proteina ne umanjuje značaj utvrđenih razlika u ukupnom prinosu, jer se u uslovima komercijalne proizvodnje mleka i relativno mali pomaci u prinosima mogu reflektovati na ekonomski rezultat. Sa tog aspekta, rezultati upućuju na potrebu da se u evaluaciji nutritivnih dodataka uzmu u obzir i relativni i apsolutni parametri, jer upravo kombinacija tih podataka daje potpuniju sliku o njihovoj efikasnosti. Takav pristup omogućava preciznije razumevanje realnog doprinosa koji određeni dodatak može imati na ukupnu produktivnost mlečnih krava, što je od izuzetne važnosti u savremenim sistemima intenzivne proizvodnje. Iako se efekti hrom-propionata ne manifestuju kroz značajne promene u hemijskom sastavu mleka, njegova dugoročna primena može imati kumulativni uticaj na proizvodne performanse. Posebno treba istaći da se ovakvi efekti u praksi mogu odraziti na dugoročno unapređenje produktivnosti životinja, što doprinosi boljoj ekonomskoj održivosti proizvodnje mleka i efikasnijem korišćenju hraniva.



Grafikon 5. Promene u sadržaju i prinosu proteina mleka kod eksperimentalnih grupa krava u toku celokupnog perioda istraživanja

CON: kontrolna grupa (n = 35, bez suplementacije hrom-propionatom);

CrP: ogledna grupa (n = 35, dodatak hrom-propionata, 8 mg Cr/po kravi/po danu)

U brojnim istraživanjima je analiziran uticaj dodatka hroma u ishrani krava u laktaciji, posebno u uslovima toplotnog stresa, sa fokusom na promene u sadržaju i prinosu proteina mleka. Mirzaei i sar. (2011) su ukazali da suplementacija hrom-metioninom u dozi od 0,05 mg/kg metaboličke mase, kod krava izloženih toplotnom stresu, rezultira povećanjem učešća proteina mleka za 4,4%. Slične rezultate iznosi i studija Wo i sar. (2023), gde je zabeleženo povećanje sadržaja proteina u mleku za 4,5% kod krava koje su dobijale hrom iz kvasca pri indeksu toplotnog stresa THI = 79. Povećanje sadržaja proteina u mleku kod grupe krava kojoj je dodavan hrom iz kvasca može biti povezano sa efikasnijim iskorišćenjem azota u organizmu, što potvrđuje i smanjena koncentracija uree u serumu krava (Wang i sar., 2023), sugerišući poboljšanu sintezu proteina i smanjenje azotnih gubitaka. Jedan od mogućih mehanizama delovanja hroma uključuje njegov uticaj na signalni put peptidnog hormona – insulinu sličnog faktora rasta 1 (IGF-1), koji predstavlja ključni regulator sinteze mleka. Povišeni nivoi IGF-1 koreliraju sa poboljšanim laktacionim performansama i povećanom sintezom proteina u mlečnoj žlezdi (Smith i sar., 2005; Raghunandan i sar., 2022).

Wu i sar. (2021) navode da dodatak hrom-metionina nije imao značajan efekat na procenat proteina u mleku, ali je zabeležen linearan porast prinosa proteina mleka sa povećanjem doze. Ovakav rezultat sugerise da, čak i ako koncentracija proteina u mleku ostane nepromenjena, veća ukupna proizvodnja mleka može dovesti do većeg apsolutnog prinosa proteina mleka. Bakr i sar. (2023) takođe potvrđuju ovakva zapažanja, navodeći porast prinosa proteina mleka od 6,3% kod krava koje su dobijale hrom-metionin. Ovi rezultati odgovaraju rezultatima aktuelnog istraživanja, dodatno naglašavajući potencijal hroma za poboljšanje produktivnosti proteina mleka.

Međutim, pojedina istraživanja nisu potvrdila pozitivne efekte hroma na sadržaj i prinos proteina mleka. Shan i sar. (2020) nisu uočili statistički značajne promene ni u procentualnom udelu, ni u apsolutnom prinosu proteina mleka kod krava na obrocima suplementiranim hromom. Slične rezultate iznose i Bryan i sar. (2004), koji u ogledu sa 232 mlečne krave, pri suplementaciji hrom-metioninom u količini od 6,25 mg/dan, nisu zabeležili značajne razlike ni u sadržaju, ni u prinosu proteina, u poređenju sa kontrolnom grupom.

Štaviše, Soltan (2010) je u svojoj studiji zabeležio čak i smanjenje sadržaja proteina u mleku krava koje su dobijale hrom.

Ove razlike u nalazima mogu se objasniti razlikama u oblicima hroma koji su korišćeni, dozama, dužini trajanja suplementacije, fiziološkom stanju životinja, kao i uslovima ishrane i intenzitetu toplotnog stresa.

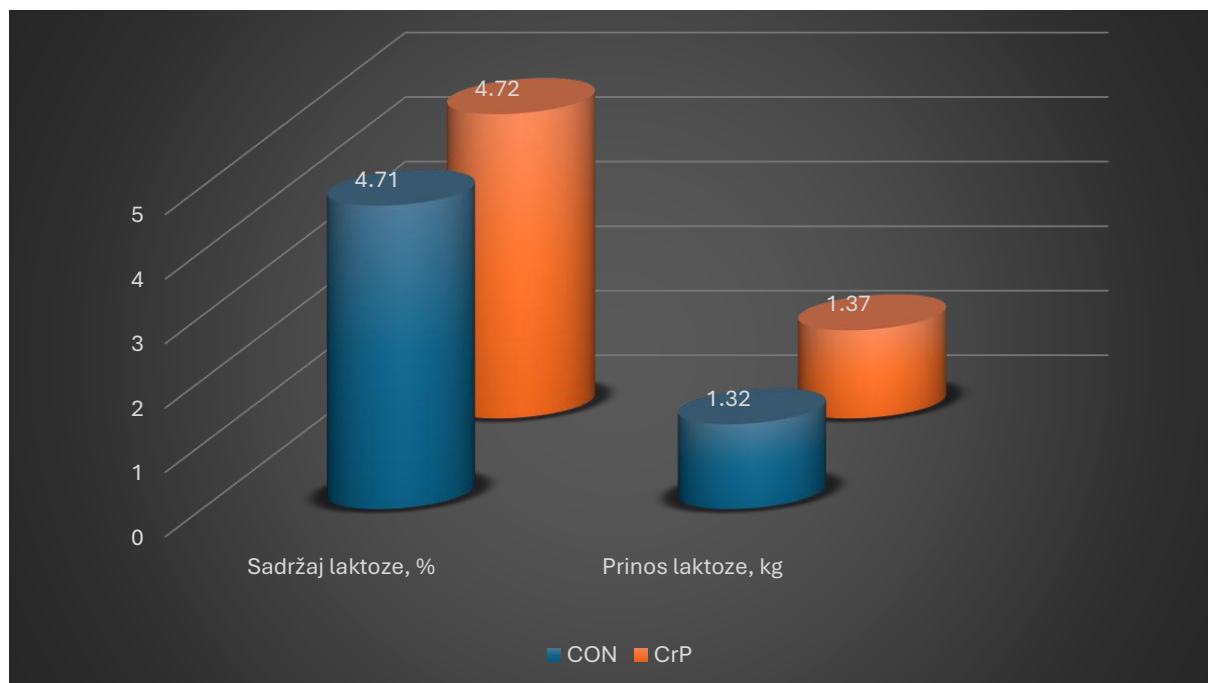
6.3.4. Sadržaj i prinos laktoze

Rezultati dobijeni statističkom obradom ukazuju da suplementacija hrom-propionatom nije dovela do značajnih promena u procentualnom udelu laktoze u mleku, pri čemu je vrednost $p > 0,05$, što ukazuje na odsustvo statističke značajnosti. Iako razlike u koncentraciji laktoze između analiziranih grupa nisu bile potvrđene kao statistički značajne, zapažen je trend povećanja ukupnog prinosa laktoze kod krava koje su dobijale dodatak hroma u ishrani.

Ovo povećanje u apsolutnim količinama proizvedene laktoze može ukazivati na pozitivne efekte hrom-propionata na količinu proizvedenog mleka. Posmatrani trendovi upućuju na to da sadržaj laktoze ostaje stabilan, ali da rast u količini proizvedenog mleka doprinosi većem ukupnom iznosu ove komponente. Vizuelna interpretacija rezultata, predstavljena grafičkim prikazom, dodatno potvrđuje ovakve zaključke, jer jasno ilustruje veću količinu proizvedene laktoze u eksperimentalnoj u odnosu na kontrolnu grupu.

Odsustvo razlika u sadržaju laktoze, između grupa, ne umanjuje potencijalni značaj uočenih razlika u prinosu, posebno sa aspekta ekonomske opravdanosti primene dodataka u ishrani. U industriji mleka, apsolutni prinos laktoze ima praktičan značaj, budući da je ova komponenta važna za procenu nutritivne vrednosti mleka

U praktičnim uslovima farmske proizvodnje, odluke o primeni dodataka kao što je hrom-propionat donose se ne samo na osnovu statističke značajnosti pojedinačnih pokazatelja, već i na osnovu njihove ekonomske opravdanosti i ukupnog doprinosa proizvodnim ciljevima.



Grafikon 6. Promene u sadržaju i prinosu laktoze kod eksperimentalnih grupa krava, u toku celokupnog perioda istraživanja

CON: kontrolna grupa (n = 35, bez suplementacije hrom-propionatom);

CrP: ogledna grupa (n = 35, dodatak hrom-propionata, 8 mg Cr/po kravi/po danu)

Dodatak hroma u ishrani mlečnih krava privukao je pažnju istraživača zbog potencijalnih efekata koje može imati na sadržaj laktoze u mleku. Rezultati brojnih studija ukazuju na to da hrom ima značajnu ulogu u poboljšanju metaboličkih procesa tokom laktacije, što se može indirektno odraziti i na povećanje koncentracije laktoze u mleku. Tako Wo i sar. (2023) navode da je suplementacija kvascem obogaćenim hromom u količini od 0,36 mg Cr/kg suve materije obroka, rezultovala statistički značajnim povećanjem sadržaja laktoze u mleku. U njihovoj studiji, procenat laktoze u mleku iznosio je 4,71% u kontrolnoj grupi, dok je u grupi koja je dobijala hrom iz kvasca taj procenat bio 5,0%. Pored toga, isti autori ističu i povećanje prinosa laktoze, koje je iznosilo 13,5% u odnosu na kontrolnu grupu, što ukazuje na pozitivan efekat hroma na količinu proizvedene laktoze.

Do sličnih zaključaka su došli i Shan i sar. (2020), koji su pokazali da je dodatak hroma u obliku hromnog kvasca doveo do linearnog povećanja sadržaja laktoze u mleku, pri čemu je najviša vrednost zabeležena pri dozi od 0,36 mg Cr/kg suve materije obroka. Ipak, dalje povećanje koncentracije hroma iznad ove vrednosti dovelo je do blagog pada sadržaja laktoze, što ukazuje na mogući prag efekta. U skladu sa tim, Wang i sar. (2023) su zabeležili linearno povećanje procenta laktoze u mleku u zavisnosti od nivoa suplementacije hrom-proteinatom. Takođe, Mirzaei i sar. (2011) su ustanovili povećanje nivoa laktoze u mleku za 1,02% kod krava izloženih toplotnom stresu koje su dobijale 0,05 mg Cr/kg metaboličke mase.

Smanjena sinteza laktoze kod mlečnih krava izloženih toplotnom stresu objašnjava se nižom koncentracijom glukoze u serumu, s obzirom na to da je glukoza osnovni prekursor za sintezu laktoze u mlečnoj žlezdi. Tokom toplotnog stresa, metabolička adaptacija uključuje smanjenu sposobnost mobilizacije lipida, usled čega krave više zavise od glukoze kao izvora energije (Slimen i sar., 2016). Trovalentni hrom poznat je po svojoj ulozi u regulaciji glikemije (Zhang i sar., 2014), a održavanje adekvatne koncentracije glukoze u krvi doprinosi optimalnoj sintezi laktoze, nezavisno od prisustva toplotnog stresa (Subiyatno i sar., 1996; Kafilzadeh i sar., 2012). Ovi nalazi podržavaju hipotezu da dodatak hroma može doprineti boljoj dostupnosti glukoze za potrebe sinteze laktoze.

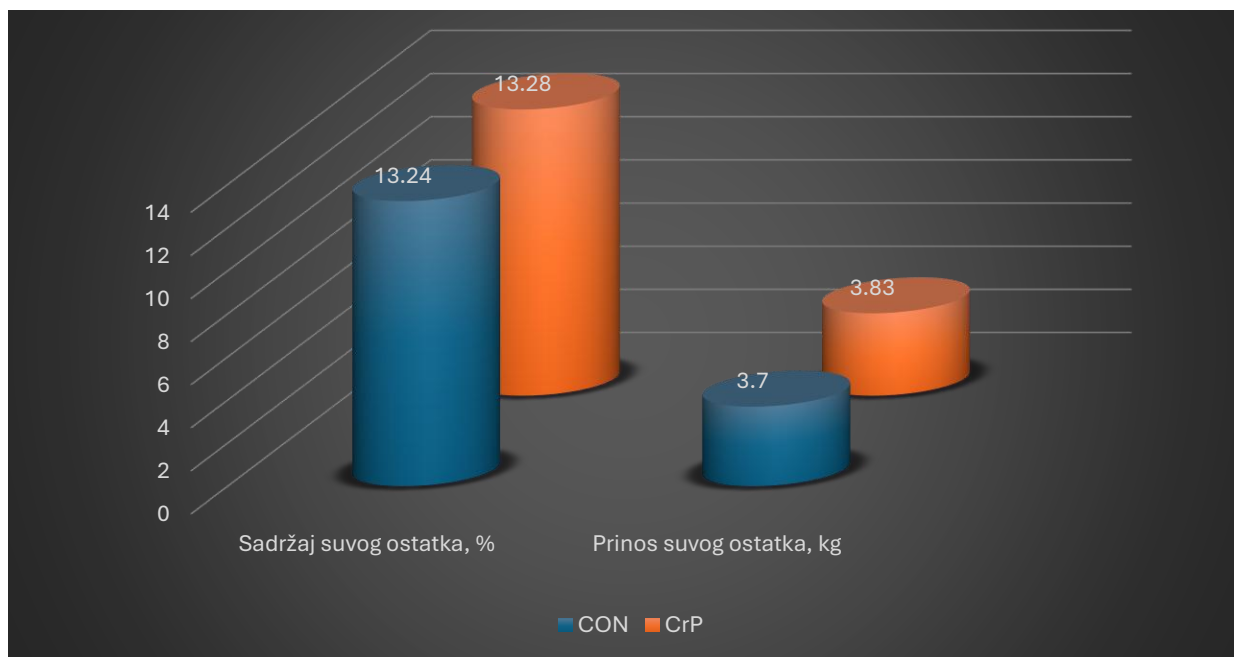
Međutim, nije u svim istraživanjima potvrđen pozitivan efekat hroma na sadržaj laktoze. Naime, Wu i sar. (2021) nisu zabeležili statistički značajan uticaj dodatka hrom-mationina na povećanje sadržaja ili prinosa laktoze u mleku. Slično tome, Vargas-Rodriguez i sar. (2014) navode da je suplementacija hromom imala pozitivan efekat na ukupnu mlečnost, ali nije dovela do promene u koncentraciji laktoze.

6.3.5. Sadržaj i prinos suve materije mleka

Hemijskom analizom mleka utvrđeno je da uključivanje hrom-propionata u obrok krava u laktaciji nije dovelo do statistički značajnih promena u sadržaju suve materije mleka ($p > 0,05$). Ovaj rezultat ukazuje da dodatak hroma nije uticao na relativnu zastupljenost suve materije u mleku, odnosno da su osnovne komponente mleka – mlečna mast, proteini, laktoza i mineralne materije ostale unutar uobičajenih granica. Ipak, i pored izostanka statistički značajnih razlika u procentualnim vrednostima, zabeležen je porast u apsolutnom prinosu suve materije mleka kod krava na obroku sa dodatim hromom. Dodavanje hrom-propionata može doprineti ukupnoj proizvodnji suve materije mleka, što ima praktičan značaj u proizvodnji mleka.

Kao što je bio slučaj sa prinosom mlečne masti, proteina i laktoze, ovaj porast može se pripisati povećanju ukupne količine proizvedenog mleka u grupi koja je dobijala hrom-propionat. Prinos suve materije, kao zbir svih čvrstih komponenti mleka, predstavlja ključni parametar u proceni tehnološke i nutritivne vrednosti mleka, posebno u kontekstu njegove primene u daljoj preradi. Povećan prinos suve materije može pozitivno uticati na ekonomsku isplativost proizvodnje, jer veća količina čvrstih komponenti omogućava proizvodnju većih količina gotovih proizvoda.

Grafička analiza rezultata dodatno potvrđuje nalaze hemijske analize, prikazujući jasnu razliku u prinosu suve materije između eksperimentalne i kontrolne grupe.



Grafikon 7. Promene u sadržaju i prinosu suve materije kod eksperimentalnih grupa krava u toku celokupnog perioda istraživanja

CON: kontrolna grupa (n = 35, bez suplementacije hrom-propionatom);

CrP: ogledna grupa (n = 35, dodatak hrom-propionata, 8 mg Cr/po kravi/po danu)

Upotrebom hrom-methionina u dozama od 0,05 i 0,1 mg/kg metaboličke mase, Mirzaei i sar. (2011) su utvrdili promene u sadržaju suve materije u mleku. Naime, u kontrolnoj grupi, kao i u grupama koje su dobijale pomenute doze, udeo suve materije iznosio je 12,05%, 12,53% i 11,98%, redom. Autori su takođe istakli da je kod krava koje su konzumirale 0,05 mg Cr/kg metaboličke mase zabeležen za 8,06% veći prinos suve materije u poređenju sa kontrolnom grupom, dok je u odnosu na grupu koja je dobijala veću dozu (0,1 mg/kg metaboličke mase) prinos bio veći za oko 10%. Ovo ukazuje da niža doza hrom-methionina može imati povoljniji uticaj na sadržaj suve materije u mleku u odnosu na višu dozu, što može biti rezultat bolje bioraspoloživosti i efikasnijeg metabolizma hroma pri nižim koncentracijama. Takođe Shan i sar. (2020) su izvestili o tendenciji povećanja sadržaja suve materije i suve materije bez masti sa porastom koncentracije hroma dobijenog iz kvasca.

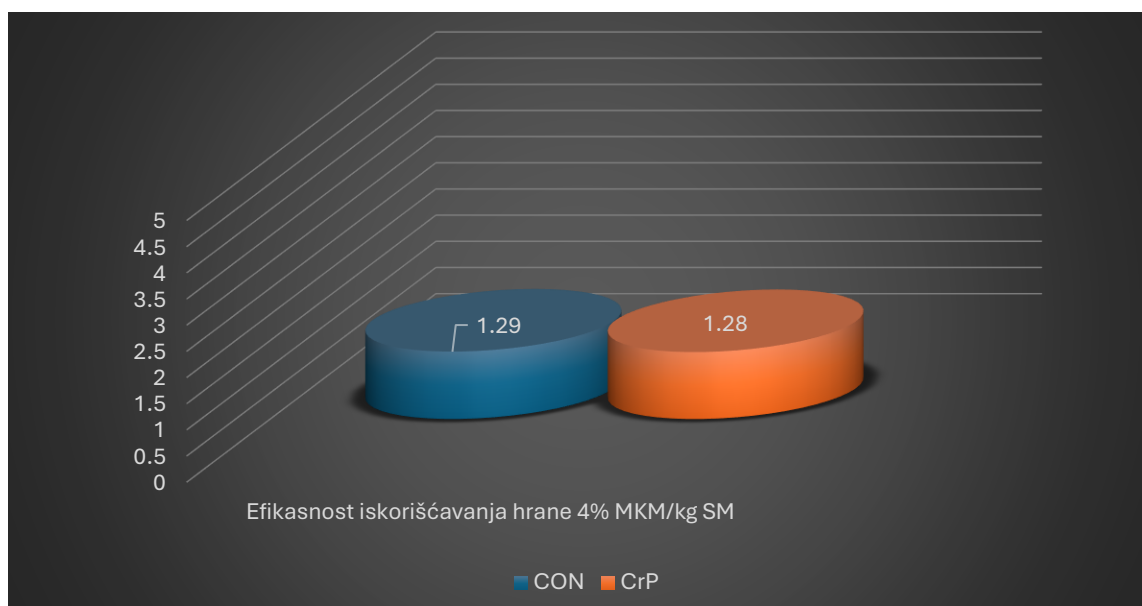
Sa druge strane, u studiji koju su sprovedi Wo i sar. (2023), nisu ustanovljene statistički značajne razlike u procentualnom udelu ukupne suve materije i suve materije bez masti između grupe krava koje su dobijale hrom iz kvasca i onih iz kontrolne grupe. Ipak, autori navode da je grupa koja je konzumirala hrom iz kvasca imala za 10% veći prinos suve materije bez masti i 11,3% veći ukupni prinos suve materije u poređenju sa kontrolom. Iako ove razlike nisu bile statistički značajne, one ukazuju na mogući pozitivan trend koji suplementacija hromom može imati na kvantitativne karakteristike mleka. Dobijeni rezultati se podudaraju sa nalazima aktuelnog istraživanja i potvrđuju da povećanje količine proizvedenog mleka nije bilo praćeno smanjenjem njegovog kvaliteta, što je od izuzetnog značaja sa stanovišta mleka i ekonomske opravdanosti proizvodnje.

Pored pomenutih studija, određeni broj istraživanja nije identifikovao značajne razlike ni u sadržaju ni u prinosu suve materije pri upotrebi hroma. Na primer, prema Baiomy (2012), iako hrom može stimulirati proizvodnju mleka, njegov direktan uticaj na sadržaj suve materije može biti ograničen delovanjem različitih kompenzacionih mehanizama koji učestvuju u regulaciji sastava mleka. Ovi nalazi su u skladu sa rezultatima koje su izneli McNamara i Valdez (2005), prema kojima dodatak hroma nije doveo do značajnih promena u udelu suve materije bez masti u mleku. Slično tome, Leal i sar. (2021) su ukazali da upotreba kvasca bogatog hromom u uslovima toplotnog stresa ne dovodi do značajnih promena u hemijskom sastavu mleka.

6.3.6. Efikasnost iskorišćavanja hrane

Na osnovu dobijenih rezultata (grafikon 8) može se zaključiti da dodatak hrom-propionata nije imao značajan uticaj na efikasnost iskorišćavanja hrane, budući da je odnos između količine proizvedenog mleka i konzumirane količine hrane ostao gotovo nepromenjen. Uprkos tome, grupa krava sa hrom-propionatom u obroku ostvarila je veću ukupnu proizvodnju mleka, što jasno ukazuje da je povećana mlečnost bila pre svega posledica veće konzumacije hrane, a ne poboljšane konverzije hranljivih materija iz obroka. Drugim rečima, iako nije zabeleženo unapređenje u pogledu same efikasnosti iskorišćavanja konzumirane hrane, dodavanje hroma je očigledno imalo stimulativan efekat na fiziološke procese uključene u sintezu mleka.

Ovakva interpretacija rezultata naglašava potrebu da se uz standardne pokazatelje efikasnosti razmatra i uticaj suplementacije na konzumiranje hrane, budući da veće konzumiranje SM obroka doprinosi boljim proizvodnim rezultatima. Iako dodavanje hroma ne utiče značajno na efikasnost iskorišćavanja konzumirane hrane, povećava ukupni obim proizvodnje. Na taj način, iako sama efikasnost ostaje stabilna, krajnji rezultat u vidu većeg prinosa mleka ima nesumnjivi praktičan značaj.

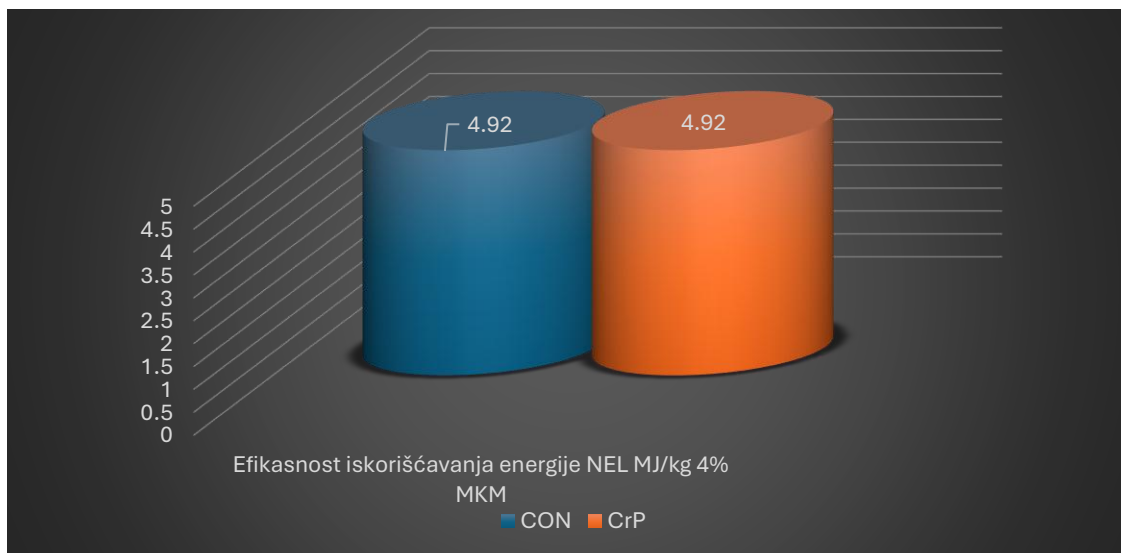


Grafikon 8. Efikasnost iskorišćavanja hrane kod eksperimentalnih grupa životinja u toku celokupnog istraživanja, kg 4% MKM/kg SM

CON: kontrolna grupa (n = 35, bez suplementacije hrom-propionatom);

CrP: ogledna grupa (n = 35, dodatak hrom-propionata, 8 mg Cr/po kravi/po danu)

Suplementacija hrom-propionatom, pored izostanka efekta na efikasnost iskorišćavanja hrane, nije pokazala ni statistički značajan uticaj na efikasnost iskorišćavanja energije, NEL (MJ/kg 4% MKM). Dobijeni rezultati grafički su prikazani na grafikonu 9.

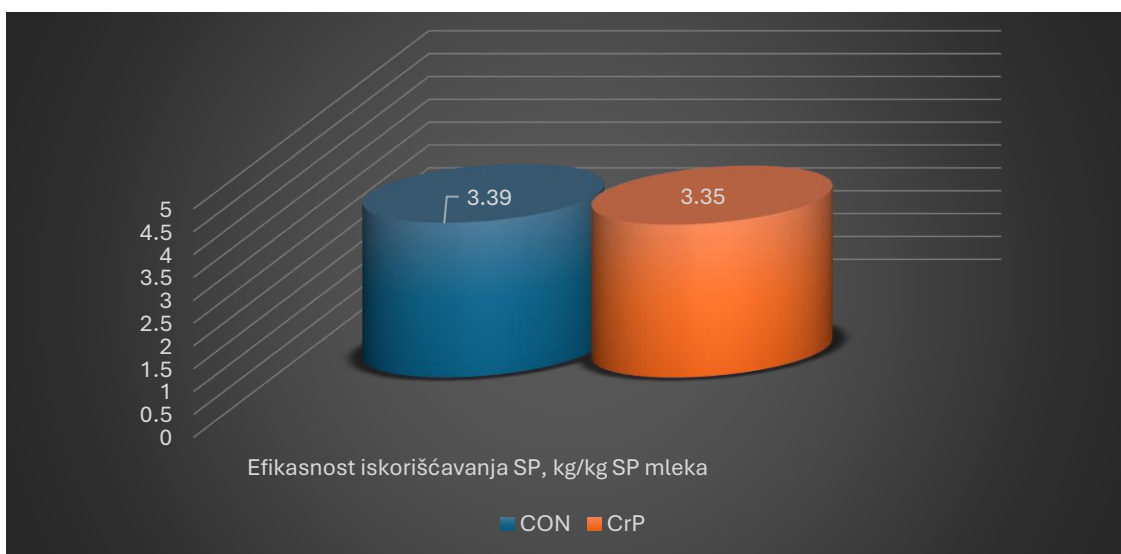


Grafikon 9. Efikasnost iskorišćavanja energije kod eksperimentalnih grupa životinja u toku celokupnog istraživanja NEL, MJ/kg 4% MKM

CON: kontrolna grupa (n = 35, bez suplementacije hrom-propionatom);

CrP: ogledna grupa (n = 35, dodatak hrom-propionata, 8 mg Cr/po kravi/po danu)

Takođe, suplementacija hrom-propionatom nije imala statistički značajan uticaj na efikasnost iskorišćavanja proteina (SP, kg/kg SP mleka)



Grafikon 10. Efikasnost iskorišćavanja SP, kg/kg SP mleka kod eksperimentalnih grupa životinja u toku celokupnog istraživanja

CON: kontrolna grupa (n = 35, bez suplementacije hrom-propionatom);

CrP: ogledna grupa (n = 35, dodatak hrom-propionata, 8 mg Cr/po kravi/po danu)

Wu i sar. (2021) su ustanovili postojanje linearnog trenda povećanja efikasnosti iskorišćavanja hrane sa povećanjem količine dodatog hrom metionina, što ukazuje na pozitivan efekat njegove primene u ishrani krava.

S druge strane, Vargas-Rodriguez i sar. (2014) nisu uočili statistički značajne razlike u

efikasnosti korišćenja hrane pri primeni hrom-propionata. Nalazi ovog istraživanja u saglasnosti su sa rezultatima dobijenim u aktuelnom istraživanju, što potvrđuje varijabilnost odgovora na suplementaciju hromom u zavisnosti od većeg broja faktora.

U prilog toj tvrdnji govori i istraživanje koje su sprovedeli Mirzaei i sar. (2011), gde je sa povećanjem količine hroma u obroku, zabeleženo smanjenje efikasnosti iskorišćavanja hrane. Konkretno, pri primeni doza od 0 mg, 0,05 mg i 0,1 mg hroma po kilogramu metaboličke mase, efikasnost iskorišćavanja hrane iznosila je 1,62, 1,59 i 1,45 kg mleka/kg SM obroka redom. Ovi rezultati ukazuju na mogućnost da veće doze hroma mogu imati kontraproduktivan efekat, potencijalno usled narušavanja homeostatskih mehanizama vezanih za metabolizam glukoze i insulina.

6.4. Biohemijski pokazatelji krvi krava u ogledu

Na početku eksperimentalnog perioda sprovedeno je prvo uzorkovanje krvi sa ciljem procene odabranih biohemijskih parametara koji mogu poslužiti kao indikatori adekvatne ishrane muznih krava, kao i opšteg zdravstvenog statusa životinja. Izabrani biohemijski markeri odražavaju metaboličko stanje organizma i mogu ukazivati na potencijalne disbalanse izazvane nutritivnim ili fiziološkim faktorima. Utvrđivana je vrednost sledećih parametara: koncentracija glukoze, ukupnih proteina i albumina, kao i nivoi makroelemenata kalcijuma i fosfora. Pored navedenog, određene su vrednosti uree i bilirubina, kao i koncentracije triglicerida. Determinisana je i koncentracija enzima u krvnoj plazmi, čije vrednosti ukazuju na zdravstveni status i funkciju jetre, i to AST (aspartat aminotransferaza) i GGT (gama-glutamil transferaza), dok je prisustvo i nivo beta-hidroksibutirata (BHBA) analiziran kao pokazatelj energetskog statusa organizma. Dobijeni rezultati predstavljeni su tabelarno (tabela 22), pri čemu su prikazane srednje vrednosti za svaki od ispitivanih parametara.

Tabela 22. Inicijalno stanje biohemijskih parametara krvi kod krava u ogledu

Biohemijski pokazatelji krvi	CON	CrP	p-vrednost	Referentne vrednosti
	$\bar{X}$	$\bar{X}$		
Glukoza, mmol/l	3,26±0,27	3,25±0,23	0,90	2,2-3,3
Ukupni proteini, g/l	74,49±3,55	72,04±4,34	0,10	60-80
Albumini, g/l	41,56±3,10	41,95±3,25	0,74	30-40
Kalcijum, mmol/l	2,23±0,15	2,32±0,13	0,08	2,0-3,0
Fosfor, mmol/l	1,91±0,26	1,95±0,19	0,70	1,6-2,3
Urea, mmol/l	5,83±0,79	5,99±0,71	0,57	1,66-6,66
Bilirubin, mmol/l	2,55±1,07	2,54±0,62	0,98	1-8,55
Trigliceridi, mmol/l	0,15±0,04	0,17±0,04	0,23	0,1-0,3
AST, U/L	80,67±13,39	84,92±12,61	0,38	61,1-103
g-GT, U/L	33,17±14,05	29,79±9,86	0,45	4,9-25,7
BHBA, mmol/l	0,77±0,53	0,64±0,19	0,40	<1,2

CON: kontrolna grupa (n = 35, bez suplementacije hrom-propionatom);

CrP: ogledna grupa (n = 35, dodatak hrom-propionata, 8 mg Cr/po kravi/po danu)

Analiza rezultata prikazanih u tabeli 22 ukazuje da između kontrolne grupe (CON) i eksperimentalne grupe (CrP) na početku oglada nije bilo statistički značajnih razlika niti u jednom od analiziranih biohemijskih parametara (sve p-vrednosti > 0,05). Dobijeni rezultati ukazuju da su obe grupe bile ujednačene u pogledu početnog metaboličkog i zdravstvenog statusa, čime se osigurava validnost poređenja efekata dodatka hrom-propionata tokom trajanja eksperimenta. Ujednačenost početnih parametara je od ključnog značaja za pravilnu interpretaciju kasnijih promena, jer eliminiše mogućnost da bilo kakve razlike u rezultatima budu posledica početnih varijacija između grupa. Na ovaj način se može sa većom sigurnošću zaključiti da eventualne promene u biohemijskim parametrima tokom oglada mogu biti direktno povezane sa primenom eksperimentalnog tretmana.

Koncentracije glukoze u krvi kod obe grupe kretale su se unutar referentnog opsega (2,2-3,3 mmol/l), što ukazuje na očuvan energetske status životinja. Takvi rezultati su očekivani u sredini laktacije, kada se nivo glukoze u krvi obično stabilizuje, reflektujući kompenzatorske mehanizme organizma, uključujući konzumiranje hrane i metaboličke adaptacije, koje omogućavaju održavanje energetske ravnoteže uz podršku proizvodnji mleka (Djoković i sar., 2017).

Ukupni proteini su bili u okviru referentnih vrednosti, dok je primećen nešto veći sadržaj albumina. Intenzivirana sinteza mikrobnih proteina u buragu doprinosi njihovoj boljoj resorpciji u tankom crevu, što za posledicu ima povećanje koncentracije proteina u krvotoku (Kirovski i sar., 2012).

Vrednosti kalcijuma i fosfora bile su u okvirima fizioloških granica, uz neznatno veću vrednost za grupu krava koja je dobijala CrP ($2,32 \pm 0,13$ mmol/l), što bi eventualno moglo ukazivati na bolju homeostatsku kontrolu ovog elementa, ali p-vrednost (0,08) nije potvrdila statističku značajnost. Povezanost između ravnoteže kalcijuma i proizvodnje mleka može biti značajna. Istraživanja su pokazala da krave sa višim nivoima kalcijuma u krvi mogu imati veću mlečnu produkciju (Mekonnen i sar., 2022), ali sa potencijalnim negativnim posledicama po reproduktivno zdravlje (Venjakob i sar., 2018).

Koncentracija uree, kao pokazatelja metabolizma proteina i funkcionalnog statusa jetre, nije se značajno razlikovala između grupa i bila je unutar referentnog raspona (1,66–6,66 mmol/l). Ovi rezultati odražavaju činjenicu da su obroci za ishranu krava u ogledu bili pažljivo izbalansirani u pogledu unosa proteina i energije, čime je omogućeno održavanje optimalnih vrednosti uree u krvi. Takva nutritivna ravnoteža ne samo da podržava stabilan metabolički status životinja, već doprinosi i očuvanju reproduktivnih performansi i kvaliteta mleka (Widayati i sar., 2019).

Nivoi bilirubina i triglicerida kod ispitivanih životinja bili su stabilni i u okviru fizioloških granica, bez statistički značajnih razlika između kontrolne i eksperimentalne grupe, što ukazuje na očuvanu funkciju jetre i adekvatan lipidni metabolizam. Tokom srednje faze laktacije, mlečne krave prolaze kroz metaboličke promene, prelazeći iz stanja negativnog energetskeg bilansa, karakterističnog za ranu laktaciju ka stabilnijem metabolizmu. U ovom periodu, koncentracija bilirubina u serumu obično se smanjuje, što odražava poboljšanu funkciju jetre i ukupnu metaboličku aktivnost (Batista i sar., 2022). Pravilno energetske izbalansiran obrok u srednjoj fazi laktacije ima ključnu ulogu, jer nedovoljan unos hranljivih materija, naročito energije, može izazvati porast koncentracije triglicerida usled pojačane mobilizacije masti i pojačane sinteze u jetri (Gross i sar., 2013). Optimalan odnos proteina i ugljenih hidrata u obroku od suštinskog je značaja za održavanje fizioloških nivoa triglicerida i stabilnog energetskeg metabolizma (Djoković i sar., 2017).

Enzimi AST i GGT, relevantni za procenu funkcije jetre i oštećenja tkiva, takođe nisu pokazali statistički značajne razlike. Međutim, prosečne vrednosti GGT za obe grupe, bile su iznad referentnog raspona (4,9–25,7 U/l), što može ukazivati na oštećenja hepatocita kod mlečnih krava. Značajan uticaj redosleda laktacije na vrednosti ovog parametra može se objasniti većim stepenom proizvodnog stresa kod krava sa više teljenja u odnosu na one koje su u prvoj laktaciji (Cozzi i sar., 2011).

Koncentracije beta-hidroksibutirata (BHBA), ključnog biomarkera energetskeg bilansa i potencijalne subkliničke ketoze, kod svih posmatranih životinja bile su ispod praga od 1,2 mmol/L, što ukazuje na odsustvo rizika od ketoznog stanja u ranoj fazi oglada. Ovi rezultati su u saglasnosti sa prethodnim studijama koje sugerišu da krave u srednjoj laktaciji održavaju BHBA vrednosti znatno ispod kliničkog praga (< 0,8 mmol/l), reflektujući stabilno metaboličko stanje dok se povišene

vrednosti BHBA obično javljaju u ranoj laktaciji, usled intenzivne mobilizacije lipida i adaptivnih energetske procesa (Viña i sar., 2016).

Rezultati prvog merenja sugerišu da su ispitivane grupe bile metabolički uravnotežene na početku eksperimentalnog perioda, što predstavlja dobru osnovu za validno poređenje efekata dodatka hrom-propionata u daljoj analizi.

Analiza biohemijskih parametara krvi sprovedena na polovini eksperimentalnog perioda imala je za cilj da omogući inicijalni uvid u efekte dodavanja hrom-propionata na metaboličke procese u organizmu muznih krava. Ova faza ispitivanja bila je od posebnog značaja, jer je omogućila pravovremenu procenu mogućih metaboličkih promena izazvanih primenom dodatka hroma, kao i procenu kontinuiteta u obezbeđivanju odgovarajućeg nutritivnog statusa životinja. Uz to, sredinom ogleda je bila moguća i preliminarna procena zdravstvenog stanja krava u eksperimentalnim grupama. Kao i prilikom prve analize, u ovom ispitivanju određivani su nivoi glukoze, ukupnih proteina i albumina, koncentracije kalcijuma i fosfora, kao i vrednosti uree i bilirubina. Takođe su analizirani i parametri vezani za metabolizam lipida i funkciju jetre, uključujući koncentraciju triglicerida, aktivnost AST (aspartat aminotransferaza) i GGT (gama-glutamil transferaza), kao i nivo beta-hidroksibutirata (BHBA). Dobijeni rezultati prikazani su u tabeli 23.

Tabela 23. Stanje biohemijskih parametara krvi kod krava u laktaciji na sredini oglednog perioda

Biohemijski pokazatelji krvi	CON	CrP	p-vrednost	Referentne vrednosti
	$\bar{X}$	$\bar{X}$		
Glukoza, mmol/l	2,84±0,19	3,02±0,27	0,05	2,2-3,3
Ukupni proteini, g/l	78,39±3,33	75,78±4,60	0,12	60-80
Albumini, g/l	45,16±3,51	45,85±3,51	0,61	30-40
Kalcijum, mmol/l	2,39±0,18	2,39±0,15	0,86	2,0-3,0
Fosfor, mmol/l	1,81±0,23	1,80±0,20	0,82	1,6-2,3
Urea, mmol/l	5,73±0,91	4,54±0,67	< 0,01	1,66-6,66
Bilirubin, mmol/l	2,55±0,91	2,49±0,54	0,87	1-8,55
Trigliceridi, mmol/l	0,22±0,04	0,20±0,03	0,18	0,1-0,3
AST, U/L	84,58±13,26	85,86±13,11	0,74	61,1-103
g-GT, U/L	33,44±9,92	31,92±8,52	0,66	4,9-25,7
BHBA, mmol/l	0,63±0,16	0,61±0,19	0,66	<1,2

CON: kontrolna grupa (n = 35, bez suplementacije hrom-propionatom);

CrP: ogledna grupa (n = 35, dodatak hrom-propionata, 8 mg Cr/po kravi/po danu)

U analizi biohemijskih parametara krvi, sprovedenoj na sredini oglednog perioda, utvrđene su određene razlike između kontrolne grupe (CON) i grupe koja je dobijala hrom-propionat (CrP). Koncentracija glukoze u krvi bila je viša u CrP grupi za 6,34% u poređenju sa kontrolnom grupom, uz p-vrednost od 0,05, što ukazuje na graničnu statističku značajnost. Navedeno ukazuje na efekte suplementacije hromom na metabolizam ugljenih hidrata. Toplotni stres kod mlečnih krava dovodi do značajnih fizioloških i metaboličkih promena, među kojima se posebno ističe smanjena sposobnost organizma da angažuje rezerve masti kao izvor energije. U takvim uslovima, organizam krave se u većoj meri oslanja na glukozu kako bi bili zadovoljeni povećani energetske zahtevi (Slimen i sar., 2016). Ova promena u energetske metabolizmu može dodatno opteretiti homeostatske mehanizme, naročito u kontekstu regulacije glikemije. Tokom letnjeg perioda, naročito u popodnevnim časovima,

kod visokomlečnih krava izloženih toplotnom stresu često se razvija respiratorna alkalozna, pri čemu porast pH krvi prati snižavanje glikemije, verovatno usled stimulativnog delovanja alkalozne na funkciju β -ćelija pankreasa (Vušanac i sar., 2011). Jedan od elemenata koji se sve češće proučava u vezi sa regulacijom metabolizma glukoze kod preživara jeste trovalentni hrom (Cr^{3+}), poznat kao sastavni deo tzv. faktora tolerancije na glukozu (GTF). Ova biološki aktivna supstanca posreduje u jačanju efekata insulina, omogućavajući efikasniji transport glukoze u ćelije (Nishimura i sar., 2021). U više istraživanja je pokazano da hrom može doprineti stabilizaciji koncentracije glukoze u krvi, što je naročito značajno u stresnim uslovima kada je metabolička ravnoteža narušena (Zhang i sar., 2014). Rezultati istraživanja Wo i sar. (2023) ukazuju da suplementacija hromom iz kvasca dovodi do povećanja koncentracije glukoze u serumu za 11% u poređenju sa kontrolnom grupom. Ovakav nalaz je u skladu sa rezultatima dobijenim u aktuelnom eksperimentu, koji takođe ukazuje na povoljan efekat hrom propionata na glikemijsku stabilnost tokom perioda izloženosti povišenoj temperaturi.

Međutim, uprkos ovim nalazima, literatura sadrži i brojne studije koje nisu pokazale značajan uticaj dodatka hroma na koncentraciju glukoze, bilo u uslovima toplotnog stresa (Soltan i sar., 2010; Shan i sar., 2020; Wang i sar., 2023) ili u termoneutralnim uslovima (Smith i sar., 2005; Yasui i sar., 2014). Takve razlike u rezultatima mogu se objasniti varijacijama u formi i količini hroma koji su korišćeni, kao i razlikama u dužini trajanja eksperimenata, fiziološkom statusu životinja i nivou izloženosti stresorima. Pored toga, odgovor organizma na suplementaciju hromom može biti modulisan i genetskim faktorima, stepenom adaptacije na visoke temperature i individualnim razlikama u insulinskoj senzitivnosti. Takođe, nutritivni sastav obroka i prisustvo drugih mikroelemenata može imati efekat na bioraspoloživost i metaboličku efikasnost hroma.

Ukupni proteini bili su neznatno niži u CrP grupi za 3,33% u odnosu na kontrolnu grupu, ali ova razlika nije statistički značajna ($p = 0,12$). Sličan trend uočen je i kod albumina, gde su vrednosti bile više u obe grupe u odnosu na referentne vrednosti.

Vrednosti kalcijuma i fosfora bile su u okviru fizioloških granica i gotovo identične kod obe grupe, bez značajne razlike, što ukazuje na stabilan mineralni status na sredini oglednog perioda i na činjenicu da suplementacija nije narušila ovu ravnotežu.

Koncentracija uree u krvi, često se koristi kao pouzdan biohemijski parametar za procenu uticaja ishrane na metaboličke procese povezane sa proteinima, odnosno azotom, uključujući produkciju i iskorišćenje amonijaka u buragu, kao i njegovu dalju konverziju i preradu u jetri (Yari i sar., 2010). Na osnovu dinamike koncentracije uree moguće je indirektno sagledati efikasnost sinteze mikrobijelnog proteina i ukupan bilans azota u organizmu preživara. Registrovano je smanjenje koncentracije uree za 20,76% u krvnom serumu krava koje su konzumirale obrok sa dodatkom hrom-propionata (CrP). Ova pojava može ukazivati na to da je došlo do intenzivnije aktivnosti mikrobne populacije u buragu, što je verovatno omogućilo efikasnije uključivanje amonijaka u sintezu mikrobnog proteina, čime je smanjena količina slobodnog amonijaka dostupnog za prelazak u krvotok i kasniju detoksikaciju u jetri (Wang i sar., 2023). Podršku ovakvom tumačenju daju i rezultati koje su objavili Wo i sar. (2023), gde je utvrđeno da je vrednost za koncentraciju uree bila niža za 18% kod grupe krava hranjenih obrokom sa dodatkom hroma iz kvasca, u poređenju sa kontrolnom grupom. Navedeno ukazuje na potencijalnu ulogu hroma u poboljšanju efikasnosti iskorišćavanja N kroz stimulaciju mikrobne sinteze u rumenu. Međutim, postoje i istraživanja u kojima se došlo do drugačijih zaključaka. Mousavi i sar. (2019) nisu utvrdili statistički značajne razlike u vrednostima za koncentraciju uree u krvi kod teladi koja su se nalazila pod uticajem toplotnog stresa, a koja su bila hranjena obrokom sa dodatim hrom-metioninom. Na ovakva odstupanja u rezultatima mogu uticati i razlike u starosnoj i proizvodnoj fazi životinja, budući da se metabolički zahtevi razlikuju između teladi, steonih krava i krava u laktaciji. Takođe, intenzitet i dužina izlaganja toplotnom stresu, kao i individualna adaptivna sposobnost životinja na nepovoljne uslove sredine, mogu doprineti varijabilnosti odgovora na suplementaciju.

Kod bilirubina, triglicerida, kao i kod enzima koji su pokazatelji funkcionalne sposobnosti jetre (AST i GGT), nije bilo statistički značajnih razlika između grupa, a sve utvrđene vrednosti nalazile su se u granicama fiziološki prihvatljivih referentnih opsega. Navedeno ukazuje na odsustvo oštećenja jetre i na očuvanu funkciju ovog organa kod svih životinja.

Vrednosti beta-hidroksibutirata (BHBA) bile su niske i ispod praga za dijagnostikovanje subkliničke ketoze ($< 1,2$ mmol/l), bez statistički značajne razlike između grupa, što dodatno potvrđuje stabilan energetske status i odsustvo izraženijih metaboličkih poremećaja.

Na osnovu ovih rezultata može se zaključiti da se na sredini oglednog perioda mogu ustanoviti prvi pokazatelji efekta hrom-propionata, naročito u pogledu regulacije koncentracije glukoze i uree. Takođe su ustanovljene stabilne vrednosti ostalih analiziranih parametara, koje su unutar očekivanih fizioloških vrednosti. U nastavku oglada moguće je očekivati izraženije razlike, koje bi potvrdile efikasnost primenjenog aditiva.

Tabela 24. Stanje biohemijskih parametara krvi kod krava na kraju oglednog perioda

Biohemijski pokazatelji krvi	CON	CrP	p-vrednost	Referentne vrednosti
	$\bar{X}$	$\bar{X}$		
Glukoza, mmol/l	2,84±0,19	3.40±0,19	$< 0,01$	2,2-3,3
Ukupni proteini, g/l	71,73±6,07	74,50±4,88	0,18	60-80
Albumini, g/l	39,76±6,01	41,03±4,32	0,51	30-40
Kalcijum, mmol/l	2,27±0,18	2,25±0,15	0,64	2,0-3,0
Fosfor, mmol/l	2,15±0,18	2,04±0,37	0,32	1,6-2,3
Urea, mmol/l	6,74±0,78	5,99±0,71	0,01	1,66-6,66
Bilirubin, mmol/l	2,18±0,44	2,52±1,04	0,26	1-8,55
Trigliceridi, mmol/l	0,12±0,04	0,12±0,05	0,93	0,1-0,3
AST, U/L	71,53±10,06	77,34±13,87	0,20	61,1-103
GGT, U/L	35,42±7,64	31,30±7,31	0,14	4,9-25,7
BHBA, mmol/l	0,69±0,14	0,48±0,14	$< 0,01$	$< 1,2$

CON: kontrolna grupa (n = 35, bez suplementacije hrom propionatom);

CrP: ogledna grupa (n = 35, dodatak hrom propionata, 8 mg Cr/po kravi/po danu)

U analizi sprovedenoj na kraju oglada, uočen je niz značajnih razlika u biohemijskim parametrima krvi između kontrolne grupe (CON) i grupe koja je dobijala hrom propionat (CrP), što ukazuje na kumulativne efekte primene ovog aditiva tokom trajanja eksperimenta.

Najznačajnije razlike zabeležene su u koncentraciji glukoze u krvi, gde je u CrP grupi utvrđena statistički značajno viša vrednost u odnosu na kontrolu (19,72 %; $p < 0,01$). Ova činjenica dodatno potvrđuje hipotezu o pozitivnom uticaju hrom-propionata na metabolizam glukoze, pre svega kroz poboljšanje insulinske osetljivosti i transporta glukoze u ćelije (Mertz, 1993; Nishimura i sar., 2021; Wo i sar., 2023). Nastavak i pojačanje ovog trenda, inicijalno detektovanog na sredini oglednog perioda, ukazuje da se efekat hroma ne ispoljava samo akutno, već se potencijalno akumulira tokom vremena, doprinoseći stabilnijem energetske statusu životinja u uslovima toplotnog stresa.

Takođe, značajno smanjenje koncentracije uree ($p = 0,01$) dodatno potvrđuje efekat hrom propionata na metabolizam N, odnosno proteina. Ova razlika sugerise na efikasnije iskorišćenje N, verovatno kroz intenzivniju sintezu mikrobnih proteina u buragu, što je u skladu sa ranije pomenutim mehanizmima i podržano sličnim rezultatima u literaturi (Wo i sar., 2023). Pad vrednosti za koncentraciju uree u krvi u završnoj fazi eksperimenta za oko 11,14% u odnosu na kontrolnu grupu ukazuje na trajnu adaptaciju mikroflore na prisustvo hroma i optimizaciju metabolizma azota.

Nasuprot prethodno navedenim parametrima, koncentracije ukupnih proteina i albumina u CrP grupi bile su neznatno više (3,86% i 3,20%) u odnosu na kontrolu, ali bez statističke značajnosti ($p = 0,18$ i $p = 0,51$; respektivno). Vrednosti oba parametra ostale su u okviru referentnih granica, što

ukazuje na očuvan proteinski i nutritivni status životinja tokom trajanja eksperimenta. Albumini se sintetišu u jetri i imaju važnu ulogu u transportu metabolita u krvi (NRC, 2001). Tokom stresnog perioda, kao što je rana faza laktacije ili delovanje visoke spoljašnje temperature, raste potreba za sintezom proteina, uključujući albumine i globuline (West, 1999). Postoji verovatnoća da hrom ima pozitivan efekat na održavanje adekvatnog snabdevanja tkiva i organa hranljivim materijama kao i na jačanje imunskog odgovora, istovremeno podržavajući maksimalnu proizvodnju mleka u uslovima kada se metaboličko opterećenje metabolizma krava poklapa sa nepovoljnim efektom visoke ambijentalne temperature (Al-Saiady i sar., 2004).

Vrednosti kalcijuma i fosfora u CrP grupi bile su gotovo identične kontrolnoj grupi i stabilne unutar fizioloških granica. Ovo ukazuje da suplementacija hrom-propionatom nije imala negativan efekat na bilans minerala, što je važno za očuvanje homeostaze u stresnim uslovima.

Što se tiče enzima jetre, vrednosti za AST i GGT, nije bilo značajnih razlika ($p = 0.20$ i $p = 0.14$), pri čemu su se vrednosti za GGT zadržale iznad referentnog opsega u obe grupe, što može ukazivati na blagu aktivaciju ovih enzima jetre, ali bez klinički relevantnih promena.

Koncentracije bilirubina su takođe bile u okviru fizioloških granica i bez značajne razlike između grupa.

Vrednosti triglicerida ostale su stabilne i gotovo identične što sugerise da suplementacija hromom nije značajno uticala na lipidni metabolizam. Odsustvo promena u ovom parametru može biti posledica činjenice da se krave u uslovima toplotnog stresa oslanjaju prvenstveno na glukozu, a ne na lipide, kao dominantan energetske izvor.

Vrednosti za BHBA su bile značajno niže (30,43%, $p < 0,01$) u grupi krava koje su dobijale hrom-propionat u odnosu na grupu bez ovog dodatka. Ova razlika ukazuje na manju sintezu ketonskih tela i sugerise da su životinje iz CrP grupe bile u povoljnijem energetske statusu, bez potrebe za intenzivnom razgradnjom masti kao izvora energije. Nevedena činjenica je dodatni pokazatelj efikasnijeg iskorišćenja glukoze kod krava koje su konzumirale hrom-propionat. Registrovano smanjenje koncentracije BHBA kod krava u laktaciji koje su dobijale dodatak hroma može biti rezultat povećane glukoneogeneze (Subiyatno i sar., 1996; Yang i sar., 1996). Sa druge strane, određeni autori nisu utvrdili značajne promene u nivou BHBA koje bi se mogle dovesti u direktnu korelaciju sa suplementacijom hroma (Bryan i sar., 2004; Hayirli i sar., 2001; Yasui i sar., 2014). Do sada nema dovoljno podataka o uticaju hroma na BHBA kod životinja u uslovima toplotnog stresa, pa je ovaj parametar potencijalno relevantan za buduća istraživanja.

Analizom biohemijskih parametara, sprovedenom kroz tri uzastopne kontrole tokom celokupnog oglednog perioda, uočeno je da suplementacija hrom-propionatom pozitivno utiče na metabolički status krava simentalne rase u laktaciji pod uslovima toplotnog stresa. Prosečne vrednosti svih posmatranih parametara tokom eksperimenta prikazane su u tabeli 25.

Tabela 25. Prosečne vrednosti biohemijskih parametara krvi kod oglednih grupa krava za celi ogledni period

Biohemijski pokazatelji krvi	CON	CrP	p-vrednost	Referentne vrednosti
	$\bar{X}$	$\bar{X}$		
Glukoza, mmol/l	2,98±0,29	3,23±0,28	< 0,01	2,2-3,3
Ukupni proteini, g/l	74,75±5,09	74,05±4,75	0,52	60-80
Albumini, g/l	42,21±4,85	42,93±4,16	0,46	30-40
Kalcijum, mmol/l	2,30±0,18	2,32±0,15	0,57	2,0-3,0
Fosfor, mmol/l	1,98±0,30	1,90±0,26	0,18	1,6-2,3
Urea, mmol/l	6,06±0,98	5,16±0,98	0,02	1,66-6,66
Bilirubin, mmol/l	2,46±0,85	2,54±0,76	0,50	1-8,55
Trigliceridi, mmol/l	0,17±0,06	0,17±0,05	0,94	0,1-0,3
AST, U/L	83,06±13,38	78,76±13,13	0,13	61,1-103
g-GT, U/L	33,68±10,87	30,64±8,87	0,13	4,9-25,7
BHBA, mmol/l	0,70±0,33	0,58±0,18	0,04	<1,2

CON: kontrolna grupa (n = 35, bez suplementacije-hrom propionatom);

CrP: ogledna grupa (n = 35, dodatak hrom-propionata, 8 mg Cr/po kravi/po danu)

Krave koje su svakodnevno dobijale obrok sa dodatkom hrom-propionata, ostvarile su tokom trajanja oglada značajno višu koncentraciju glukoze u krvi (8,39%), uz istovremeno smanjenje vrednosti uree u krvi (14,85%), kao i beta-hidroksibutirata (17,14%). Ovi rezultati potvrđuju stabilizujući efekat hrom-propionata na energetski i metabolički status krava u uslovima toplotnog stresa. Posmatranjem promena kroz čitav ogledni period, evidentno je da se dodavanje hroma povoljno odrazilo na održavanje homeostaze i optimalnog metabolizma. Dobijene vrednosti ukazuju na kontinuitet u delovanju dodatka, što daje veću pouzdanost samim rezultatima. Analitički pristup koji obuhvata prosečne vrednosti svih merenja omogućava objektivnije sagledavanje ukupnog efekta tretmana. Na taj način se ublažava uticaj pojedinačnih oscilacija i dobijaju se podaci koji verodostojnije oslikavaju metaboličko stanje organizma tokom celokupnog oglednog perioda.

Na osnovu ovih rezultata može se zaključiti da je primena hrom-propionata u ishrani muznih krava simentalke rase, tokom perioda toplotnog stresa, dovela do značajnih metaboličkih promena, prvenstveno u domenu metabolizma glukoze i N. Stabilnost ostalih biohemijskih pokazatelja, bez znakova narušavanja funkcije jetre i mineralnog statusa, potvrđuje bezbednost i potencijalnu korisnost ovog aditiva u uslovima prisustva toplotnog stresa.

7. ZAKLJUČAK

Na osnovu sprovedenog istraživanja, u okviru koga je analiziran uticaj dodatka hrom-propionata (CrP) u kompletno mešan obroku kod krava simentalke rase u laktaciji u uslovima umerenog toplotnog stresa, mogu se izvesti sledeći zaključci:

- Tokom eksperimentalnog perioda, prosečna dnevna temperatura iznosila je 24,73 °C, relativna vlažnost vazduha 64,9%, dok je srednja vrednost THI bila 76,45.
- Kod grupe krava koja je hranjena kompletno mešanim obrokom (TMR) sa dodatkom CrP, zabeležen je porast konzumiranja suve materije obroka za 4,11% u odnosu na kontrolnu grupu, pri čemu je razlika bila visoko značajna ($p < 0,01$). Istovremeno, zabeležen je i značajan porast unosa energije (NEL) od 4,05% ($p < 0,01$), kao i povećanje konzumiranja sirovih proteina obroka za 4,10% ($p < 0,01$).
- Kada je u pitanju fizička struktura obroka, utvrđeno je da između kontrolne i ogledne grupe nije bilo statistički značajnih razlika u distribuciji pojedinačnih frakcija TMR, kao ni u prosečnoj veličini čestica. Takođe kod nekonzumiranog ostatka nije bilo statističke razlike između posmatranih gupa u raspodeli čestica niti u prosečnoj veličini čestica.
- Proizvodnja mleka u grupi sa dodatkom CrP bila je značajno viša ($p < 0,01$), za 4,58% u poređenju sa kontrolnom grupom.
- Krave u eksperimentalnoj grupi ostvarile su i veći prinos 4% MKM (29,32 kg/dan), dok je u kontrolnoj grupi ta vrednost iznosila 28,17 kg/dan ($p < 0,01$).
- U pogledu sadržaja mlečne masti, sadržaja proteina u mleku, sadržaja laktoze i sadržaja suve materije nije registrovana statistički značajna razlika između eksperimentalne i kontrolne grupe krava.
- Prinosa mlečne masti bio je značajno viši ($p < 0,01$) kod grupe krava u laktaciji na obroku sa hrom-propionatom, i to za 4,46%.
- Utvrđeno je veći prinos proteina mleka u eksperimentalnoj grupi u poređenju sa kontrolom, pri čemu je razlika 4,21% bila statistički potvrđena ($p < 0,01$).
- Utvrđeno je značajno povećanje ($p < 0,01$) prinosa laktoze za grupu sa dodatkom hroma i ono je iznosilo 3,79%, u odnosu na kontrolnu grupu.
- Prinosa suve materije mleka bio je veći za 3,51% u CrP grupi u poređenju sa CON, uz statistički značajnu razliku ($p < 0,01$).
- Efikasnost iskorišćavanja hrane, efikasnost iskorišćavanja energije kao i efikasnost iskorišćavanja proteina nije se značajno razlikovala između posmatranih grupa krava.
- Koncentracija glukoze u krvi bila je značajno viša kod krava kojima je u obrok dodavan CrP (3,23 mmol/l) u odnosu na kontrolnu grupu (2,98 mmol/l) ($p < 0,01$).
- Koncentracija uree u krvi bila je značajno veća u kontrolnoj grupi za 17,44% ($p = 0,02$), u odnosu na CrP grupu, pri čemu su obe vrednosti bile u granicama fiziološkog raspona.
- Koncentracija β -hidroksibutirata (BHBA) u krvi bila je značajno niža ($p = 0,04$) u grupi sa dodatim hromom u obroku, za 17,14% u odnosu na kontrolnu grupu, pri čemu su obe vrednosti ostale u okviru fizioloških granica.
- Statistička obrada podataka nije ukazala na postojanje značajnih razlika između ispitivanih grupa u koncentracijama ukupnih proteina i albumina u krvnom serumu. Takođe, nisu zabeležene statistički značajne razlike u pogledu koncentracije makrominerala kalcijuma i fosfora, kao i vrednosti bilirubina i triglicerida, zajedno sa aktivnostima enzima jetre aspartat – aminotransferaze (AST) i gama-glutamil-transferaze (GGT).
- Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da dodavanje ispitivane organske forme hroma u kompletno mešani obrok ima pozitivan efekat na proizvodne i metaboličke pokazatelje krava simentalke rase u laktaciji u uslovima umerenog toplotnog stresa. Dodatak hroma uticao je na značajno povećanje konzumiranja suve materije, proteina i energije, što je od posebnog značaja u uslovima visoke ambijentalne temperature. Povećano konzumiranje hrane rezultiralo je većim prinosom mleka i 4% MKM, bez značajnih promena u hemijskom

sastavu mleka, ali uz veći ukupni prinos mlečne masti, proteina, laktoze i suve materije. Izostanak efekta na efikasnost iskorišćavanja hrane, energije i proteina ukazuje da je povećana proizvodnja mleka prvenstveno posledica većeg konzumiranja SM. Suplementacija hrom-propionatom pozitivno je uticala na metabolički status životinja, što se ogleda u povećanoj koncentraciji glukoze i smanjenim vrednostima uree i β -hidroksibutirata u krvi, ukazujući na povoljniji energetske bilans. Izostanak efekata na ostale ispitivane biohemijske parametre potvrđuje da dodavanje hroma nije ispoljilo negativan uticaj na metabolički status krava.

- Rezultati ovog istraživanja ukazuju da korišćenje hroma u obroku za krave u laktaciji može imati značajne pozitivne efekte na proizvodne performanse i metaboličke procese, naročito u uslovima toplotnog stresa. Pored bioloških efekata, primena hroma može imati i potencijalni značaj za ukupni ekonomski efekat organizovanja proizvodnje mleka, pogotovo u suboptimalnim ambijentalnim uslovima. Dobijeni rezultati ukazuju na potrebu za daljim istraživanjima usmerenim na determinisanje mehanizama i efekata hroma u različitim fazama laktacije, kao i na evaluaciju njegovog uticaja na zdravstvene i reproduktivne pokazatelje. Na taj način, hrom-propionat se nameće kao perspektivan dodatak u strategijama održive ishrane krava u laktaciji u savremenim proizvodnim uslovima.

8. LITERATURA

1. Abdelatty, A. M., Iwaniuk, M. E., Potts, S., Gad, A. (2018): Influence of maternal nutrition and heat stress on bovine oocyte and embryo development. *International Journal of Veterinary Science and Medicine*, 6(sup1), S1-S5. <https://doi.org/10.1016/j.ijvsm.2018.01.005>
2. Abdou, A. A., Abd Ghoniem, A. E., El-Bltagy, E. A., El-Kotamy, E. M., & Abd El-Wahab, W. M. (2024): Performance of lactating cows fed rations supplemented with chromium methionine, non-protected niacin and yeast. *Egypt. J. Vet. Sci.*, 55, 1975–1984. <https://ejvs.journals.ekb.eg/>
3. Abebaw S. E. (2025): A Global Review of the Impacts of Climate Change and Variability on Agricultural Productivity and Farmers' Adaptation Strategies. *Food science & nutrition*, 13(5), e70260. <https://doi.org/10.1002/fsn3.70260>
4. Abraham, A. S., Sonnenblick, M., Eini, M. (1982): The action of chromium on serum lipids and on atherosclerosis in cholesterol-fed rabbits. *Atherosclerosis*, 42(2–3), 185–195. [https://doi.org/10.1016/0021-9150\(82\)90149-6](https://doi.org/10.1016/0021-9150(82)90149-6)
5. Adili, S., Sadeghi, A. A., Chamani, M., Shawrang, P., Forodi, F. (2020): Auto-lysed yeast and yeast extract effects on dry matter intake, blood cells counts, igg titer and gene expression of il-2 in lactating dairy cows under heat stress. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 42, e48425. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v42i1.48425>
6. Alijagić, A., Islamagić, E., Fočak, M., Suljević, D. (2018): Effects of trivalent and hexavalent dietary chromium on blood biochemical profile in Japanese quails. *Bulgarian Journal of Veterinary Medicine*, 21(4), 470–477. <https://doi.org/10.15547/bjvm.1095>
7. Allen, J., Hall, L., Collier, R., Smith, J. F. (2015): Effect of core body temperature, time of day, and climate conditions on behavioral patterns of lactating dairy cows experiencing mild to moderate heat stress. *Journal of Dairy Science*, 98(1), 118–127. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7704>
8. Almeida, L., Barajas, R. (2001): Effect of chromium-methionine level supplementation on immune response of bull calves recently arrived to feedlots [Abstract]. *Journal of Animal Science*, 79 (Suppl. 1), 390.
9. Al-Saiady, M. Y., Al-Shaikhb, M. A., Al-Mufarreja, S. I., Al-Showeimia, T. A., Mogawera, H. H., Dirrara, A. (2004): Effect of chelated chromium supplementation on lactation performance and blood parameters of Holstein cows under heat stress. *Animal Feed Science and Technology*. 117, 223–233. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2004.07.008>
10. Amata, I. A. (2013): Chromium in Livestock Nutrition: A Review. *G A R J Agri Sci.* 2. 289–306.
11. Anderson, R. A. (1981): Nutritional role of chromium. *Science of the Total Environment*, 17, 13–29. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(81\)90104-2](https://doi.org/10.1016/0048-9697(81)90104-2)
12. AOAC International (2002): *Official Methods of Analysis*. 17th ed. AOAC International, Arlington, VA.
13. Assis, J. R. de. (2020): Chromium in performance and metabolism of dairy cows. *Scientific Electronic Archives*, 14(1), 100. <https://doi.org/10.36560/14120211280>
14. Baile, C. A., Forbes, J. M. (1974): Control of feed intake and regulation of energy balance in ruminants. *Physiological Reviews*, 54(1), 160–214. <https://doi.org/10.1152/physrev.1974.54.1.160>
15. Baiomy, A. A. (2012): Effect of chromium methionine supplementation on milk production, composition and some blood metabolites of lactating buffaloes. *Journal of Animal and Poultry Production*, 3(8), 415–421. <https://doi.org/10.21608/jappmu.2012.82946>
16. Baker, M. A. (1989): Effect of dehydration and rehydration on thermoregulatory sweating in goats. *Journal of Physiology (London)*, 417, 421–435. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1989.sp017810>
17. Bakr, M. H., Elazeim, M. G. A., Gawad, A. E. R. M. A. E., Olafadehan, O. A., Kholif, A. E. (2023): Chocolate byproducts and protected fats enriched with chromium to replace corn in diets of early lactation Holstein cows: Feed utilization, blood profile, and lactational

- performance. *Annals of Animal Science*, 23(4), 1119–1129. <https://doi.org/10.2478/aoas-2023-0025>
18. Bampidis, V., Azimonti, G., Bastos, M. de L., Christensen, H., Dusemund, B., Durjava, M. F., & López-Gálvez, G. (2020): Safety and efficacy of Availa®Cr (chromium chelate of DL-methionine) as a feed additive for dairy cows. *EFSA Journal*, 18(2), e06026. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6026>
 19. Batista, C. P., Gonçalves, R. S., Contreras, L. V. Q., Valle, S. de F., González, F. (2022): Correlation between liver lipidosis, body condition score variation, and hepatic analytes in dairy cows. *Brazilian Journal of Veterinary Medicine*, 44, e005121. <https://doi.org/10.29374/2527-2179.bjvm005121>
 20. Baumgard, L. H., Rhoads, R. P., Jr. (2013): Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and energetics. *Annual Review of Animal Biosciences*, 1, 311–337. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-031412-103644>
 21. Berman, A., Avendano-Reyes, L., Gaughan, J. B., Hall, A., Collier, R. J. (2016): A comparison of THI indices leads to a sensible heat-based heat stress index for shaded cattle that aligns temperature and humidity stress. *International Journal of Biometeorology*, 60(10), 1453–1462. <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1136-9>
 22. Bernabucci, U., Lacetera, N., Baumgard, L. H., Rhoads, R. P., Ronchi, B., Nardone, A. (2010): Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal*, 4(7), 1167–1183. <https://doi.org/10.1017/S175173111000090X>
 23. Bezdíček, J., Nesvadbová, A., Stádník, L., Louda, F. (2023): Influence of heat stress on milk production in fraternal twins. *Acta Universitatis Agriculturae Et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 70(6), 365–372. <https://doi.org/10.11118/actaun.2022.027>
 24. Bhandari, B. M., Garg, M. R., Goswami, A., Tandon, M., Shankpal, S. (2016): Chromium – A new essential trace mineral for dairy animals: A review. *Livestock Research International*, 4(3), 94–103.
 25. Bianca, W. (1962): Relative importance of dry and wet-bulb temperature in causing heat stress in cattle. *Nature*, 195, 251–252. <https://doi.org/10.1038/195251a0>
 26. Bin-Jumah, M., Abd El-Hack, M. E., Abdelnour, S. A., Hendy, Y. A., Ghanem, H. A., & Alsafy, S. A. (2020): Potential use of chromium to combat thermal stress in animals: A review. *Science of the Total Environment*, 707, 135996. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135996>
 27. Bjørklund, G., Aaseth, J., Skalny, A. V., Suliburska, J., Skalnaya, M. G., Nikonorov, A. A. (2017): Interactions of iron with manganese, zinc, chromium, and selenium as related to prophylaxis and treatment of iron deficiency. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 41, 41–53. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2017.02.005>
 28. Bohmanova, J., Misztal, I., Cole, J. (2007): Temperature humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. *Journal of Dairy Science*, 90(4), 1947–1956. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-513>
 29. Bouraoui, R., Lahmar, M., Majdoub, A., Djemali, M., Belyea, R. (2002): The relationship of temperature-humidity index with milk production of dairy cows in a Mediterranean climate. *Animal Research*, 51, 479–491. <https://doi.org/10.1051/animres:2002036>
 30. Brown-Brandl, T. M., Eigenberg, R. A., Hahn, G. L., Nienaber, J. A., Mader, T. L., Spiers, D. E., Parkhurst, A. M. (2005): Analyses of thermoregulatory responses of feeder cattle exposed to simulated heat waves. *International Journal of Biometeorology*, 49(5), 285–296. <https://doi.org/10.1007/s00484-004-0250-2>
 31. Bryan, M., Socha, M., Tomlinson, D. (2004): Supplementing intensively grazed late-gestation and early-lactation dairy cattle with chromium. *Journal of Dairy Science*, 87(12), 4269–4277. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(04\)73571-7](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(04)73571-7)
 32. Bunting, L. D., Tarifa, T. A., Crochet, B. T., Fernandez, J. M., Depew, C. L., Lovejoy, J. C. (2000): Dietary inclusion of chromium propionate and calcium propionate influences gastrointestinal development and insulin function in dairy calves. *Journal of Dairy Science*,

- 83(11), 2491–2498. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)75141-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75141-1)
33. Burkhardt, F. K., Hayer, J. J., Heinemann, C., Steinhoff-Wagner, J. (2024): Effect of climatic condition, type of trough and water cleanliness on drinking behavior in dairy cows. *Animals*, 14(2), 257. <https://doi.org/10.3390/ani14020257>
 34. Burns, D. M., Ruddock, M. W., Brown, J. C., Kennovin, G. D., Dykes, E. L., Flitney, F. W., Hirst, D. G. (1997): The effect of the vasodilator nicotinamide on cyclic nucleotide pathways in vascular smooth muscle. *Biochemical Society Transactions*, 25(1), 132S. <https://doi.org/10.1042/bst025132s>
 35. Calvache, I., Beltran, I., Balocchi, O., Pulido, R., Venegas, L. A. Navas, A. (2024): Changes in the milk response to different herbage mass of dairy cattle in a tropical climate. *Chilean Journal of Agricultural Research* 84:225-235. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392024000200225>
 36. Carabaño, M. J., Ramón, M., Díaz, C., Molina, A., Pérez-Guzmán, M. D., Serradilla, J. M. (2017): BREEDING AND GENETICS SYMPOSIUM: Breeding for resilience to heat stress effects in dairy ruminants. A comprehensive review. *Journal of Animal Science*, 95(4), 1813. <https://doi.org/10.2527/jas.2016.1114>
 37. Carleton, T., Hsiang, S. (2016): Social and economic impacts of climate. *Science*, 353(6304). <https://doi.org/10.1126/science.aad9837>
 38. Carrasco, G. A., van de Kar, L. D. (2003): Neuroendocrine pharmacology of stress. *European Journal of Pharmacology*, 463, 235–272. [https://doi.org/10.1016/s0014-2999\(03\)01285-8](https://doi.org/10.1016/s0014-2999(03)01285-8)
 39. Chang, G. (2018): Rural residents understanding and willingness to pay higher prices for mitigation against global warming in china. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 10(5), 711-728. <https://doi.org/10.1108/ijccsm-01-2017-0002>
 40. Chen, N. S. C., Tsai, A., Dyer, I. A. (1973): Effects of chelating agents on chromium absorption in rats. *The Journal of Nutrition*, 103(8), 1182–1186. <https://doi.org/10.1093/jn/103.8.1182>
 41. Chen, S., Wang, J., Dandan, P., Gan, L., Chen, J., Gu, X. (2018): Exposure to heat-stress environment affects the physiology, circulation levels of cytokines, and microbiome in dairy cows. *Scientific Reports*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-32886-1>
 42. Chrast, V., Langová, L., Novotná, I., Zemanova, M., Vrtková, I., Urban, T., Havlíček, Z. (2023): Effect of temperature-humidity index on physiological and haematological indicators in dairy cows. *Journal of Central European Agriculture*, 24(4), 802-808. <https://doi.org/10.5513/jcea01/24.4.3960>
 43. Cincović M., Belić B., Toholj B., Potkonjak A., Stevanović M., Lako B., Radović I. (2011): Metabolic acclimation to heat stress in farm housed Holstein cows with different body condition scores. *African Journal of Biotechnology*, 10, 10293-10303.
 44. Cincović, M., Belić, B., Stevančević, M., Toholj, B., Starič, J., Ozren, S., Hristovska, T. (2015): Reference intervals for indexes of insulin sensitivity in cow during early lactation. *Letopis Naucnih Radova Poljoprivrednog Fakulteta*, 39(1), 121-128. <https://doi.org/10.5937/lnrpfns1501121c>
 45. Collier, R. J., Renquist, B. J., & Xiao, Y. (2017): A 100-year review: Stress physiology including heat stress. *Journal of Dairy Science*, 100, 10367–10380. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13676>
 46. Cooper-Prado, M. J., Long, N., Wright, E., Goad, C., Wettemann, R. P. (2011): Relationship of ruminal temperature with parturition and estrus of beef cows. *Journal of Animal Science*, 89(4), 1020-1027. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3434>
 47. Corazzin, M., Saccà, E., Lippe, G., Romanzin, A., Foletto, V., Borso, F. d., Piasentier, E. (2020): Effect of heat stress on dairy cow performance and on expression of protein metabolism genes in mammary cells. *Animals*, 10(11), 2124. <https://doi.org/10.3390/ani10112124>
 48. CVB (2008): CVB Table Booklet Feeding of Ruminants 2008. Feeding standards, feeding advices and nutritional values of feeding ingredients. Federatie Nederlandse Diervoderketen, Nederlands.
 49. CVB (2021): CVB Feed Table 2021. Chemical composition and nutritional values of feedstuffs.

Federatie Nederlandse Diervoderketen, Nederlands.

50. Cowley, F. C., Barber, D. G., Houlihan, A. V., Poppi, D. P. (2015): Immediate and residual effects of heat stress and restricted intake on milk protein and casein composition and energy metabolism. *Journal of Dairy Science* 98, 2356–2368. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8442>
51. Cozzi, G., Ravaratto, L., Gottardo, F., Stefani, A.L., Contiero, B., Moro, L., Brscic, M., Dalvit, P. (2011): Short communication: Reference values for blood parameters in Holstein dairy cows: Effects of parity, stage of lactation, and season of production. *Journal of Dairy Science* 8, 3895-3901. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3687>
52. Czarnek, K., Tatarczak-Michalewska, M., Blicharska, E., Siwicki, A. K., Maciejewski, R. (2025): Genotoxic effects of chromium(III) and cobalt(II) and their mixtures on the selected cell lines. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(11), 5056. <https://doi.org/10.3390/ijms26115056>
53. Dahl, G., Tao, S., Monteiro, A. (2016): Effects of late-gestation heat stress on immunity and performance of calves. *Journal of Dairy Science*, 99(4), 3193-3198. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9990>
54. Davis, C. M., Royer, A. C., Vincent, J. B. (1997): Synthetic multinuclear chromium assembly activates insulin receptor kinase activity: Functional model for low-molecular-weight chromium-binding substance. *Inorganic Chemistry*, 36(23), 5316–5320. <https://doi.org/10.1021/ic970568h>
55. Dejanović, J., Ostović, M., Pavičić, Ž., Matković, K. (2015): Utjecaj smještaja na ponašanje, dobrobit i zdravlje mliječnih krava. *Veterinarska Stanica*, 46, 27–37.
56. De Ondarza, M. B., Sniffen, C. J., Dussert, E., Chevaux, J., Sullivan, J., PAS, Walker, N. (2010): Case Study: Multiple-Study Analysis of the Effect of Live Yeast on Milk Yield, Milk Component Content and Yield, and Feed Efficiency. *The Professional Animal Science*, 26, 661-666. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30664-1](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30664-1)
57. Di Costanzo, A., Spain, J. N., Spiers, D. E. (1997): Supplementation of nicotinic acid for lactating Holstein cows under heat stress conditions. *Journal of Dairy Science*, 80(6), 1200–1206. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76048-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76048-X)
58. Dikmen, S., Hansen, P. J. (2009): Is the temperature–humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *Journal of Dairy Science*, 92(1), 109–116. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1370>
59. Djoković, R., Kurčubić, V., Ilić, Z., Cincović, M., Lalović, M., Jašović, B., Bojkovski, J. (2017): Correlation between blood biochemical metabolites milk yield, dry matter intake and energy balance in dairy cows during early and mid lactation. *Advances in Diabetes and Metabolism*, 5(2), 26-30. <https://doi.org/10.13189/adm.2017.050202>
60. Dunn, R., Mead, N., Willett, K., & Parker, D. (2014): Analysis of heat stress in UK dairy cattle and impact on milk yields. *Environmental Research Letters*, 9, 064006. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/6/064006>
61. Ekine-Dzivenu, C., Mrode, R., Oyieng, E. P., Komwihangilo, D. M., Lyatuu, E., Msuta, G., Okeyo, A. (2020): Evaluating the impact of heat stress as measured by temperature-humidity index (thi) on test-day milk yield of small holder dairy cattle in a sub-sahara african climate. *Livestock Science*, 242, 104314. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104314>
62. Eslamizad, M., Albrecht, D., Kuhla, B. (2020): The effect of chronic, mild heat stress on metabolic changes of nutrition and adaptations in rumen papillae of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 103(9), 8601-8614. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18417>
63. Evans, G. W., Bowman, T. D. (1992): Chromium picolinate increases membrane fluidity and rate of insulin internalization. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 46(4), 243–250. [https://doi.org/10.1016/0162-0134\(92\)80034-S](https://doi.org/10.1016/0162-0134(92)80034-S)
64. Fan, C., Su, D., Tian, H., Li, X., Li, Y., Ran, L., Cheng, J. (2018): Liver metabolic perturbations of heat-stressed lactating dairy cows. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31(8), 1244-1251. <https://doi.org/10.5713/ajas.17.0576>

65. Feng, L., Zhang, Y., Liu, W., Du, D., Jiang, W., Wang, Z., Li, N., Hu, Z. (2023): Altered rumen microbiome and correlations of the metabolome in heat-stressed dairy cows at different growth stages. *Microbiology Spectrum* 11, e03312-23. <https://doi.org/10.1128/spectrum.03312-23>
66. Fodor, N., Foskolos, A., Topp, K., Moorby, J. M., Pásztor, L., Foyer, C. H. (2018): Spatially explicit estimation of heat stress-related impacts of climate change on the milk production of dairy cows in the united kingdom. *Plos One*, 13(5), e0197076. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197076>
67. Fournel, S., Ouellet, V., Charbonneau, É. (2017): Practices for alleviating heat stress of dairy cows in humid continental climates: A literature review. *Animals*, 7(5), 37. <https://doi.org/10.3390/ani7050037>
68. Gao, Z., Li, L., Hao, Y. (2023): Financial risk under the shock of global warming: evidence from china. *Business Strategy and the Environment*, 33(2), 335-351. <https://doi.org/10.1002/bse.3491>
69. Garcia, M., Qu, Y., Scholte, C. M., O'Connor, D., Rounds, W., Moyes, K. M. (2017): Regulatory effect of dietary intake of chromium propionate on the response of monocyte-derived macrophages from Holstein cows in mid lactation. *Journal of Dairy Science*, 100, 6389-6399. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12079>
70. Garner, J. B., Douglas, M. L., Williams, S. R. O., Wales, W. J., Marett, L. C., Nguyen, T. T. T., Reich, C. M., & Hayes, B. J. (2016): Genomic selection improves heat tolerance in dairy cattle. *Scientific Reports*, 6, 34114. <https://doi.org/10.1038/srep34114>
71. Gross, J., Schwarz, F. J., Eder, K., Dorland, H.A., Bruckmaier, R. (2013): Liver fat content and lipid metabolism in dairy cows during early lactation and during a mid-lactation feed restriction. *Journal of Dairy Science*, 96(8), 5008-5017. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6245>
72. Guo, Y., Li, L., Yan, S., Shi, B. (2023): Plant extracts to alleviating heat stress in dairy cows. *Animals*, 13(18), 2831. <https://doi.org/10.3390/ani13182831>
73. Habimana, V., Nguluma, A. S., Nziku, Z., Ekine-Dzivenu, C., Morota, G., Mrode, R., Chenyambuga, S. W. (2023): Heat stress effects on milk yield traits and metabolites and mitigation strategies for dairy cattle breeds reared in tropical and sub-tropical countries. *Frontiers in Veterinary Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1121499>
74. Hahn, G. L., Mader, T. L., & Eigenberg, R. A. (2003): Perspective on development of thermal indices for animal studies and management. In N. Lacetera, U. Bernabucci, H. H. Khalifa, B. Ronchi, & A. Nardone (Eds.), *Interactions between climate and animal production* (pp. 31–44). Wageningen Academic Publishers. https://doi.org/10.3920/9789086865178_004
75. Hakim, L., Nakagoshi, N. (2014): Ecotourism and climates changes: The ecolodge contribution in global warming mitigation. *Journal of Tropical Life Science*, 4(1), 26-32. <https://doi.org/10.11594/jtls.04.01.05>
76. Hammami H., Bormann J., M'Hamdi N., Montaldo H. H., Gengler N. (2013): Evaluation of heat stress effects on production traits and somatic cell score of Holsteins in a temperate environment. *Journal of Dairy Science* 96 (3) 1844–1855, <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5947>
77. Hartinger, T., Castillo-Lopez, E., Reisinger, N., Zebeli, Q. (2024): Elucidating the factors and consequences of the severity of rumen acidosis in first-lactation holstein cows during transition and early lactation. *Journal of Animal Science*, 102. <https://doi.org/10.1093/jas/skae041>
78. Hauser, A., França, M. I. d., Hauser, R., Scheid, A. L., Perazzoli, L., Mendes, B. P. B., Neto, A. T. (2023): Effect of heat stress and solar radiation on dry matter intake, biochemical indicators, production, and quality of holstein and jersey cows' milk. *Arquivo Brasileiro De Medicina Veterinária E Zootecnia*, 75(4), 721-734. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-12884>
79. Hayirli, A., Bremmer, D. R., Bertics, S. J., Socha, M. T., Grummer, R. R. (2001): Effect of chromium supplementation on production and metabolic parameters in periparturient dairy

- cows. *Journal of Dairy Science*, 84, 1218–1230. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)74583-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74583-3)
80. Heinrichs, J. (2013): The Penn State particle Separator. Penn State University.
 81. Hepburn, D. D. D., Burney, J. M., Woski, S. A., & Vincent, J. B. (2003): The nutritional supplement chromium picolinate generates oxidative DNA damage and peroxidized lipids in vivo. *Polyhedron*, 22(3), 455–463. [https://doi.org/10.1016/S0277-5387\(02\)01369-4](https://doi.org/10.1016/S0277-5387(02)01369-4)
 82. Herbein, J. H., Aiello, R. J., Eckler, L. I., Pearson, R. E., Akers, R. M. (1985): Glucagon, insulin, growth hormone, and glucose concentrations in blood plasma of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 68(2), 320–325. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(85\)80828-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)80828-6)
 83. Herbut, P., Angrecka, S., Walczak, J. (2018): Environmental parameters to assessing of heat stress in dairy cattle—a review. *International Journal of Biometeorology*, 62(12), 2089–2097. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1629-9>
 84. Hirst, D. G., Kennovin, G. D., Tozer, G. M., Prise, V. E., Flitney, E. W. (1995): The modification of blood flow in tumours and their supplying arteries by nicotinamide. *Acta Oncologica*, 34(4), 397–400. <https://doi.org/10.3109/02841869509093996>
 85. Hoegh-Guldberg, O., Jacob, D., Taylor, M. A., Bolaños, T. G., Bindi, M., Brown, S., Zhou, G. (2019): The human imperative of stabilizing global climate change at 1.5°C. *Science*, 365(6459). <https://doi.org/10.1126/science.aaw6974>
 86. Hossain, M. D., Salam, M. A., Ahmed, S., Habiba, M. U., Akhtar, S., Islam, M. M., Rahman, M. M. (2022): Relationship of meteorological data with heat stress effect on dairy cows of smallholder farmers. *Sustainability*, 15(1), 85. <https://doi.org/10.3390/su15010085>
 87. Hua, Y., Clark, S., Ren, J., Sreejayan, N. (2012): Molecular mechanisms of chromium in alleviating insulin resistance. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 23(4), 313–319. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2011.11.001>
 88. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Climate Change (2007): Synthesis Report. Accessed on 28-11-2015. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_full_report.pdf
 89. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021): Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, N. Berger, B. Zhou, Eds.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
 90. JASP Team. (2021): JASP (Version 0.15) [Computer software]. <https://jasp-stats.org>
 91. Jeejeebhoy, K. N., Chu, R. C., Marliss, E. B., Greenberg, G. R., Bruce-Robertson, A. (1977): Chromium deficiency, glucose intolerance, and neuropathy reversed by chromium supplementation in a patient receiving long-term total parenteral nutrition. *American Journal of Clinical Nutrition*, 30(4), 531–538. <https://doi.org/10.1093/ajcn/30.4.531>
 92. Jovanović, Lj. (2017): Uticaj peroralne aplikacije hroma na insulinsku osovinu i IGF sistem kod teladi Holštajn-Frizijske rase. Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Fakultet veterinarske medicine. Beograd, Srbija.
 93. Kadzere, C. T., Murphy, M. R., Silanikove, N., Maltz, E. (2002): Heat stress in lactating dairy cows: A review, *Livestock Production Science* 77. 59–91. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00330-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00330-X)
 94. Kafilzadeh, F., Shabankareh, H. K., Targhibi, M. R. (2012): Effect of chromium supplementation on productive and reproductive performances and some metabolic parameters in late gestation and early lactation of dairy cows. *Biological Trace Element Research*, 149, 42–49. <https://doi.org/10.1007/s12011-012-9390-0>
 95. Kandror, K. V. (1999): Insulin regulation of protein traffic in rat adipocyte cells. *Journal of Biological Chemistry*, 274(36), 25210–25217. <https://doi.org/10.1074/jbc.274.36.25210>
 96. Kargar, S., Mousavi, F., Karimi-Dehkordi, S., Ghaffari, M. H. (2018): Growth performance, feeding behavior, health status, and blood metabolites of environmentally heat-loaded Holstein dairy calves fed a cerium–chromium–zinc mixture or chromium alone during the

- preweaning period. *Biological Trace Element Research*, 201(11), 5155–5169.
97. Kibler H. H. (1964): Thermal effects of various temperature-humidity combinations on Holstein cattle as measured by eight physiological responses. *Environmental physiology and shelter engineering*. Agricultural Experiment Station, Missouri, pp. 1-42
 98. Kim, S. H., Ramos, S. C., Valencia, R. A., Cho, Y. I., Lee, S. S. (2022): Heat stress: Effects on rumen microbes and host physiology, and strategies to alleviate the negative impacts on lactating dairy cows. *Frontiers in Microbiology*, 13, 804562. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.804562>
 99. Kirovski, D., Šamanc, H., Prodanović, R. (2012): Procena energetskeg statusa krava na osnovu koncentracije masti, proteina i uree u mleku. *Veterinarski glasnik*, 66 (1-2):97-110.
 100. Kitchalong, L., Fernandez, J. M., Bunting, L. D., Southern, L. L., Binder, T. D. (1995): Influence of chromium tripicolinate on glucose metabolism and nutrient partitioning in growing lambs. *Journal of Animal Science*, 73, 2695–2703. <https://doi.org/10.2527/1995.7392694x>
 101. Kumar, M., Kaur, H., Deka, R. S., Mani, V., Tyagi, A. K., Chandra, G. (2015): Dietary inorganic chromium in summer-exposed buffalo calves (*Bubalus bubalis*): Effects on biomarkers of heat stress, immune status, and endocrine variables. *Biological Trace Element Research*, 167(1), 18–27. <https://doi.org/10.1007/s12011-015-0272-0>
 102. Lashkari, S., Habibian, M., Jensen, S. K. (2018): A review on the role of chromium supplementation in ruminant nutrition—effects on productive performance, blood metabolites, antioxidant status, and immunocompetence. *Biological Trace Element Research*, 186(2), 305-321. <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1310-5>
 103. Leal, M. L., Aires, A. R., Collet, S. G., Rodrigues, C. M., Milani, M. P., Zeni, D., Blagitz, M. G. (2021): Effect of protected niacin and chromium-rich yeast in dairy cows under thermal stress - milk production and metabolic parameters. *Revista Agraria Academica*, 4(1), 24-33. <https://doi.org/10.32406/v4n12021/24-33/agrariacad>
 104. Lee, T., Chiù, C., Liu, Y., Chang, C., Shao, J., Guo, S., Lee, S. (2024): Establishment and risk factor assessment of the abnormal body temperature probability prediction model (abtp) for dairy cattle. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-65419-0>
 105. Leiva, T., Cooke, R. F., Aboin, A., Drago, F., Gennari, R., Vasconcelos, J. (2014): Effects of excessive energy intake and supplementation with chromium propionate on insulin resistance parameters in nonlactating dairy cows. *Journal of Animal Science*, 92(2), 775-782. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6852>
 106. Leiva, T., Cooke, R. F., Brandão, A. P., Aboin, A. C., Ranches, J., Vasconcelos, J. L. (2015): Effects of excessive energy intake and supplementation with chromium propionate on insulin resistance parameters, milk production, and reproductive outcomes of lactating dairy cows. *Livestock Science*, 180, 121–128. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.08.007>
 107. Leiva, T., Cooke, R. F., Brandao, A. P., Pardelli, U., Rodrigues, R. O., Corra, F. N., (2017): Effects of concentrate type and chromium propionate on insulin sensitivity, productive and reproductive parameters of lactating dairy cows consuming excessive energy. *Animal*, 11, 436–444. <https://doi.org/10.1017/S1751731116001713>
 108. Lewicki, S., Zdanowski, R., Krzyżowska, M., Lewicka, A., Dębski, B., Niemcewicz, M., Goniewicz, M. (2014): The role of chromium iii in the organism and its possible use in diabetes and obesity treatment. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 21(2), 331-335. <https://doi.org/10.5604/1232-1966.1108599>
 109. Li, M., Cheng, J., Shi, B., Yang, H., Zheng, N., Wang, J. (2015): Effects of heat stress on serum insulin, adipokines, amp-activated protein kinase, and heat shock signal molecules in dairy cows. *Journal of Zhejiang University-Science B*, 16(6), 541-548. <https://doi.org/10.1631/jzus.b1400341>
 110. Li, L., Wang, Y., Li, C., & Wang, G. (2017): Proteomic analysis to unravel the effect of heat stress on gene expression and milk synthesis in bovine mammary epithelial cells. *Animal Science Journal*, 88(12), 2090-2099. <https://doi.org/10.1111/asj.12880>
 111. Li, L., Zhang, Y., Zhou, T., Wang, K., Wang, C., Wang, T., Lü, G. (2022): Mitigation of china's

- carbon neutrality to global warming. *Nature Communications*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-33047-9>
112. Lin, Y., Sun, X., Hou, X., Qu, B., Gao, X., Li, Q. (2016): Effects of glucose on lactose synthesis in mammary epithelial cells from dairy cow. *BMC Veterinary Research*, 12, Article 81. <https://doi.org/10.1186/s12917-016-0704-x>
 113. Lin, L., Xie, F., Sun, D., Liu, J., Zhu, W., Mao, S. (2019): Ruminant microbiome-host crosstalk stimulates the development of the ruminal epithelium in a lamb model. *Microbiome*, 7, 83. <https://doi.org/10.1186/s40168-019-0701-y>
 114. Lindemann, M. D. (1996): Organic Chromium – the missing link in farm animal nutrition? *Feeding Times*, 1, 8-16.
 115. Liu, B., Yang, B. (2007): Synthesis and kinetic study on the chromium(III) complex [Cr(ASA)(en)₂]Cl·2H₂O. *Chinese Journal of Chemistry*, 25(12), 1802-1808. <https://doi.org/10.1002/cjoc.200790333>
 116. Liu, Z., Ezernieks, V., Wang, J., Arachchilage, N. W., Garner, J. B., Wales, W. J., Rochfort, S. (2017): Heat stress in dairy cattle alters lipid composition of milk. *Scientific Reports*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-01120-9>
 117. Liu, J., Li, L., Chen, X., Lu, Y., Dong, W. (2019): Effects of heat stress on body temperature, milk production, and reproduction in dairy cows: A novel idea for monitoring and evaluation of heat stress — a review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 32(9), 1332-1339. <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0743>
 118. Lukić, M., Filipović, D., Pecelj, M., Crnogorac, L., Lukić, B., Divjak, L., Vučićević, A. (2021): Assessment of outdoor thermal comfort in serbia's urban environments during different seasons. *Atmosphere*, 12(8), 1084. <https://doi.org/10.3390/atmos12081084>
 119. Ma, F., Liu, J., Li, S., Sun, P. (2024): Effects of *Ionicera japonica* extract with different contents of chlorogenic acid on lactation performance, serum parameters, and rumen fermentation in heat-stressed holstein high-yielding dairy cows. *Animals*, 14(8), 1252. <https://doi.org/10.3390/ani14081252>
 120. Mader, T. L., Davis, M. S., Gaughan, J. B. (2006): Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 84(3), 712–719.
 121. Maggiolino, A., Dahl, G., Bartolomeo, N., Bernabucci, U., Vitali, A., Serio, G., Cassandro, M., Centoducati, G., Santus, E., De Palo, P. (2020): Estimation of maximum thermo-hygrometric index thresholds affecting milk production in Italian Brown Swiss cattle. *Journal of Dairy Science*, 103(9), 8541–8553. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18622>
 122. Maiese, K. (2020): Nicotinamide: Oversight of metabolic dysfunction through SIRT1, mTOR, and clock genes. *Current Neurovascular Research*, 17(6), 765–783. <https://doi.org/10.2174/156720261799920111195232>
 123. Malik, M. I., Jonker, A., Raboisson, D., Song, B., Rashid, M. A., Sun, X. (2024): Effects of dietary chromium supplementation on blood biochemical parameters in dairy cows: A multilevel meta-analytical approach. *Journal of Dairy Science*, 107(1), 301–316. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23545>
 124. McCarty, M. F. (1993): Homologous physiological effects of phenformin and chromium picolinate. *Medical Hypotheses*, 41(4), 316–324. [https://doi.org/10.1016/0306-9877\(93\)90073-y](https://doi.org/10.1016/0306-9877(93)90073-y)
 125. McCarty, M. F. (1996): Chromium and other insulin sensitizers may enhance glucagon secretion: Implications for hypoglycemia and weight control. *Medical Hypotheses*, 46(2), 77–80. [https://doi.org/10.1016/s0306-9877\(96\)90004-3](https://doi.org/10.1016/s0306-9877(96)90004-3)
 126. McDonald, P. V., von Keyserlingk, M., Weary, D. M. (2020): Hot weather increases competition between dairy cows at the drinker. *Journal of Dairy Science*, 103(4), 3447–3458. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17456>
 127. McDowell, R. E., Hooven, N. W., Camoens, J. K. (1976): Effects of climate on performance of Holsteins in first lactation. *Journal of Dairy Science*, 59, 965–973.
 128. McNamara, J. P., Valdez, F. (2005): Adipose tissue metabolism and production responses to

- calcium propionate and chromium propionate. *Journal of Dairy Science*, 88, 2498–2507. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72927-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72927-1)
129. Mekonnen, S. A., Alelgn, Z., Saudik, S., Molla, W., Fentie, T., Jemberu, W. T. (2022): Reduced milk production, economic losses, and risk factors associated to subclinical hypocalcemia in holstein friesian × zebu crossbreed cows in north-west ethiopia. *Frontiers in Veterinary Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.771889>
 130. Mertz, W. (1992): Chromium: History and nutritional importance. *Biological Trace Element Research*, 32, 3–8. <https://doi.org/10.1007/BF02784581>
 131. Mertz, W. (1993). Chromium in human nutrition: A review. *Journal of Nutrition*, 123(4), 626–633. <https://doi.org/10.1093/jn/123.4.626>
 132. Mičić, N. (2023): Fenotipska i genetska varijabilnost osobina mlečnosti različitih rasa goveda u uslovima toplotnog stresa. Doktorska disertacija, Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.
 133. Miller-Cushon, E., DeVries, T. (2010): Feeding amount affects the sorting behavior of lactating dairy cows. *Canadian Journal of Animal Science*, 90(1), 1-7. <https://doi.org/10.4141/cjas09047>
 134. Mirzaei, M., Ghorbani, G. R., Khorvash, M., Rahmani, H. R., Nikkhah, A. (2011): Chromium improves production and alters metabolism of early lactation cows in summer. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 95, 81–89. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2010.01007.x>
 135. Moberg, G. P. (2000): Biological response to stress: Implications for animal welfare. In G. P. Moberg & J. A. Mench (Eds.), *The biology of animal stress: Basic principles and implications for animal welfare* (pp. 1–21). CAB International Publishing.
 136. Moreira, P. S. A., Palhari, C., Berber, R. C. A. (2020): Dietary chromium and growth performance animals: A review. *Scientific Electronic Archives*, 13(7). <https://doi.org/10.36560/13720201151>
 137. Morris, D. (1964): Review of Desert Animals: Physiological Problems of Heat and Water by K. Schmidt-Nielsen. *Oryx*, 8(4), 238–239. <https://doi.org/10.1017/S0030605300003264>
 138. Most, M. S., Yates, D. T. (2021). Inflammatory Mediation of Heat Stress-Induced Growth Deficits in Livestock and Its Potential Role as a Target for Nutritional Interventions: A Review. *Animals*, 11(12), 3539. <https://doi.org/10.3390/ani11123539>
 139. Mousavi, F., Karimi-Dehkordi, S., Kargar, S., M. Khosravi-Bakhtiari, M. (2019): Effects of dietary chromium supplementation on calf performance, metabolic hormones, oxidative status, and susceptibility to diarrhea and pneumonia *Animal Feed Science and Technology*. 248, 95-105. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.01.004>
 140. Mowat, D. N. (1994): Organic chromium: A new nutrient for stressed animals. U T. P. Lyons & K. A. Jacques (Ur.), *Biotechnology in the Feed Industry* (275–282). Nottingham University Press.
 141. Muliarta, I. N. (2024): Global warming mitigation innovation through household waste management becomes eco-enzyme: a review. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 10(8), 515-525. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i8.8154>
 142. Mylostyyvi, R., Sejian, V., Izhboldina, O., Kalinichenko, O., Karlova, L., Lesnovskay, O. V., Hoffmann, G. (2021): Changes in the spectrum of free fatty acids in blood serum of dairy cows during a prolonged summer heat wave. *Animals*, 11(12), 3391. <https://doi.org/10.3390/ani11123391>
 143. Narmilan, A., Puvanitha, N., Ahamed, A. S., Santhirakumar, S. (2021): Relationship between temperature-humidity index and milk production of dairy cows in tropical climate. *Asian Journal of Dairy and Food Research*. <https://doi.org/10.18805/ajdfr.dr-213>
 144. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2021): *Nutrient requirements of dairy cattle* (8th rev. ed.). The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25806>
 145. National Center for Biotechnology Information (2025): PubChem Compound Summary for CID 129821077, Cr(III) propionate. Retrieved November 15, 2025 from

https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Cr_III_-propionate

146. National Research Council - NRC (1971): A Guide to Environmental Research on Animals. National Academia of science. Washington, DC.
147. National Research Council NRC (2001): Nutrient Requirements for Dairy Cattle. 7th Rev. edn. National Academies Press, Washington, DC, USA.
148. Neha, Ansari, M. A. (2023): Farmers knowledge of adaptation strategies to mitigate climate change and factors influencing their adoption. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(8), 926–938. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i82030>
149. Nishimura, K., Iitaka, S., Nakagawa, H. (2021): Effect of trivalent chromium on erythropoietin production and the prevention of insulin resistance in HepG2 cells. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 708, 108960. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2021.108960>
150. Noordhuizen, J. (2015): Heat stress in dairy cattle: Major effects and practical management measures for prevention and control. *SOJ Veterinary Sciences*, 1(1), 1-7. <https://doi.org/10.15226/2381-2907/1/1/00103>
151. North, M. A., Franke, J., Ouweneel, B., Trisos, C. H. (2023): Global risk of heat stress to cattle from climate change. *Environmental Research Letters*, 18(9), 094027. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aceb79>
152. Nzotungicimpaye, C., MacIsaac, A. J., Zickfeld, K. (2023): Delaying methane mitigation increases the risk of breaching the 2 °C warming limit. *Communications Earth & Environment*, 4, 250. <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00898-z>
153. Ogawa, N., Saito, M., Mori, A., Sakamoto, K., Kametaka, S., Nakahara, T., Ishii, K. (2007): Vasodilator effect of nicorandil on retinal blood vessels in rats. *Naunyn-Schmiedeberg's Archives of Pharmacology*, 375(5), 323–328. <https://doi.org/10.1007/s00210-007-0165-7>
154. Oh, M. R., Hong, H., Li, H. L., Jeon, B. T., Choi, C., Ding, Y. L., Moon, S. H. (2016): Effects of physically effective neutral detergent fiber content on intake, digestibility, and chewing activity in fattening heifer fed total mixed ration. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 29(12), 1719-1724. <https://doi.org/10.5713/ajas.16.0344z>
155. Oliveira, C. P., Sousa, F. C. d., Silva, A. L. d., Schultz, É. B., Valderrama Londoño, R. I., Souza, P. A. R. d. (2025): Heat Stress in Dairy Cows: Impacts, Identification, and Mitigation Strategies—A Review. *Animals*, 15(2), 249. <https://doi.org/10.3390/ani15020249>
156. Osei-Amponsah, R., Dunshea, F. R., Leury, B. J., Cheng, L., Cullen, B., Joy, A., Chauhan, S. S. (2020): Heat stress impacts on lactating cows grazing australian summer pastures on an automatic robotic dairy. *Animals*, 10(5), 869. <https://doi.org/10.3390/ani10050869>
157. Pecelj, M., Lukić, M., Filipović, D., Protić, B., Bogdanović, U. M. (2020): Analysis of the universal thermal climate index during heat waves in serbia. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20(7), 2021-2036. <https://doi.org/10.5194/nhess-20-2021-2020>
158. Pechova, A., Pavlata, L. (2007): Chromium as an essential nutrient: A review. *Veterinárni medicína (Praha)*, 52(1), 1–18. <https://doi.org/10.17221/2010-VETMED>
159. Peng, Z., Qiao, W., Wang, Z., Dai, Q., He, J., Guo, C., Zhou, A. (2010): Chromium improves protein deposition through regulating the mrna levels of igf-1, igf-1r, and ub in rat skeletal muscle cells. *Biological Trace Element Research*, 137(2), 226-234. <https://doi.org/10.1007/s12011-009-8579-3>
160. Polsky, L., von Keyserlingk, M.A.G (2017): Invited review: effects of heat stress on dairy cattle welfare. *Journal of Dairy Science*, 100(11), 8645-8657. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12651>
161. Raghunandan, T., Sultana, J. R., Chandra, A., Prakash, M. G., Venkateswarlu, M., Ramana, D. (2022): Effect of dietary chromium, vitamin e and selenium supplementation on biochemical and physiological parameters of holstein friesian cows under heat stress. *The Indian Journal of Animal Sciences*, 92(7), 858-864. <https://doi.org/10.56093/ijans.v92i7.109736>
162. Rakib, M. R. H., Zhou, M., Xu, S., Liu, Y., Khan, M. A., Han, B., Gao, J. (2020): Effect of heat stress on udder health of dairy cows. *Journal of Dairy Research*, 87(3), 315-321. <https://doi.org/10.1017/s0022029920000886>

163. Ramón-Moragues A., Carulla P., Mínguez C., Villagrà A., Estellés F. (2021): Dairy cows activity under heat stress: A case study in Spain. *Animals* 11 (8) 2305. <https://doi.org/10.3390/ani11082305>
164. Republički hidrometeorološki zavod. (2025): Godišnji bilten za Srbiju: 2024. godina (20. januar 2025): Odeljenje za monitoring klime i klimatske prognoze Sektor Nacionalnog centra za klimatske promene, razvoj klimatskih modela i ocenu rizika elementarnih nepogoda. <https://www.hidmet.gov.rs/data/klimatologija/ciril/2024.pdf>
165. Rhoads, M., Rhoads, R. P., VanBaale, M., Collier, R., Sanders, S., Weber, W., Baumgard, L. (2009). Effects of heat stress and plane of nutrition on lactating Holstein cows: I. Production, metabolism, and aspects of circulating somatotropin. *Journal of Dairy Science*, 92(5), 1986–1997. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-164>
166. Robinson, P.H. (1998): Feeding strategies for heat-stressed dairy cows during hot dry weather. Cooperative Extension Specialist, University of California, Davis, CA 95616-8521.
167. Roginski, E. E., Mertz, W. (1969): Effects of chromium(III) supplementation on glucose and amino acid metabolism in rats fed a low protein diet. *The Journal of Nutrition*, 97(4), 525–530. <https://doi.org/10.1093/jn/97.4.525>
168. Ryman, V. E., Nickerson, S. C., Tao, S. (2023): Management strategies to reduce heat stress, prevent mastitis, and improve milk quality in dairy cows and heifers. University of Georgia Cooperative Extension. <https://extension.uga.edu/publications/detail.html?number=B1426>
169. Sadri, H., Ghorbani, G. R., Rahmani, H. R., Samie, A. H., Khorvash, M., Bruckmaier, R. M. (2009): Chromium supplementation and substitution of barley grain with corn: Effects on performance and lactation in periparturient dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 92(11), 5411–5418. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2249>
170. Sadri, H., Rahmani, H. R., Khorvash, M., Ghorbani, G. R., Bruckmaier, R. M. (2012): Chromium supplementation and substitution of barley grain by corn: Effects on performance and blood metabolites in periparturient dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 95(12), 7273–7286. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2011.01141.x>
171. Santos, H. P., Aiura, A. L. d. O., Magalhães, G. G. A., Shindy, A. F., Mariany, F., Santana, A. I. C. d., Carvalho, C. B. F. (2019): Behavioral and physiological responses of crossbred holstein-zebu cows and their interaction with the milker in two milking systems. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 7(1), 1-5. <https://doi.org/10.31893/2318-1265jabb.v7n1p1-5>
172. Safwat, A. M., Elnaggar, A. S., Elghalid, O., El-Tahawy, W. S. (2020): Effects of different sources and levels of dietary chromium supplementation on performance of broiler chicks. *Animal Science Journal*, 91(1). <https://doi.org/10.1111/asj.13448>
173. Schüller L. K., Burfeind O., Heuwieser W. (2016): Effect of short- and long-term heat stress on the conception risk of dairy cows under natural service and artificial insemination breeding programs. *Journal of Dairy Science*, 99(4), 2996–3002. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10080>
174. Schütz, K. E., Rogers, A. R., Poulouin, Y. A., Cox, N. R., Tucker, C. B. (2010): The amount of shade influences the behavior and physiology of dairy cattle. *Journal of dairy science*, 93(1), 125-133. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2416>
175. Schwarz, K., Mertz, W. (1959): Chromium (III) and glucose tolerance factor. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 85, 292–295. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(59\)90479-5](https://doi.org/10.1016/0003-9861(59)90479-5)
176. Sejian, V., Bhatta, R., Gaughan, J. B., Dunshea, F. R., Lacetera, N. (2018): Review: Adaptation of animals to heat stress. *Animal*, 12, 431-444. <https://doi.org/10.1017/s1751731118001945>
177. Selye, H. A. (1936): Syndrome produced by diverse noxious agents. *Nature*, 138, 32. <https://doi.org/10.1038/138032a0>
178. Shaani, Y., Nikbachat, M., Yosef, E., Ben-Meir, Y., Mizrahi, I., Miron, J. (2017): Effect of feeding long or short wheat hay v. wheat silage in the ration of lactating cows on intake, milk production and digestibility. *Animal*, 11(12), 2203-2210. <https://doi.org/10.1017/s1751731117001100>

179. Shan, Q., Ma, F. T., Jin, Y. H., Gao, D., Li, H. Y., Sun, P. (2020): Chromium yeast alleviates heat stress by improving antioxidant and immune function in Holstein mid-lactation dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 269, 114635. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114635>
180. Shapasand, M., Alizadeh, A., Yousefi, M., Amini, J. (2010): Performance and physiological responses of dairy cattle to water total dissolved solids (tds) under heat stress. *Journal of Applied Animal Research*, 38(2), 165-168. <https://doi.org/10.1080/09712119.2010.10539504>
181. Shi, R., Dong, S., Mao, J., Wang, J., Cao, Z., Wang, Y., Li, S., Zhao, G. (2023): Dietary Neutral Detergent Fiber Levels Impacting Dairy Cows' Feeding Behavior, Rumen Fermentation, and Production Performance during the Period of Peak-Lactation. *Animals* 13(18), 2876. <https://doi.org/10.3390/ani13182876>
182. Slimen, I. B., Najar, T., Ghram, A., Abdrrabba, M. (2016): Heat stress effects on livestock: Molecular, cellular and metabolic aspects: A review. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 100, 401–412. <https://doi.org/10.1111/jpn.12379>
183. Smith, K. L., Waldron, M., Drackley, J., Socha, M., Overton, T. (2005): Performance of dairy cows as affected by prepartum dietary carbohydrate source and supplementation with chromium throughout the transition period. *Journal of Dairy Science*, 88(1), 255-263. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(05\)72683-7](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(05)72683-7)
184. Smith, K. L., Waldron, M. R., Ruzzi, L. C., Drackley, J. K., Socha, M. T., Overton, T. R. (2008): Metabolism of dairy cows as affected by prepartum dietary carbohydrate source and supplementation with chromium throughout the periparturient period. *Journal of Dairy Science*, 91(5), 2011–2020. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0696>
185. Soltan, M. A. (2010): Effect of dietary chromium supplementation on productive and reproductive performance of early lactating dairy cows under heat stress. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 94, 264–272. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2008.00913.x>
186. Spears, W., Lloyd, K.E., K. Krafka, K. (2017): Chromium concentrations in ruminant feed ingredients *Journal of Dairy Science*, 100, 3584-3590. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12153>
187. Stewart, J.W., Arneson, A.G., Byrd, M.K.H., V.M. Negron-Perez, V.M., Newberne, H.M., White, R.R., El-Kadi, S.W., Ealy, A.D., Rhoads, R.P., Rhoads, M.L. (2022): Comparison of production-related responses to hyperinsulinemia and hypoglycemia induced by clamp procedures or heat stress of lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 105, 8439-8453. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-21922>
188. Stoecker, B. J. (1999): Chromium absorption, safety, and toxicity. *Journal of Trace Elements in Experimental Medicine*, 12(2), 163–169
189. Stojanović, B., Grubić, G., Đorđević, N., Božičković, A. (2009): Fizička forma kabastih hraniva i kompletnog obroka za krave u laktaciji. *Zbornik naučnih radova, Institut PKB Agroekonomik, Beograd.*, 15 (3-4), 47-55.
190. Stojanović, B., Grubić, G., Đorđević, N., Božičković, A., Ivetić, A. (2010): Physically effective fibre in dairy cows nutrition and methods for determination. *Biotechnology in Animal Husbandry, Book 2, Vol.26 (spec. Issue)*, 457-467.
191. Stojanović, B., Grubić, G., Đorđević, N., Božičković, A., Ivetić, A. (2011): Uticaj sadržaja fizički efektivnih vlakana u obroku za mlečne krave na aktivnost žvakanja. *Zbornik naučnih radova Instituta PKB Agroekonomik*, 17, 3-4: 37-48.
192. Stojanović, B., Grubić, G., Đorđević, N., Glamočić, D., Božičković, A., Ivetić, A. (2012): Effects of different levels of physically effective fibers in diets for cows in early lactation. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 10(1): 99-107.
193. Stojanović, B., Grubić, G., Đorđević, N., Božičković, A., Ivetić, A., Davidović, V. (2014a): Effect of physical effectiveness on digestibility of ration for cows in early lactation. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 98(4), 714–721. <https://doi.org/10.1111/jpn.12129>

194. Stojanović, B., Grubić, G., Božičković, A. (2014b): Značaj i efekat fizičke efektivnosti vlakana u obrocima za visokoproduktivne mlečne krave. Poglavlje u monografiji: „Optimizacija tehnoloških postupaka i zootehničkih resursa na farmama u cilju unapređenja održivosti proizvodnje mleka“, str. 121-136, Univerzitet u Beogradu Poljoprivredni fakultet, Beograd.
195. Stojković, B., Stojanović, B., Đorđević, N., Davidović, V. (2023): Effect of elevated heat and humidity on chewing activity, yield and chemical composition of milk in lactating cows. In Proceedings of the International Symposium on Biotechnology (1st), Faculty of Agriculture, Čačak.
196. Stojković, B., Stojanović, B., Davidović, V., Ignjatović, A., Ivetić, A., Simunović, S., Grujičić, I. (2025): Effect of chromium propionate supplementation on lactation performance and blood parameters of Simmental cows in mid-lactation under heat stress. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 85(2), 268–276. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392025000200268>
197. Subiyatno A, Mowat D. N, Yang W. Z (1996): Metabolite and hormonal responses to glucose or propionate infusions in periparturient dairy cows supplemented with chromium. *Journal of Dairy Science*, 79, 1436–1445. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(96\)76502-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(96)76502-5)
198. Sumner, J. M., Valdez, F., McNamara, J. P. (2007): Effects of chromium propionate on response to an intravenous glucose tolerance test in growing Holstein heifers. *Journal of Dairy Science*, 90(7), 3467–3474. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-623>
199. Tao, S., Orellana R. M., Weng X., Marins T. N., Dahl G. E., Bernard J. K. (2018): Symposium review: The influences of heat stress on bovine mammary gland function. *Journal of Dairy Science*, 101(6), 5642–5654. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13727>
200. Tošić, I., Putniković, S., Tošić, M., Lazić, I. (2021): Extreme temperature events in serbia in relation to atmospheric circulation. *Atmosphere*, 12(12), 1584. <https://doi.org/10.3390/atmos12121584>
201. Twumasi, M. A., Jiang, Y. (2020): The impact of climate change coping and adaptation strategies on livestock farmers' technical efficiency: The case of rural Ghana. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 14386–14400. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11525-1>
202. Unkašević, M., Tošić, I. (2011): The maximum temperatures and heat waves in Serbia during the summer of 2007. *Climatic Change*, 108(1-2), 207-223. <https://doi.org/10.1007/s10584-010-0006-4>
203. Uyeno, Y., Sekiguchi, Y., Tajima, K., Takenaka, A., Kurihara, M., Kamagata, Y. (2010): An rRNA-based analysis for evaluating the effect of heat stress on the rumen microbial composition of Holstein heifers. *Anaerobe*, 16(1), 27–33. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2009.04.006>
204. Vargas-Rodriguez, C. F., Yuan, K., Titgemeyer, E. C., Mamedova, L. K., Griswold, K. E., Bradford, B. J. (2014): Effects of supplemental chromium propionate and rumen protected amino acids on productivity, diet digestibility, and energy balance of peak-lactation dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 97, 3815–3821, 2014. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7767>.
205. Venjakob, P., Pieper, L., Heuwieser, W., Borchardt, S. (2018): Association of postpartum hypocalcemia with early-lactation milk yield, reproductive performance, and culling in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 101(10), 9396-9405. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14202>
206. Viña, C., Fouz, R., Camino, F., Sanjuán, M. L., Yus, E., & Diéguez, F. (2016): Study on some risk factors and effects of bovine ketosis on dairy cows from the galicia region (spain). *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 101(5), 835-845. <https://doi.org/10.1111/jpn.12471>
207. Vincent, J. B. (2000): Elucidating a biological role for chromium at a molecular level. *Accounts of Chemical Research*, 33(7), 503–510. <https://doi.org/10.1021/ar990073r>
208. Vincent, J. B. (2015): Is the pharmacological mode of action of chromium(III) as a second messenger? *Biological Trace Element Research*, 166(1), 7–12. <https://doi.org/10.1007/s12011-015-0231-9>

209. Vujanac, I., Kirovski, D., Bojkovski, J., Prodanović, R., Savić, B., Šamanc, H. (2010): Effect of heat stress on vital signs in high-yield dairy cows. *Veterinarski glasnik*, 64(1–2), 15–24.
210. Vujanac, I., Kirovski, D., Šamanc, H., Prodanović, R. (2011): Glucose concentration and blood acid-basis status in high-yielding dairy cows during heat stress. *Veterinarski glasnik*, 65(5-6), 297–312. <https://doi.org/10.2298/VETGL1106297V>
211. Vujanac, I., Kirovski, D., Šamanc, H., Prodanović, R., Lakić, N., Adamović, M. Valčić, O. (2012): Milk production in high-yielding dairy cows under different environment temperatures. *Large Animal Review*, 18(1), 31-36.
212. Waltner, I., Ribács, A., Gémes, B., Székács, A. (2023): Influence of climatic factors on the water footprint of dairy cattle production in hungary—a case study. *Water*, 15(23), 4181. <https://doi.org/10.3390/w15234181>
213. Wang, J., Yang, K., Cheng, L. (2015): Physiological responses and lactation to cutaneous evaporative heat loss in *Bos indicus*, *Bos taurus*, and their crossbreds. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 28(11), 1558-1564. <https://doi.org/10.5713/ajas.14.0526>
214. Wang, D., Chen, Z., Zhuang, X., Luo, J., Chen, T., Xi, Q., Sun, J. (2020): Identification of circrna-associated-cerna networks involved in milk fat metabolism under heat stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(11), 4162. <https://doi.org/10.3390/ijms21114162>
215. Wang X., Bjerg B. S., Choi C. Y., Zong C., Zang G. (2018): A review and quantitative assessment of cattle-related thermal indices. *Journal of Thermal Biology*, 77, 24-37. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.08.005>
216. Wang, M., Yang, J., Shen, Y., Cheng, P., Li, Y., Cao, Y. (2023): Effects of chromium propionate supplementation on lactation performance, nutrient digestibility, rumen fermentation patterns, and antioxidant status in Holstein cows under heat stress. *Animal Feed Science and Technology*, 305, 115765. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2023.115765>
217. Weeks, M. E. (1932): The discovery of the elements. v. chromium, molybdenum, tungsten and uranium. *Journal of Chemical Education*, 9(3), 459. <https://doi.org/10.1021/ed009p459>
218. Wei, X. S., Cai, C. J., He, J. J., Yu, C., Mitloehner, F., Liu, B. L., Yao, J. H., Cao, Y. C. (2018): Effects of biotin and nicotinamide supplementation on glucose and lipid metabolism and milk production of transition dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 237, 106–117. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.01.012>
219. Wen, Y., Mei, L., Yang, D., Zeng, Y., Zhao, C., Wang, S., Wang, J. (2024): Trivalent chromium ameliorates lipid accumulation and enhances glucose metabolism in the high-nefa environment of bovine hepatocytes by regulating pi3k/akt pathways. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 72(48), 26898-26914. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.4c08118>
220. Weng, H., Zeng, H., Wang, H., Chang, H., Zhai, Y., Li, S., Han, Z. (2024): Differences in lactation performance, rumen microbiome, and metabolome between montbéliarde × holstein and holstein cows under heat stress. *Microorganisms*, 12(8), 1729. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12081729>
221. West, J. W. (1999): Nutritional strategies for managing the heat-stressed dairy cow. *Journal of Animal Science*, 77(Suppl. 2), 21–35. https://doi.org/10.2527/1997.77suppl_221x
222. West, J.W. (2003): Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 86, 2131-2144. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73803-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X)
223. Wheelock, J. B., Rhoads, R. P., VanBaale, M., Sanders, S., Baumgard, L. (2010): Effects of heat stress on energetic metabolism in lactating holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 93(2), 644-655. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2295>
224. White, R., Hall, M. B., Firkins, J., Kononoff, P. (2017): Physically adjusted neutral detergent fiber system for lactating dairy cow rations. I: Deriving equations that identify factors that influence effectiveness of fiber. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 9551–9568. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12765>
225. Widayati, D. T., Paramita, M. A., Dwiviyanti, E., Suranindyah, Y. Y. (2019): Correlation between blood metabolite and reproductive performance of lactating holstein friesland

- crossbred cows in smallholder farmers. *Jurnal Kedokteran Hewan - Indonesian Journal of Veterinary Sciences*, 13(1). <https://doi.org/10.21157/j.ked.hewan.v13i1.13428>
226. Widiastuti, E., Kustono, K., Adiarto, A., Nurliyani, N. (2015): The effect of farm location on physiological conditions and productivity of friesian-holstein crossbreed cows. *Journal of Agricultural Science and Technology A*, 5(3). <https://doi.org/10.17265/2161-6256/2015.03.007>
 227. Wilkin, R. T., Lee, T. R., Sexton, M., Acree, S. D., Puls, R. W., Blowes, D.W., Woods, L. L. (2018): Geochemical and isotope study of trichloroethene degradation in a zero-valent iron permeable reactive barrier: a twenty-two-year performance evaluation. *Environmental Science & Technology*, 53(1), 296-306. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b04081>
 228. Wo, Y., Ma, F., Shan, Q., Gao, D., Jin, Y., Sun, P. (2023): Plasma metabolic profiling reveals that chromium yeast alleviates the negative effects of heat stress in mid-lactation dairy cows. *Animal Nutrition*, 13, 401-410. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.01.012>
 229. Wolfenson, D., Roth, Z. (2019): Impact of heat stress on cow reproduction and fertility. *Animal Frontiers*, 9, 32–38. <https://doi.org/10.1093/af/vfy027>
 230. Wu, Z.Z., Peng, W.C., Liu, J.X., Xu, G.Z., Wang, D.M. (2021): Effect of chromium methionine supplementation on lactation performance, hepatic respiratory rate and anti oxidative capacity in early-lactating dairy cows. *Animal*, 15, 100326. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100326>
 231. Xu, S., Wang, R., Gasser, T., Ciais, P., Peñuelas, J., Balkanski, Y., Zhang, R. (2022): Delayed use of bioenergy crops might threaten climate and food security. *Nature*, 609(7926), 299-306. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05055-8>
 232. Yamamoto, A., Wada, O., Ono, T. (1987): Isolation of a biologically active low-molecular-mass chromium compound from rabbit liver. *European Journal of Biochemistry*, 165(3), 627–631. <https://doi.org/10.1111/j.1432-1033.1987.tb11486.x>
 233. Yang, W. Z., Mowat, D. N., Subiyatno, A., Liptrap, R. M. (1996): Effects of chromium supplementation on early lactation performance of Holstein cows. *Canadian Journal of Animal Science*, 76, 221–230. <https://doi.org/10.4141/cjas96-034>
 234. Yano, A. A., Adiarto, Widayati, D. T. (2018): Application of a tunnel-ventilated barn on the physiological responses, milk yield, and dry matter intake of dairy cows in tropical area during the wet season. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 6(4), 97–101. <https://doi.org/10.31893/2318-1265jabb.v6n4p97-101>
 235. Yari M., Nikkhah A., Alikhani M., Khorvash M., Rahmani H., Ghorbani G. R.(2010): Physiological calf responses to increased chromium supply in summer. *Journal of Dairy Science*, 93, 4111–4120. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2568>
 236. Yasui, T., Mcart, J. A., Ryan, C. M., Gilbert, R. O., Nydam, D. V., Valdez, F., Griswold, K. E., Overton, T. R. (2014): Effects of chromium propionate supplementation during the periparturient period and early lactation on metabolism, performance, and cytological endometritis in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 97, 6400–6410. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7796>
 237. Yin, F., Sun, Z., You, L., Müller, D. (2024): Determinants of changes in harvested area and yields of major crops in China. *Food Secur* 16(2):339–351. <https://doi.org/10.1007/s12571-023-01424-x>
 238. Yousef, M.K. (1985): Basic Principles. In: *Stress Physiology in Livestock*, Vol. 1, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
 239. Zade, S., Mani, V., Deka, R. S., Kumar, M., Kaur, H., Kewalramani, N. J., Tyagi, A. K. (2014): Energy metabolites, lipid variables and lactation performance of periparturient Murrah buffaloes (*Bubalus bubalis*) fed on diet supplemented with inorganic chromium. *Biological Trace Element Research*, 159, 115–127. <https://doi.org/10.1007/s12011-014-0010-z>
 240. Zakon o zaštiti životinja, 2009. Službeni glasnik Republike Srbije, 41/2009. Beograd, Srbija.
 241. Zhang, F. J., Weng, X. G., Wang, J. F., Zhou, D., Zhang, W., & Zhai, C. C. (2014): Effects of temperature-humidity index and chromium supplementation on antioxidant capacity, heat

- shock protein 72, and cytokine responses of lactating cows. *Journal of Animal Science*, 92, 3026–3034. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6932>
242. Zhang, X., Pei, W., Deng, W., Du, Y., Qi, Z., Dong, Z. (2015): Emerging smart grid technology for mitigating global warming. *International Journal of Energy Research*, 39(13), 1742-1756. <https://doi.org/10.1002/er.3296>
 243. Zhang, X. Z., Chen, W. B., Wu, X., Zhang, Y. W., Jiang, Y. M., Meng, Q. X., Zhou, Z. M. (2018): Calcium propionate supplementation improves development of rumen epithelium in calves via stimulating G protein-coupled receptors. *Animal*, 12(11), 2284–2291. <https://doi.org/10.1017/S1751731118000289>
 244. Zhao, S., Li, M., Zheng, N., Liu, K. (2019): Effect of heat stress on bacterial composition and metabolism in the rumen of lactating dairy cows. *Animals*, 9(11), 925. <https://doi.org/10.3390/ani9110925>
 245. Zhao, C., Shen, B., Huang, Y., Kong, Y., Tan, P., Zhou, Y., Yang, J., Xu, C., Wang, J. (2023): Effects of chromium propionate and calcium propionate on lactation performance and rumen microbiota in postpartum heat-stressed Holstein dairy cows. *Microorganisms*, 11(7), Article 1625. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11071625>
 246. Zimbelman, R. B., Collier, R. J. (2011): Feeding strategies for high-producing dairy cows during periods of elevated heat and humidity. In *Proceedings of the Tri-State Dairy Nutrition Conference* (111–126). CAB International. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20113168402>

9. PRILOZI

Prilog 1. Homogenost grla na početku eksperimenta

Grupa	Redni broj	Prosečna dnevna proizvodnja	Laktacija po redu
CON	17	28.6	4
CON	25	29.8	4
CON	38	30.9	4
CON	42	33.1	4
CON	43	32.8	4
CON	48	29.1	4
CON	53	27.2	4
CON	64	31.3	3
CON	66	28.4	4
CON	74	31.3	4
CON	83	27.6	4
CON	93	26.2	4
CON	105	27.6	4
CON	108	25.9	4
CON	120	27.7	3
CON	132	29.8	3
CON	134	28.6	3
CON	140	27.9	3
CON	142	27.3	3
CON	145	33.8	3
CON	159	27.3	2
CON	176	23.5	2
CON	196	27.1	1
CON	202	33.5	3
CON	206	31.7	2
CON	238	26.9	1
CON	239	24.8	1
CON	240	33.4	4
CON	246	27.9	1
CON	247	26.1	1
CON	257	23.9	1
CON	260	34.4	1
CON	270	23.1	1
CON	271	34.5	1
CON	283	35.1	2
CrP	9	29.4	4
CrP	13	29.3	4
CrP	22	28.9	4
CrP	23	30.1	3
CrP	24	30.1	3
CrP	34	33.3	4
CrP	36	31.7	4
CrP	51	25.3	3
CrP	57	28.5	3
CrP	62	28.5	3
CrP	70	24.1	4
CrP	86	34.3	4
CrP	94	33.9	4
CrP	103	24.8	3
CrP	121	32.5	3
CrP	122	26.9	3
CrP	126	31.4	3
CrP	128	25.7	3
CrP	129	23.6	3
CrP	135	32.7	3
CrP	138	31.7	3
CrP	141	36.5	3

CrP	143	35.1	3
CrP	144	25.8	3
CrP	147	32.2	3
CrP	177	29.6	1
CrP	231	32	1
CrP	236	30.2	1
CrP	241	26.3	1
CrP	245	28.7	1
CrP	249	29.8	1
CrP	252	30.8	1
CrP	258	23.6	1
CrP	26	19.55	3
CrP	274	22.1	1

Prilog 2. Homogenost grla pre početka eksperimenta – deskriptivna statistika

Group Statistics					
Pokazatelj	Grupa	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Proizvodnja mleka, kg/dan	CON	35	29.1400	3.30865	.55926
	CrP	35	29.1129	3.91632	.66198
Faza laktacije, dana	CON	35	115.8857	73.20550	12.37399
	CrP	35	115.0857	76.86901	12.99323
Laktacija po redu	CON	35	2.7714	1.23873	.20938
	CrP	35	2.7429	1.12047	.18939

Prilog 3. Homogenost grla pre početka eksperimenta – t-test

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Proizvodnja mleka, kg/dan	Equal variances assumed	.534	.468	.031	68	.975	.02714	.86660	-1.70213	1.75641
	Equal variances not assumed			.031	66.154	.0975	.02714	.86660	-1.70300	1.75729
Faza laktacije, dana	Equal variances assumed	.207	.651	0.45	68	.965	.80000	17.94268	-35.00406	36.60406
	Equal variances not assumed			0.45	67.838	.965	.80000	17.94268	-35.00560	36.60560
Laktacija po redu	Equal variances assumed	1.712	.195	.101	68	.920	.02857	.28233	-53482	.59196
	Equal variances not assumed			.101	67.327	.920	.02857	.28233	-53492	.59206

Prilog 4. Prosečna nedeljna konzumacija suve materije obroka (KSM; kg/dan) – deskriptivna statistika

Group Statistics					
Nedelja	Grupa	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
I	CON	7	21.7951	.54029	.20421
	CrP	7	21.7352	.61134	.23107
II	CON	7	21.5748	.58104	.21961
	CrP	7	22.3608	.51252	.19371
III	CON	7	21.0809	.23269	.08795
	CrP	7	22.1261	.42746	.16156
IV	CON	7	21.7173	.30910	.11683
	CrP	7	21.9966	.37213	.14065
V	CON	7	21.8648	.29627	.11198
	CrP	7	22.1075	.63383	.23956
VI	CON	7	21.5005	.38800	.14665
	CrP	7	22.6219	.36708	.13874
VII	CON	7	21.7699	.29071	.10988
	CrP	7	23.3431	.50419	.19057
VIII	CON	7	21.9048	.32414	.12251
	CrP	7	23.9392	.33099	.12510
$\bar{X}$	CON	56	21.6628	.45147	.06033
	CrP	56	22.5491	.84334	.11403

Prilog 5. Prosečna nedeljna konzumacija suve materije obroka (KSM, kg/dan) – t-test

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
I	Equal variances assumed	.416	.531	.194	12	.849	.05988	.30837	-.61200	.73177
	Equal variances not assumed			.194	11.821	.849	.05988	.30837	-.61313	.73289
II	Equal variances assumed	.007	.933	-2.684	12	.020	-.78602	.29284	-1.42406	-.14797
	Equal variances not assumed			-2.684	11.816	.020	-.78602	.29284	-1.42517	-.14686
III	Equal variances assumed	6.220	.028	-5.682	12	.000	-1.04523	.18395	-1.44602	-.64443

	Equal variances not assumed			-5.682	9.269	.000	-1.04523	.18395	-1.45952	-.63093
IV	Equal variances assumed	.636	.441	-1.527	12	.153	-.27926	.18284	-.67764	.11912
	Equal variances not assumed			-1.527	11.609	.153	-.27926	.18284	-.67914	.12061
V	Equal variances assumed	3.052	.106	-.918	12	.377	-.24274	.26444	-.81891	.33343
	Equal variances not assumed			-.918	8.502	.384	-.24274	.26444	-.84633	.36085
VI	Equal variances assumed	.154	.701	-5.555	12	.000	-1.12148	.20188	-1.56134	-.68162
	Equal variances not assumed			-5.555	11.963	.000	-1.12148	.20188	-1.56149	-.68147
VII	Equal variances assumed	4.261	.061	-7.152	12	.000	-1.57317	.21997	-2.05246	-1.09389
	Equal variances not assumed			-7.152	9.592	.000	-1.57317	.21997	-2.06615	-1.08020
VIII	Equal variances assumed	.534	.479	-11.619	12	.000	-2.03445	.17510	-2.41596	-1.65294
	Equal variances not assumed			-11.619	11.995	.000	-2.03445	.17510	-2.41598	-1.65292
$\bar{X}$	Equal variances assumed	12.542	.001	-6.877	110	.000	-.88715	.12901	-1.14282	-.63149
	Equal variances not assumed			-6.877	83.553	.000	-.88715	.12901	-1.14372	-.63059

Prilog 6. Prosečno konzumiranje NEL obroka kod krava u laktaciji, po nedeljama eksperimentalnog perioda (MJ/dan) – deskriptivna statistika

Group Statistics					
Nedelja	Grupa	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
I	CON	7	136.6553	3.38762	1.28040
	CrP	7	136.2799	3.83311	1.44878
II	CON	7	135.2741	3.64315	1.37698
	CrP	7	140.2024	3.21351	1.21459
III	CON	7	132.1774	1.45899	.55144
	CrP	7	138.7309	2.68016	1.01300
IV	CON	7	136.1675	1.93805	.73251
	CrP	7	137.9185	2.33324	.88188
V	CON	7	137.0921	1.85761	.70211
	CrP	7	138.6141	3.97409	1.50206
VI	CON	7	134.8078	2.43276	.91950
	CrP	7	141.8395	2.30158	.86991
VII	CON	7	136.4971	1.82276	.68894
	CrP	7	146.3609	3.16128	1.19485
VIII	CON	7	137.3430	2.03234	.76815
	CrP	7	150.0990	2.07531	.78439
$\bar{X}$	CON	56	135.7518	2.77361	.37064
	CrP	56	141.2556	5.26219	.70319

Prilog 7. Prosečno konzumiranje NEL obroka kod krava u laktaciji, po nedeljama eksperimentalnog perioda (MJ/dan) – t-test

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
I	Equal variances assumed	.416	.531	.194	12	.849	.37546	1.93349	-3.83725	4.58817
	Equal variances not assumed			.194	11.821	.849	.37546	1.93349	-3.84432	4.59524
II	Equal variances assumed	.007	.933	-2.684	12	.020	-4.92832	1.83611	-8.92886	-.92777
	Equal variances not assumed			-2.684	11.816	.020	-4.92832	1.83611	-8.93579	-.92084
III	Equal variances assumed	6.220	.028	-5.682	12	.000	-6.55358	1.15337	-9.06656	-4.04059

	Equal variances not assumed			-5.682	9.269	.000	-6.55358	1.15337	-9.15119	-3.95596
IV	Equal variances assumed	.636	.441	-1.527	12	.153	-1.75098	1.14643	-4.24883	.74686
	Equal variances not assumed			-1.527	11.609	.153	-1.75098	1.14643	-4.25819	.75622
V	Equal variances assumed	3.052	.106	-.918	12	.377	-1.52197	1.65806	-5.13457	2.09063
	Equal variances not assumed			-.918	8.502	.384	-1.52197	1.65806	-5.30648	2.26255
VI	Equal variances assumed	.154	.701	-5.555	12	.000	-7.03168	1.26579	-9.78960	-4.27376
	Equal variances not assumed			-5.555	11.963	.000	-7.03168	1.26579	-9.79054	-4.27282
VII	Equal variances assumed	4.261	.061	-7.152	12	.000	-9.86381	1.37924	-12.86891	-6.85870
	Equal variances not assumed			-7.152	9.592	.000	-9.86381	1.37924	-12.95474	-6.77287
VIII	Equal variances assumed	.534	.479	-11.619	12	.000	-12.75600	1.09787	-15.14806	-10.36394
	Equal variances not assumed			-11.619	11.995	.000	-12.75600	1.09787	-15.14818	-10.36383
$\bar{X}$	Equal variances assumed	11.334	.001	-6.924	110	.000	-5.50386	.79489	-7.07914	-3.92857
	Equal variances not assumed			-6.924	83.370	.000	-5.50386	.79489	-7.08476	-3.92296

Prilog 8. Prosečno konzumiranje SP (kg/dan) kod krava u laktaciji, po nedeljama eksperimentalnog perioda – deskriptivna statistika

Group Statistics					
Nedelja	Grupa	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
I	CON	7	3.1952	.07921	.02994
	CrP	7	3.1864	.08962	.03387
II	CON	7	3.1629	.08518	.03220
	CrP	7	3.2781	.07514	.02840
	CON	7	3.0905	.03411	.01289

III	CrP	7	3.2437	.06267	.02369
IV	CON	7	3.1838	.04531	.01713
	CrP	7	3.2247	.05455	.02062
V	CON	7	3.2054	.04343	.01642
	CrP	7	3.2410	.09292	.03512
VI	CON	7	3.1520	.05688	.02150
	CrP	7	3.3164	.05381	.02034
VII	CON	7	3.1915	.04262	.01611
	CrP	7	3.4221	.07391	.02794
VIII	CON	7	3.2112	.04752	.01796
	CrP	7	3.5095	.04852	.01834
$\bar{X}$	CON	56	3.1740	.06485	.00867
	CrP	56	3.3027	.12304	.01644

Prilog 9. Prosečno konzumiranje SP (kg/dan) kod krava u laktaciji, po nedeljama eksperimentalnog perioda – t-test

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
I	Equal variances assumed	.416	.531	.194	12	.849	.00878	.04521	-.08972	.10728
	Equal variances not assumed			.194	11.821	.849	.00878	.04521	-.08988	.10744
II	Equal variances assumed	.007	.933	-2.684	12	.020	-.11523	.04293	-.20877	-.02169
	Equal variances not assumed			-2.684	11.816	.020	-.11523	.04293	-.20893	-.02153
III	Equal variances assumed	6.220	.028	-5.682	12	.000	-.15323	.02697	-.21199	-.09447
	Equal variances not assumed			-5.682	9.269	.000	-.15323	.02697	-.21397	-.09250
IV	Equal variances assumed	.636	.441	-1.527	12	.153	-.04094	.02680	-.09934	.01746
	Equal variances not assumed			-1.527	11.609	.153	-.04094	.02680	-.09956	.01768

V	Equal variances assumed	3.052	.106	-.918	12	.377	-.03559	.03877	-.12005	.04888
	Equal variances not assumed			-.918	8.502	.384	-.03559	.03877	-.12407	.05290
VI	Equal variances assumed	.154	.701	-5.555	12	.000	-.16441	.02960	-.22889	-.09993
	Equal variances not assumed			-5.555	11.963	.000	-.16441	.02960	-.22891	-.09990
VII	Equal variances assumed	4.261	.061	-7.152	12	.000	-.23063	.03225	-.30089	-.16036
	Equal variances not assumed			-7.152	9.592	.000	-.23063	.03225	-.30290	-.15836
VIII	Equal variances assumed	.534	.479	-11.619	12	.000	-.29825	.02567	-.35418	-.24232
	Equal variances not assumed			-11.619	11.995	.000	-.29825	.02567	-.35418	-.24232
$\bar{X}$	Equal variances assumed	11.334	.001	-6.924	110	.000	-.12869	.01859	-.16552	-.09185
	Equal variances not assumed			-6.924	83.370	.000	-.12869	.01859	-.16565	-.09172

Prilog 10. Relativno učešće PSPS-frakcija i prosečna veličina čestica kompletnih obroka – deskriptivna statistika

Group Statistics					
Pokazatelj	Grupa	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Frakcija I (> 19 mm)	CON	8	12.375	3.73927	1.32203
	CrP	8	11.875	4.88255	1.72624
Frakcija II (8-19 mm)	CON	8	37.000	3.62531	1.28174
	CrP	8	36.000	2.44949	.86603
Frakcija III (4-8 mm)	CON	8	15.250	1.38873	.49099
	CrP	8	15.375	1.59799	.56497
Frakcija IV (< 4 mm)	CON	8	35.500	3.16228	1.11803
	CrP	8	36.375	2.87539	1.01660
Prosečna veličina čestica (mm)	CON	8	6.4188	.52248	.18472
	CrP	8	6.3038	.60460	.21357

Prilog 11. Relativno učešće PSPS-frakcija i prosečna veličina čestica kompletnih obroka – t-test

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Frakcija I (> 19 mm)	Equal variances assumed	1.400	.256	.230	14	.821	.50000	2.17432	-4.16346	5.16346
	Equal variances not assumed			.230	13.110	.822	.50000	2.17432	-4.19335	5.19335
Frakcija II (8-19 mm)	Equal variances assumed	.759	.398	.646	14	.528	1.00000	1.54689	-2.31774	4.31774
	Equal variances not assumed			.646	12.289	.530	1.00000	1.54689	-2.36161	4.36161
Frakcija III (4-8 mm)	Equal variances assumed	.291	.598	-.167	14	.870	-.12500	.74851	-1.73040	1.48040
	Equal variances not assumed			-.167	13.733	.870	-.12500	.74851	-1.73333	1.48333
Frakcija IV (< 4 mm)	Equal variances assumed	.023	.883	-.579	14	.572	-.87500	1.51112	-4.11603	2.36603
	Equal variances not assumed			-.579	13.875	.572	-.87500	1.51112	-4.11876	2.36876
Prosečna veličina čestica (mm)	Equal variances assumed	0.125	0.729	.407	14	.690	.11500	.28237	-.4963	.72063
	Equal variances not assumed			.407	13.715	.690	.11500	.28237	-.49181	.72181

Prilog 12. Relativno učešće PSPS-frakcija i prosečna veličina čestica nekonзумiranih ostataka – deskriptivna statistika

Group Statistics					
Pokazatelj	Grupa	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Frakcija I (> 19 mm)	CON	8	35.8571	13.44654	5.08232
	CrP	8	31.5714	13.10035	4.95147
Frakcija II (8-19 mm)	CON	8	44.4286	7.84978	2.96694
	CrP	8	48.2857	12.91916	4.88298
	CON	8	11.1429	2.85357	1.07855

Frakcija III (4-8 mm)	CrP	8	11.2857	2.36039	.89214
Frakcija IV (< 4 mm)	CON	8	8.4286	5.44234	2.05701
	CrP	8	8.8571	5.87164	2.21927
Prosečna veličina čestica (mm)	CON	8	13.5800	2.83674	1.07219
	CrP	8	12.9171	2.40634	.90951

Prilog 13. Relativno učešće PSPS-frakcija i prosečna veličina čestica nekonзумiranih ostataka – t-test

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Frakcija I (> 19 mm)	Equal variances assumed	.003	.958	.604	12	.557	4.28571	7.09556	-11.17418	19.74561
	Equal variances not assumed			.604	11.992	.557	4.28571	7.09556	-11.17534	19.74677
Frakcija II (8-19 mm)	Equal variances assumed	1.313	.274	-.675	12	.512	-3.85714	5.71369	-16.30620	8.59192
	Equal variances not assumed			-.675	9.899	.515	-3.85714	5.71369	-16.60570	8.89141
Frakcija III (4-8 mm)	Equal variances assumed	.317	.584	-.102	12	.920	-.14286	1.39971	-3.19256	2.90685
	Equal variances not assumed			-.102	11.592	.920	-.14286	1.39971	-3.20449	2.91878
Frakcija IV (< 4 mm)	Equal variances assumed	.086	.775	-.142	12	.890	-.42857	3.02596	-7.02158	6.16444
	Equal variances not assumed			-.142	11.931	.890	-.42857	3.02596	-7.02578	6.16864
Prosečna veličina čestica (mm)	Equal variances assumed	.250	.626	.471	12	.646	.66286	1.40598	-2.40052	3.72623
	Equal variances not assumed			.471	11.689	.646	.66286	1.40598	-2.40958	3.73529

Prilog 14. Prikaz temperature, vlažnosti i Indeksa temperature i vlažnosti – deskriptivna statistika

Statistics				
Pokazatelj	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Temperatura, °C	56	24.7250	1.74958	.23380
Relativna vlažnost vazdaha, %	56	64.9101	9.12671	1.21961
THI	56	76,4528	2.80344	.37463

Prilog 15. Efekat upotrebe hrom-propionata na proizvodnju i hemijski sastav mleka – deskriptivna statistika

Group Statistics					
Pokazatelj	Grupa	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Prinos mleka, kg/dan	CON	1960	27.9131	2.96474	.06697
	CrP	1960	29.1931	3.38858	.07654
4% MKM, kg/dan	CON	56	28.1723	.93469	.12490
	CrP	56	29.3235	.70042	.09360
Sadržaj mlečne masti, %	CON	105	4.0371	.49671	.04847
	CrP	105	4.0547	.43033	.04200
Prinos mlečne masti, kg/dan	CON	56	1.1249	.03739	.00500
	CrP	56	1.1729	.02892	.00374
Sadržaj proteina, %	CON	105	3.4038	.31411	.03065
	CrP	105	3.4324	.31260	.03051
Prinos proteina, kg/dan	CON	56	0.9501	.03152	.00421
	CrP	56	0.9929	.02372	.00317
Sadržaj laktoze, %	CON	105	4.7179	.12873	.01256
	CrP	105	4.7226	.15493	.01512
Prinos laktoze, kg/dan	CON	56	1.3169	.04369	.00584
	CrP	56	1.3662	.03263	.00436
Sadržaj suve materije, %	CON	105	13.2829	1.06484	.10431
	CrP	105	13.2389	.85306	.08325
Prinos suve materije, kg/dan	CON	56	3.7077	.12301	.01644
	CrP	56	3.8297	.09148	.01222
Efikasnost iskorišćavanja hrane	CON	56	1.2897	.04810	.00643
	CrP	56	1.2863	.06743	.00901
Efikasnost iskorišćavanja energije, NEL MJ/kg 4% MKM	CON	56	4.9247	.57231	.01293
	CrP	56	4.9169	.60239	.01361
Efikasnost iskorišćavanja SP, kg/kg SP mleka	CON	56	3.3861	.39351	.00889
	CrP	56	3.3517	.41063	.00928

Prilog 16. Efekat upotrebe hrom-propionata na proizvodnju i hemijski sastav mleka – t-test

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Prinos mleka, kg/dan	Equal variances assumed	35.298	.000	-12.291	3918	.000	-1.24996	.10170	-1.44935	-1.05057
	Equal variances not assumed			-12.291	3850.068	.000	-1.24996	.10170	-1.44935	-1.05057
4% MKM, kg/dan	Equal variances assumed	9.718	.002	-7.376	110	.000	-1.15120	.15608	-1.46051	-.84188
	Equal variances not assumed			-7.376	101.962	.000	-1.15120	.15608	-1.46078	-.84161
Sadržaj mlečne masti, %	Equal variances assumed	.778	.379	-.273	208	.785	-.01752	.06414	-.14396	.10892
	Equal variances not assumed			-.273	203.861	.785	-.01752	.06414	-.14398	.10893
Prinos mlečne masti, kg/dan	Equal variances assumed	9.718	.002	-7.376	110	.000	-.04605	.00624	-.05842	-.03368
	Equal variances not assumed			-7.373	101.962	.000	-.04605	.00624	-.05843	-.03366
Sadržaj proteina, %	Equal variances assumed	.065	.799	-.661	208	.510	-.02857	.04325	-.11383	.05669
	Equal variances not assumed			-.661	207.995	.510	-.02857	.04325	-.11383	.05669
Prinos proteina, kg/dan	Equal variances assumed	9.505	.003	-8.122	110	.000	-.04282	.00527	-.05326	-.03237
	Equal variances not assumed			-8.122	102.158	.000	-.04282	.00527	-.05327	-.03236
Sadržaj laktoze, %	Equal variances assumed	4.636	.032	-.237	208	.813	-.00467	.01966	-.04342	.03409
	Equal variances not assumed			-.237	201.246	.813	-.00467	.01966	-.04343	.03409

Prinos laktoze, kg/dan	Equal variances assumed	9.898	.002	-6.757	110	.000	-.04924	.00729	-.06368	-.03480
	Equal variances not assumed			-6.757	101.798	.000	-.04924	.00729	-.06369	-.03478
Sadržaj suve materije, %	Equal variances assumed	.866	.353	.330	208	.741	.04410	.13346	-.21901	.30720
	Equal variances not assumed			.330	198.251	.741	.04410	.13346	-.21908	.30727
Prinos suve materije, kg/dan	Equal variances assumed	10.131	.002	-5.959	110	.000	-.12207	0.2049	-.16267	-.08148
	Equal variances not assumed			-5.959	101.585	.000	-.12207	.02049	-.16271	-.08144
Efikasnost iskorišćavanja hrane	Equal variances assumed	5.506	.021	.303	110	.762	.00335	.01107	-.01858	.02529
	Equal variances not assumed			.303	99.459	.762	.00335	.01107	-.01861	.02531
Efikasnost iskorišćavanja energije, NEL MJ/kg 4% MKM	Equal variances assumed	14.397	.000	.416	110	.678	.00780	.01877	-.02900	.04460
	Equal variances not assumed			.416	99.486	.678	.00780	.01877	-.02900	.04460
Efikasnost iskorišćavanja SP, kg/kg SP mleka	Equal variances assumed	12.223	.000	2.682	110	.070	.03445	.01285	.00927	.05964
	Equal variances not assumed				98.352	.070	.03445	.01285	.00927	.05964

Prilog 17. Rezultati analize prinosa i hemijskog sastava mleka dobijenih u prvoj kontroli mlečnosti – deskriptivna statistika

Group Statistics					
Pokazatelj	Grupa	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Prinos mleka, kg/dan	CON	35	28.7400	2.73498	.46230
	CrP	35	29.6400	2.84576	.48102
4% MKM, kg/dan	CON	35	29.8896	2.84438	.48079
	CrP	35	30.6744	2.94636	.49786
Sadržaj mlečne masti, %	CON	35	4.1643	.58265	.09849
	CrP	35	4.1400	.38111	.06442
Prinos mlečne masti, kg/dan	CON	35	1.1993	.21231	.03589
	CrP	35	1.2230	.12436	.02102
	CON	35	3.3766	.30546	.05163

Sadržaj proteina, %	CrP	35	3.4311	.29189	.04934
Prinos proteina, kg/dan	CON	35	0.9707	.12969	.02192
	CrP	35	1.0150	.11280	.01907
Sadržaj laktoze, %	CON	35	4.7466	.13634	.02305
	CrP	35	4.7251	.17787	.03007
Prinos laktoze, kg/dan	CON	35	1.3641	.13639	.02305
	CrP	35	1.4005	.14568	.02462
Sadržaj suve materije, %	CON	35	13.4489	.88586	.14974
	CrP	35	13.8094	.74936	.12667
Prinos suve materije, kg/dan	CON	35	3.8773	.55013	.09299
	CrP	35	4.0910	.42989	.07267
Efikasnost iskorišćavanja hrane	CON	35	1,3580	.12923	.02184
	CrP	35	1,3574	.13033	.02203
Efikasnost iskorišćavanja energije, NEL MJ/kg 4% MKM	CON	35	4.6561	.42675	.07213
	CrP	35	4.6626	.46909	.07929
Efikasnost iskorišćavanja SP, kg/kg SP mleka	CON	35	3.2516	.43442	.07343
	CrP	35	3.1939	.37767	.06384

Prilog 18. Rezultati analize prinosa i hemijskog sastava mleka dobijenih u prvoj kontroli mlečnosti – t-test

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Prinos mleka, kg/dan	Equal variances assumed	.821	.368	-1.349	68	.182	-.90000	.66716	-2.23129	.43129
	Equal variances not assumed			-1.349	67.893	.182	-.90000	.66716	-2.23133	.43133
4% MKM, kg/dan	Equal variances assumed	.771	.383	-1.138	68	.259	-.78780	.69211	-2.16889	.59329
	Equal variances not assumed			-1.138	67.917	.259	-.78780	.69211	-2.16892	.59329
Sadržaj mlečne masti, %	Equal variances assumed	5.441	.023	.206	68	.837	.02429	.11768	-.21055	.25912
	Equal variances not assumed			.206	58.592	.837	.02429	.11768	-.21123	.25980
Prinos mlečne	Equal variances assumed	8.405	.005	-.570	68	.571	-.02370	.04159	-.10669	.05930

masti, kg/dan	Equal variances not assumed			-.570	54.873	.571	-.2370	.04159	-.10705	.05966
Sadržaj proteina, %	Equal variances assumed	.198	.658	-.764	68	.447	-.05457	.07142	-.19708	.08794
	Equal variances not assumed			-.764	67.860	.447	-.05457	.07142	-.19708	.08794
Prinos proteina, kg/dan	Equal variances assumed	.170	.681	-1.528	68	.131	-.04439	.02905	-.10236	.01359
	Equal variances not assumed			-1.528	66.718	.131	-.04439	.02905	-.10238	.01361
Sadržaj laktoze, %	Equal variances assumed	2.347	.130	.566	68	.573	.02143	.03788	-.05416	.09702
	Equal variances not assumed			.566	63.700	.574	.02143	.03788	-.05426	0.9711
Prinos laktoze, kg/dan	Equal variances assumed	1.122	.293	1.077	68	.285	-.03634	.03373	-.10365	.03097
	Equal variances not assumed			1.077	67.707	.285	-.03634	.03373	-.10365	.03098
Sadržaj suve materije, %	Equal variances assumed	.752	.389	-1.838	68	.070	-.36057	.19613	-.75193	.03079
	Equal variances not assumed			-1.838	66.181	.070	-.36057	.19613	-.75213	.03099
Prinos suve materije, kg/dan	Equal variances assumed	.622	.433	-1.811	68	.076	-.21374	.11801	-.44923	.02175
	Equal variances not assumed			-1.811	64.246	.076	-.21374	.11801	-.44948	.02175
Efikasnost iskorišćavanja hrane	Equal variances assumed	.527	.470	.019	68	.984	.00059	.03102	-.06131	.06250
	Equal variances not assumed			.019	67.995	.984	.00059	.03102	-.06131	.06250
Efikasnost iskorišćavanja energije, NEL MJ/kg 4% MKM	Equal variances assumed	.847	.361	-.061	68	.951	-.00654	.10719	-.22045	.20736
	Equal variances not assumed			-.061	67.401	.951	-.00654	.10719	-.22048	.20739

Efikasnost iskorišćavanja SP, kg/kg SP mleka	Equal variances assumed	.352	.555	.593	68	.555	.05771	.09730	-.13645	.25187
	Equal variances not assumed			.593	66.710	.555	.05771	.09730	-.13652	.25193

Prilog 19. Rezultati analize prinosa i hemijskog sastava mleka dobijenih u drugoj kontroli mlečnosti – deskriptivna statistika

Group Statistics					
Pokazatelj	Grupa	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Prinos mleka, kg/dan	CON	35	28.4943	2.69607	.45572
	CrP	35	30.2800	4.04468	.68384
4% MKM, kg/dan	CON	35	28.0669	2.65663	.44888
	CrP	35	30.3567	4.05679	.68555
Sadržaj mlečne masti, %	CON	35	3.9434	.40576	.06859
	CrP	35	4.0146	.43640	.07377
Prinos mlečne masti, kg/dan	CON	35	1.1265	.17338	.02931
	CrP	35	1.2234	.22898	.03870
Sadržaj proteina, %	CON	35	3.4209	.33697	.05696
	CrP	35	3.4203	.36470	.06181
Prinos proteina, kg/dan	CON	35	0.9727	.12130	.02050
	CrP	35	1.0361	.18280	.03090
Sadržaj laktoze, %	CON	35	4.6931	.11684	.01975
	CrP	35	4.7343	.15236	.02575
Prinos laktoze, kg/dan	CON	35	1.3372	.13063	.02208
	CrP	35	1.4330	.19253	.03254
Sadržaj suve materije, %	CON	35	13.1871	1.00056	.16913
	CrP	35	13.0063	.79985	.13520
Prinos suve materije, kg/dan	CON	35	3.7652	.43935	.07426
	CrP	35	3.9407	.59802	.10108
Efikasnost iskorišćavanja hrane	CON	35	1.2994	.12295	.02078
	CrP	35	1.3711	.18319	.03096
Efikasnost iskorišćavanja energije, NEL MJ/kg 4% MKM	CON	35	4.8673	.45931	.07764
	CrP	35	4.6630	.70898	.11984
Efikasnost iskorišćavanja SP, kg/kg SP mleka	CON	35	3.3529	.40147	.06786
	CrP	35	3.2644	.61919	.10466

Prilog 20. Rezultati analize prinosa i hemijskog sastava mleka dobijenih u drugoj kontroli mlečnosti – t-test

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Prinos mleka, kg/dan	Equal variances assumed	2.581	.113	-2.173	68	.033	-1.78571	.82178	-3.42555	-.14588
	Equal variances not assumed			-2.173	59.224	.034	-1.78571	.82178	-3.42996	-.14147
4% MKM, kg/dan	Equal variances assumed	2.483	.120	-1.922	68	.043	-.07169	.03729	-.14610	.00273
	Equal variances not assumed			-1.922	59.463	.043	-.07169	.03729	-.14630	.00292
Sadržaj mlečne masti, %	Equal variances assumed	.816	.370	-.706	68	.482	-.07114	.10072	-.27217	.12985
	Equal variances not assumed			-.706	67.643	.482	-.07114	.10072	-.27215	.12987
Prinos mlečne masti, kg/dan	Equal variances assumed	1.612	.208	-1.925	68	.058	-.09348	.04855	-.19035	.00340
	Equal variances not assumed			-1.925	63.341	.059	-.09348	.04855	-.19048	.00353
Sadržaj proteina, %	Equal variances assumed	.019	.891	.007	68	.995	.00057	.08406	-.16716	.16830
	Equal variances not assumed			.007	67.550	.995	.00057	.08406	-.16718	.16832
Prinos proteina, kg/dan	Equal variances assumed	2.699	.105	-1.709	68	.092	-.06339	.03708	-.03738	.01061
	Equal variances not assumed			-1.709	59.079	.093	-.06339	.03708	-.13759	.01081
Sadržaj laktoze, %	Equal variances assumed	3.643	.061	-1.268	68	.209	-.4114	.03245	-.10590	.02362
	Equal variances not assumed			-1.268	63.714	.210	-.4114	.03245	-.10598	.02370

Prinos laktoze, kg/dan	Equal variances assumed	1.855	.178	-2.436	68	.017	-.09580	.03933	-.17427	-.01732
	Equal variances not assumed			-2.436	59.830	.018	-.09580	.03933	-.17447	-.01713
Sadržaj suve materije, %	Equal variances assumed	.867	.355	.835	68	.406	.18086	.21652	-.25121	.6129
	Equal variances not assumed			.835	64.855	.406	.18086	.21652	-.25159	.61330
Prinos suve materije, kg/dan	Equal variances assumed	.0284	.596	-1.479	68	.144	-.18551	.12543	-.43580	.06479
	Equal variances not assumed			-1.479	62.423	.144	-.18551	.12543	-.43621	.06519
Efikasnost iskorišćavanja hrane	Equal variances assumed	2.483	.120	-1.922	68	.059	-.07169	.03729	-.14610	.00273
	Equal variances not assumed			-1.922	59.463	.059	-.07169	.03729	-.14630	.00292
Efikasnost iskorišćavanja energije, NEL MJ/kg 4% MKM	Equal variances assumed	1.719	.194	1.431	68	.157	.20432	.14279	-.08061	.48925
	Equal variances not assumed			1.431	58.266	.158	.20432	.14279	-.08148	.49012
Efikasnost iskorišćavanja SP, kg/kg SP mleka	Equal variances assumed	1.547	.218	.710	68	.480	.08851	.12474	-.16040	.33742
	Equal variances not assumed			.710	58.294	.481	.08851	.12474	-.16115	.33817

Prilog 21. Rezultati analize prinosa i hemijskog sastava mleka dobijenih u trećoj kontroli mlečnosti – deskriptivna statistika

Group Statistics					
Pokazatelj	Grupa	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Prinos mleka, kg/dan	CON	35	27.1086	3.11527	.52658
	CrP	35	29.1543	3.18317	.53805
4% MKM, kg/dan	CON	35	27.1086	3.11527	.52658
	CrP	35	29.2272	3.19113	.53940
Sadržaj mlečne masti, %	CON	35	4.0037	.47301	.07995
	CrP	35	4.0094	.46850	.07919
Prinos mlečne masti, kg/dan	CON	35	1.0814	.15539	.02627
	CrP	35	1.1680	.18403	.03111
	CON	35	3.4160	.30623	.05176

Sadržaj proteina, %	CrP	35	3.4437	.28219	.04770
Prinos proteina, kg/dan	CON	35	.9254	.13441	.02272
	CrP	35	1.0065	.14313	.02419
Sadržaj laktoze, %	CON	35	4.7140	.13021	.02201
	CrP	35	4.7082	.13496	.02281
Prinos laktoze, kg/dan	CON	35	1.2790	.16011	.02706
	CrP	35	1.3707	.13387	.02263
Sadržaj suve materije, %	CON	35	12.8700	.68748	.11621
	CrP	35	12.9780	.70198	.11866
Prinos suve materije, kg/dan	CON	35	3.4921	.46216	.07812
	CrP	35	3.7762	.44448	.07513
Efikasnost iskorišćavanja hrane	CON	35	1.2344	.14186	.02398
	CrP	35	1.2296	.13425	.02269
Efikasnost iskorišćavanja energije, NEL MJ/kg 4% MKM	CON	35	5.1527	.66682	.11271
	CrP	35	5.1566	.54799	.09263
Efikasnost iskorišćavanja SP, kg/kg SP mleka	CON	35	3.5599	.58142	.09828
	CrP	35	3.5259	.50748	.08578

Prilog 22. Rezultati analize prinosa i hemijskog sastava mleka dobijenih u trećoj kontroli mlečnosti – t-test

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Prinos mleka, kg/dan	Equal variances assumed	.099	.754	-2.717	68	.008	-2.04571	.75285	-3.54801	-.54342
	Equal variances not assumed			-2.717	67.968	.008	-2.04571	.75285	-3.54802	-.54341
4% MKM, kg/dan	Equal variances assumed	.108	.744	-2.811	68	.006	-2.11860	.75380	-3.62281	-.61439
	Equal variances not assumed			-2.881	67.961	.006	-2.11860	.75381	-3.62283	-.61437
Sadržaj mlečne masti, %	Equal variances assumed	.259	.612	-.051	68	.960	-.00571	.11253	-.23027	.21884
	Equal variances not assumed			-.051	67.994	.960	-.00571	.11253	-.23027	.21884
Prinos mlečne	Equal variances assumed	.611	.437	-2.127	68	.037	-.08660	.04071	-.16784	-.00536

masti, kg/dan	Equal variances not assumed			-2.127	66.142	.037	-.08660	.04071	-.16788	-.00531
Sadržaj proteina, %	Equal variances assumed	.017	.897	-.451	68	.654	-.03171	.07039	-.17217	.10874
	Equal variances not assumed			-.451	67.550	.654	-.03171	.07039	-.17219	.10876
Prinos proteina, kg/dan	Equal variances assumed	.205	.652	-2.415	68	.018	-.08016	.03319	-.14639	-.01394
	Equal variances not assumed			-2.415	67.733	.018	-.08016	.03319	-.14639	-.1393
Sadržaj laktoze, %	Equal variances assumed	.086	.771	.180	68	.857	.00571	.03170	-.05754	.06897
	Equal variances not assumed			.180	67.913	.857	.00571	.03170	-.05754	.06897
Prinos laktoze, kg/dan	Equal variances assumed	.820	.368	-2.598	68	.012	-.09163	.03528	-.16203	-.2124
	Equal variances not assumed			-2.598	65.932	.012	-.09163	.03528	-.16207	-.02120
Sadržaj suve materije, %	Equal variances assumed	.273	.603	-.530	68	.598	-.08800	.16608	-.41941	.24341
	Equal variances not assumed			-.530	67.970	.598	-.08800	.16608	-.41941	.24341
Prinos suve materije, kg/dan	Equal variances assumed	.000	.987	-2.622	68	.011	-.28416	.10839	-.50044	-.06788
	Equal variances not assumed			-2.622	67.897	.011	-.28416	.10839	-.50045	-.06788
Efikasnost iskorišćavanja hrane	Equal variances assumed	.011	.0917	.146	68	.884	.00483	.03301	-.06105	.07071
	Equal variances not assumed			.146	67.794	.884	.00483	.03301	-.06105	.07072
Efikasnost iskorišćavanja energije, NEL MJ/kg 4% MKM	Equal variances assumed	.229	.634	-.027	68	.979	-.00387	.14589	-.29499	.28725
	Equal variances not assumed			-.027	65.539	.979	-.00387	.14589	-.29519	.28745

Efikasnost iskorišćavanja SP, kg/kg SP mleka	Equal variances assumed	.183	.670	.261	68	.795	.03403	.13045	-.22628	.29433
	Equal variances not assumed			.261	66.780	.795	.03403	.13045	-.22637	.29442

Prilog 23. Inicijalno stanje biohemijskih parametara krvi kod krava u ogledu – deskriptivna statistika

Group Statistics					
Pokazatelj	Grupa	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Glukoza, mmol/l	CON	15	3.2627	.27094	.06996
	CrP	15	3.2513	.22841	.05897
Ukupni proteini, g/l	CON	15	74.4867	3.55324	.91744
	CrP	15	72.0400	4.33965	1.12049
Albumini, g/l	CON	15	41.5600	3.10226	.80100
	CrP	15	41.9533	3.24695	.83836
Kalcijum, mmol/l	CON	15	2.2307	.15012	.03876
	CrP	15	2.3220	.12796	.03304
Fosfor, mmol/l	CON	15	1.9147	.26035	.06722
	CrP	15	1.9473	.19222	.04963
Urea, mmol/l	CON	15	5.8313	.79298	.20475
	CrP	15	5.9900	.70568	.18221
Bilirubin, mmol/l	CON	15	2.5520	1.07108	.27655
	CrP	15	2.5420	.62254	.16074
Trigliceridi, mmol/l	CON	15	.1513	.03623	.00910
	CrP	15	.1693	.04464	.01152
AST, U/l	CON	15	80.6677	13.39428	3.45839
	CrP	15	84.9200	12.60800	3.25537
GGT, U/l	CON	15	33.1667	14.04913	3.62747
	CrP	15	29.7867	9.86305	2.54663
BHBA, mmol/l	CON	15	.7707	.53419	.13793
	CrP	15	.6440	.18931	.04888

Prilog 24. Inicijalno stanje biohemijskih parametara krvi kod krava u ogledu – t-test

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Glukoza, mmol/l	Equal variances assumed	2.048	.163	.124	28	.902	.01133	.09150	-.17609	.19876
	Equal variances not assumed			.124	27.221	.902	.01133	.09150	-.17633	.19900

Ukupni proteini, g/l	Equal variances assumed	.268	.609	1.689	28	.102	2.44667	1.44817	-.51978	5.41312
	Equal variances not assumed			1.689	26.951	.103	2.44667	1.44817	-.52499	5.41833
Albumini, g/l	Equal variances assumed	.025	.876	-.339	28	.737	-.39333	1.15950	-2.76847	1.98180
	Equal variances not assumed			-.339	27.942	.737	-.39333	1.15950	-2.76869	1.98202
Kalcijum, mmol/l	Equal variances assumed	.007	.934	-1.793	28	.084	-.09133	.05093	-.19566	.01299
	Equal variances not assumed			-1.793	27.315	.084	-.09133	.05093	-.19578	.01311
Fosfor, mmol/l	Equal variances assumed	1.314	.261	-.391	28	.699	-.03267	.08356	-.20383	.13850
	Equal variances not assumed			-.391	25.767	.699	-.03267	.08356	-.20450	.13917
Urea, mmol/l	Equal variances assumed	.299	.589	-.579	28	.567	-.15867	.27408	-.72009	.40276
	Equal variances not assumed			-.579	27.628	.567	-.15867	.27408	-.72044	.40310
Bilirubin, mmol/l	Equal variances assumed	.597	.446	0.31	28	.975	.01000	.31987	-.64523	.66523
	Equal variances not assumed			0.31	22.490	.975	.01000	.31978	-.65253	.67253
Trigliceridi, mmol/l	Equal variances assumed	1.776	.193	-1.226	28	.230	-.01800	.01468	-.04807	.01207
	Equal variances not assumed			-1.226	26.565	.231	-.01800	.01468	-.04815	.01215
AST, U/l	Equal variances assumed	.013	.908	-.896	28	.378	-4.25333	4.74951	-13.98227	5.47561
	Equal variances not assumed			-.896	27.898	.378	-4.25333	4.74951	-13.98387	5.47721
GGT, U/l	Equal variances assumed	.964	.335	.763	28	.452	3.38000	4.43214	-5.69883	12.4588

	Equal variances not assumed			.763	25.103	.453	3.38000	4.43214	-5.74626	12.5062
BHBA, mmol/l	Equal variances assumed	5.428	.027	.866	28	.394	.12667	.14633	-.17308	.42642
	Equal variances not assumed			.866	17.462	.398	.12667	.14633	-.18145	.43478

Prilog 25. Stanje biohemijskih parametara krvi kod krava u laktaciji na sredini oglednog perioda – deskriptivna statistika

Group Statistics					
Pokazatelj	Grupa	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Glukoza, mmol/l	CON	15	2.8440	.18696	.04827
	CrP	15	3.0207	.27293	.07047
Ukupni proteini, g/l	CON	15	78.3937	3.32859	.85944
	CrP	15	75.7800	4.60112	.98800
Albumini, g/l	CON	15	45.1600	3.50587	.90521
	CrP	15	45.8533	3.5138	.87524
Kalcijum, mmol/l	CON	15	2.3870	.17930	.04630
	CrP	15	2.3913	.15080	.03894
Fosfor, mmol/l	CON	15	1.8137	.22931	.05781
	CrP	15	1.8014	.20003	.05165
Urea, mmol/l	CON	15	5.7306	.91324	.25648
	CrP	15	4.5435	.67260	.18746
Bilirubin, mmol/l	CON	15	2.5507	.90826	.23451
	CrP	15	2.4935	.54496	.15388
Trigliceridi, mmol/l	CON	15	.2220	.04280	.01105
	CrP	15	.02033	.02968	.00766
AST, U/l	CON	15	84.5833	13.2558	3.30014
	CrP	15	85.8614	13.1121	3.28244
GGT, U/l	CON	15	33.4365	9.9236	2.60257
	CrP	15	31.9225	8.5233	2.27691
BHBA, mmol/l	CON	15	.6280	.16458	.04275
	CrP	15	.6093	.18676	.04822

Prilog 26. Stanje biohemijskih parametara krvi kod krava u laktaciji na sredini oglednog perioda – t-test

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Glukoza, mmol/l	Equal variances assumed	1.614	.214	-2.068	28	.048	-.17667	.08542	-.35164	-.00169
	Equal variances not assumed			-2.068	24.768	.048	-.17667	.08542	-.35267	-.00066
Ukupni proteini, g/l	Equal variances assumed	.960	.336	1.600	28	.121	2.34667	1.46628	-.65688	5.35021
	Equal variances not assumed			1.600	25.503	.122	2.34667	1.46628	-.67018	5.36352
Albumini, g/l	Equal variances assumed	.167	.686	-.519	28	.608	-.65333	1.25915	-3.23258	1.92591
	Equal variances not assumed			-.519	27.968	.608	-.65333	1.25915	-3.23271	1.92605
Kalcijum, mmol/l	Equal variances assumed	.331	.570	-.176	28	.861	-.01067	.06049	-.13458	.11325
	Equal variances not assumed			-.176	27.201	.861	-.01067	.06049	-.13474	.11341
Fosfor, mmol/l	Equal variances assumed	.019	.893	-.224	28	.825	-.01733	.07752	-.17613	.14147
	Equal variances not assumed			-.224	27.651	.825	-.01733	.07752	-.17622	.14156
Urea, mmol/l	Equal variances assumed	1.190	.285	3.626	28	.001	1.15200	.31768	.50126	1.80274
	Equal variances not assumed			3.626	25.637	.001	1.15200	.31768	.49855	1.80545
Bilirubin, mmol/l	Equal variances assumed	1.149	.293	.162	28	.873	.04533	.28049	-.52922	.61989
	Equal variances not assumed			.162	24.170	.873	.04533	.28049	-.53335	.62402

Trigliceridi, mmol/l	Equal variances assumed	.970	.333	1.388	28	.176	.01867	.01345	-.00888	.04621
	Equal variances not assumed			1.388	24.938	.177	.01867	.01345	-.00903	.04637
AST, U/l	Equal variances assumed	.000	.997	-.329	28	.744	-1.53333	4.65460	-11.06785	8.00119
	Equal variances not assumed			-.329	27.999	.744	-1.53333	4.56460	-11.06787	8.00120
GGT, U/l	Equal variances assumed	.879	.356	.441	28	.662	1.52667	3.45799	-5.55670	8.61003
	Equal variances not assumed			.441	27.514	.662	1.52667	3.45799	-5.56234	8.61567
BHBA, mmol/l	Equal variances assumed	.018	.893	.445	28	.660	.02867	.06444	-.10334	.16067
	Equal variances not assumed			.445	27.604	.660	.02867	.06444	-.10334	.16076

Prilog 27. Stanje biohemijskih parametara krvi kod krava na kraju oglednog perioda – deskriptivna statistika

Group Statistics					
Pokazatelj	Grupa	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Glukoza, mmol/l	CON	15	2.8380	.18978	.04900
	CrP	15	3.4033	.19212	.04960
Ukupni proteini, g/l	CON	15	71.7333	6.07226	1.56785
	CrP	15	74.5033	4.87801	1.25950
Albumini, g/l	CON	15	39.7600	6.00700	1.55100
	CrP	15	41.0333	4.32446	1.11657
Kalcijum, mmol/l	CON	15	2.2753	.17695	.04569
	CrP	15	2.2467	.15467	.03994
Fosfor, mmol/l	CON	15	2.1480	.18202	.04700
	CrP	15	2.0393	.36687	.09472
Urea, mmol/l	CON	15	6.7440	.77987	.20136
	CrP	15	5.9900	.70568	.18221
Bilirubin, mmol/l	CON	15	2.1807	.43691	.11281
	CrP	15	2.5220	1.04207	.26906
Trigliceridi, mmol/l	CON	15	.1220	.04109	.01061
	CrP	15	.1233	.04562	.01178
AST, U/l	CON	15	71.5333	10.06235	2.59809
	CrP	15	77.3400	13.87159	3.58163
	CON	15	35.4200	7.64014	1.97268

GGT, U/l	CrP	15	31.3000	7.31046	1.88755
BHBA, mmol/l	CON	15	.6867	.13942	.03600
	CrP	15	.4827	.14380	.03713

Prilog 28. Stanje biohemijskih parametara krvi kod krava na kraju oglednog perioda – t-test

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Glukoza, mmol/l	Equal variances assumed	.143	.708	-8.108	28	.000	-.56533	-.56533	-.70816	-.42251
	Equal variances not assumed			-8.108	27.996	.000	-.56533	-.56533	-.70816	-.42250
Ukupni proteini, g/l	Equal variances assumed	2.049	.163	-1.372	28	.181	-2.76000	2.01109	-6.87953	1.35953
	Equal variances not assumed			-1.372	26.757	.181	-2.76000	2.01109	-6.88818	1.36818
Albumini, g/l	Equal variances assumed	3.377	.077	-.666	28	.511	-1.27333	1.9111	-5.18806	2.64139
	Equal variances not assumed			-.666	25.439	.511	-1.27333	1.9111	-5.20589	2.65922
Kalcijum, mmol/l	Equal variances assumed	.152	.700	.472	28	.640	.02867	.06068	-.09564	.15297
	Equal variances not assumed			.472	27.508	.640	.02867	.06068	-.09574	.15307
Fosfor, mmol/l	Equal variances assumed	5.993	.021	1.028	28	.313	.10867	.10574	-.10794	.32527
	Equal variances not assumed			1.028	20.499	.316	.10867	.10574	-.11157	.32890
Urea, mmol/l	Equal variances assumed	1.156	.291	2.777	28	.010	.75400	.27156	.19773	1.31027
	Equal variances not assumed			2.777	27.725	.010	.75400	.27156	.19748	1.31052
Bilirubin,	Equal variances assumed	3.268	.081	-1.170	28	.252	-.34133	.29175	-.93897	.25630

mmol/l	Equal variances not assumed			-1.170	18.775	.257	-.34133	.29175	-.95248	.26981
Trigliceridi, mmol/l	Equal variances assumed	.172	.681	-.084	28	.934	-.00133	.01585	-.03381	.03114
	Equal variances not assumed			-.084	27.700	.934	-.00133	.01585	-.03382	.03115
AST, U/l	Equal variances assumed	2.936	.098	-1.312	28	.200	-5.80667	4.42472	-14.87029	3.25696
	Equal variances not assumed			-1.312	25.539	.201	-5.80667	4.42472	-14.90981	3.29648
GGT, U/l	Equal variances assumed	.497	.487	1.509	28	.142	4.12000	2.73026	-1.47268	9.71268
	Equal variances not assumed			1.509	27.946	.143	4.12000	2.73026	-1.47317	9.71317
BHBA, mmol/l	Equal variances assumed	.044	.835	3.945	28	.000	.20400	.05171	.09807	.30993
	Equal variances not assumed			3.945	27.973	.000	.20400	.05171	.09806	.30994

Prilog 29. Prosečne vrednosti biohemijskih parametara krvi kod oglednih grupa krava za celi ogledni period – deskriptivna statistika

Group Statistics					
Pokazatelj	Grupa	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Glukoza, mmol/l	CON	15	2.9816	.29386	.04381
	CrP	15	3.2256	.27813	.04146
Ukupni proteini, g/l	CON	15	74.7489	5.09191	.75906
	CrP	15	74.0511	4.75225	.70842
Albumini, g/l	CON	15	42.2133	4.85469	.72369
	CrP	15	42.9267	4.16022	.62017
Kalcijum, mmol/l	CON	15	2.2956	.17722	.02642
	CrP	15	2.3200	.15371	.02291
Fosfor, mmol/l	CON	15	1.9778	.29903	.04458
	CrP	15	1.9049	.25773	.03842
Urea, mmol/l	CON	15	6.0609	.97710	.14566
	CrP	15	5.1620	.97623	.14553
Bilirubin, mmol/l	CON	15	2.4578	.85165	.12696
	CrP	15	2.5431	.76300	.11374
	CON	15	.1661	.05759	.00858

Trigliceridi, mmol/l	CrP	15	.1663	.05172	.00771
AST, U/l	CON	15	83.0589	13.37626	1.99402
	CrP	15	78,7644	13,1265	1,95665
GGT, U/l	CON	15	33.6778	10.87460	1.60618
	CrP	15	30.6422	8.87182	1.32253
BHBA, mmol/l	CON	15	.6984	.32981	.04917
	CrP	15	.5787	.18439	.02749

Prilog 30. Prosečne vrednosti biohemijskih parametara krvi kod oglednih grupa krava za celi ogledni period – t-test

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Glukoza, mmol/l	Equal variances assumed	.198	.657	-4.038	88	.000	-.24356	.06032	-.36342	-.12369
	Equal variances not assumed				87.735	.000	-.24356	.06032	-.36343	-.12368
Ukupni proteini, g/l	Equal variances assumed	.964	.329	.653	88	.516	.67778	1.03828	-1.38559	2.74115
	Equal variances not assumed			.653	87.584	.516	.67778	1.03828	-1.38573	2.74128
Albumini, g/l	Equal variances assumed	1.718	.193	-.811	88	.459	-.77333	.95307	-2.66736	1.12069
	Equal variances not assumed			-.811	85.983	.459	-.77333	.95307	-2.66798	1.12131
Kalcijum, mmol/l	Equal variances assumed	.034	.855	-.699	88	.566	-.02444	.03497	-.09394	.04505
	Equal variances not assumed			-.699	86.276	.566	-.02444	.03497	-.09396	.04507
Fosfor, mmol/l	Equal variances assumed	.948	.333	1.239	88	.179	.07289	.05885	-.04406	.18984
	Equal variances not assumed			1.239	86.125	.179	.07289	.05885	-.04410	.18987
Urea, mmol/l	Equal variances assumed	.297	.587	4.366	88	.023	.89889	.20590	.48971	1.30807

	Equal variances not assumed			4.366	88.000	.023	.89889	.20590	.48971	1.30807
Bilirubin, mmol/l	Equal variances assumed	.014	.908	-.559	88	.503	-.09533	.17046	-.43408	.24341
	Equal variances not assumed			-.559	86.958	.503	-.09533	.17046	-.43413	.24347
Trigliceridi, mmol/l	Equal variances assumed	.019	.891	-.019	88	.945	-.00022	.01154	-.02315	.02271
	Equal variances not assumed			-.019	87.004	.945	-.00022	.01154	-.02316	.02271
AST, U/l	Equal variances assumed	.238	.627	-1.383	88	.130	-3.86444	2.79367	-9.41627	1.68738
	Equal variances not assumed			-1.383	87.969	.130	-3.86444	2.79367	-9.41630	1.68741
GGT, U/l	Equal variances assumed	2.093	.152	1.767	88	.131	3.67556	2.08060	-.45921	7.81032
	Equal variances not assumed			1.767	84.874	.131	3.67556	2.08060	-.46133	7.81244
BHBA, mmol/l	Equal variances assumed	2.075	.153	2.126	88	.036	.11978	.05633	.00784	.23172
	Equal variances not assumed			2.126	69.057	.037	.11978	.05633	.00741	.23215

10. BIOGRAFIJA KANDIDATA

Blagoje Stojković, rođen je 28. februara 1994. godine u Beogradu, Republika Srbija. Osnovnu školu „Radojka Lakić” u Beogradu završio je 2009. godine kao nosilac Vukove diplome. Gimnaziju “Sveti Sava”, prirodno - matematičkog smera, završio je 2013. godine sa odličnim uspehom.

Osnovne akademske studije Zootehnike na Poljoprivrednom fakultetu Univerziteta u Beogradu, upisao je školske 2013/2014. godine. Diplomski rad pod nazivom „Proizvodnja hrane i ishrana muznih krava na farmi Mužlai“, odbranio je 29.09.2017. godine sa ocenom 10 (deset), čime je stekao zvanje diplomirani inženjer poljoprivrede. Osnovne studije završio je sa prosečnom ocenom 9,71.

Master akademske studije, upisao je školske 2017/2018. godine na istom fakultetu. Položio je sve ispite propisane studijskim programom Poljoprivrede, modul Zootehnika i 27.09.2018. godine odbranio master rad pod nazivom „Efekti upotrebe inokulanta SIL-ALL MAIZE + FVA pri siliranju kukuruza na farmi Mužlai“ sa ocenom 10 (deset), čime je završio master akademske studije sa prosečnom ocenom 10,00 i stekao zvanje master inženjer poljoprivrede.

Tokom osnovnih i master studija bio je stipendista grada Beograda, Republike Srbije i Fonda za mlade talente Ministarstva omladine i sporta (Dositeja).

Doktorske akademske studije upisao je školske 2018/2019. godine na Poljoprivrednom fakultetu u Beogradu, studijski program Poljoprivredne nauke, modul Zootehnika.

Specijalističke akademske studije, upisao je školske 2020/2021. godine na Poljoprivrednom fakultetu u Beogradu, studijski program Zootehnika. Specijalistički rad pod nazivom „Efekti ambijentalnih uslova na konzumiranje hrane i proizvodne performanse krava u laktaciji“ odbranio je 19.04.2023. godine sa ocenom 10, čime je završio specijalističke akademske studije sa prosečnom ocenom 10.

Od aprila 2019. godine radi kao istraživač-pripravnik na Poljoprivrednom fakultetu, Univerziteta u Beogradu u okviru projekta III-46012 pod nazivom „Istraživanje savremenih biotehnoloških postupaka u proizvodnji hrane za životinje u cilju povećanja konkurentnosti, kvaliteta i bezbednosti hrane“ finansiranog od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Od jula 2022. godine zaposlen je kao asistent na Poljoprivrednom fakultetu, Univerziteta u Beogradu. Uspešno izvodi vežbe na predmetima Tehnologija hrane za životinje, Ishrana nepreživara i Kvalitet hrane za životinje.

Kao autor ili koautor do sada je saopštio i objavio 23 naučna rada na domaćim i međunarodnim naučnim skupovima, kao i u časopisima nacionalnog značaja. Autor je jednog rada objavljenog u međunarodnom časopisu sa SCI liste.

Izjava o autorstvu

Ime i prezime autora: Blagoje Stojković

Broj indeksa: ZO180016

Izjavljujem

da je doktorska disertacija pod naslovom:

EFEKTI KORIĆENJA HROMA U ISHRANI KRAVA SIMENTALSKE RASE TOKOM
LAKTACIJE U USLOVIMA VISOKE SPOLJNE TEMPERATURE

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada;
- da disertacija u celini ni u delovima nije bila predložena za sticanje druge diplome prema studijskim programima drugih visokoškolskih ustanova;
- da su rezultati korektno navedeni i
- da nisam kršila autorska prava i koristila intelektualnu svojinu drugih lica.

Potpis autora

U Beogradu, _____

Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada

Ime i prezime autora: Blagoje Stojković

Broj indeksa: ZO180016

Studijski program: Poljoprivredne nauke

Naslov rada: EFEKTI KORIĆENJA HROMA U ISHRANI KRAVA SIMENTALSKE RASE
TOKOM LAKTACIJE U USLOVIMA VISOKE SPOLJNE TEMPERATURE

Mentor : dr Bojan Stojanović, redovni profesor

Izjavljujem da je štampana verzija mog doktorskog rada istovetna elektronskoj verziji koju sam predao radi pohranjenja u **Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Beogradu**.

Dozvoljavam da se objave moji lični podaci vezani za dobijanje akademskog naziva doktora nauka, kao što su ime i prezime, godina i mesto rođenja i datum odbrane rada.

Ovi lični podaci mogu se objaviti na mrežnim stranicama digitalne biblioteke, u elektronskom katalogu i u publikacijama Univerziteta u Beogradu.

Potpis autora

U Beogradu, _____

Izjava o korišćenju

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku „Svetozar Marković“ da u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu unese moju doktorsku disertaciju pod naslovom:

EFEKTI KORIĆENJA HROMA U ISHRANI KRAVA SIMENTALSKE RASE TOKOM LAKTACIJE U USLOVIMA VISOKE SPOLJNE TEMPERATURE koja je moje autorsko delo.

Disertaciju sa svim prilogima predao sam u elektronskom formatu pogodnom za trajno arhiviranje.

Moju doktorsku disertaciju pohranjenu u Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Beogradu i dostupnu u otvorenom pristupu mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons) za koju sam se odlučila.

1. Autorstvo (CC BY)
2. Autorstvo – nekomercijalno (CC BY-NC)
3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerada (CC BY-NC-ND)
4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima (CC BY-NC-SA)
5. Autorstvo – bez prerada (CC BY-ND)
6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima (CC BY-SA)

Potpis autora

U Beogradu, _____

1. Autorstvo. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence, čak i u komercijalne svrhe. Ovo je najslobodnija od svih licenci.
2. Autorstvo – nekomercijalno. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.
3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerada. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela. U odnosu na sve ostale licence, ovom licencom se ograničava najveći obim prava korišćenja dela.
4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada.
5. Autorstvo – bez prerada. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.
6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada. Slična je softverskim licencama, odnosno licencama otvorenog koda.