

Emisija metana vezana za hranidbeno ponašanje goveda

Horvat, Helena

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:847673>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-05**



Sveučilište Josipa Jurja
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet
agrobiotehničkih
znanosti Osijek**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical
Sciences Osijek - Repository of the Faculty of
Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Helena Horvat

Diplomski studij Zootehnika

Smjer Hranidba domaćih životinja

**EMISIJA METANA VEZANA ZA HRANIDBENO PONAŠANJE
GOVEDA**

Diplomski rad

Osijek, 2022.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Helena Horvat

Diplomski studij Zootehnika

Smjer Hranidba domaćih životinja

**EMISIJA METANA VEZANA ZA HRANIDBENO PONAŠANJE
GOVEDA**

Diplomski rad

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. prof. dr. sc. Pero Mijić, predsjednik
2. izv. prof. dr. sc. Tina Bobić, mentor
3. prof. dr. sc. Zvonimir Steiner, član

Osijek, 2022.

SADRŽAJ

| | |
|---|----|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. STAKLENIČKI PLINOVI | 2 |
| 2.1. Emisija metana | 5 |
| 2.2. Emisija metana u govedarskoj proizvodnji | 6 |
| 2.3. Načini mjerenja emisije metana u govedarskoj proizvodnji | 10 |
| 3. HRANIDBENO PONAŠANJE GOVEDA..... | 13 |
| 3.1. Dužina hranjenja | 14 |
| 3.2. Dužina ležanja/preživanja | 15 |
| 3.3. Temperament | 15 |
| 3.4. Dominacija..... | 16 |
| 4. HRANIDBENO PONAŠANJE GOVEDA U KORELACIJI S EMISIJOM METANA .. | 18 |
| 5. UZGOJNE MJERE KOJE DOPRINOSU SMANJENJU EMISIJE METANA | 26 |
| 5.1. Pобољшanje kvalitete hranidbe | 28 |
| 5.2. Metan inhibitori..... | 29 |
| 5.3. Selekcija | 34 |
| 6. ZAKLJUČAK..... | 36 |
| 7. POPIS LITERATURE | 37 |
| 8. SAŽETAK | 42 |
| 9. SUMMARY..... | 43 |
| 10. POPIS TABLICA..... | 44 |
| 11. POPIS SLIKA..... | 45 |
| 12. POPIS GRAFIKONA..... | 46 |

1. UVOD

Govodarstvo predstavlja najvažniju granu stočarstva gdje su glavni proizvodi mlijeko i meso. U uzgoju goveda bitna stavka je hranidba zbog specifične građe njihovog probavnog sustava. Preživači u svojim predželudcima posjeduju mikroorganizme i enzime koji im omogućuju razgradnju i iskorištavanje hrane koju drugi sisavci ne mogu probaviti. Tijekom procesa probave kod preživača stvaraju se velike količine plinova u probavnom sustavu koje životinja mora izbaciti, a ti plinovi imaju negativno djelovanje na okoliš. Najznačajniji plin koji se proizvodi u probavnom sustavu goveda je metan (CH_4) koji se ubraja u stakleničke plinove, a doprinosi stvaranju efekta staklenika.

Radi očuvanja okoliša, gdje god je to moguće, želi se postići smanjenje proizvodnje stakleničkih plinova te pomoću raznih metoda se želi smanjiti emisija metana u govedarskoj proizvodnji. U uzgoju goveda se može izravno preko hranidbe utjecati na smanjenje emisije metana, poboljšanjem same kvalitete obroka se može znatno smanjiti stvaranje plinova u probavnom sustavu, te veliki značaj ima dodavanje metan inhibitora u hranidbu goveda za koje je zaključeno da uvelike doprinose smanjenju emisije metana. U govedarstvu postoje tri sustava držanja krava kod kojih su uočene varijacije prosječne emisije stakleničkih plinova na što utječu čimbenici kao što su težina pri klanju, niža dob teljenja, kraće vrijeme do klanja i niža stopa smrtnosti te bolja kvaliteta hrane u mješovitim sustavima uzgoja. Svaki navedeni čimbenik doprinosi ukupnoj emisiji metana i svi su međusobno povezani kod zbroja ukupne količine metana na kraju uzgojnog ciklusa. Da bi se smanjila ukupna emisija metana potrebno je životinjama osigurati najbolje uvijete držanja i hranidbe kako bi se postigla što veća produktivnost životinje a smanjila emisije metana.

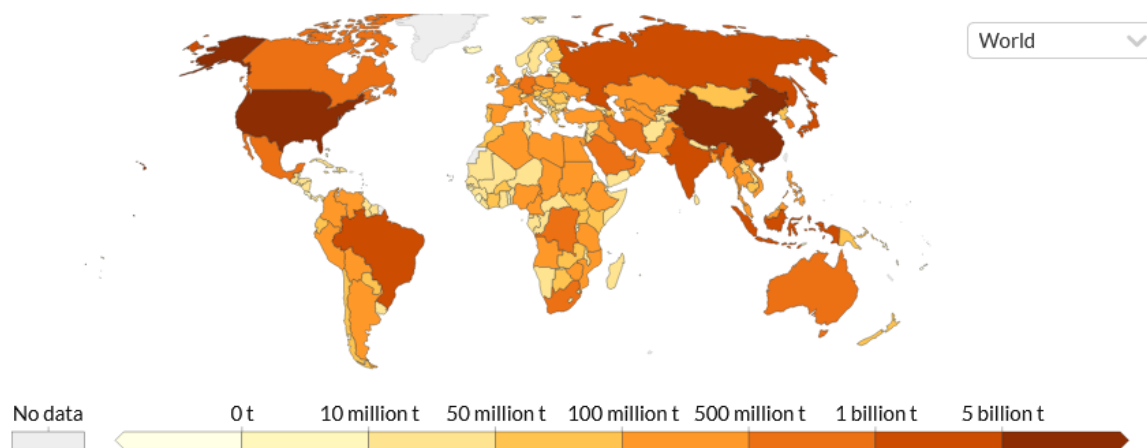
Cilj ovoga rada bio je prikazati različito hranidbenog ponašanje koji uključuje broj i dužinu obroka, hranidbenu učinkovitost, temperament, dominaciju u odnosu na emisiju metana, te prikazati određene smjernice u uzgoju koji mogu doprinijeti smanjenju emisije metana.

2. STAKLENIČKI PLINOVİ

Plinovi koji u atmosferi apsorbiraju zračenje nazivaju se staklenički plinovi jer su oni uglavnom odgovorni za efekt staklenika i globalno zatopljenje. Najznačajniji staklenički plinovi su vodena para (H₂O), ugljični dioksid (CO₂), metan (CH₄) i dušikov oksid (N₂O). Pojedini staklenički plinovi imaju različita svojstva zračenja te sukladno tome različito doprinose efektu staklenika i emisija svakog stakleničkog plina se množi sa njegovim stakleničkim potencijalom.

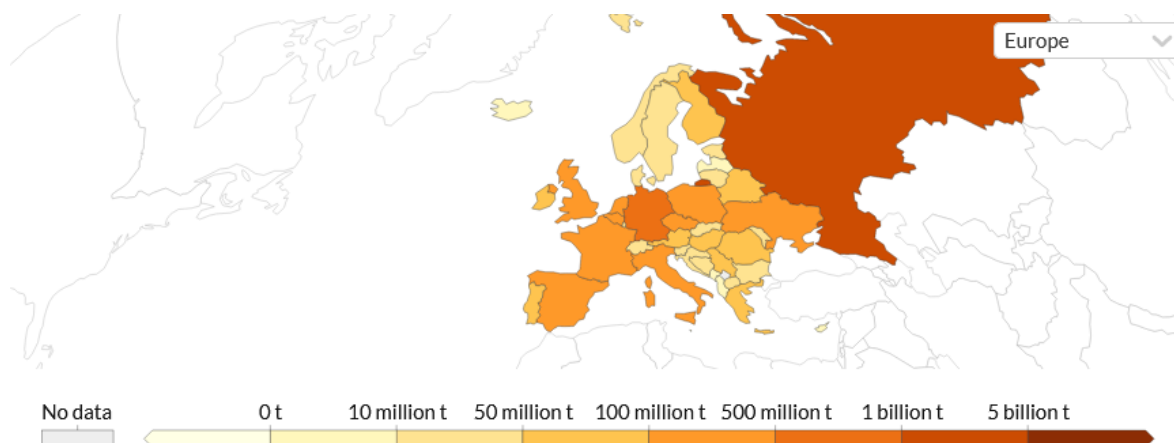
Emisija stakleničkih plinova a koja su posljedica ljudskih djelatnosti dolazi iz energetike, prometa, industrije, poljoprivrede, gospodarenjem otpadom i LULUCF (korištenje zemljišta, prenamjene zemljišta i šumarstvo (LULUCF – engl. Land use, land use change and forestry). Svi navedeni izvori obuhvaćaju proizvodnju stakleničkih plinova kao što su ugljikov dioksid (CO₂), metan (CH₄), dušikov oksid (N₂O), fluorirane ugljikovodike (HFC-e i PFC-e) i sumporov heksafluorid (SF₆) (Delija-Ružić i sur., 2017.).

Prema Global Change Data Lab u 2019. godini na svjetskoj razini u atmosferu je emitirano oko 50 milijardi tona stakleničkih plinova, od čega su najveći zagađivači bili: Kina (12,06 milijardi tona) i Sjedinjene Američke Države (5,77 milijardi tona), a slijede ih Indija (3,36 milijardi tona), Indonezija (1,96 milijardi tona), Rusija (1,92 milijardi tona) i Brasil (1,45 milijardi tona) (Grafikon 1.).



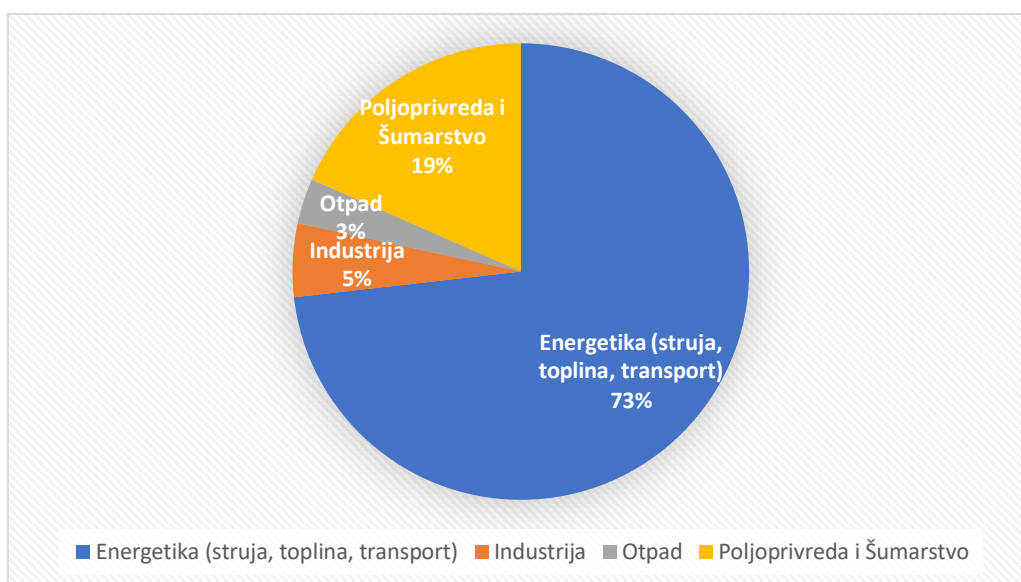
Grafikon 1. Ukupna emisija stakleničkih plinova u svijetu (Global Change Data Lab <https://ourworldindata.org/>)

Na razini Europe prema istom izvoru najveći zagađivači bili su Njemačka sa 720,23 miliona tona proizvedenih stakleničkih plinova a zatim slijede: Ujedinjeno Kraljevstvo (429,13 miliona tona), Italija (376 miliona tona), Francuska (352,1 miliona tona), Poljska (320,23 miliona tona) i Ukrajina (221,29 miliona tona) (Grafikon 2.).



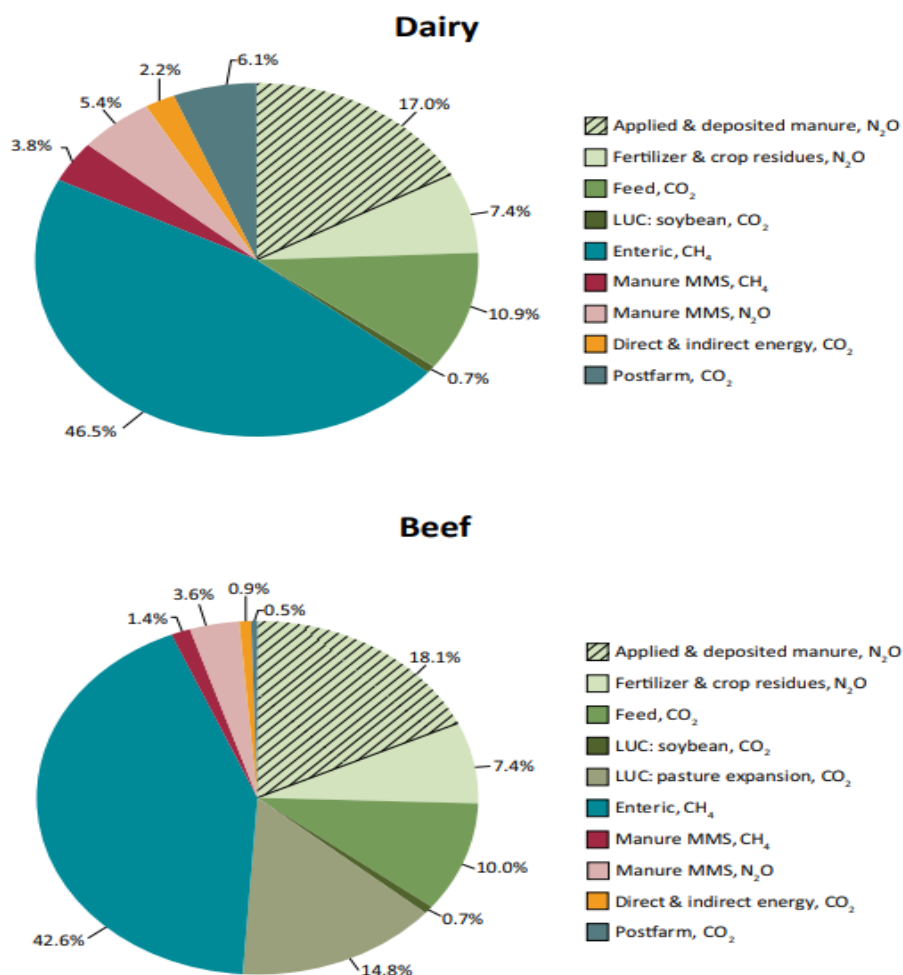
Grafikon 2. Ukupna emisija stakleničkih plinova u Europi (Global Change Data Lab <https://ourworldindata.org/>)

Prema najnovijim podacima (Global Change Data Lab <https://ourworldindata.org/>) najveći izvori stakleničkih plinova dolaze iz područja energetika i sudjeluju sa 73 %, zatim slijedi poljoprivreda i šumarstvo sa 19%, a industrija i otpad sudjeluju sa 5 odnosno 3% (Grafikon 3.).



Grafikon 3. Prikaz izvora stakleničkih plinova (Global Change Data Lab <https://ourworldindata.org/>)

Na stvaranju stakleničkih plinova uvelike utječe govedarska proizvodnja i njihova specifična probava. Tijekom fermentacije u probavnom sustavu preživača nastaje nekoliko plinova. Ugljikov dioksid, vodik, sumporovodik i metan se smatraju najčešćim plinovima (Sahakian i sur., 2009). Opio i sur. (2013.) navode kako na proizvodnju stakleničkih plinova u govedarstvu utječu mliječna i mesna proizvodnja, no iz grafikona 4. sa može vidjeti kako goveda u mliječnoj proizvodnji proizvode nešto više metana tijekom probave hrane. Veći dio emisije stakleničkih plinova mliječnog stada se pripisuje mlijeku što smanjuje emisiju stakleničkih plinova koji se pripisuju mesu koje se dobije kao nusproizvod od mliječnih krava koje predstavljaju višak životinja, dok specijalizirano stado goveda nosi sav teret emisije stakleničkih plinova jer se proizvodi samo jedan proizvod, a reproduktivni troškovi su gotovo isti.



Source: GLEAM

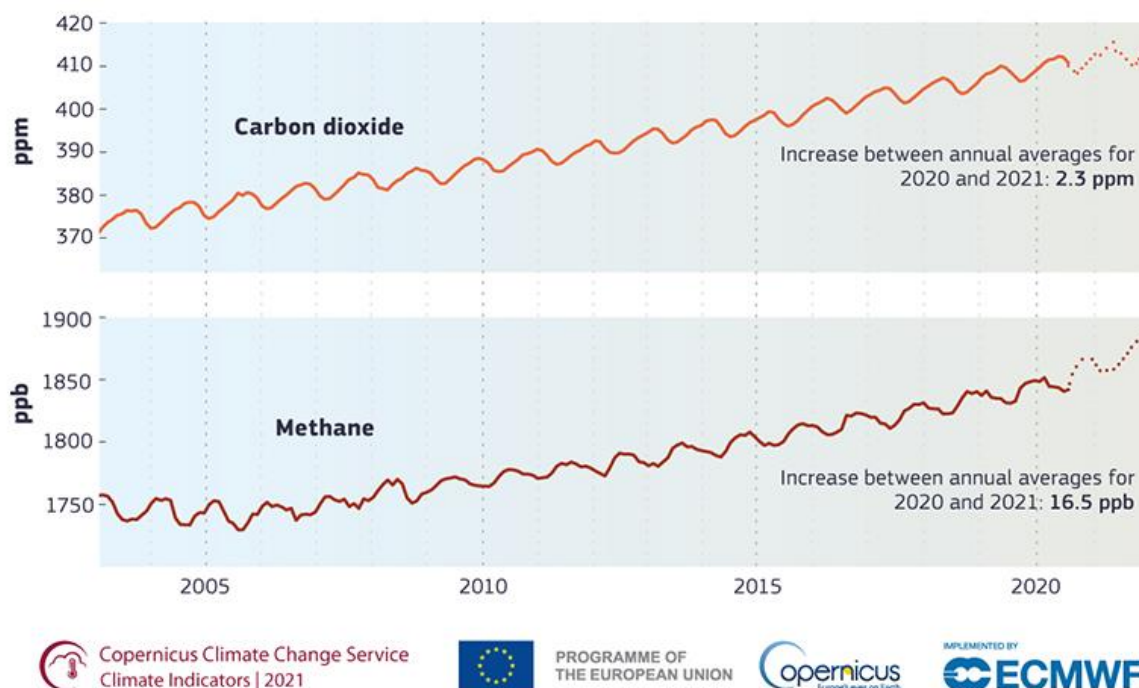
Grafikon 4. Prikaz proizvodnje stakleničkih plinova kod goveda u mliječnoj i mesnoj proizvodnji, Opio i sur. (2013.)

Prema navodima Kulišić (2022.) klimatske politike dovode stočarstvo pred prekretnicu gdje uvrštavanje postupaka za uštedu ili ponor emisija stakleničkih plinova u svakodnevni uzgoj i proizvodnju predstavlja dugoročni i održivi opstanak ruralnih krajeva, bioraznolikost pašnjaka te doprinosi povećanju domaćeg dohotka. Na razini Republike Hrvatske u 2019. godini industrijski sektor doprinio je u ukupnoj nacionalnoj emisiji stakleničkih plinova sa 11.6%, poljoprivredna proizvodnja sa 11,4%, a sektor otpada sa 7,4%, dok LULUCF sa 30,08 % (Švedek i sur., 2021.). Prema izvješću Ministarstva gospodarstva i održivog razvoja iz 2021. godine u navodima Kulišić (2022.) uzgoj junadi je najveći pojedinačni izvor emisija CH₄ s udjelom od 39% ukupnih crijevnih emisija u 2019. godini, a slijede mliječne krave s 36%.

2.1. Emisija metana

Glavni izvor emisije metana u sektoru poljoprivrede su proizvodnja, prerada, transport i aktivnosti korištenja goriva. Dva su najznačajnija izvora emisije metana u sektoru poljoprivrede: crijevna fermentacija u procesu probave preživača (muzne krave predstavljaju najveći izvor) i različiti postupci koji su vezani uz skladištenje i primjenu organskih gnojiva (gospodarenje gnojem) (Švedek i sur., 2017.).

Metan je plin koji najviše doprinosi povećanju efekta staklenika i globalnom zagrijavanju. Metan je plin bez mirisa, bez boje te nije topiv u vodi. Njegova kemijska formula je CH₄, to je plin koji je lako zapaljiv i nije toksičan. Metan je plin koji ima negativno djelovanje na klimatske promjene jer ima sposobnost zadržavanja topline u atmosferi. Kada sunčeve zrake udare o površinu zemlje, dio ovog zračenja vraća se u svemir. Na putu između sunčevih zraka koje dopiru do zemljine površine i povratka u svemir, sunčevo zračenje se sudara sa metanom, čestice metana zadržavaju sunčevo zračenje što dovodi do porasta prosječnih globalnih temperatura.

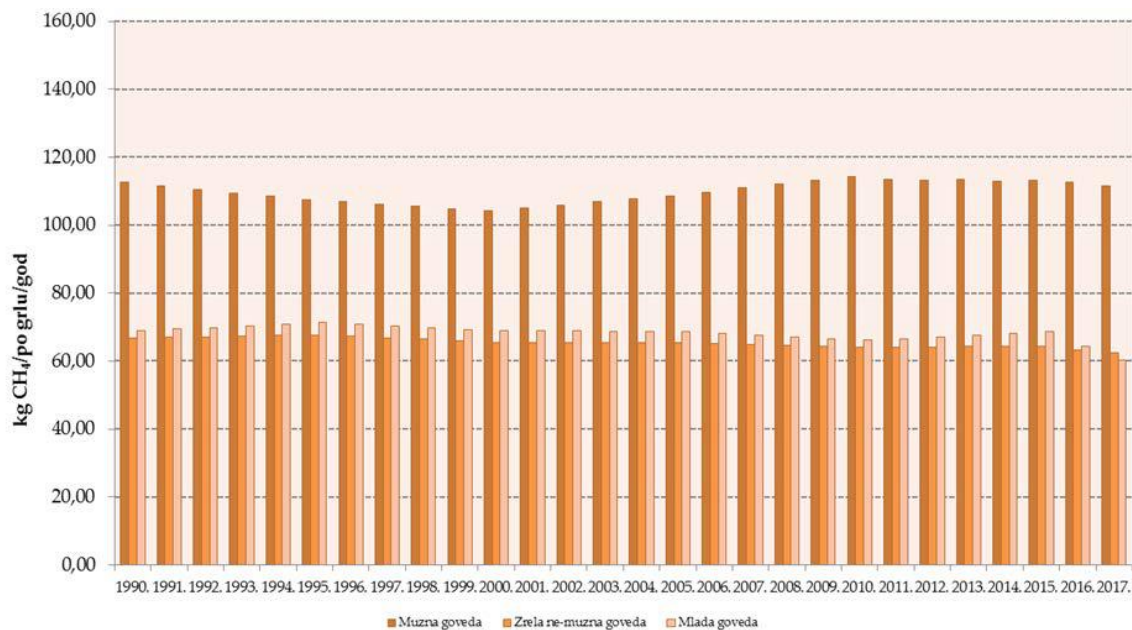


Grafikon 5. Prikaz povećanja emisije CO₂ i CH₄ u razdoblju od 2005. do 2020. godine na području Europe (Državni hidrometeorološki zavod, 2022.)

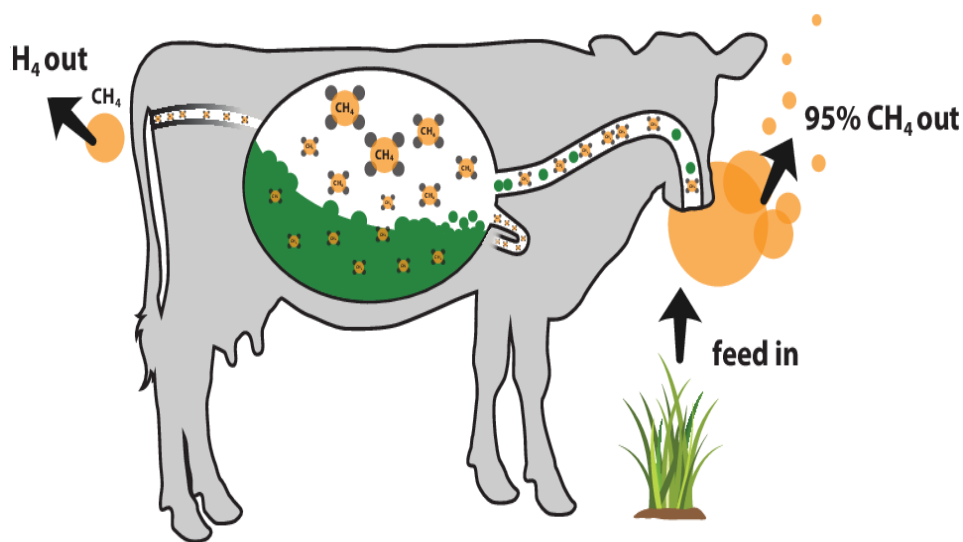
Prema Državnom hidrometeorološkom zavodu (2022.) emisije stakleničkih plinova utječu i na vremenske prilike na području čitavog svijeta. Na grafikonu 5. prikazano je povećanje emisije CO₂ i CH₄ u razdoblju od 2005. do 2020. godine na području Europe, te se povećanje emisije nastavlja i u 2021. godini u koncentraciji od 2,3 ppm za CO₂, te 16,5 ppb za CH₄.

2.2. Emisija metana u govedarskoj proizvodnji

Metan je direktni produkt životinjskog metabolizma. Najveći proizvođači metana su preživači, a količina emitiranog metana ovisi o probavnom traktu životinje, razini unosa hrane, vrsti ugljikohidrata u prehrani, preradi hrane, dodavanju lipida ili jodoforma u obrok ili promjene u mikroflori buraga. Manipulacijom navedenim čimbenicima se može smanjiti emisija metana iz jedinke ili čak skupina životinja. Muzne krave predstavljaju najveći izvor ukupne emisije metana uzrokovane crijevnom fermentacijom i čine oko 47% ukupne emisije te uz njih proizvodnji metana doprinose i ostala goveda koja čine 28% emisije metana. Zajedno je govedarska proizvodnja odgovorna za oko 84% ukupne emisije metana i to iz crijevne fermentacije (Švedek i sur., 2017.). Tijekom 2017. godine a prema izvješću Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja RH iz 2021. muzne krave su proizvele oko 110 kg CH₄ po grlu na godinu, dok su mlada grla i grla koja nisu u proizvodnju mlijeka proizvele oko 70 kg CH₄ po grlu na godinu (Grafikon 6., NIR, 2021.)



Grafikon 6. Emisija metana od zrelih ne-muznih, muznih i mladih goveda (NIR, 2021.)



Slika 1. Emisija metana tijekom procesa probave kod goveda

(<https://www.semanticscholar.org/>)

Roehe i sur. (2016.) ističu kako je mikrobní ekosustav crijeva posebno važan kod preživača zbog svoje sposobnosti pretvaranja neprobavljenog vlaknastog biljnog materijala u apsorbirajuće hranjive tvari. Sa stajališta ekološke i energetske učinkovitosti postoji nedostatak u tome što proces anaerobne mikrobne fermentacije može rezultirati viškom vodika koji metanogena arheja koristi za proizvodnju metana, a zatim eruptira u atmosferu.

Gubitak bruto energije hrane za životinje preko metana je procijenjen od 2 do 12% (Roehle i sur., 2016.).

U probavnom sustavu životinje hrana se podliježe raznim procesima kako bi postala pristupačna životinjskom organizmu. Svim preživačima je zajedničko da imaju složeni želudac koji se sastoji od pravog želuca i predželudaca - buraga, kapure i knjižavca. Proces probave hrane kod preživača se sastoji od nekoliko faza. Prva faza procesa probave je žvakanje hrane, nakon čega se zalogaj natapa slinom i odlazi na procese preživanja, nakon preživanja hrana se razlaže u predželudcima i nakon toga se vrši probava u sirištu te na posljetku probava u crijevima. Usitnjavanje i razgradnja hrane započeto u usnoj šupljini se nastavlja u predželudcima pomoću mikrobne fermentacije.

Preživanje je ponašanje jedinstveno za preživače. Nakon što dobro prožvaču i progutaju hranu, ona se vraća na ponovno žvakanje i gutanje. Dodatnim žvakanjem bolje se razgrađuje celuloza koja bi inače bila neprobavljiva. Pravilno i ujednačeno pokretanje kapure i buraga pomaže u miješanju tek unesene hrane s trenutno prisutnim sadržajem, regurgitaciji sadržaja te eruktaciji plinova kao i prebacivanju sadržaja iz jednog predželudca u drugi, odnosno iz buraga u knjižavac. Kontrakcijama predželudaca se sadržaj premješta u predželudcima, te kontrakcije sudjeluju i u premještanju plinova prema kardiji (Liker, 2020.). Za goveda je normalno da se u 5 minuta dogodi 7 do 12 kontrakcija buraga. Nakon što je zalogaj dobro prožvakan, on biva progutan i dolazi novi zalogaj u usta na preživanje. Kontrakcije buraga su vrlo važne za preživače jer omogućuju podrigivanje, bez kojeg bi došlo do nadama što dovodi do teških poremećaja u životu preživača. Da bi se probava odvijala bez smetnji bitan proces je podrigivanje ili eruktacija pri čemu se izbacuju plinovi iz buraga (Medved, 2021.). Plinovi se u buragu nakupljaju u svodu dorzalne buragove vreće, iznad „buragove splavi“.

Eruktacija se javlja kao vago – vagalni refleks, svake 1-2 minute. Smjesa plinova nakupljena u buragu puni relaksirani jednjak, nakon čega uslijedi zatvaranje donjeg ezofagealnog sfinktera i otvaranje faringoezofagealnog sfinktera i ulaz plinova u ždrijelo. Usta su za vrijeme eruktacije zatvorena, zbog čega plinovi ulaze u traheju i penetriraju duboko u plućno tkivo (tri do sedam puta više eruktiranog plina ulazi u dušnik nego u usta i nos) (Liker, 2015.). Trajanje preživanja ovisi o količini i sastavu obroka. Jedan ciklus preživanja može trajati do 2 sata. Trajanje se može bitno sniziti u hranidbi goveda koncentriranim obrokom ili samljevenom, usitnjenom voluminoznom krmom (3 sata/dan pa i manje). Uznemiravanje

životinje tijekom preživljanja dovodi do prekida ciklusa preživljanja, kao i gladovanje koje traje duži vremenski period. Preživljanje koče i povišena tjelesna temperatura, stres ili bol.

Većina plinova koji nastanu u probavnom sustavu se eliminira putem eruktacije. Prekomjerna evakuacija ili zadržavanje plinova uzrokuje gastrointestinalne poremećaje koji se manifestiraju podrigivanjem, nadutosti i boli. Plinovi kao što su sumporovodik i metan mogu imati aktivne učinke na funkciju crijeva. Mnogi čimbenici utječu na emisiju metana iz goveda u što spada sljedeće: razina unosa hrane, vrsta ugljikohidrata u prehrani, prerada hrane, dodavanje lipida ili ionofora u prehranu i promjene u mikroflori rumena. Manipuliranjem navedenim čimbenicima može se smanjiti emisija metana od goveda. Emisija enteričkog metana u preživača, koji se proizvodi fermentacijom krmiva u buragu i donjem dijelu probavnog trakta predstavlja 2 do 12% bruto energije krmiva i doprinosi globalnom učinku efekta staklenika. Oko 80 milijuna tona CH₄ se godišnje proizvede crijevnom fermentacijom uglavnom od preživača (Wanapat i sur., 2015.).

Cottle i sur. (2011.). u provedenom istraživanju navode količine oslobođenih plinova prama tjelesnoj masi, spolu i proizvodnoj kategoriji životinje (Tablica 1.). Također prikazuju proizvodnju plinova ovisno o vrsti hranidbe te utvrđuju koji način držanja i koja hranidba doprinose smanjenju proizvodnje metana. U Tablici 1. je vidljivo da je emisija metana različita kod mesnih krava, volova i junica. Važna komponenta istraživanja svih ublažavanja emisije su modeliranje sustava cijele farme i životnog ciklusa životinje. Dodatci stočnoj hrani mogu poboljšati stočarsku proizvodnju i smanjiti unos tvari, ali utjecaj uzgoja i obrade ovih dodataka se moraju također uzeti u obzir.

Tablica 1. Pregled emisije enteričkog metana kod tovnih krava, volova i junica (Cottle i sur., 2011.)

| Liveweight (kg) | Nutrition/management | CH ₄ emissions (g/day) | Annual CH ₄ emission (kg/head.year) | Liveweight gain (kg/day) | CH ₄ production (kg CH ₄ /kg liveweight gain) |
|-----------------|---|-----------------------------------|--|--------------------------|---|
| <i>Cows</i> | | | | | |
| 580–600 | Best grazing management – rotational grazing + supplementation | – | 67.5 | – | n.a. |
| 580–600 | Continuous grazing – some restricted access and weight loss | – | 86.0 | – | n.a. |
| 506.2 | Rotationally grazed – lucerne | 246 | 89.7 | – | n.a. |
| 516.2 | Rotationally grazed – grass | 270 | 98.6 | – | n.a. |
| <i>Heifers</i> | | | | | |
| 295–480 | Continuous grazing – some restricted access and weight loss | – | 32 | – | n.a. |
| 295–480 | Rotationally grazing improved pastures | – | 83 | 0.30 | 0.76 |
| 300–350 | Controlled trial – feeding long copped, low-quality tropical hay (Angleton grass) | 94.5 | 34.5 | –0.88 | n.a. |
| 300–350 | Controlled trial – feeding long copped, mid-quality tropical hay (Rhodes grass) | 215 | 78.5 | 0.57 | 0.38 |
| 300–350 | Controlled trial – feeding lucerne hay and grain | 134 | 48.9 | 1.30 | 0.10 |
| 328 | Grain ration | 148.7 | 54.3 | 1.50 | 0.10 |
| 328 | Feedlot forage ration | 134.8 | 49.2 | 1.50 | 0.09 |
| <i>Steers</i> | | | | | |
| 280–700 | Feedlot – Australian typical grain ration | 146 | 53.3 | 1.70 | 0.09 |
| 265–620 | Feedlot – Australian typical grain ration (predominantly sorghum with some oil) | 166 | 60.6 | 1.70 | 0.10 |
| 265–620 | Feedlot – Australian typical grain ration (predominantly sorghum with some oil) | 214 | 78.1 | 1.70 | 0.13 |
| 325 | Strip-grazed on quality ryegrass | 161 | 58.8 | 1.20 | 0.13 |
| 323 | Hill country grazing in New Zealand | 189 | 69.0 | 0.80 | 0.24 |
| 345 | Grazing with supplement | 174 | 63.5 | 0.80 | 0.22 |
| 356 | Grazed (continuous, 2.2 head/ha) | 173 | 63.3 | 1.26 | 0.14 |
| 356 | Grazed (continuous, 1.1 head/ha) | 184 | 67.2 | 1.29 | 0.14 |
| 356 | Grazed (rotational, 2.2 head/ha) | 159 | 58.1 | 1.07 | 0.15 |
| 356 | Grazed (rotational, 1.1 head/ha) | 202 | 73.6 | 1.48 | 0.14 |

2. 3. Načini mjerenja emisije metana u govedarskoj proizvodnji

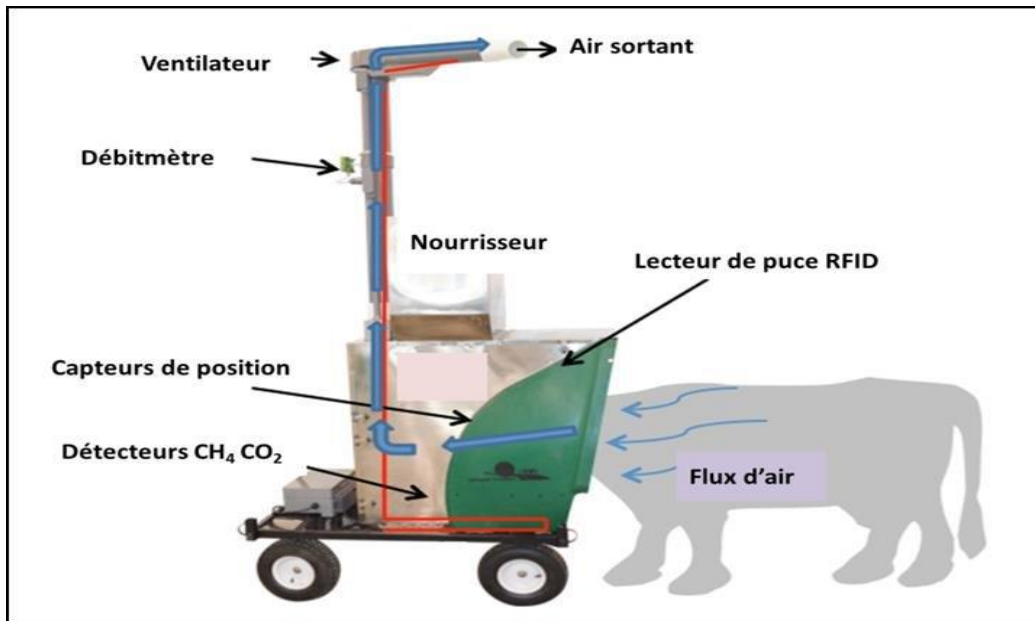
U govedarskoj proizvodnji razvijeno je nekoliko različitih metoda za mjerenje emisije metana što je moguće obavljati unutar štale, ali i pojedinačno kod životinja. Svaka metoda koja je do sada provedena nije bila savršena u svim segmentima mjerenja te svaka ima različite obujme primjene i razlikuju se po cijeni, po primjenjivosti za životinje i prilagođenost za individualno ili grupno mjerenje. Jedna od najčešće primijenjenih metoda mjerenja emisije metana je pomoću respiracijskih komora. Respiracijske komore su korištene za izučavanje energetskeg metabolizma kod životinja, od čega veliki udio zauzima emisija CH₄. Princip rada respiracijske komore je sakupljanje izdahnutog zraka životinje u kojem se mjeri koncentracija CH₄. Pomoću ove metode se uz mjerenje CH₄ još se mjeri: potrošnja O₂, proizvodnja CO₂ te procjena drugih plinova koji se nalaze u tragovima u izdahnutom zraku a potiču proizvodnju topline što omogućuje procjenu brzine metabolizma

cijelog organizma. Životinje u ovoj metodi mjerenja moraju biti naviknute na boravak u komorama gdje im je ograničeno kretanje što je glavni nedostatak i uz to dolazi do odstupanja od uobičajenog konzumiranja hrane od strane životinja što utječe i na ukupnu proizvodnju plinova u probavnom sustavu.

Drugi način mjerenja emisije CO₂ je indirektno mjerenje pomoću metode *in situ SF₆ tragača* (sumporov heksafluorid) odnosno praćenja brzine difuzije sumpor heksaflorida. Ova metoda je prvenstveno za mjerenje emisije CH₄ kod životinja na ispaši kod kojih se mjerenja pomoću komore ne mogu primijeniti.

Osnovni princip ove metode je mogućnost mjerenja emisije CH₄ na osnovu poznavanja stupnja emisije plina za praćenje iz buraga. Kao plin za difuziju se koristi SF₆ koji se aplicira u burag pomoću specijaliziranih cjevčica, čiji se nivo raspršivanja posebno odredi i dovodi do potpune stabilizacije. Sakupljanje eliminiranog zraka se vrši pomoću malog kanistera, ulara i kapilarne cijevi. Kapilarna cijev se postavlja u nos životinje koja je povezana sa kanisterom. Vrijeme sakupljanja traje obično jedan dan. Glavni nedostatak ove metode predstavlja velika varijabilnost u rezultatima mjerenja kako između životinja tako i kod iste životinje tijekom uzastopnih dana, te problem predstavlja i privikavanje životinje na nošenje kompletnog aparata.

Kirovski i sur. (2020.) su predložili alternativnu metodu za određivanje emisije metana da bi se otklonili nedostaci prethodnih metoda mjerenja emisije metana na farmama. Metoda podrazumijeva kontinuiranu analizu udahnuto-izdahnutog zraka iz hranilica u automatskim sustavima za mužnju ili hranilica za koncentrat, tzv. GreenFeed TM metoda. Razvijaju se i suvremene metode mjerenja *in situ* koje podrazumijevaju korištenje senzora za plin u obliku kapsula/bolusa koji mjere koncentraciju CH₄, H₂ i CO₂. Ovi se bolusi apliciraju direktno u burag goveda gdje mjere i omogućuju kontinuirano praćenje proizvodnje plina u stvarnom vremenu. Princip rada ovog bolusa je zasnovan sensorima sa infracrvenom tehnologijom koji imaju mogućnost mjerenja od 0-100% koncentracije plinova te praćenje drugih uvjeta u buragu kao što su temperatura i pH vrijednost.



Slika 2. GreenFeed TM metoda za mjerenje emisije metana

(<https://www.researchgate.net/figure/>)

Uz navedene metode razvijene su i in vitro metode kao što je in vitro gas production technique (IVGPT) koja ima za cilj da se kontroliranom fermentacijom hrane u laboratorijskim uvjetima uz djelovanje prirodne mikroflore buraga odredi količina proizvedenog CH_4 . Ovaj tip ispitivanja traje relativno kratko i rezultati se dobiju relativno brzo. Za izvođenje ove metode uzima se buragova tekućina od krava putem ugrađene buragove fistule ili sondiranjem životinje. Ova metoda se koristi uglavnom za prvo testiranje hranjivih tvari ili određenih aditiva prije nego se daju živoj životinji.

Za određivanje emisije metana još se mogu koristiti statistički modeli za korelaciju koje kao podatak koriste podložnost fermentacije hranjivih tvari koja se koriste u hranidbi krava. Glavni ograničavajući čimbenik primjene ove metode je nemogućnost uključivanja brojnih fizioloških specifičnosti životinja kao i brojnih utjecaja iz vanjske sredine za proizvodnju i emisiju CH_4 u statistički model, a da bi korelacija bila pouzdana (Kirovski i sur., 2020.).

3. HRANIDBENO PONAŠANJE GOVEDA

Govedo kao preživač predstavlja najraznovrsniji tip biljojeda, te je izbor krmiva i način hranjenja usko vezan za njihove specifičnosti anatomske-fiziološkog sustava probavnog trakta. Govedo dnevno pojede svježe trave u količini od 10% tjelesne mase, a preživa $\frac{3}{4}$ vremena provedenog u napasivanju. Gantner i sur. (2020.) ističu kako se sastavljanje obroka za goveda razlikuje od sastavljanja obroka za nepreživače po mnogim karakteristikama, a neke od njih su karakter, količina i kvaliteta krmiva. Goveda se hrane selektivno odabirući određenu vrstu i dijelove biljaka, te poneko lišće voćki, izbjegavaju ispašu na vlažnim područjima na kojima biljke sadrže nizak udio bjelančevina i visok udio vlakana. Goveda kao preživači imaju mogućnost podmirivanja potreba u hranjivim tvarima iz voluminoznih krmiva i nusproizvoda jednogodišnjeg bilja što druge vrste životinja ne mogu postići od istih krmiva. U hranidbi goveda velik dio obroka kod odraslih kategorija čine voluminozna krmiva, no ona moraju biti dopunjena i koncentriranim krmivima, posebice u uvjetima intenzivne stočarske proizvodnje. Sva biljna krmiva koja se proizvode na oranicama i trajnim travnjacima se mogu podijeliti na voluminozna i koncentrirana prema sadržaju sirovih vlakana i sadržaju suhe tvari. Prema navodima Gantner i sur. (2020.) ukoliko je sadržaj sirovih vlaknina u suhoj tvari krmiva 16% i više krmivo se smatra voluminoznim, a ako je niži od 16% tada se krmivo smatra koncentriranim. Za sastavljanje kvalitetno izbalansiranog obroka za hranidbu goveda postoje orijentacijske preporuke o udjelu pojedinih krmiva kako bi se održala pozitivna produktivnost, dobro zdravstveno stanje i kako bi se snizili troškovi same proizvodnje. Domaćinović (1999.) ističe da u obroku za goveda udio zelene voluminozne krme i silaže bi trebao biti 1,5 – 2 kg, suhe voluminoze 0,8 – 2,2 kg, a koncentrirana krmiva i njihove smjese sa udjelom 0,8 – 1,7 kg suhe tvari na 100 kg tjelesne mase životinje. Iako životinje nikada ne konzumiraju čistu suhu tvar krmiva, potrebe za konzumacijom se najčešće izražavaju u suhoj tvari jer je sadržaj vode u krmivima vrlo promjenjiv i nema hranidbenu vrijednost. Očekivana konzumacija suhe tvari kod goveda raste s povećanjem tjelesne mase i s povećanjem proizvodnosti. Za postizanje maksimalnog kapaciteta proizvodnje farmeri pokušavaju što više povećati konzumaciju hranjivih tvari, ali maksimalna dnevna konzumacija suhe tvari ograničena je kapacitetom buraga i kvalitetom krmiva (Gantner i sur., 2020.). Domaćinović M. (1999.) savjetuje da obrok za goveda bude prilagođen potrebama životinje ovisno o proizvodnom stadiju te određenoj kategoriji životinje i potrebu je poznavati hranjivu vrijednost krmiva. Da bi govedo preko hranidbe zadovoljilo sve svoje proizvodne i produktivne potrebe obroci moraju biti količinski dovoljni, dobro uravnoteženi, ukusni, raznovrsni, ekonomični, dovoljno voluminozni i laksativni,

jednostavni pri rukovanju te da ne sadrže štetne i toksične tvari (Domaćinović, 1999.). Visoko proizvodna grla imaju potrebu konzumirati obrok bogat energijom i bjelančevinama dok su zasušenim kravama dovoljni za njihove uzdržne potrebe dnevni obroci slabije kvalitete. Visokoproizvodnim grlima kako bi smo ostvarili njihov maksimum treba omogućiti visokokvalitetnu krmu kao na primjer ispaša mladom travom, sjenaža ili sijeno djetelinsko-travne smjese košene do pupanja djetelina i do kraja vlatanja trava, smjesa silaže kukuruza i sijena lucerne košene do pupanja, a za zasušena grla se kroiste lošija voluminozna krmiva koja mogu podmiriti njihove potrebe kao što su ispaša na starijoj travnoj masi, livadno sijeno, sijeno djetelinsko travne smjese košene u kasnijim razvojnim fazama, čak i s udjelom slame u dnevnom obroku (Gantner i sur., 2020.).

3.1. Dužina hranjenja

Ponašanje goveda pri hranjenju ovisi o tome hrane li se životinje na paši ili u staji. Prosječno vrijeme hranjenja u staji iznosi 4-6 sati, a kod životinja koje slobodno pasu na pašnjaku vrijeme hranjenja traje 6-10 sati dnevno. Vrijeme trajanja ispaše ovisi i o pasmini goveda, klimi te kvaliteti vegetacije. Goveda na pašnjaku u ljetnim danima mogu provesti i do 17 sati dnevno, dok se to vrijeme zimi znatno smanjuje na tek 5 sati. Trajanje hranjenja ovisi i o dostupnosti hrane. Na pašnjacima je hrana dostupna svakom grlu u stadi istodobno, a kod hranjenja u staji dostupnost hrane je ograničena prostorom i hijerarhijskim poretkom (Vučemilo i sur., 2019.). Životinje najintenzivnije pasu u jutarnjim i večernjim satima, a slabije danju, posebice tijekom ljetnih mjeseci kada se zbog visokih temperatura i smanjuje unos hrane. Goveda na pašnjacima mogu preći i do nekoliko kilometara dnevno, a na pašnjaku se hrane na način da travu čupaju jezikom. Prije gutanja žvaču zalogaj 50 do 80 puta u minuti. Zbog navedenog specifičnog načina napasivanja goveda ne mogu pasti travu koja je na pašnjaku kraća od 1,5 cm te je uobičajena visina travnjaka 5 i više cm.

3.2. Dužina ležanja/preživanja

Drijemanje, spavanje i preživanje goveda traju u prosijeku i do 12 sati dnevno. Ako vrijeme ne provode hraneći se onda ga provode uglavnom odmarajući se. Prekid ležanja ima neaktivan utjecaj na životinju, njezinu dobrobit i proizvodnju. Razdoblje ležanja kod goveda ovisi o hranidbi, zdravstvenom stanju, udobnosti u staji, gravidnosti, izvedbi pada te o klimatskim čimbenicima. Govedo prije nego što zauzme ležeći položaj istražuje područje koje bi joj odgovaralo za smještaj, a leže gotovo uvijek na specifičan način tako da drže noge skupljene ispod abdomena. Krave izbjegavaju prljava, vlažna i bučna mjesta na kojima ih se ometa tijekom ležanja. Akt ležanja će se produžiti ukoliko dođe do određenih zdravstvenih smetnji kao što su oteknuće zglobova, jer životinja osjeća nelagodu i bol. Mliječne krave tijekom dana liježu 6-13 puta tijekom dana u razdoblju od 55 do 90 minuta. Razdoblja odmaranja se produljuju kod krava koje imaju stalan pristup hranidbi i napajanju tijekom dana. Na poziciju lažanja u ležištu utječe veličina životinje te je zabilježeno da veće životinje češće neudobno leže od manjih jedinki (Dejanović i sur., 2015.).

3.3. Temperament

Goveda se smatraju životinjama mirnog temperamenta, no u svakom stadu se može naći i govedo koje odstupa od ostatka stada pa tako i po temperamentu. Temperament je potvrđen kao dosljedna osobina koja se može lako procijeniti na farmi izravnim opažanjem. Prema temperamentu možemo ih klasificirati na jako nervozne, lagano nervozne i one koje nisu nervozne. Kada se dogodi stresna situacija ona djeluje na temperament životinje jer je on povezan sa fiziološkim reakcijama na stres. Odgovor na stres izazivaju promjene u metabolizmu kako bi se povećala dostupnost energije. Osjetljivost na stres može značajno utjecati na varijacije u učinkovitosti hrane kod goveda pri čemu razdražljiva goveda mogu lakše biti izložena stresu što dovodi do smanjene učinkovitosti. Mirniji temperament i smanjen fiziološki odgovor na stres povezani su sa većom učinkovitosti hrane. Kod životinja sa smanjenim stresnim situacijama gdje je povećana učinkovitost hrane smanjuje se i emisija CH₄ jer životinje bolje iskorištavaju hranjive tvari i probavni sustav radi bez smetnji. Smatra se da je emisija CH₄ u rastu proporcionalno kada je unos hrane manji čiji učinak može biti pojačan stresom pretrpljenim tijekom mjerenja emisije CH₄ u respiracijskim komorama (Lionch i sur., 2016.). Lionch (2016.) navodi kako odnos između kortizola koji je odgovor na stres i crijevne emisije CH₄ je relativno novo otkriće koje zahtjeva dodatna istraživanja. Smanjenje individualne osjetljivosti i izvora stresa iz okoliša mogu biti važne strategije koje je lako provesti za ublažavanje crijevnih emisija CH₄ kod goveda.

3.4. Dominacija

U prirodi goveda žive u manjim mirnijim stadima koja su sastavljena od krava i njihovih potomaka. Svaka pojedina životinja koja je član stada (bik, krava, tele) imaju svoje mjesto unutar stada. Goveda se jedna prema drugima odnose pažljivo i strpljivo, no u svakom stadu postoje stabilni hijerarhijski odnosi gdje se točno zna tko je u stadu nadređen, a tko podređen. U intenzivnom načinu uzgoja na malom prostoru se drži veliki broj grla pa su i odnosi među životinjama intenzivirani. Održavanje stabilnog hijerarhijskog poretka u međusobnim odnosima je preduvjet za izbjegavanje netrpeljivosti i fizičkog sukoba među životinjama. Dominacija kod goveda je osobito izražena nakon postignutih 16 do 18 mjeseci starosti. Krave među sobom uspostavljaju određenu dominaciju bez osobitih sukoba. Dominaciju određuju pomoću starosti, veličine i tjelesne mase krave. Fizičke predispozicije poput prisutnosti rogova uvjetuju dominaciju. Za razliku od kontroliranog uzgoja govedima u divljini su međusobni sukobi prava rijetkost, a razlog tomu je što u divljem stadu svako govedo raspolaže sa dovoljno životnog prostora, pri čemu dominantni primjerci imaju najviše prostora, a ostala goveda raspolažu sa dovoljno prostora tako da goveda u divljini mogu bez problema poštovati hijerarhijske odnose i podređene životinje imaju dovoljno prostora za skloniti se sa puta dominantnoj jedinki.

Goveda se nikada ne zbijaju u skupinama, već uvijek postoji određena udaljenost između dvije jedinke. Za intenzivni uzgoj prilikom izgradnje staje za uzgoj goveda treba voditi računa o tome da budu dovoljno velike kako ne bi dolazilo do međusobnog nadmetanja. Agresivno ponašanje uključuje prijetnju, kao što je spuštanje glave kako bi se istaknuli rogovci, te može dovesti do fizičkog kontakta. Krave i bikovi iskazuju agresiju, ali na različite načine. Krave izražavaju agresiju postupno, a u bikova je iskazivanje prijetnje složenije i uključuje glasanje, kopanje i trljanje glave o tlo te zauzimanje položaja tijela koje ih čini većima (Vučemilo i sur., 2019.). Individualne razlike u izražavanju pojedinih oblika agresivnog ponašanja mogu biti izražene ovisno o percepciji bola, odlučnosti životinje da zadrži pristup određenom resursu, kao na primjer hrani, te položaju koji ima u društvenom poretku. Potrebno je voditi računa o raspoloživom broju mjesta za hranjenje i odmaranje, tako da sve životinje u staji u isto vrijeme mogu nesmetano uzimati hranu ili se odmarati na mjestu gdje neće biti ometane. U staji rijetko dolazi do sukoba između podčinjenih i dominantnih jedinki oko prostora u staji. Dominacijski odnosi ne ometaju normalan život ni proizvodnju goveda. Dominacija postaje problem onda kada goveda nemaju dovoljno hrane ili prostora na raspolaganju. Stada koja su duže vrijeme u istom sastavu vrlo sporo mijenjaju

hijerarhijski odnos i raspored. Nižerangirane životinje poštuju visokorangirane životinje te drže distancu kako ne bi došlo do sukoba (Obradović i sur., 2006). Prijateljski odnos goveda koja se drže u slobodnom načinu držanja iskazuju međusobnom njegom i lizanjem u predjelu vrata. Životinje koje su držane ograničenom prostoru prisiljene su na stalno kretanje kako bi izbjegle moguće sukobe izazvane nedostatkom prostora, odnosno neodgovarajućom gustoćom naseljenosti što stvara dodatnu nervozu jedinkama. Goveda koja su postigla viši položaj u hijerarhijskom poretku imaju prednost pri hranjenju i odabiru mjesta za odmor. Podređene jedinice zbog stalnog izbjegavanja sukoba su često izložene pojačanom stresnom stanju što može dovesti do metaboličkih poremećaja ako se neredovito hrane jer moraju čekati svoj red za hranjenje što ima izravan utjecaj i na proizvodnju metana u probavnom sustavu. No i dominantne životinje osjećaju pojačani stres zbog stalnog pritiska da održe svoj status u hijerarhijskom poretku. Kod uvođenja novih jedinki u stado dolazi do nestabilnosti u već stvorenom hijerarhijskom poretku, te je potrebno određeno vrijeme da se hijerarhijska struktura ponovno postavi (Vučemilo i sur., 2019.). U svakom stadu postoji životinja koja predvodi kretanje stada. Nije jasno utvrđena povezanost između dominacije i vodstva u stadu. Vođa je često srednje rangirana, najiskusnija i najstarija jedinka u skupini.

4. HRANIDBENO PONAŠANJE GOVEDA U KORELACIJI S EMISIJOM METANA

Goveda su društvene životinje, te se ponašanje životinje koja je na pašnjaku razlikuje od ponašanja životinje koja je u staji. Njihovom je usporedbom uočeno da nije došlo do potpune promjene udomaćivanjem, već su nastupile promjene u načinu izražavanja. Ukoliko je životinja doživjela loše iskustvo sa određenom osobom ili u nekom prostoru, ako se ponovi doticaj sa tim istim okidačem izaziva se stres i neugoda te se može ugroziti proizvodnja.

Postoje tri sustava držanja krava, to su vezani način, slobodni način i kombinirani način držanja. Svi načini držanja krava imaju svoje prednosti i nedostatke. Kod vezanog načina držanja krave su vezane na jednom mjestu u staji gdje se hrane, muzu i njeguju. Krave koje su držane na vezu ograničene su u izražavanju svojih fizioloških funkcija, kao što su sloboda kretanja i mogućnost formiranja skupine unutar stada. Mjesto za hranjenje je mnogo lakše organizirati kod krava na vezu nego u slobodnom držanju i na takav način se može lakše kontrolirati hranidba svake jedinke na farmi te se postiže bolja iskoristivost hrane u odnosu na one u slobodnom načinu držanja i može se utjecati na smanjenje emisije CH₄ preko hranidbe. Goveda držana slobodno, odnosno u „lauf“ stajama mogu se slobodno kretati i izražavati društveno ponašanje, no u takvom načinu držanja se javljaju agresije te dolazi do borbe za hranom i ležištem u staji. Slobodan način držanja prikladan je za farme sa većim brojem grla i omogućuje se maksimalno korištenje mehanizacije, automatska mužnja, hranidba i izgnojavanje (Medved, 2019.). Dejanović i sur. (2015.) ističu da životinjama u oba načina uzgoja treba biti olakšan pristup hrani kako bi bez poteškoća pojele svoj obrok bez da dolazi do ozljeda i da u svakom trenutku mogu lijegati i ustajati.

Prema navodima Opio i sur. (2013.) sustavi držanja životinja na ispaši i kombinirani sustavi proizvodnje stoke doprinose sa 22% i 78% svjetske proizvodnje govedine, te 15% i 84% svjetske proizvodnje mlijeka. Varijacije prosječne emisije stakleničkih plinova između ova dva sustava objašnjavaju nekoliko čimbenika kao što su veće težine pri klanju, niža dob teljenja, kraće vrijeme do klanja i niža stopa smrtnosti i bolja kvaliteta hrane u mješovitim sustavima uzgoja. Najmanji intenzitet emisije stakleničkih plinova u proizvodnji mlijeka i govedine odgovara umjerenim zonama u sustavima uzgoja na travnjacima i mješovitim poljoprivrednim sustavima gdje je produktivnost poprilično visoka, a CH₄ iz crijevne fermentacije niska kao posljedica visoke probavljivosti krmiva u tim zonama. Umjerene zone imaju nešto veće emisije plinova povezane s unosom CO₂ u usporedbi s vlažnim i sušnim područjima kao rezultat velike ovisnosti o koncentriranoj stočnoj hrani i upotrebi

sintetičkih gnojiva u proizvodnji stočne hrane. Metan nastao u probavnom sustavu goveda je najveći izvor emisije u svim područjima, a najviše ga proizvode u sušnim i vlažnim zonama ispaše mješovitih poljoprivrednih sustava gdje je hrana niske kvalitete.

Najveća probavljivost hrane u govedarstvu se nalazi u industrijaliziranim zemljama gdje se obroci uglavnom sastoje od kvalitetnije krme i koncentrata. Prosječna probavljivost obroka u regijama u razvoju je mnogo niža, gdje su obroci uglavnom sastavljeni od krmnih namirnica niske kvalitete kao što su trava, žetveni ostatci i lišće. U regijama u razvoju ukupne emisije metana dominiraju iz crijevne emisije povezane sa hranidbom dok u industrijaliziranim zemljama crijevna emisija metana igra manje važnu ulogu jer se to kompenzira sa visokim emisijama tijekom uvoza stočne hrane, velikom upotrebom gnojiva u proizvodnji stočne hrane i viši stupanj mehanizacije (Opio i sur., 2013.).

Ključni ciljevi za postizanje samoodržive stočarske proizvodnje jeste smanjenje emisije metana te povećanje proizvodne učinkovitosti. Na razini životinje to se može postići kroz promjenu hranidbenog ponašanja i aktivnosti goveda. Dominacija i temperament životinje kao jedni od glavnih čimbenika hranidbenog ponašanja mogu znatno utjecati na hranidbene performanse i uspješnost proizvodnje. Emisija enteričnog metana je normalan proces kod preživača i može rezultirati do 12% gubitaka energije. Smanjenje proizvodnje enteričnog metana predstavlja važan korak prema poboljšanju hranidbene učinkovitosti goveda.

Sakamoto i sur. (2021.) utvrđuju da je emisija crijevnog metana prirodni proces kod goveda koji može rezultirati gubitcima od 2 do 12% ukupne energije koju životinja tijekom dana potroši. Do varijacija dovode neki čimbenici kao što su kemijski sastav hrane, razina unosa hrane te čak i neki genetski i metagenomski čimbenici. Te drugi pristup za varijaciju emisije CH₄ između životinja su učinkovitost iskorištavanja hrane, apsorpcija hranjivih tvari, regulacija apetita i stanični metabolizam (Sakamoto i sur., 2021.). Važnost osiguranja dobrobiti farmskih životinja neprestano raste, posebno za one koje su izložene intenzivnijim oblicima uzgoja i proizvodnje.

U farmskom uzgoju i na tržištu pažnja je posvećena sigurnosti i kvaliteti hrane, a potrošači su zainteresirani za njezino porijeklo i način proizvodnje kako bi ostvarili maksimalnu proizvodnju i dobili kvalitetan proizvod. Kvalitetu proizvoda izravno umanjuje narušena dobrobit životinja. U intenzivnim uvjetima uzgoja životinje su izložene različitim neprirodnim, stresnim situacijama kojima su uzrok suvremena uzgojno-tehnološka rješenja. Tako prostorno ograničen okoliš, osiromašen podražajima, uz neprirodno hranjenje, vrlo

često rezultira nemogućnost životinja da izraze brojna vrsno specifična ponašanja te dosadom, frustracijom, poremećajima zdravlja i ponašanja, odnosno narušenom dobrobiti. Kako bi se očuvala njihova dobrobit potrebno je obogatiti okoliš u kojem se životinja nalazi i uzgaja na takav intenzivan način, a to se postiže na način da im se pomaže nositi sa stresorima u okolišu te da im se umanju frustracija i dosada. Životinja treba imati mogućnost izražavanja svojstvenih radnji kao što su istraživanje, traženje hrane, igra te društvene interakcije sa ostalim životinjama koje pozitivno utječu na jedinku (Šimić i sur., 2018.).

Wanapat i sur. (2015.) ističu da proizvodnja CH_4 iz različitih životinja pod istim uvjetima hranjenja pokazuju značajne varijacije između životinja. Životinje tijekom razdoblja mjerenja koje su hranjenje istom vrstom hrane su se razlikovale u emisiji CH_4 po jedinici unosa hrane. Smatra se da je razlog tomu varijacija broja metanogena među životinjama, ali nije potpuno jasno. Predstavlja se mogućnost genetskih razlika između životinja u proizvodnji CH_4 koja bi se mogla koristiti za gensku selekciju za smanjenje proizvodnje CH_4 . Preživači sa niskim rezidualnim unosom hrane (unose onoliko hrane koliko im je potrebno za održavanje i proizvodnju) emitiraju manje CH_4 od životinja sa visokim rezidualnim unosom hrane.

Prema navodima Llonch i sur. (2018.) aktivnost i hranidbeno ponašanje tovnih goveda povezano je s učinkovitošću hranidbe i emisije metana (CH_4). Llonch i sur. (2018.) su u svom istraživanju imali za cilj razumjeti i utvrditi koja su to svojstva zaslužna za određene različitosti individualnog hranidbenog ponašanja goveda u pogledu hranidbene učinkovitosti, tovnim osobinama i emisiji metana. Spomenuti autori su istraživanje radili na 84 bika (530 ± 114 kg tjelesne mase) križanaca Charolais-a i pasmine Luing. Kao glavni utjecaj na hranidbeno ponašanje (broj obroka, vrijeme provedeno u hranjenju po danu) je uzeta pasmina, osnovni obrok (koncentrat ili TMR) te tri različita dodatka u obrok bez aditiva, sa dodatkom kalcijevog nitrata i sa dodatkom pogače uljane repice (Tablica 2.). Pokus je trajao 56 dana, tijekom kojih su svaki dan mjerili dnevni unos suhe tvari (DMI), tjedno su mjerili tjelesnu masu (BW), a zadnji dan su ultrazvukom izmjerili debljinu masnog tkiva. Napravili su izračune indeksa prosječnog dnevnog prirasta, konverziju hrane i rezidualnog unosa hrane (RFI). Za procjenu dnevnih aktivnosti kretanja bikova korišteno je mjerenje broja koraka, broja stajanja na mjestu i vrijeme provedeno u stajanju po danu. Agonističko ponašanje bikova na hranidbenom stolu (broj međusobnih kontakata, agresivna interakcija između bikova) predstavljalo je dominacijska svojstva. Izračun temperamenta

bika napravljen je prema „Crush score test“ koji je uzimao u obzir ponašanje bikova kada su sputani, odnosno jačina njihovog nemira i brzine bijega kada ih se oslobodi.

Tablica 2. Prosječne vrijednosti tovnih goveda u pogledu dominacije, hranidbenog ponašanja, aktivnosti i temperamenta (Lionch i sur., 2018.)

| | Charolais-sired | | | Luing | | | P-value diet (Charolais) | P-value diet (Luing) | P-value breed |
|--------------------------|---------------------|---------------------|---------|---------------------|---------------------|---------|-----------------------------|-------------------------|---------------|
| | Diet | | SEM | Diet | | SEM | | | |
| | Concentrate | Mixed | | Concentrate | Mixed | | | | |
| | Mean | Mean | Mean | Mean | | | | | |
| Dominance | | | | | | | | | |
| Agg_total | 0.22 | 0.19 | 0.017 | 0.27 | 0.23 | 0.018 | 0.49 | 0.21 | 0.07 |
| Displ_total | 0.59 | 0.56 | 0.019 | 0.56 | 0.54 | 0.018 | 0.69 | 0.72 | 0.21 |
| Displ_Index | -2.03 | -2.01 | 0.020 | -1.99 | -1.98 | 0.030 | 0.66 | 0.95 | 0.28 |
| Feeding behaviour | | | | | | | | | |
| nFeed_bout | 28.8 ^b | 45.4 ^a | 2.258 | 27.9 ^b | 41.8 ^a | 2.073 | <0.001 | <0.001 | 0.21 |
| dFeed_time (s) | 5784.6 ^b | 8755.5 ^a | 278.589 | 6795.5 ^b | 9366.5 ^a | 308.313 | <0.001 | <0.001 | 0.005 |
| Bout_length (s) | 237.0 ^b | 216.4 ^b | 10.054 | 271.1 ^a | 261.6 ^a | 12.616 | 0.51 | 0.70 | 0.008 |
| Activity | | | | | | | | | |
| nStdBout | 65.3 | 66.1 | 6.359 | 67.2 | 66.2 | 7.755 | 0.95 | 0.98 | 0.94 |
| Standing (min) | 916.8 ^b | 941.9 ^b | 12.236 | 1016.0 ^a | 1003.7 ^a | 10.99 | 0.31 | 0.61 | 0.001 |
| nSteps | 1221.7 ^a | 1316.1 ^a | 31.166 | 1140.4 ^b | 1134.2 ^b | 45.816 | 0.13 | 0.75 | 0.029 |
| Motion Index | 4383.7 ^a | 4438.0 ^a | 146.970 | 3880.7 ^b | 3504.3 ^b | 735.931 | 0.87 | 0.29 | 0.97 |
| Temperament | | | | | | | | | |
| AvgeFS (m/s) | 1.80 | 1.59 | 0.074 | 1.50 | 1.56 | 0.074 | 0.19 | 0.71 | 0.14 |
| AvgeCS | 1.75 | 1.85 | 0.129 | 1.51 | 1.68 | 0.136 | 0.58 | 0.55 | 0.34 |

Dominacija: Agg_total= ukupni broj agresivnih interakcija; Displ_total = broj pomaka_ukupno; Displ_index= indeks agresije koji označava proporciju interakcija bikova u kojima se bik povlaćio;

Hranidbeno ponašanje: nFeed_bout = prosječan broj dnevnih obroka; dFeed_time = ukupno vrijeme provedeno u hranjenju po danu; bout_lenght = ukupno vrijeme provedeno na hranidbenom stolu po posjetu; nStdBout = ukupan broj dnevnih posjeta hranidbenog stola; standing = postotak vremena proveden stojeći; nSteps= broj koraka po danu; Motion index= pokazatelj ukupne aktivnosti koji je izračunat praćenjem povećanja prosječne vrijednosti na navedenim parametrima;

Temperament: AvgeFS= prosječna vrijednost trajanja uzmicanja tijekom testa; AvageCS= prosječna vrijednost trajanja testa sukoba

a,b,c vrijednosti unutar redaka se značajno razlikuju P<0,05.

Llonch i sur. (2018.) utvrdili su da je veća aktivnost (više koraka) bikova u boksu povezana sa lošijim vrijednostima RFI (Tablica 3.), vjerojatno zbog veće potrošnje energije za mišićnu aktivnost. Također autori navode da su česti obroci pridonijeli smanjenju emisije CH₄ po kg unesene suhe tvari (Tablica 3.).

Tablica 3. Utjecaj pasmine, vrste obroka, hranidbenog ponašanja i aktivnosti na emisiju metana kod tovnih goveda (Lionch i sur., 2018.)

| Outcome variable | Intercept | Fixed effects | Feeding behaviour | Activity |
|----------------------------|----------------|---|--|--|
| DMI (kg) | 11.99 ± 0.1934 | Diet (CONC; $b = -1.0691 \pm 0.2826$)*** | | |
| ADG (kg/day) | 0.78 ± 0.2993 | Diet (CONC; $b = -0.11 \pm 0.050$)* breed (CHx; $b = 0.14 \pm 0.049$)** MTLW ($b = 0.0015 \pm 0.000$)** | | |
| FCR (kg/kg) | 1.807 ± 0.1576 | Breed (CHx; $b = -0.15 \pm 0.028$)*** MLW ($b = 0.0006 \pm 0.000$)* | | |
| RFI | 1.687 ± 0.6406 | Diet (CONC; $b = -2.44 \pm 0.786$)** breed (CHx; $b = -0.37 \pm 0.139$)** | Diet × dFeed_time ($b = -0.00014 \pm 0.000$)* | Steps ($b = 0.0006 \pm 0.000$)*, **, ***, † |
| CH ₄ (g/kg DMI) | 7.244 ± 1.4449 | Diet (CONC; $b = -3.499 \pm 0.8067$)*** | nFeed_bouts ($b = -0.0146 \pm 0.0081$)* | Standing ($b = 0.0038 \pm 0.0018$)* |

DMI = unos suhe tvari; ADG = prosječni dnevni prirast; RFI = rezidualni unos hrane; CH₄ = metan; conc = koncentrat; CHx = bikovi Charolais pasmine; nFeed_bout = prosječan broj dnevnih obroka; dFeed_time = ukupno vrijeme provedeno u hranjenju po danu; Standing = postotak vremena proveden stojeći; nSteps = broj koraka po danu; †, *, ** i *** značajna razlika, P < 0,05, P < 0,01 i P < 0,001

Učestalost obroka bila je veća kod bikova koji su konzumirali TMR te kod temperamentnijih i dominantnijih bikova. Međutim unos hrane bio je manji kod temperamentnijih bikova (Tablica 2., 4.). Lionch i sur. (2018.) zaključili su da se učinkovitost hranidbe povećava s duljim vremenom hranjenja, a emisija CH₄ se smanjuje sa češćim obrocima.

Dominantni bikovi jedu češće i dulje, a smanjenje konkurencije (sukoba) na hranidbenom stolu bi poboljšalo hranidbenu učinkovitost i emisiju metana. Odabir mirnijih goveda smanjilo bi aktivnost i povećao unos suhe tvari, što može poboljšati hranidbenu učinkovitost i prirast.

Tablica 4. Prosječne vrijednosti svojstava hranidbenog ponašanja, temperamenta i dominacije tovnih goveda pri fiksnom utjecaju vrste obroka (Lionch i sur., 2018.)

| Outcome variable | Intercept | Fixed effects | Temperament variables | Dominance variables |
|-------------------|-----------------|--|-------------------------------------|--|
| DMI (kg) | 13.028 ± 0.5008 | Diet (CONC; $b = -0.9454 \pm 0.2763$)*** | AvgFS ($b = -0.5920 \pm 0.2946$)* | |
| nFeed_bouts | 21.459 ± 5.764 | Diet (CONC; $b = -15.5341 \pm 3.1593$)*** | AvgFS ($b = 6.493 \pm 2.092$)** | Displ_Tot ($b = 20.235 \pm 8.555$)* |
| bout_length (min) | 466.23 ± 43.518 | Breed (CHx; $b = -30.615 \pm 15.383$)* | AvgFS ($b = -34.498 \pm 16.468$)* | Displ_Tot ($b = -257.3 \pm 66.109$)*** |
| dFeed_time (min) | 1321 ± 1719.94 | Diet (CONC; $b = -2614.48 \pm 282.73$)*** Breed (CHx; $b = -794.51 \pm 284.60$)** | | Disp_Index ($b = 1905.22 \pm 860.46$)* |

Tablica 5. Prosječne vrijednosti svojstava hranidbenog ponašanja, temperamenta i dominacije tovnih goveda pri fiksnom utjecaju pasmine (Lionch i sur., 2018.)

| Outcome variable | Intercept | Fixed effects | Temperament variables | Dominance variables |
|------------------|------------------|--|-------------------------------------|---------------------|
| nStdBout | 32.076 ± 10.909 | | (AvgeCS; $b = 19.84 \pm 5.466$)*** | |
| Standing (min) | 612.59 ± 7.035 | Breed (CHx; $b = -48.073 \pm 9.826$)*** | | |
| Steps | 1180.31 ± 100.92 | Breed (CHx; $b = 120.01 \pm 54.004$)* | | |

Standing= postotak vremena provedenog stojeći; nStdBout = ukupan broj dnevnih posjeta hranidbenog stola; nSteps= broj koraka po danu; CHx= bikovi Charolais pasmine; AvgeCS= prosječna vrijednost trajanja testa sukoba; * i ** simboli označavaju značajnost razlika $P < 0,05$ i $P < 0,01$

Prema prijašnjim istraživanjima (Hegarty i sur., 2007; Dini i sur., 2019.) smanjena količina emisije metana od 15 do 30% utvrđena je kod hranidbeno učinkovitijih grla taurine goveda.

Sakamoto i sur. (2021.) istraživali su korelaciju između tovnih osobina, ostataka hrane i emisije enteričkog metana kod Nellore pasmine goveda. Autori su utvrdili da grla sa boljom hranidbenom učinkovitošću odnosno sa negativnim vrijednostima RFI konzumiraju značajno manje suhe tvari (za 13%), imaju veću konverziju i prosječni prirast te proizvode značajno manje metana (za 5%) u odnosu na grla koja imaju pozitivni RFI (Tablica 6.)

Tablica 6. Srednje vrijednosti performansi, iskoristivosti hrane i emisije metana prema dnevnom unosu hrane Nellore pasmine (Sakamoto i sur., 2021.)

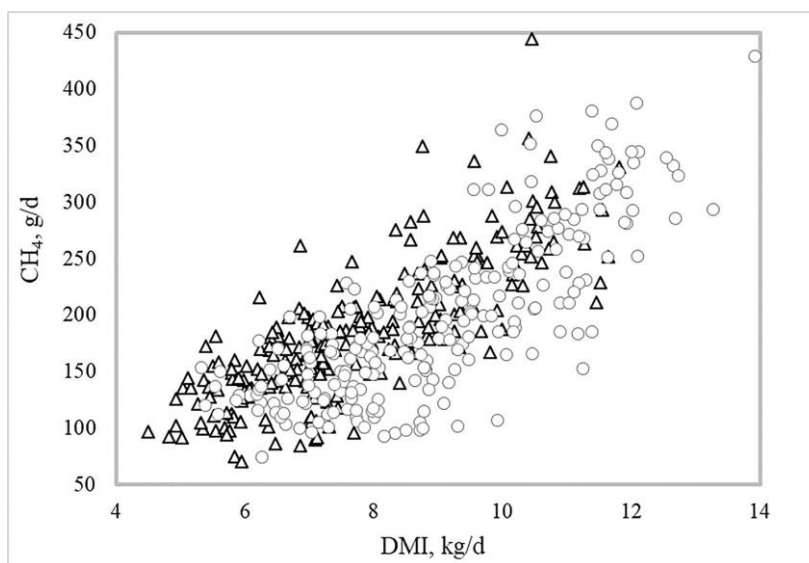
| Trait | N | Negative RFI (n = 246) | Positive RFI (n = 243) | SEM | P |
|--|-----|------------------------|------------------------|-------|---------|
| Initial age (days) | 489 | 390 | 389 | 44.0 | 0.5353 |
| Initial body weight (kg) | 489 | 317 | 317 | 34.2 | 0.8675 |
| Mid-test body weight (kg) | 489 | 353 | 354 | 11.2 | 0.8498 |
| Dry matter intake (kg/day) | 489 | 7.405 | 8.550 | 0.23 | <0.0001 |
| Average daily gain (kg/day) | 489 | 1.228 | 1.237 | 0.07 | 0.7121 |
| Metabolic body weight (kg) | 489 | 79.7 | 79.8 | 1.59 | 0.8937 |
| RFI (kg/day) | 489 | -0.556 | 0.565 | 0.03 | <0.0001 |
| Feed conversion (kg/kg) | 489 | 6.695 | 7.764 | 0.453 | <0.0001 |
| Residual average daily gain (kg/day) | 489 | 0.066 | -0.064 | 0.014 | <0.0001 |
| CH ₄ (g/day) | 481 | 179.7 | 189.8 | 10.1 | 0.0022 |
| CH ₄ /DMI (g/kg/day) | 481 | 23.46 | 21.34 | 1.09 | <0.0001 |
| CH ₄ /ADG (g/kg/day) | 481 | 169.3 | 175.2 | 16.2 | 0.0724 |
| CH ₄ /MBW (g/kg) | 481 | 0.529 | 0.548 | 0.03 | 0.0096 |
| CH ₄ /BW ^{0.75} (g/kg) | 481 | 2.259 | 2.353 | 0.14 | 0.0033 |
| CH ₄ Res (g/day) | 481 | 4.811 | -4.953 | 1.95 | 0.0004 |
| CH ₄ /GE (%GE) | 481 | 7.78 | 7.08 | 0.41 | <0.0001 |

RFI: rezidualni unos hrane; SEM: standardna pogreška; CH₄ emisija metana; CH₄/DMI: emisija CH₄ izražena iz unosa suhe tvari CH₄/ADG: emisija CH₄ izražena iz metaboličke mase; CH₄Res: preostala emisija CH₄; CH₄/GE % konzumirane brutto energije izgubljene emisijom metana.

Što je veći unos suhe tvari, to su i veće dnevne crijevne emisije CH₄ jer je dostupna veća količina supstrata za fermentaciju u buragu i posljedično tomu dostupno je više vodika za metanogenezu. Korelacija između učinkovitosti hrane i crijevne emisije metana kod goveda je pozitivna i povoljna u slučaju visoko probavljive hranidbe, a fenotipski odnos između

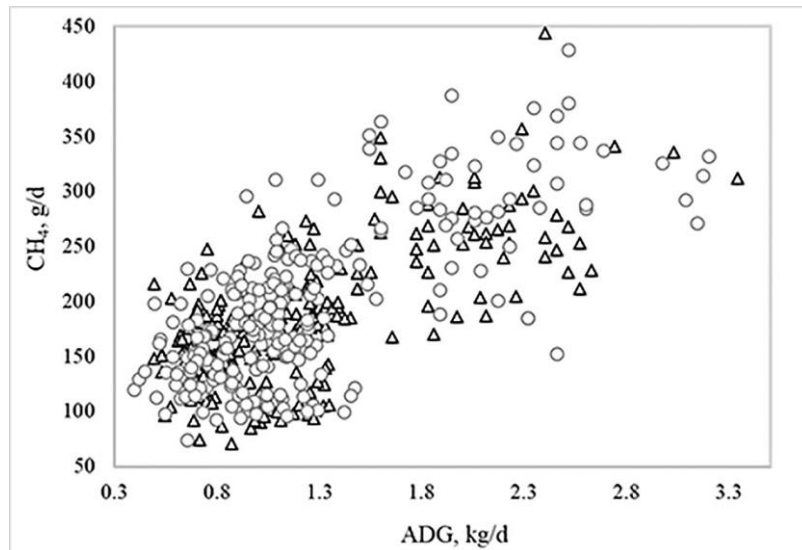
učinkovitosti hrane i enteričke emisije CH_4 je nula ili čak negativna i nepovoljna u obrocima niske probavljivosti, te bi se pojedinačna crijevna emisija CH_4 mogla smanjiti uz poboljšanje učinkovitosti hrane (Sakamoto i sur., 2021.).

Kod životinja koje se sporije hrane, odnosno one kod kojih je prolazak čestica u buragu sporiji te životinje koje konzumiraju manje hrane od očekivanog pri jednakoj tjelesnoj masi i prirastu proizvode manje CH_4 . Razlike u emisiji CH_4 se mogu primijetiti kod različitih ponašanja životinja pri hranjenju, na primjer kod različitog vremena koje provode u hranilicama.



Grafikon 7. Korelacija između unosa suhe tvari (DMI) i emisije metana kod bikova i junica Nellore pasmine goveda u ovisnosti na ostatke hrane (trokutići – negativni RFI; krugovi – pozitivni RFI) (Sakamoto i sur., 2021.)

Sakamoto i sur. (2021.) utvrdili su značajnu pozitivnu korelaciju između unosa suhe tvari i prirasta sa emisijom metana kod Nellore pasmine goveda, što je prikazano na Grafikonima 7 i 8.



Grafikon 8. Korelacija između emisije metana i prosječnog dnevnog prirasta (ADG) i kod bikova i junica Nellore pasmine goveda u ovisnosti na ostatke hrane (trokutići – negativni RFI; krugovi – pozitivni RFI) (Sakamoto i sur., 2021.)

Niža emisija metana po kg tjelesne mase kod hranidbeno učinkovitijih krava (negativni RFI) zabilježili su Jones i sur. (2011.) kod Angus krava te Fitzsimons i sur. (2013.) na Simmental pasmini krava.

Za razliku od gore navedenih autora McDonnell i sur. (2016.) na istraživanju hranidbene učinkovitosti na križankama (Limousina x Friesian) nisu utvrdili značajnu razliku u proizvodnji metana.

5. UZGOJNE MJERE KOJE DOPRINOSU SMANJENJU EMISIJE METANA

Na emisiju metana utječu mnogi čimbenici na koje se može djelovati određenim mjerama kako bi se emisija metana dovela do najpovoljnijeg postotka. Mnogi su čimbenici međusobno povezani od kojih neki utječu na neto emisiju, a drugi na intenzitet emisije metana. Na razini životinje na neto emisiju utječu: hrana za životinje, unos i probavljivost dok na intenzitet emisije utječe prinos po životinji, zdravlje i genetika. Intenzitet emisije je određen pitanjima kao što su reproduktivna stopa, stopa smrtnosti, struktura stada, upravljanje stadom itd. Kako bi se smanjila emisija metana moguće je djelovati na određene čimbenike koji pokreću varijacije stvaranja crijevnog CH₄ (Opio i sur., 2013.). Na temelju rastuće svijesti o ekologiji očekuje se da će se pomoću interakcija u crijevnoj proizvodnji CH₄ dati veća pažnja kako bi se smanjila emisija putem različitih prehrambenih ili životinjskih uvjeta (Gerber i sur., 2013.).

Podjela i korištenje energije je čimbenik za smanjenje emisije metana jer metan nastaje u procesu probave stočne hrane koja se koristi kao izvor energije za životinju. Promjene u učinkovitosti iskorištavanja energije iz hrane utječu na emisiju CH₄. Učinkovitost iskorištenja hrane za izvor energije ovisi o vrsti životinje, kvaliteti i količini hrane, okolišnim uvjetima itd. Način na koji se energija raspodjeljuje između različitih tjelesnih funkcija (održavanje i proizvodnja) također ovisi o varijacijama intenziteta emisije. Sve životinje imaju zahtjeve za održavanje koji moraju biti ispunjeni i rezultiraju manjom ili većom proizvodnjom, ali su i povezani sa emisijom CH₄ (Opio i sur., 2013.).

Cottle i sur. (2011.) navodi općenite smjernice za smanjenje emisije metana u uzgoju goveda, gdje je istaknuo tri glavna smjera: kroz manipulaciju fermentacije buraga i ekologije, uzgoj i menadžment (Slika 3.). Svaka od tih smjernica ima svoje načine kako smanjiti emisiju metana, primjerice primjenom znanja iz genomske selekcije i dodavanje aditiva u hranidbu goveda može doprinijeti smanjenju stvaranja i emisije metana kod goveda.

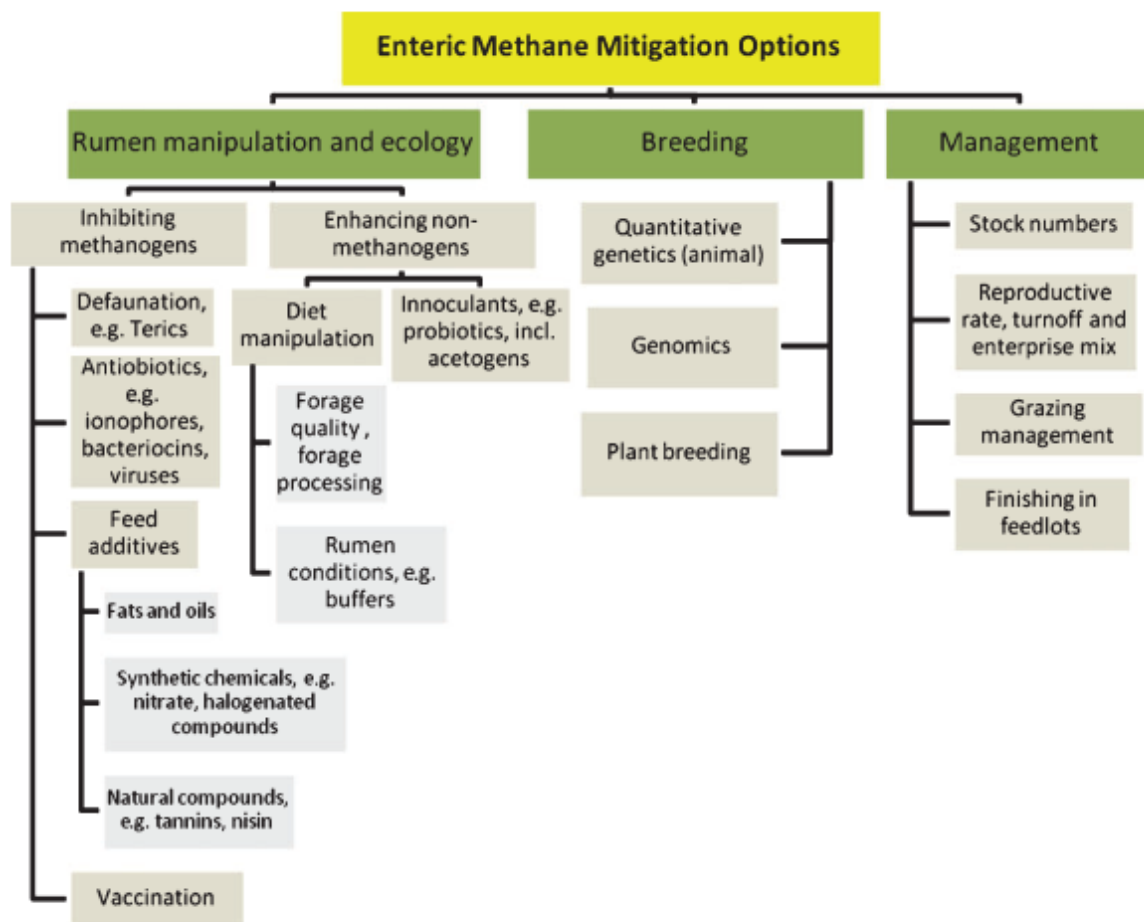


Fig. 2. Potential options for reducing enteric methane production.

Slika 3. Potencijalni načini za smanjenje proizvodnje metana (Cottle i sur., 2011.)

Nadalje, Cherdthong (2012.) je naveo i strategije smanjenja emisije metana ali i njihove mehanizme djelovanja te kolika se učinkovitost smanjenja može očekivati primjenom tih smjernica (Tablica 7.). Autor navodi da primjerice primjenom fumarata i malata se smanjuje dostupnost vodika u buragu, te se time može smanjiti emisija metana od 3 do 75%, te dodavanjem pojedinih masnih kiselina u obrok inhibira metanogenezu i može smanjiti emisiju za 10 do 90%.

Tablica 7. Različite strategije za smanjenje emisije metana te očekivano smanjenje od preživača (Cherdthong, 2012.)

| STRATEGIJE ZA SMANJENJE EMISIJE CH ₄ | MEHANIZAM SMANJENJA | UČINKOVITOST SMANJENJA |
|--|---|------------------------|
| - Menadžment hranidbe Omjer vlaknaste/koncentrirane hrane, povećanje hemiceluloze/škroba, smanjenje stanične stjenke | Povećanje koncentracije: povećanje omjera C3:C2, smanjenje pH buraga | 7 do 90% |
| - Biljni sastav Kondenzirani tanini, saponini, esencijalna ulja, organosumporni spojevi | Antimikrobna aktivnost: smanjenje dostupnosti H | 10 do 96% |
| - Organske kiseline Fumarati, malati, nitrati, tiamin, bromoklormetan | Dostupnost H, proporcija propionata i aktata: -Tiamin: inhibicija piruvata oksidativna dekarboksilacija -bromoklormetan: inhibicija ovisna o kobalamidu metil u CH ₄ proizvodnji | 3 do 75 % |
| - Ionofor Monoenzin ili rumensin | Inhibicija protozoa i gram-pozitivnih bakterija: supstrati za metanogenezu | 4 do 76% |
| - Imunizacija i biološka kontrola Metanogena vakcinacija, metanotropi, probiotici, bakteriofagi, bakteriocini | Imuni odgovor domaćina na metanogenezu | 7 do 50% |
| - Defaunizacija Kemikalijama, aditivima | Uklanja povezane metanogene: manje H u metanogenezi | 20 do 60% |
| - Lipidi Masne kiseline, ulja, ulja iz sjemenki, loj | Inhibicija metanogena i protozoa: bolja proporcija propionata i acetata; biohidrogenacija | 10 do 90% |
| - Genetska selekcija | Genetska selekcija životinja za smanjenje emisije metana | |

5.2. Poboljšanje kvalitete hranidbe

Kako bi se smanjila emisija metana u govedarskoj proizvodnji potrebno je svaki obrok za goveda sastaviti sa najboljim dostupnim krmivima za koje je utvrđeno da ne sudjeluju u velikoj mjeri u emisiji metana, odnosno krmiva dobre probavljivosti. Izražavanje crijevne proizvodnje CH₄ energije na osnovi bruto unosa energije ne izražava točno potencijalni utjecaj kvalitete i sastava obroka. Emisije stakleničkih plinova trebaju se izraziti na osnovu unosa probavljive energije ili po jedinici životinjskog proizvoda, jer to najtočnije prikazuje

učinak određene prakse ublažavanja na unos hrane i učinkovitost proizvodnje. Primjerice, emisija CH₄ se može smanjiti kada kukuruznu silažu zamijenimo travnatom silažom u hranidbi, silaže od mahunarki također mogu imati prednost nad silažama trava zbog nižeg sadržaja vlaknine i dodatne prednosti zamjene anorganskog dušičnog gnojiva.

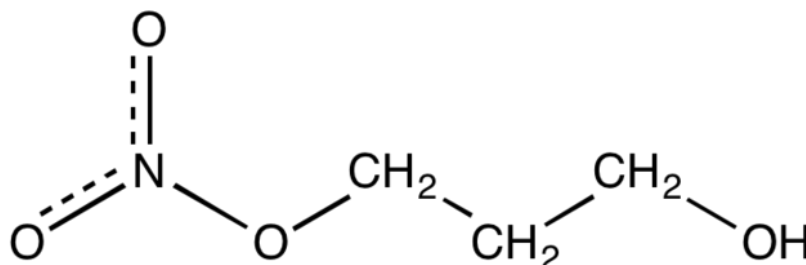
Koncentrirana krmiva u hranidbi preživača utječu na smanjenje emisije metana po jedinici proizvoda životinjskog porijekla, osobito kada je unos suhe tvari veći od 40% (Gerber i sur., 2013.). Zrelost u žetvi je ključni čimbenik koji treba uzeti u obzir, mlađi materijal općenito daje veću kvalitetu. Dobro siliranje i skladištenje su ključni za proizvodnju kvalitetne krme, maksimalno očuvanje hranjivih tvari i poboljšanje učinkovitosti proizvodnje (Norman, 2020.). Očekuje se da će dopuna malim količinama koncentrata stočne hrane povećati produktivnost životinja i smanjiti intenzitet emisije metana, no dodatak koncentrata ne smije zamijeniti visokokvalitetnu stočnu hranu koja je potrebna preživačima za normalno funkcioniranje njihovog probavnog sustava. Hranidba za sve kategorije životinja treba biti uravnotežena i podmirene potrebe aminokiselina kako bi se izbjegla depresija unosa hrane i smanjena produktivnost životinja. Upravljanje probavnim sustavom je važno kako bi se spriječilo da on postane nekontrolirani izvor stakleničkih plinova (Gerber i sur., 2013.).

5.2. Metan inhibitori

Inhibitori metana su tvari koje učinkovito smanjuju emisiju metana kod preživača, bez negativnog učinka na proizvodnju. Neki inhibitori metana mogu biti kemijski spojevi koji djeluju na arheju buraga, to su spojevi kao što su bromoklormetan, 2-bromometan sulfonat, kloroform i ciklodekstrin. Provedeni su testovi sa navedenim inhibitorima od kojih su neki imali pozitivne rezultate, a neki nisu bili uspješni u svom zadatku kod raznih vrsta preživača. Inhibicija metanogeneze ovim spojevima in vivo može biti do 60% s prikazanim učinkom bromoklormetana koji treba ustrajati tijekom dugotrajnih eksperimenata. Održivost navedenih spojeva kao sredstava za ublažavanje emisije metana dovedena su u pitanje zbog zabrinutosti za zdravlje životinja, sigurnost hrane ili njihovog utjecaja na okoliš. Bromoklormetan je na primjer agens koji oštećuje ozon i zabranjen je u mnogim zemljama (Hristov i sur., 2015.).

Kao djelotvoran metan inhibitor se pokazao 3-NOP (3-nitrooxypropanol) koji ima visok potencijal u inhibiciji crijevne emisije CH₄ kod mliječnih krava. Zbog svoje molekularne strukture, 3NOP je vrlo topiv i brzo se metabolizira u buragu gdje ima svoje blagotvorno djelovanje. Molekula 3-NOP je specifičan inhibitor metil-koenzim M reduktaze, enzima koji

je uključen u biološku sintezu i anaerobnu oksidaciju CH₄ u metanogenim arhejama. 3-NOP izravno djeluje na inhibiciju redukcije CO₂ pomoću otopljenog H₂ kako bi se formirao CH₄ ciljanjem na aktivno mjesto metil-koenzim M reduktaze u završnom koraku metanogeneze u buragu.



Slika 4. Kemijska formula 3-nitrooxypropanol (izvor: <https://upload.wikimedia.org/>)

Melgara i sur. (2020.) su napravili istraživanja učinka 3-NOP -a na crijevnu emisiju metana u grupi od 48 krava s prosječnim prinosom mlijeka od 43 kg/dan i težinom oko 594 kg. Autori su jednoj skupini krava davali dozu 3-NOP od 60 mg/kg DM hrane, dok drugoj skupini nisu davali inhibitore za smanjenje emisije metana. Zaključili su da u usporedbi sa kontrolnom skupinom, primijenjeni 3-NOP u količini od 60 mg/kg suhe tvari hrane je smanjio ukupnu dnevnu emisiju metana, prinos emisije i intenzitet emisije za 26, 27 odnosno 29%. Melgara i sur. (2020.) navode da je emisija CH₄ po energetski korigiranom mlijeku također smanjena za 29%, a da dodatak 3-NOP u dozi od 60 mg/kg suhe tvari hrane nije utjecao na ukupni dnevni unos suhe tvari, kao ni na prinos mlijeka i sadržaj laktoze u mlijeku. Povećani su energetski korigirani prinosi mlijeka, prave bjelančevine mlijeka te suhe tvari mlijeka. Koncentracija mliječne masti i prinos također su povećani s 3-NOP što se pripisuje povećanoj koncentraciji de novo sintetiziranih kratkolančanih masnih kiselina u mlijeku. Još jedna pozitivna strana dodatka 3-NOP-a u hranidbi goveda je što se smanjio ukupni broj somatskih stanica za 37% (Melgara i sur, 2020.). 3-NOP se pokazao kao obećavajući dodatak stočnoj hrani za smanjenje crijevnih emisija CH₄, održavanje laktacijske učinkovitosti te potencijalno i povećanja prinosa mliječne masti. 3-NOP kao dodatak stočnoj hrani se može davati pomiješan sa krmnom smjesom ili uklopljen u pelete koncentrata. Kada se ugradi u pelete koncentrata može smanjiti crijevni CH₄ i da se to smanjenje ne razlikuje kada se pomiješa sa osnovnom, kabaštom hranom, što proširuje mogućnost njegovog korištenja u sektoru govedarstva u cijelom svijetu, jer nabava aditiva umiješana u bazalnu hranu nije uvijek izvediva (Melgara i sur., 2020.).

Neki od prirodnih inhibitora metana koji se koriste u govedarskoj proizvodnji su ekstrakt češnjaka, eterična ulja, spojevi izolirani iz morskih algi koji imaju za cilj smanjenje emisije CH₄ te poboljšanje proizvodnje (Dairy Global, 2020.).

Uspješan metan inhibitor se pokazao i dodatak masti u prehrani životinja. Nadopunjavanje hranidbe mastima i uljima smanjuje crijevne emisije metana. Postignuta su smanjenja veća od 40%, ali su uglavnom postignuta smanjenja 10 do 25%. Uključivanje masti u obrok kao izvora energije smanjuje sadržaj ugljikohidrata, koji su supstrat za stvaranje metana. Masti imaju pozitivan učinak i na smanjenje protozoa u buragu, od kojih su mnoge fizički povezane sa metanogenima. Učinci masti nisu ograničeni na one posredovane preko protozoa buraga za smanjenje emisije metana. Masti su se pokazale i kao tvari koje inhibiraju metanogenezu i u odsutnosti protozoa buraga što može biti posljedica toksičnosti dugolančanih masnih kiselina za metanogene bakterije i obično rezultiraju smanjenjem probavljivosti ugljikohidrata stanične stjenke. Kao izvori masti za inhibitore metana često je korišteno kokosovo ulje jer je njegova koncentracija masnih kiselina drugačija od one u svim drugim biljnim uljima. Kokosovo ulje ima sposobnost smanjivanja proizvodnje metana do 70% bez utjecaja na unos suhe tvari, probavljivost te proizvodnju i kvalitetu mlijeka koja se dodaje u obrok u količini od 250 g po kravi dnevno (Dairy Global, 2020.).

Upotreba višestruko nezasićenih masnih kiselina, posebice iz sjemena lana se može koristiti kao inhibitor za smanjenje metanogeneze u buragu, te može biti vrlo praktična tehnologija smanjenja za proizvodnju preživača. U hranidbi goveda primjena proizvoda na bazi lanenog sjemenja je zanimljiva zbog istovremenog povećanja nutritivne vrijednosti mlijeka i mesa preživača, a ne smanjuje se ukupna fermentacija i ne narušavaju se performanse životinje.

Kao metan inhibitore moguće je koristiti i ulje suncokreta, uljane repice i soje. Ulja suncokreta i uljane repice su bogata dugolančanim masnim kiselinama, te imaju sposobnost otpuštanja metana kod goveda koja se uglavnom hrane krmom te povećavaju učinkovitost bruto energije do 22%. Smanjenje proizvodnje metana od 7,3% postignuto je upotrebom ulja uljane repice kod goveda hranjenih kukuruznom silažom ili travnom silažom kao krmivom. Korištenjem navedenog inhibitora nije došlo do promjene u potrošnji hrane, probavljivosti organske tvari i fermentacije u buragu te nije bilo interakcije između kvalitete masti i krme. Uočeno je da uljana repica može smanjiti otpuštanje metana bez utjecaja na probavljivost vlakana i proizvodnju metana te njen fizički oblik ne utječe na proizvodnju metana (Dairy Global, 2020.).

Van Wesemael i sur. (2018.) su u svom istraživanju imali za cilj odrediti utjecaj 3-nitrooxypropanol (3-NOP) na emisiju i performanse enteričnog metana (CH₄) kod Holstein Friesian krava u laktaciji, dodan direktno u osnovni obrok ili u obliku peleta. Došli su do zaključka da dodavanje 3-nitrooxypropanol u hranidbu krava u obliku peleta nema utjecaja na proizvodnju mlijeka, ali ima značajan utjecaj na smanjenu emisiju metana.

Tablica 8. Primjer osnovnog obroka (Van Wesemael i sur., 2018.)

| KOMPONENTA OBROKA | VRIJEDNOST |
|--------------------------------------|------------|
| Kukuruzna silaža | 351 |
| Travna silaža | 307 |
| Peletirani repini rezanci | 73 |
| Urea mix ¹ | 6 |
| Slama | 4 |
| Uravnotežena krmna smjesa | 180 |
| Uravnotežena škrobna krmna smjesa | 40 |
| Obrok od soje tretiran formaldehidom | 6 |
| Obrok od soje | 25 |
| Obrok od soje – dodatak sojinog ulja | 8 |
| KEMIJSKI SASTAV | |
| DM (g/kg) | 411 |
| CP | 157 |
| Masti | 29 |
| Sirova vlakna | 182 |
| NDF | 346 |
| ADF | 203 |
| ADL | 18 |
| Škrob | 176 |
| Šećeri | 39 |
| VEM ² | 985 |
| DEV ^{3,2} | 83 |
| OEB ^{4,5} | 16 |
| Fermentirajući OM ⁴ | 608 |

¹880 g/kg uree i 120g/kg pšenice; ²VEM = krmna jedinica u laktaciji; ^{3,2}DEV= probavljivi protein u crijevima; ^{4,5}OEB= balans proteina

Dini i sur. (2019.) utvrdili su da bikovi Hereford pasmine s visokom učinkovitosti konverzije hrane a nižim vrijednostima rezidualnog unosa hrane (RFI, *engl. residual feed intake*) konzumiraju za 12% manje količine obroka i provode manje vremena u konzumaciji hrane za 23% u odnosu na bikove koji su imali više vrijednosti RFI.

Manje učinkovite životinje odnosno one koje su imale viši rezidualni unos hrane (HRFI) su imale veći dnevni unos suhe tvari (DMI) te su proizvodile više metana (CH₄) u odnosu na najviše učinkovite životinje odnosno one koje su imale manji rezidualni unos hrane (LRFI) dok u prosječnom dnevnom prirastu ADG (*engl. average daily gain; kg/dan*) nije bilo značajnih razlika. Najučinkovitije životinje provodile su manje vremena na hranidbenom stolu i manje vremena su provodili u hranjenju odnosno s glavom položenom prema dolje

(engl. *time with the head down*) te su imali veću brzinu hranjenja u odnosu na HRFI krava. Isti autori navode da nije bilo značajnih razlika u prosječnoj količini obroka, u broju obroka ili u vremenu s položajem glave prema dolje pri svakom obroku. Najučinkovitije krave (LRFI) ostvarile su za 26,8 % nižu emisiju metana (g/d) i nižu emisiju metana izraženu u g/kg unosa suhe tvari (DMI) za 26,7% u odnosu na HRFI životinje (Tablica 9.).

Tablica 9. Unos, dnevni prirast i hranidbeno ponašanje životinja obzirom na količinu rezidualnog ostatka hrane (Dini i sur., 2019.)

| | LRFI | HRFI | SEM | P value |
|--|-------|-------|-------|---------|
| Intake, kg DM/d | 9.33 | 10.6 | 0.33 | 0.014 |
| GEI, Mcal/d | 37.1 | 42.3 | 1.32 | 0.014 |
| ADG, kg/d | 0.83 | 0.80 | 0.190 | 0.923 |
| Feed rate, g/s | 4.05 | 2.75 | – | – |
| Feed rate, log ₁₀ | 1.32 | 0.98 | 0.120 | 0.062 |
| Meal duration time, s | 11802 | 15404 | 397.7 | <0.0001 |
| Average Meal Size, kg | 0.81 | 0.98 | – | – |
| Average Meal Size, log ₁₀ | –0.23 | –0.12 | 0.121 | 0.549 |
| Meals per day | 12.8 | 13.6 | 1.14 | 0.627 |
| Head down duration/meal, s | 265 | 431 | – | – |
| Head down duration/meal, log ₁₀ | 5.47 | 5.89 | 0.190 | 0.141 |
| Head down duration, s | 3024 | 4519 | 440.9 | 0.029 |

GEI= unos brutto energije; ADG= prosječan dnevni prirast; Vrijednosti su prosječne po tretmanu (h=8/tretmanu)

Tablica 10. Emisija metana kod bikova u ovisnosti na rezidualni unos hrane

| | Treatment | | | P value | | |
|--------------------------------|-----------|------|-------|-----------|--------|-----------|
| | LRFI | HRFI | SEM | Treatment | Period | Treat*Per |
| Emissions, g/d | 194 | 265 | 15.9 | 0.009 | 0.423 | 0.911 |
| CH ₄ /kg DMI, g/kg | 20.3 | 28.1 | 1.76 | 0.021 | 0.107 | 0.390 |
| Y _m , % | 6.72 | 9.17 | 0.580 | 0.027 | 0.102 | 0.391 |
| CH ₄ /kg NDFI, g/kg | 43.0 | 59.2 | 3.73 | 0.024 | 0.103 | 0.396 |
| CH ₄ /kg ADFI, g/kg | 65.4 | 92.0 | 5.69 | 0.015 | 0.106 | 0.398 |

Treat*Per= korelacija između tretmana i mjerenja; emissions= dnevna emisija CH₄; CH₄/ kg DMI= emisija CH₄ po kilogramu unosa suhe tvari; Y_m= količina metana; CH₄ /kg NDFI= CH₄ emisija po kilogramu vlakana; Vrijednosti su prosječne po tretmanu (h=8/tretmanu)

U nastojanju da smanje stvaranje enteričnog metana, koji je glavni staklenički plin koji dolazi iz stočarske proizvodnje Duval i Kindermann (2012.) su razvili dodatak hranidbi pod nazivom 3-nitrooxypropanol (3-NOP). Dodavanjem 3-NOP u hranidbu preživača koči zadnji korak metanogeneze koji se odvija u buragu, oksidirajući enzim metil-koenzim M (Duin et al., 2016).

5.1. Selekcija

Poboljšanje genetskog potencijala životinja putem planiranog križanja ili selekcije unutar pasmina i postizanje genetskog potencijala pravilnom hranidbom i poboljšanjem reproduktivne učinkovitosti, zdravlja životinja i reproduktivnog vijeka učinkovitiji su te predstavljaju preporučeni pristup za poboljšanje produktivnosti životinja i smanjenje emisije stakleničkih plinova (Gerber i sur., 2013.).

Kako bi se riješila sigurnost opskrbe hranom te utjecaj proizvodnje hrane na gospodarski i okolišni čimbenik predlaže se intenziviranje selekcije usmjereno na genetsko poboljšanje životinja u pogledu bolje iskoristivosti hrane i hranidbene učinkovitosti. Tako su Roehe i sur. (2016.) u svom istraživanju imali za cilj poboljšati učinkovitost buragove mikroflore na način da bolje iskoriste pojedeno hranjivo uz što manju emisiju metana. Životinja koja je domaćin svojoj mikrobnj populaciji u buragu, uvjetuje okolišne čimbenike i samim tim djeluje na sastav i učinkovitost mikrobne populacije.

Prema Wallace i sur. (2014.) utvrđena je fenotipska korelacija između sastava mikrobne populacije buraga i emisije metana.

Roehe i sur. (2016.) su utvrdili značajne razlike u dnevnoj emisiji metana između različitih pasmina (Aberdeen Angus i Limouzine) gdje su te vrijednosti kod Aberdeen Angusa iznosile 184 g/dan, a kod Limouzina 164 g/dan (Tablica 11.).

Tablica 11. Primjer razlike u emisiji metana kod pasmina Aberdeen Angus i Limousin (Roeche i sur., 2016.)

| Trait | Breed type | LSM | SE | P-value | Diet | LSM | SE | P-value |
|---|-----------------------|-------|-------|---------|-----------------|-------|-------|---------|
| Methane g/day | Aberdeen Angus sired | 183.8 | 5.63 | <0.0001 | Forage | 205.2 | 5.72 | <0.0001 |
| | Limousin sired | 164.4 | 5.83 | <0.0001 | Concentrate | 142.9 | 5.75 | <0.0001 |
| | Breed type difference | 19.4 | | 0.0196 | Diet difference | 62.3 | | <0.0001 |
| Methane g/kg DM | Aberdeen Angus sired | 17.37 | 0.555 | <0.0001 | Forage | 21.63 | 0.566 | <0.0001 |
| | Limousin sired | 17.96 | 0.575 | <0.0001 | Concentrate | 13.69 | 0.564 | <0.0001 |
| | Breed type difference | -0.59 | | 0.463 | Diet difference | 7.94 | | <0.0001 |
| Archaea:Bacteria ratio in live animals | Aberdeen Angus sired | 5.53 | 0.498 | <0.0001 | Forage | 6.86 | 0.520 | <0.0001 |
| | Limousin sired | 4.41 | 0.536 | <0.0001 | Concentrate | 3.09 | 0.519 | <0.0001 |
| | Breed type difference | 1.12 | | 0.132 | Diet difference | 3.77 | | <0.0001 |
| Archaea:Bacteria ratio in slaughtered animals | Aberdeen Angus sired | 4.47 | 0.347 | <0.0001 | Forage | 6.52 | 0.347 | <0.0001 |
| | Limousin sired | 4.88 | 0.351 | <0.0001 | Concentrate | 2.82 | 0.351 | <0.0001 |
| | Breed type difference | -0.41 | | 0.407 | Diet difference | 3.70 | | <0.0001 |

Roehe i sur. (2016.) su također utvrdili značajan i direktan genetski utjecaj domaćina na emisiju metana mikrobne populaciju buraga u ovisnosti od količine pojedene hrane (Tablica 11.). Rezultati prikazuju da je razlika između tipova pasmina u dnevnim emisijama metana

nastala zbog većeg unosa suhe tvari kod pasmine Aberdeen Angus i u slučaju hranidbe temeljene na voluminoznom i u slučaju hranidbe temeljene na koncentriranim krmivima (Tablica 12.). Životinjama kojima je ponuđen obrok temeljen na voluminoznoj hrani imaju veće emisije metana od onih kojima je obrok temeljen na koncentratu. Ta je razlika posljedica veće proizvodnje propionata iz fermentacije škroba u koncentriranoj hrani, što dovodi do manje koncentracije vodika dostupnog za metanogenezu. U izlaganju rezultata po tipu pasmine uzima se u obzir učinak aditivnog genetskog doprinosa pasmine oca te da genetski učinci imaju utjecaj na proizvodnju metana.

Tablica 12. Primjer dvije izvedbe obroka korišten u istraživanju utjecaja pasmine na mikrobnu populaciju buraga i emisiju metana (Rooke i sur., 2014., navod Roehe i sur., 2016.)

| Ingredients | High concentrate | Mixed forage – concentrate |
|------------------------------|------------------|----------------------------|
| Barley straw | 81 | 0 |
| Grass silage | 0 | 413 |
| Whole-crop barley silage | 0 | 340 |
| Barley grain | 688 | 156 |
| Maize distillers dark grains | 200 | 86 |
| Molasses | 20 | 0 |
| Mineral–vitamin supplement* | 10 | 5 |

Poznato je da pH buragovog sadržaja utječe na strukturu mikrobne zajednice i raznolikost ekosustava buraga. Slina sadrži bikarbonate i održava pH vrijednosti buraga između 6 i 7. Odrasla goveda dnevno proizvode velike količine sline, čak do 150 L/dan uz znatne varijacije na koje utječu genetika domaćina i prehrana. Genetski se može odraditi i selekcija za pojedine fizičke strukture i veličinu buraga, kao i intenzitet kontrakcija i brzina prolaska digesta sa čime se utječe i na razinu emisije metana. S obzirom da postoji aditivni genetski učinak životinje domaćina na količinu metana koji proizvodi govedo djelovanjem na mikrobnu zajednicu buraga (odnos archaea:baketrije), mogu se koristiti kao kriterij odabira za ublažavanje emisije metana. Još bolje predviđanje emisije metana dobiveno je korištenjem relativnog obilja mikrobnih gena svakog domaćina koje je povezano sa funkcijom buraga.

6. ZAKLJUČAK

Emisija stakleničkih plinova među kojima je i emisija metana (CH₄) u govedarskoj proizvodnji ima loš utjecaj na okoliš, te se proizvodnja stakleničkih plinova želi svesti na minimum. Aktivnost i hranidbeno ponašanje goveda povezano je s učinkovitošću hranidbe i emisije metana. Goveda koja imaju veću dnevnu aktivnost odnosno veći broj koraka imaju lošiju hranidbenu učinkovitost. Grla sa boljom hranidbenom učinkovitošću konzumiraju značajno manje suhe tvari (za 13%), imaju veću konverziju i prosječni prirast te proizvode značajno manje metana (za 5%) u odnosu na grla koja imaju lošiju hranidbenu učinkovitost. Bolja učinkovitost hranidbe se povećava s duljim vremenom hranjenja (većim brojem odlazaka do hranidbenog stola), a emisija CH₄ se smanjuje sa češćim obrocima. Dominantni bikovi jedu češće i dulje, a smanjenje konkurencije (sukoba) na hranidbenom stolu poboljšava hranidbenu učinkovitost i emisiju metana. Odabir mirnijih goveda smanjilo bi aktivnost i povećao unos suhe tvari, poboljšao konverziju i prirast.

7. POPIS LITERATURE

1. Cottle, D.J., Nolan, J.V., Wiedemann, S.G. (2011.): Ruminant enteric methane mitigation: a review. *Animal Production Science* 1836-0939/11/060491.
2. Cherdthong A. (2012.): The current approaches for reducing methane production from ruminants. *Khon Kaen Agri J*, 40, 93–106.
3. Delja-Ružić, V., Jelavić, V., Herenčić, L., Hublin, A., Marković, B., Radoš, D., Stankić, I., Marković, K., Magdić D., Švedek, I. (2017.): Izvješće o projekcijama stakleničkih plinova. Hrvatska agencija za okoliš i prirodu, Republika Hrvatska, Zagreb.
4. Deighton, M.H., Williams, O.R., Hannah, M.C., Eckard, R.J., Boland, T.M., Wales, W.J., Moate, P.J. (2014.): A modified sulphur hexafluoride tracer technique enables accurate determination of enteric methane emission from ruminants. *Animal Feed Science and Technology* 10.1016.
5. Dini, Y., Cajarville, C., Gere, J.I., Fernandez, S., Fraga, M., Pravia, M.I., Navajas, E.A. Ciganda V.S. (2019.) Association between residual feed intake and enteric methane emission in Hereford Steers. Oxford University Press on behalf of the American Society of Animal Science, 3, 239-246.
6. Domaćinović, M (1999.): praktikum vježbi hranidbe domaćih životinja. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek.
7. Domaćinović, M., Antunović, Z., Džomba, E., Opačak, A., Baban, M. (2015.): Specijalna hranidba domaćih životinja. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek.
8. Duin, E. C., T. Wagner, S. Shima, D. Prakash, B. Cronin, D. R. Yáñez-Ruiz, S. Duval, R. Rumbeli, R. T. Stemmler, R. K. Thauer, M. Kindermann (2016.): Mode of action uncovered for the specific reduction of methane emissions from ruminants by the small molecule 3-nitrooxypropanol. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 113:6172–6177.
9. Duval, S., Kindermann, M (2012.): Use of nitrooxy organic molecules in feed for reducing methane emission in ruminants, and/ or to improve ruminant performance. World Intellectual Property Organization, assignee. Pat. No. WO 2012/084629 A1.
10. Fitzsimons, C., Kenny, D.A., Deighton, M.H., Fahey, A.G., McGee, M. (2013.): Methane emissions, body composition, and rumen fermentation traits of beef heifers differing in residual feed intake. *J Anim Sci* 91, (12), 5789–800.
11. Gantner, R., Bukvić, R., Steiner, Z., (2020.): Proizvodnja krmnog bilja. Fakultet Agrobiotehničkih znanosti Osijek, Osijek.

12. Gerber, J.P., Makkar, H., Henderson, B., Oh, J. (2013.): Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production-a review of technical options for non-CO2 emissions. ReasarchGate 978-92-5-107659-0
13. Hegarty, R., (2013.): Applicability of short-term emission measurements for on-farm quantification of enteric methane. *The Animal Consortium* 7, 401-408.
14. Hristov, A.N., Oh, J., Giallongo, F., Frederick, T.W., Harper M.T., Weeks, H.L., Branco, A.F., Moate, P.J., Deighton, M.H., Williams, R.O., Kindermann, M., Duval, S., (2015.): An inhibitor persistently decreased enteric methane emission from dairy cows with no negative effect on milk production. *Department of Animal Science* 34, 10663-10668.
15. Hristov, A.N., Oh, J., Giallongo, F., Frederick, T., Weeks H., Zimmerman P.R., Harper, M.T., Hristova, R.A., Zimmerman, S.R., Branco, A.F. (2015.): The Use of an Automated System (GreenFeed) to Monitor Enteric Methane and Carbon Dioxide Emission from Ruminant Animals. *Journoal of Visualized Experiments* 10.3791/52904
16. Johnson, D.E., Johnson, K.A. (1995.): Methane emission from cattle. *Journal of animal science* 8, 2483-2492.
17. Jones, F.M., Phillips, F.A., Naylor, T., Mercer, N.B. (2011.): Methane emissions from grazing Angus beef cows selected for divergent residual feed intake. *Anim Feed Sci Technol*, 166–167:302–7.
18. Kirovski, D., Jovanović, L.J., Bošnjaković, D., Stojić, M., Prodanović, R., Nedić, S., Vujanac, I., (2022.): Emisija metana sa farmi visokomlečnih krava – potencijalni rizik za životnu sredinu. *Fakultet veterinarske medicine, Beograd, Beograd*.
19. Kulišić, B. (2022.): Prema ugljično-neutralnom stočarstvu u Republici Hrvatskoj. *Zbornik predavanja. Hrvatska agencija za poljoprivredu i hranu, Sv. Martin na Muri, 6-7. travanj, 2022.)*
20. Llonch, P., Somarriba, M., Duthie, C. A., Haskell, M.J., Rooke, J.A., Troy, S., Roehe, R., Turner, S.P. (2016.): Association of Temperament and Acute Stress Responsiveness with Productivity, Feed Efficiency, and Methane Emission in Beef Cattle: An Observational Study. *Frontiers in Veterinary Science* 10.3389
21. Llonch, P., Somarriba, M., Duthie, C.D., Troy, S., Roehe, R., Rooke, J., Haskell M.J. i Turner, S.P. (2018.): Temperament and dominance relate to feeding behaviour and activity in beef cattle: implications for performance and methane emissions. *Animal*, 12, (12), 2639–2648.

22. Malgara, A., Lagea, C.F.A., Nedelkova, K. (2020.): Emisija metana u crijevima, proizvodnja mlijeka i sastav mliječnih krava hranjenih 3-nirooksiopropanolom, *J. Dairy Sci.* 104, 357-366.
23. Martin, C., Morgavi, D.P., Doreau, M. (2009.): Methane migration in ruminants: from microbe to the farm scale. *Animal* 3, (4), 351-365.
24. McDonnell, R.P., Hart, K.J., Boland, T.M., Kelly, A.K., McGee, M., Kenny, D.A. (2016.): Effect of divergence in phenotypic residual feed intake on methane emissions, ruminal fermentation, and apparent whole-tract digestibility of beef heifers across three contrasting diets. *J Anim Sci*, 94, (3), 1179–93.
25. Obradović, V., Mijić, P, Knežević, I., Baban, M., (2006.): Suživot goveda u stadu. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek
26. Opio, C., Gerber, P., Falcucci, A., Tempio, G., MacLeod, M., Vellinga, T., Henderson, B., Steinfeld, H. (2013.): Greenhouse gas emissions from ruminant supply chains. A global life cycle assesment. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome
27. Roehe, R., Dewhurst, R.J., Duthie, C., Rooke, J.A., McKain, N., Ross, D.W., Hyslop, J.J., Waterhouse, A.,Freeman, T.C., Watson, M., Wallace, R.J. (2016.): Bovine Host Genetic Variation Influences Rumen Microbial Methane Production with Best Selection Criterion for Low Methane Emitting and Efficiently Feed Converting Hosts Based on Metagenomic Gene Abundance. *Plos Genetics* 10.1371
28. Sahakian, A.B., Jee, S., Pimentel, M., (2009.): Metan i gastrointestinalni trakt. *SpringerLink* 55, 2135-2143.
29. Sakamoto, L.S., Souza, L.L., Gianvecchio, A.B., Vargas de Olivera, M.H., Augusto II de Vasconcelos Silva, J., Canesin, R.C., Branco, R.H., Baccan, M., Berndt, A., Galvão de Albuquerque, L., Zerlotti Marcadante, M.E. (2021.): Phenotypic association among performance, feed efficiency and methane emission traits in Nellore cattle 2018/17513-5
30. Šimić, R., Matković, K., Ostović, M., Pavičić, Ž, Mihaljević, Ž. (2018.): Utjecaj obogaćenog okoliša na pojavu agresivnog ponašanja junadi u tovu. *Veterinarska stanica* 49, (4), 239-245.
31. Švedek, I., Poljanac, M., Delja-Ružić, V., Jelavić, V., Hulbin, A., Marković, B., Magdić, D., Radoš, D., Stankić I., Marković, K., Stankić, I., (2017.): Izvješće o

- inventaru Stakleničkih plinova na području Republike Hrvatske za razdoblje 1990.-2015. (NIR 2017.) Hrvatska agencija za okoliš i prirodu, Zagreb.
32. Švedek, I., Poljanac, M., Delja-Ružić, V., Jelavić, V., Hulbin, A., Marković, B., Magdić, D., Radoš, D., Stankić I., Marković, K., Stankić, I. (2021.): Izvješće o inventaru stakleničkih plinova na području Republike Hrvatske za razdoblje 1990.-2019. (NIR 2021). Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja. Republika Hrvatska.
33. Velazco, J.I., Cottle, D.J., Hegarty R.S. (2014.): Methane emissions and feeding behaviour of feedlot cattle supplemented with nitrate or urea. *Csiro publishing* 54, 1737-1740
34. Van Wesemael, D., Vandaele, L., Ampe, B., Cattrysse, H., Duval, S., Kindermann, M., Fievez, V., De Campeneere, S., Peiren, N. (2018.): Reducing enteric methane emissions from dairy cattle: Two ways to supplement 3-nitrooxypropanol. *J. Dairy Sci.* 102, 1780–1787.
35. Vučemilo, M., Pavičić, Ž., Matković, K., Ostović, M. (2019.): Dobrobit farmskih životinja i konja. Dobrobit životinja, Naklada Slap, Jastrebarsko.
36. Wanapat, M., Cherdthong, A., Phesatcha, K., Kang, S., (2015.): Dietary sources and their effects on animal production and environmental sustainability. *Animal Nutrition* 2405-6545.
37. Wallace, R. J., Rooke, J. A., Duthie, C. A, Hyslop, J. J., Ross, D.W., McKain, N., et al. (2014.): Archaeal abundance in post-mortem ruminal digesta may help predict methane emissions from beef cattle. *Sci Rep.*, 4, 5892.

Internet izvori:

1. Agroportal.hr (2019.), Smještaj i držanje mliječnih krava (izvor: <https://www.agroportal.hr/uzgoj-goveda/17800>) pristupljeno 3.7.2022.
2. Dairy Global (2020.): 5 pristupa nutricionista za mliječne proizvode za smanjenje metana. (izvor: <https://www.dairyglobal.net/health-and-nutrition/5-dairy-nutritionist-approaches-to-reduce-methane/>) pristupljeno 10.7.2022.
3. Dairy Global (2020.): Ublažavanje proizvodnje metana u buragu. (izvor: <https://www.dairyglobal.net/health-and-nutrition/nutrition/mitigating-methane-production-in-the-rumen/>) pristupljeno 10.7.2022.

4. Obnovljivi zeleno (2021.): Metan (izvor: <https://www.renovablesverdes.com/bs/metan/>) pristupljeno 10.7.2022.
5. Veterinarski portal (2015.): utjecaj smještaja na ponašanje, dobrobit i zdravlje mliječnih krava. (izvor: <https://veterina.com.hr/?p=42931>) pristupljeno 5.7.2022.

8. SAŽETAK

Emisija stakleničkih plinova među kojima je i emisija metana (CH_4) u govedarskoj proizvodnji ima loš utjecaj na okoliš, te se proizvodnja stakleničkih plinova želi svesti na minimum. Aktivnost i hranidbeno ponašanje goveda povezano je s učinkovitošću hranidbe i emisije metana. Goveda koja imaju veću dnevnu aktivnost odnosno veći broj koraka imaju lošiju hranidbenu učinkovitost. Životinje s boljom hranidbenom učinkovitošću konzumiraju značajno manje suhe tvari, imaju veću konverziju i prosječni prirast te proizvode značajno manje metana u odnosu na grla koja imaju lošiju hranidbenu učinkovitost. Bolja učinkovitost hranidbe se povećava s duljim vremenom hranjenja (većim brojem odlazaka do hranidbenog stola), a emisija CH_4 se smanjuje sa češćim obrocima. Dominantni bikovi jedu češće i dulje, a smanjenje konkurencije (sukoba) na hranidbenom stolu poboljšava hranidbenu učinkovitost i emisiju metana. Odabir mirnijih i hranidbeno učinkovitijih goveda smanjilo bi aktivnost i povećao unos suhe tvari, poboljšao konverziju a sukladno tome i smanjio emisiju metana.

9. SUMMARY

The emission of greenhouse gases, including the emission of methane (CH₄) in cattle production has a bad impact on the environment, and the production of greenhouse gases should be minimized. Activity and feeding behavior of cattle is related to feeding efficiency and methane emission. Cattle that have a higher daily activity, i.e. a higher number of steps, have a worse feeding efficiency. Animals with better feed efficiency consume significantly less dry matter, have higher conversion and average daily gain, and produce significantly less methane compared to those with worse feed efficiency. Better feeding efficiency increases with longer feeding time (more visiting to the feeder), and CH₄ emissions decrease with more frequent feedings. Dominant bulls eat more often and for longer, and reducing competition (conflict) on the feeding area improves feeding efficiency and methane emissions. Selection of calmer and more nutritionally efficient cattle would reduce activity and increase dry matter intake, improve conversion and, accordingly, reduce methane emissions.

10. POPIS TABLICA

| | | |
|-------------|--|----|
| Tablica 1. | Pregled emisije enteričkog metana kod tovnih krava, volova i junica | 10 |
| Tablica 2. | Prosječne vrijednosti tovnih goveda u pogledu dominacije, hranidbenog ponašanja, aktivnosti i temperamenta | 21 |
| Tablica 3. | Utjecaj pasmine, vrste obroka, hranidbenog ponašanja i aktivnosti na emisiju metana kod tovnih goveda | 22 |
| Tablica 4. | Prosječne vrijednosti svojstava hranidbenog ponašanja, temperamenta i dominacije tovnih goveda pri fiksnom utjecaju vrste obroka | 22 |
| Tablica 5. | Prosječne vrijednosti svojstava hranidbenog ponašanja, temperamenta i dominacije tovnih goveda pri fiksnom utjecaju pasmine | 22 |
| Tablica 6. | Srednje vrijednosti performansi, iskoristivosti hrane i emisije metana prema dnevnom unosu hrane Nellore pasmine | 23 |
| Tablica 7. | Različite strategije za smanjenje emisije metana te očekivano smanjenje od preživača | 28 |
| Tablica 8. | Primjer osnovnog obroka | 32 |
| Tablica 9. | Unos, dnevni prirast i hranidbeno ponašanje životinja obzirom na količinu rezidualnog ostatka hrane | 33 |
| Tablica 10. | Emisija metana kod bikova u ovisnosti na rezidualni unos hrane | 33 |
| Tablica 11. | Primjer razlike u emisiji metana kod pasmina Aberdeen Angus i Limousin | 34 |
| Tablica 12. | Primjer dvije izvedbe obroka korišten u istraživanju utjecaja pasmine na mikrobnu populaciju buraga i emisiju metana | 35 |

11. POPIS SLIKA

| | | |
|----------|---|----|
| Slika 1. | Emisija metana tijekom procesa probave kod goveda | 7 |
| Slika 2. | GreenFeed TM metoda za mjerenje emisije metana | 12 |
| Slika 3. | Potencijalni načini za smanjenje proizvodnje metana | 27 |
| Slika 4. | Kemijska formula 3-nitrooxypropanol | 30 |

12. POPIS GRAFIKONA

| | | |
|-------------|---|----|
| Grafikon 1. | Ukupna emisija stakleničkih plinova u svijetu | 2 |
| Grafikon 2. | Ukupna emisija stakleničkih plinova u Europi | 3 |
| Grafikon 3. | Prikaz izvora stakleničkih plinova | 3 |
| Grafikon 4. | Prikaz proizvodnje stakleničkih plinova kod goveda u mliječnoj i mesnoj | 4 |
| Grafikon 5. | Prikaz povećanja emisije CO ₂ i CH ₄ u razdoblju od 2005. do 2020. godine na području Europe | 6 |
| Grafikon 6. | Emisija metana od zrelih ne-muznih, muznih i mladih goveda | 7 |
| Grafikon 7. | Korelacija između unosa suhe tvari (DMI) i emisije metana kod bikova i junica Nellore pasmine goveda u ovisnosti na ostatke hrane | 24 |
| Grafikon 8. | Korelacija između emisije metana i prosječnog dnevnog prirasta (ADG) i kod bikova i junica Nellore pasmine goveda u ovisnosti na ostatke hrane (trokutići – negativni RFI; krugovi – pozitivni RFI) | 24 |

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet Agrobiotehničkih znanosti Osijek
Sveučilišni diplomski studij Zootehnike, smjer Hranidba domaćih životinja

Diplomski rad

Emisija metana vezana za hranidbeno ponašanje goveda

Helena Horvat

Sažetak

Emisija stakleničkih plinova među kojima je i emisija metana (CH₄) u govedarskoj proizvodnji ima loš utjecaj na okoliš, te se proizvodnja stakleničkih plinova želi svesti na minimum. Aktivnost i hranidbeno ponašanje goveda povezano je s učinkovitošću hranidbe i emisije metana. Goveda koja imaju veću dnevnu aktivnost odnosno veći broj koraka imaju lošiju hranidbenu učinkovitost. Životinje s boljom hranidbenom učinkovitošću konzumiraju značajno manje suhe tvari, imaju veću konverziju i prosječni prirast te proizvode značajno manje metana u odnosu na grla koja imaju lošiju hranidbenu učinkovitost. Bolja učinkovitost hranidbe se povećava s duljim vremenom hranjenja (većim brojem odlazaka do hranidbenog stola), a emisija CH₄ se smanjuje sa češćim obrocima. Dominantni bikovi jedu češće i dulje, a smanjenje konkurencije (sukoba) na hranidbenom stolu poboljšava hranidbenu učinkovitost i emisiju metana. Odabir mirnijih i hranidbeno učinkovitijih goveda smanjilo bi aktivnost i povećao unos suhe tvari, poboljšao konverziju a sukladno tome i smanjio emisiju metana.

Rad je izrađen pri: Fakultet Agrobiotehničkih znanosti Osijek

Mentor: izv.prof.dr.sc. Tina Bobić

Broj stranica: 46

Broj grafikona i slika: 12

Broj tablica: 12

Broj literaturnih navoda: 42

Jezik izvornika: Hrvatski

Ključne riječi: emisija metana, hranidbeno ponašanje, goveda

Datum obrane:

Stručno povjerenstvo za obranu:

1. prof. dr. sc. Pero Mijić, predsjednik
2. izv. prof. dr. sc. Tina Bobić, mentor
3. prof. dr. sc. Zvonimir Steiner, član

Rad je pohranjen u: Knjižnica Fakulteta Agrobiotehničkih znanosti u Osijeku, Sveučilište Josip Juraj Strossmayer Osijek, V. Preloga 1

BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek
Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek
University Graduate Studies, Feeding domestic animals

Graduate thesis

Methane emission related to the feeding behaviour of cattle

Helena Horvat

Abstract

The emission of greenhouse gases, including the methane emission (CH₄) in cattle production has a bad impact on the environment, and the production of greenhouse gases should be minimized. Activity and feeding behavior of cattle is related to feeding efficiency and methane emission. Cattle that have a higher daily activity, i.e. a higher number of steps, have a worse feeding efficiency. Animals with better feed efficiency consume significantly less dry matter, have higher conversion and average daily gain, and produce significantly less methane compared to those with worse feed efficiency. Better feeding efficiency increases with longer feeding time (more visiting to the feeder), and CH₄ emissions decrease with more frequent feedings. Dominant bulls eat more often and for longer, and reducing competition (conflict) on the feeding area improves feeding efficiency and methane emissions. Selection of calmer and more nutritionally efficient cattle would reduce activity and increase dry matter intake, improve conversion and, accordingly, reduce methane emissions.

Thesis performed at: Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

Mentor: izv.prof.dr.sc. Tina Bobić

Number of pages: 46

Number of figures: 12

Number of tables: 12

Number of references: 42

Original in: Croatian

Key words: methane emission, feeding behaviour, cattle

Thesis defended on date:

Reviewers:

- 1. Full Professor Pero Mijić, president**
- 2. Associate professor Tina Bobić, mentor**
- 3. Full Professor Zvonimir Steiner, member**

Thesis deposited at: Library, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, V. Preloga 1