

Emisija metana sa farmi visokomlečnih krava

Autori: Danijela Kirovski¹, Ljubomir Jovanović¹, Dušan Bošnjaković¹, Milica Stojković¹, Slavica Dražić¹, Radiša Prodanović², Sveta Arsić², Sreten Nedić², Ivan Vujanac²

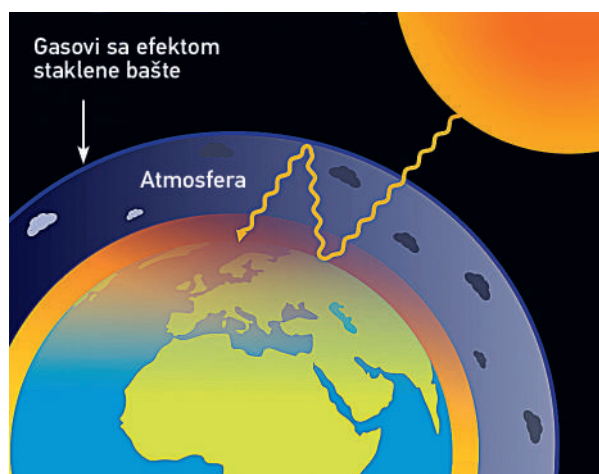
Kratak sadržaj: Globalno zagrevanje, odnosno povećanje prosečne temperature vazduha na Zemlji antropogenog porekla, izaziva nepovratne promene životne sredine. Glavni gasovi sa efektom staklene bašte su ugljen dioksid (CO₂), metan (CH₄) i azot suboksid (N₂O). Iako je procenat zastupljenosti CH₄ manji od CO₂, njegov ukupni globalni potencijal zagrevanja je 28 puta veći od CO₂. U ukupnoj antropogenoj emisiji gasova sa efektom staklene bašte, stočarska proizvodnja učestvuje sa 14,5%, sa najvećim doprinosom u emisiji CH₄ (44%). Govedarska proizvodnja, u odnosu na ostale sektore stočarstva, najviše doprinosi efektu staklene bašte. Visokomlečne krave imaju dominantnu ulogu, pošto je produkcija ovih gasova uključujući i CH₄, vezana za aktivnost buraga, kojeg naseljavaju različite vrste anaerobnih bakterija, arheja, protozoa i gljivica. Visokomlečne krave proizvode CH₄ najvećim delom (oko 90%) enteričnom fermentacijom. Naime, metanogene bakterije buraga konvertuju stvoreni CO₂ i H₂ u CH₄, koji zatim eliminišu pretežno podrigivanjem. Preostali deo CH₄ sa farmi krava potiče iz stajnjaka (oko 10%). Danas, umanjeње emisije putem enterične fermentacije predstavlja veliki izazov i napori naučne zajednice su usmereni na pronalaženje načina za preusmeravanje metaboličkih puteva od onih koji vode proizvodnji CH₄ prema onima koji vode ka porastu proizvodnje mleka. Umanjenje emisije CH₄ iz fecesa se postiže primenom odgovarajućeg sistema upravljanja stajnjakom.

Ključne reči: enterična fermentacija, metan, visokomlečne krave, životna sredina

Uvod

POPULACIJA ljudi na našoj planeti je u stalnom porastu i zbog toga se očekuje da će do 2050. godine na Zemlji biti 9,7 milijardi ljudi. Porastom broja stanovnika, potrebe za hranom će se značajno povećati. Ove povećane potrebe neće moći da se zadovolje biljnim kulturama u okviru trenutne poljoprivredne proizvodnje. Da bi se nadomestio nedostatak hrane, zahtevi u stočarskoj proizvodnji, kojom se obezbeđuje konverzija nutritivno nisko vredne biljne hrane u nutritivno visoko vredna proteinska hraniva životinjskog porekla, u budućnosti će se povećati. Međutim, u poslednje vreme se sve više ukazuje da intenziviranje stočarske proizvodnje može značajno da ugrozi životnu sredinu. To se pre svega odnosi na farme goveda, a posebno farme visokomlečnih krava. Ove farme zbog visoke proizvodnje mleka, oslobađaju značajne količine gasova sa efektom staklene bašte

(engl. *Greenhouse Gasses*; GHG), koji su prisutni u atmosferi. Naime, Sunčeva svetlost pada na zemljinu površinu gde se njena energija apsorbira, a zatim vraća nazad u atmosferu kao toplota. Molekuli pojedinih gasova zadržavaju toplotu odbijenu sa Zemljine površine, a zatim je opet preusemeravaju nazad prema Zemlji (slika 1).



Slika 1. Zadržavanje toplote u Zemljinoj atmosferi od strane gasova sa efektom staklene bašte (ilustrovali Kirovski D. i sar.)

¹ Univerzitet u Beogradu, Fakultet veterinarske medicine, Katedra za fiziologiju i biohemiju

² Univerzitet u Beogradu, Fakultet veterinarske medicine, Katedra za bolesti papkara

Zahvaljujući ovom fenomenu, klima na Zemlji je pogodna za život. Bez njega, površina Zemlje bi u proseku bila hladnija za oko 33°C. Različite aktivnosti na Zemlji su dovele do povećanog oslobađanja GHG, što je posledično dovelo do globalnog zagrevanja planete. Utvrđeno je da koncentracija GHG, godišnje poraste za oko 1,4%. Aktivnosti koje menjaju sastav atmosfere i time mogu da dovedu do klimatskih promena u pravcu globalnog zagrevanja, mogu biti rezultat prirodnih procesa ili različitih aktivnosti ljudi (antropogenog porekla). Čovek je svojim aktivnostima doveo do povećanog oslobađanja GHG, odnosno povećanog zadržavanja toplote u atmosferi, što je dovelo do globalnog zagrevanja planete. Prema Međuvladinom panelu o klimatskim promenama (engl. *Intergovernmental Panel on Climate Change* — IPCC) najznačajniji faktori koji doprinose povećanju emisije GHG su: povećanje broja stanovnika, ekonomska aktivnost, životne navike, način korišćenja zemljišta i korišćena tehnologija. Najznačajniji izvori emisije GHG su: (1) proizvodnja električne i toplotne energije koja podrazumeva sagorevanje uglja, nafte i prirodnog gasa; (2) poljoprivreda i promene u načinu korišćenja zemljišta (seča šuma); (3) industrija, koja podrazumeva proizvodnju različitih dobara i sirovina (cementa, čelika i sl.), preradu hrane i izgradnju objekata, (4) transport, za koji je potrebno sagorevanje naftnih goriva, benzina i dizela (IPCC 2006).

Najznačajniji GHG su ugljen dioksid (CO₂), koji doprinosi ukupnoj emisiji 55%, metan (CH₄), koji doprinosi 15%, azot suboksid (N₂O), koji doprinosi 6% i hlorofluorougljovodonik (HFC) i perfluorougljenik (PFC), koji zajedno doprinose 25% (Jose i sar. 2016). Iako je CH₄ drugi po zastupljenosti GHG u atmosferi, odmah posle CO₂, njegov potencijal zagrevanja planete je značajno veći od CO₂. Naime, s obzirom da nemaju svi GHG istu sposobnost da apsorbuju toplotu u atmosferi, uveden je pojam globalnog potencijala zagrevanja (engl. *Global Warming Potential* — GWP), a koji predstavlja odnos toplote apsorbovane od strane jedinične mase nekog gasa u odnosu na toplotu apsorbovanu od strane jedinične mase CO₂ u toku određenog perioda. GWP se izražava kao CO₂ ekvivalent (CO₂-eq) i prikazuje za period od 100 (GWP₁₀₀) ili 20 godina (GWP₂₀). Tako je GWP₁₀₀ za CH₄ 28, a to znači da jedan molekul CH₄ ima isti efekat GHG kao 28 molekula CO₂ računato za period od 100 godina, dok je za kraći vremenski period GWP za

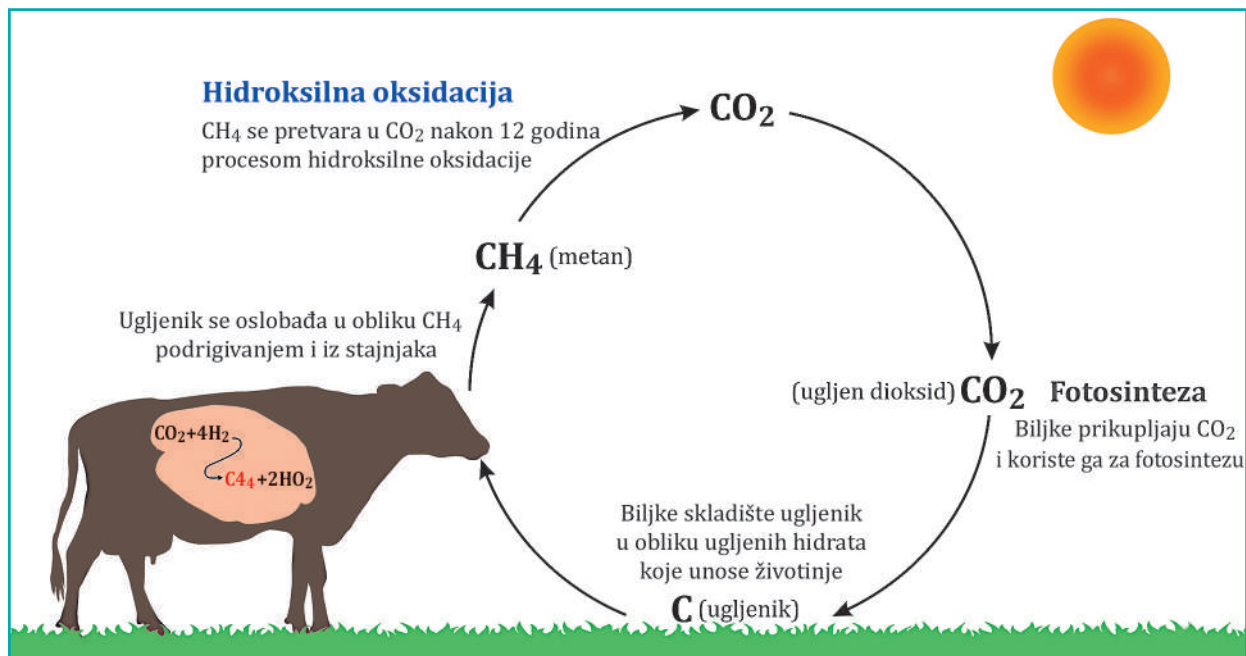
CH₄ veći. Tako, vrednost GWP₂₀ za CH₄ raste na 84 (Myhre i sar. 2013). Konačno, uveden je još jedan pojam – GWP* (engl. *Global Warming Potential star* — GWP*) koji preciznije uzima u obzir uticaj gasova sa kratkim vekom u atmosferi, kojima pripada i metan sa vekom od 12 godina.

Metan se od prirodnih izvora najviše emituje sa močvarnih područja, a kada su u pitanju antropogeni izvori, sa stočarskih farmi. Govedarska proizvodnja, u odnosu na druge grane stočarstva, najviše doprinosi efektu staklene bašte. Unutar govedarske proizvodnje, najveći procenat GHG se proizvodi na farmama visokomlečnih krava. Prema podacima iz 2020. godine, stanovnici Evropske unije su preko 50% svojih potreba za proteinima zadovoljili konzumacijom mesa i mleka. Prema statističkim podacima za 2020. godinu, svaki stanovnik Evrope je konzumirao 69,5 kg mesa i 236 litara mleka. Pored toga što stočarska proizvodnja obezbeđuje snabdevanje stanovništva nutritivno vrednom hranom animalnog porekla, u globalnoj antropogenoj emisiji GHG, sektor stočarstva učestvuje čak sa 14,5%, čemu najviše doprinosi emisija CH₄ (44%). Postoje dva glavna izvora CH₄ na farmama visokomlečnih krava: enterična fermentacija koja doprinosi 90 do 95% emisije CH₄ i oslobađanje CH₄ iz stajnjaka tokom njegove obrade ili skladištenja, preostalih 5 do 10%. Na osnovu očekivanih promena u stočarskoj proizvodnji ali i navika potrošača, očekuje se da će emisija CH₄ enteričnom fermentacijom, u poređenju sa 1995. godinom, do 2055. godine porasti za 70% (Reisinger i sar. 2021).

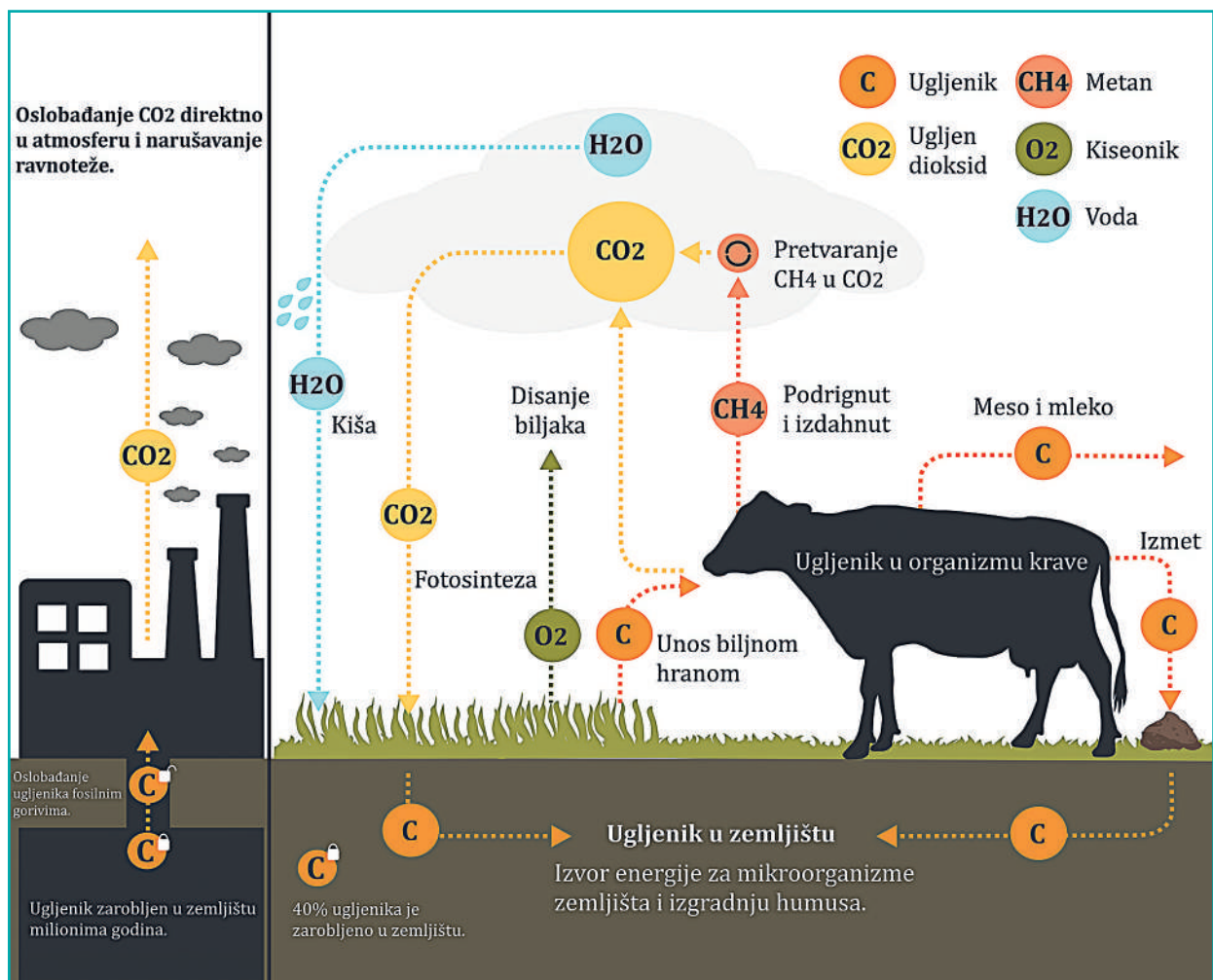
Biogeni ciklus ugljenika

Iako je tačno da visokomlečne krave predstavljaju značajan izvor enteričnog metana, važno je napomenuti da je metan koji one oslobode, deo prirodnog ciklusa označenog kao biogeni ciklus ugljenika (slika 2).

Ovaj ciklus se zasniva na sposobnosti biljaka da preuzmu CO₂ iz atmosfere i deponuju ga u listovima, stabljikama i korenju, gde će se pod uticajem Sunčeve svetlosti odigrati proces fotosinteze, kojim se stvaraju ugljeni hidrati (šećeri) od CO₂ i vode kao polaznih jedinjenja, uz oslobađanje molekuskog kiseonika (O₂). Pri tome, fotosinteza zauzima centralno mesto u biogenom ciklusu ugljenika jer se tokom ovog procesa prevashodno sintetišu strukturni ugljeni hidrati biljaka, poznatiji kao biljna vlakna, a na prvom mestu celuloza, koja nije svarljiva u digestivnom traktu ljudi.



Slika 2. Biogeni ciklus ugljenika (ilustrovali Kirovski D. i sar.)



Slika 3. Razlike u ugljeničnom ciklusu kada su uključene krave i onom kod fosilnih goriva (ilustrovali Kirovski D. i sar.)

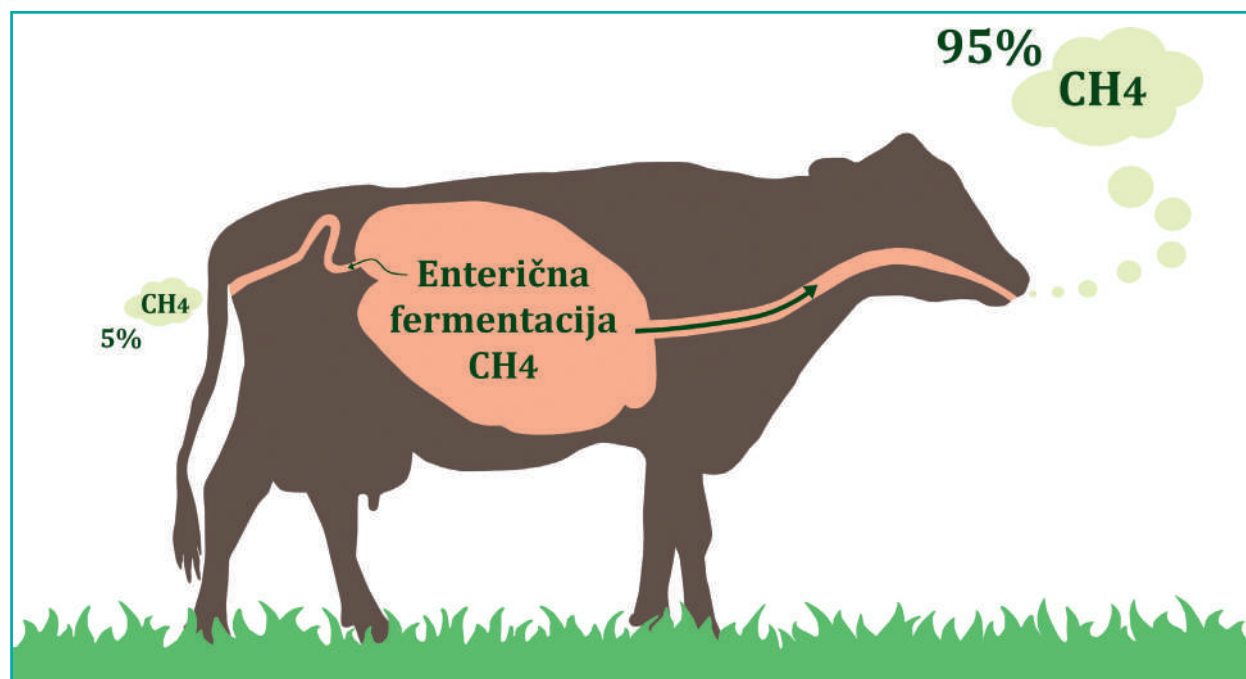
Zahvaljujući mikroorganizmima koji su prisutni u buragu, visokomlečne krave imaju sposobnost razgradnje celuloze, čime ugljenik „zarobljen“ u biljnim vlaknima postaje dostupan organizmu krava i može se iskoristiti za rast, proizvodnju mleka i druge metaboličke procese. Kao nusproizvod razlaganja celuloze u buragu stvara se CH_4 , čije oslobađanje u spoljašnju sredinu podrigivanjem, zapravo, predstavlja vraćanje ugljenika, koji su biljke prethodno preuzele u obliku CO_2 i iskoristile za sintezu ugljenih hidrata, nazad u atmosferu. Životni vek metana u atmosferi se kreće od 10 do 12 godina, nakon čega od njega nastaje CO_2 procesom hidroksilne oksidacije. Tako formiran CO_2 , postaje ponovo dostupan biljkama koje ga mogu preuzeti iz atmosfere i iskoristiti za sintezu ugljenih hidrata u procesu fotosinteze. Kada visokomlečne krave unesu biljnu hranu, u kojoj je ugljenik „zarobljen“ u biljnim vlaknima, biogeni ciklus ugljenika ponovo započinje. Konačno, trajanje biogenog ciklusa ugljenika, odnosno, razmene ugljenika između biljaka i atmosfere, u kojoj posreduju krave, traje približno jednu deceniju. Suprotno tome, razmena ugljenika između atmosfere i geoloških rezervi (duboko podzemlje ispod dna mora ili okeana i stena) iz kojih se ugljenik iscrpljuje u obliku fosilnih goriva, traje približno jedan milenijum, što je stotinu puta duži period. Zbog toga, izvlačenje i sagorevanje fosilnih goriva ima značajno veći uticaj na našu klimu nego biogeni ciklus ugljenika u kome učestvuju gove-

da. Dodatno, izvlačenjem i sagorevanjem fosilnih goriva, oslobađa se ugljenik koji je u zemljištu „zarobljen“ milionima godina, čime se remeti ravnoteža u ciklusu ugljenika jer se oslobađa velika količina ugljenika za kratko vreme, koji se ne može u potpunosti apsorbovati (ukloniti) od strane okeana (slika 3). Zbog toga se ugljenik nakuplja u atmosferi u obliku CO_2 uzrokujući klimatske promene povezane sa globalnim zagrevanjem.

Enterična fermentacija kao izvor emisije metana

Enterična fermentacija predstavlja glavni izvor CH_4 u organizmu krava. Pod enteričnom fermentacijom se podrazumevaju biohemijski procesi u digestivnom traktu preživala prilikom kojih, pored ostalog, dolazi do proizvodnje CH_4 . U digestivnom traktu, enterična fermentacija se odigrava najvećem delom u buragu (oko 95%) dok se u značajno manjoj meri (oko 5%) CH_4 stvara u debelom crevu. Metan stvoren u buragu odstranjuje se podrigivanjem, a CH_4 poreklom iz debelog creva odstranjuje se gasovima preko anusa — flatusima (Reisinger i sar. 2021) (slika 4).

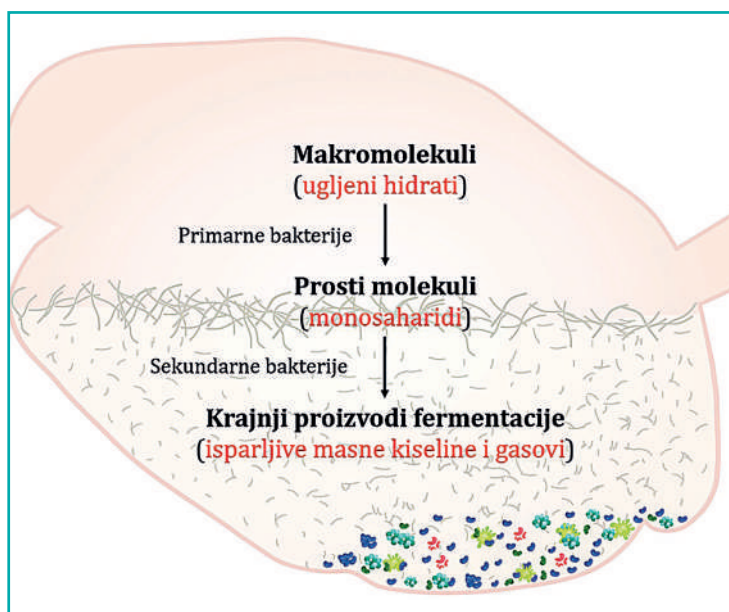
Burag je kompleksan ekosistem koji nastanjuju brojne vrste mikroorganizama u koje spadaju pretežno anaerobne bakterije, protozoe, gljivice, metanogene arheje i fagi. Ovi mikroorganizmi razgrađuju biljni materijal za koji domaćin nema



Slika 4. Proizvodnja i oslobađanje enteričnog metana od strane krava (ilustrovali Kirovski D. i sar.).

razvijen enzimski sistem. Na ovaj način se obezbeđuje energija za domaćina, ali i polazna jedinjenja za sintezu organskih molekula koji ulaze u sastav mišića i mleka. Krajnji rezultat toga je dobijanje nutritivno vrednih proizvoda životinjskog porekla koji se koriste u ishrani ljudi. Međutim, osim višestruke koristi koju ekosistem ima za domaćina, on može predstavljati rizik za životnu sredinu. To se pre svega ogleda u prisustvu metanogenih arheja, čije su metaboličke aktivnosti jednim delom usmerene na proizvodnju CH_4 . Metanogene arheje čine četiri reda, koji obuhvataju više od 32 roda i 112 vrsta mikroorganizama, koji su u buragu najviše rasprostranjeni u tečnoj frakciji sadržaja, mada se nalaze i vezani za čestice biljnog materijala, površinu protozoa ili površinu epitela buraga, kao i unutar protozoa sa kojima, u tom slučaju, ostvaruju posebnu vrstu odnosa (Tapio i sar., 2017).

Pri tome se najveći broj metanogenih arheja u buragu (92,3%), može svrstati u jedan od tri roda/grupe, uključujući *Methanobrevibacter* spp. (61,6%), *Methanomicrobium* spp. (14,9%) i tzv. RCC (15,8%; engl. *Rumen Cluster C*), grupu nekultivišućih metanogenih arheja (Janssen i Kirs, 2008). Ovi mikroorganizmi imaju ćelijski omotač specifične strukture, u kome se ne nalazi muraminska kiselina, već izoprenoidi koji su etarski vezani za glicerol ili druge ugljene hidrate u omotaču. Zbog ove specifičnosti metanogenih arheja identifikovani su hemijski biomarkeri, poput dialkil glicerol etera (DAGE) i glicerol dialkil glicerol tetraetera (GDGT) koji se kao strukturni elementi ćelijskog zida, mogu koristiti za kvantifikaciju metanogena u materijalu koji se teško priprema ili je nepodesan za qPCR (engl. *quantitative Polymerase Chain Reaction*) analize. Takođe, ono što im daje sposobnost za sintezu metana (metanogenezu), koja im obezbeđuje energiju za rast, jeste da su isključivo kod metanogenih arheja prisutna tri koenzima (koenzim F_{420} , faktor B i metil koenzim M). Poznato je da metanogene arheje mogu koristiti veći broj supstrata u procesu metanogeneze, uključujući H_2 , CO_2 , format, metanol, metilamin, dimetil sulfid i određene alkohole. Korišćenje H_2 , CO_2 i formata predstavlja deo tzv. hidrogenotrofnog puta metanogeneze, dok je korišćenje preostalih supstrata deo metilotrofnog puta metanogeneze (Tapio i sar. 2017).



Slika 5. Opšti prikaz procesa fermentacije u buragu (ilustrovali Kirovski D. i sar.)

Zastupljenost pojedinih mikroorganizama u buragu, a pre svega bakterija, prvenstveno zavisi od vrste hrane koju jedinka unosi. Bakterije razlažu složene ugljene hidrate do krajnjih proizvoda fermentacije. Prvo primarne bakterije razlažu složene ugljene hidrate do prostih molekula, koje zatim preuzimaju sekundarne bakterije i konvertuju ih do krajnjih proizvoda fermentacije (slika 5).

Kada u obrocima za ishranu krava veći deo čine kabasta hraniva, u sadržaju buraga dominiraju celulolitičke bakterije, a među njima su najzastupljenije *Fibrobacter*, *Bacteroides* i *Ruminococcus*. Ove bakterije razlažu celulozu do celobioze i dalje do glukoze ili aktivnošću fosforilaze, do glukoze-1-fosfata. Dodatno, bakterijske vrste *Butyrivibrio fibrisolvens* i *Bacteroides rumenicolanos* koje pripadaju grupi hemicelulolitičkih bakterija razlažu hemicelulozu do pentozna. Ukoliko je ishrana zasnovana na koncentrovanim hranivima, u buragu dominiraju amilolitičke bakterijske. Grupu najznačajnijih amilolitičkih bakterija mikroflore sadržaja buraga čine vrste iz rodova *Prevotella* i *Succinivibrio*. One primarno razlažu skrob do maltoze i izomaltoze, a zatim do glukoze ili glukoze-1-fosfata. *Streptococcus bovis* je amilolitička bakterija koja je značajno zastupljena u buragu krava kod kojih se uvodi koncentrovana hrana.

Piruvat je glavni međuproizvod metabolizma u buragu. On se stvara iz heksoza u Embden-Meyerhof-Parnasov-om putu. U ovom metaboličkom putu se glukoza fosforiliše, a zatim pretvara

u dva trioza fosfata koji se zatim kovertuju u dva piruvata. Neto proizvod ovog puta su dva molekula ATP i redukuju se dva NAD^+ u dva NADH. Razlaganjem pentoza u buragu, koje primarno potiču iz hemiceluloze, stvaraju se prvo dva heksozo fosfata i jedan trioza fosfat, a zatim se u Embden-Meyerhof-Parnasov-om metaboličkom putu stvara piruvat. Računato na količinu ugljenikovih atoma, metabolizam heksoza i pentoza obezbeđuje istu količinu ATP-a i NADH-a.

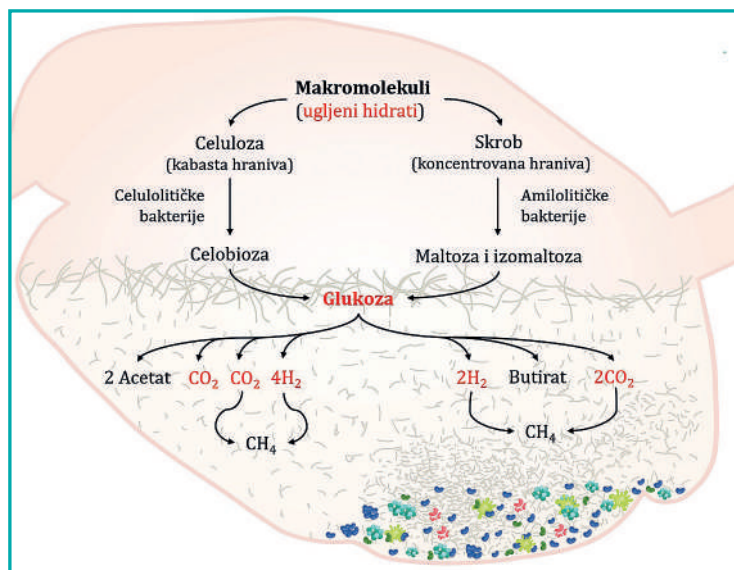
Od piruvata se stvaraju krajnji fermentacioni proizvodi metabolizma u buragu, a to su isparljive masne kiseline, vodonik i ugljen dioksid. Od

isparljivih masnih kiselina najviše su zastupljene propionska, sirćetna i buterna kiselina. Propionska kiselina se može formirati iz piruvata kroz više različitih metaboličkih puteva. Metabolički put preko laktata i akrilata preovladava kada je ishrana preživara bazirana na koncentratima, a put preko sukcinata kada je ishrana bazirana na kabastim hranivima. Pri ishrani koncentratom, proizvedeni laktat može da se nakuplja u buragu i dovodi do nastanka acidoze.

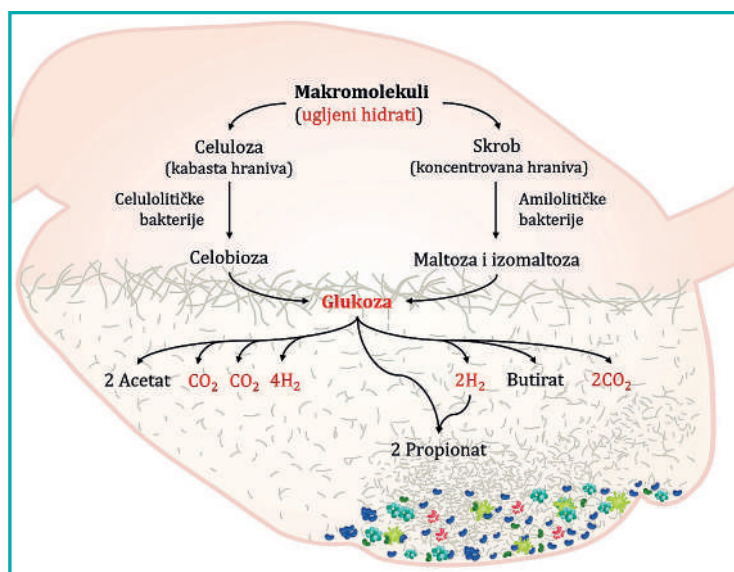
Takođe je veoma bitan biohemijski proces da se stvoreni NADH ponovo oksidiše u NAD^+ . Ova reakcija oksidacije se ostvaruje oslobađanjem H_2 .

Glavni proizvođači H_2 su mikroorganizmi koji proizvode sirćetnu, ali i buternu kiselinu. Ako se H_2 akumulira unutar buraga, oksidacija NADH može biti termodinamički neizvodljiva. Zbog toga su neophodne reakcije uklanjanja H_2 , kao što je stvaranje propionata, ali i metana.

Dakle, iako je H_2 jedan od krajnjih proizvoda fermentacije, on se fiziološki ne nakuplja u buragu, već se pre svega koristi od strane metanogenih arheja. Molarni udeo isparljivih masnih kiselina utiče na količinu oslobođenog metana u sledećim proporcijama: $\text{CH}_4 = 0,45 \text{ C}_2$ (acetat) - $0,275 \text{ C}_3$ (propionat) + $0,40 \text{ C}_4$ (butirat). Iz formule je jasno da proizvodnja acetata i butirata dovodi do produkcije metana, dok je formiranje propionata kompetitivni put u uklanjanju H_2 iz buraga (Lyu i sar, 2018) (slike 6 i 7).



Slika 6. Metabolički putevi u buragu koji dovode do produkcije metana (ilustrovali Kirovski D. i sar.)



Slika 7. Metabolički put u buragu koji smanjuje produkciju metana (ilustrovali Kirovski D. i sar.)

Fermentacija u stajnjaku kao izvor emisije metana

Skladištenjem stajnjaka u anaerobnim uslovima (slika 8) dominantno se razvijaju anaerobni mikroorganizmi kojima pripadaju i metanogeni. Oni razlažu organske materije u odsustvu kiseonika što je udruženo sa proizvodnjom CH_4 . Ovaj proces se odvija u tri faze: hidrolitička, kisela i metanska. Hidrolitička faza podrazumeva razgradnju masti, proteina i ugljenih hidrata do dugolančanih masnih kiselina, aminokiselina i prostih šećera. Dalje, u kiseloj fazi koja se karakteri-

še konverzijom prostih jedinjenja u kratko lančane (C1-C5), nastaju isparljive masne kiseline, kao što su mlečna, propionska i buterna kiselina. Zatim, ove kiseline koriste tzv. homoacetogeni mikroorganizmi koji, tokom proizvodnje sirćetne kiseline, oslobađaju CO_2 i H^+ . Ovo su polazna jedinjenja za metanogenezu koja se odvija acetotrofnim, hidrogenotrofnim i metilotrofnim putem. Između svih nabrojanih vidova metanogeneze, dominantan je acetotrofni put. Postoje procene da ovako nastao CH_4 ima udeo od približno 2% u antropogenoj emisiji. Količina CH_4 koja će se osloboditi iz stajnjaka zavisi od nekoliko ključnih faktora u koje se ubrajaju: upravljanje stajnjakom, godišnje doba (ambijentalna temperatura) i sastav stajnjaka.

Upravljanje stajnjakom predstavlja veoma bitan segment menadžmenta farme visokomlečnih krava, od koga zavisi u kojoj meri će se CH_4 oslobađati iz stajnjaka. Za razliku od ekstenzivne govedarske proizvodnje u kojoj su količine oslobođenog CH_4 iz stajnjaka relativno male, jer on ostaje izložen aerobnim uslovima na pašnjacima, intenzivna govedarska proizvodnja predstavlja značajno veći izvor CH_4 iz stajnjaka. Naime, intenzivna govedarska proizvodnja dovodi do stvaranja velikih količina uglavnom tečnog stajnjaka, koji se skladišti u tankovima ili jamama

u kojima vladaju anaerobni uslovi, koji stimulišu rast metanogenih mikroorganizama i proizvodnju CH_4 . Zbog toga je preporuka da se upravljanje stajnjakom na farmama usmeri u pravcu dobijanja čvrstog stajnjaka koji se skladišti u aerobnim uslovima, čime se smanjuje oslobađanje CH_4 . Pored toga, značajna je i dužina skladištenja stajnjaka. Utvrđeno je da oslobađanje CH_4 iz stajnjaka raste i distiže svoj maksimum u desetoj nedelji skladištenja. Nakon tog perioda oslobađanje CH_4 se postepeno smanjuje sve do 40. nedelje skladištenja, kada potencijal stajnjaka za oslobađanje CH_4 predstavlja samo 8% onog potencijala koji je zabeležen desete nedelje skladištenja (Cárdenas i sar. 2021). Osim toga, isti autori ukazuju da se CH_4 oslobađa iz stajnjaka u većoj meri u letnjem nego u zimskom periodu godine. Niske temperature ometaju metanogenezu, pri čemu optimalna temperatura za ovaj proces iznosi približno 20°C . To znači da se upravljanje stajnjakom na farmama može prilagoditi godišnjem dobu, bilo u pravcu kratkog skladištenja stajnjaka tokom letnjeg, a dugog skladištenja stajnjaka tokom zimskog perioda godine, bilo postupcima hlađenja stajnjaka na farmi. Konačno, ukoliko feces sadrži veću količinu razgradivih organskih materija, imaće veći potencijal za proizvodnju CH_4 od strane metanogenih mikroorganizama.



Slika 8. Skladištenje stajnjaka u anaerobnim uslovima (preuzeto sa biocycle.net)

Povezanost zdravstvenog stanja i emisije GHG od strane krava

Rezultati brojnih istraživanja koja su do danas sprovedena, ukazuju da različita patološka stanja mogu povećati emisiju gasova sa efektom staklene bašte od strane krava. Naime, Mostert i sar. (2018a) navode da krave sa supkliničkom ketozom emituju 6,7 – 9,4 % više gasova sa efektom staklene bašte, pri čemu se taj procenat kretao i do 49,6 % u slučajevima kada je supklinička ketoza bila praćena i drugim oboljenjima kao što su metritis i mastitis. Dodatno, rezultati Mostert-a i sar. (2018b) ukazuju da krave sa različitim oboljenjima papaka imaju i do 13,6% veću emisiju gasova sa efektom staklene bašte. Konačno, Statham i sar. (2021) su izvestili naučnu zajednicu da se smanjenjem broja krava u stadu koje imaju mastitis ili neki oblik neplodnosti, može postići redukcija emisije gasova sa efektom staklene bašte za približno 10%. Ovo nas navodi na zaključak da se adekvatnim menadžmentom farme, usmerenim na redovno praćenje zdravstvenog stanja i smanjivanje stope oboljevanja krava u stadu, može postići smanjene emisije gasova sa efektom staklene bašte.

Literatura

1. Cárdenas A, Ammon C, Schumacher B, Stinner W, Herrmann C, Schneider M, Amon B, 2021, Methane emissions from the storage of liquid dairy manure: Influences of season, temperature and storage duration, *Waste Manag*, 121, 393–402.
2. IPCC — Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006, Emissions from livestock and manure management, In: Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tabane K, editors. IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories, Hayama: IGES, 747–846.
3. Janssen PH, Kirs M, 2008, Structure of the archaeal community of the rumen, *Appl Environ Microbiol*, 74, 3619–25.
4. Jose VS, Sejian V, Bagath M, Ratnakaran AP, Lees AM, Al-Hosni YA, Gaughan JB, 2016, Modeling of greenhouse gas emission from livestock, *Front Env Sci*, 4, 27.
5. Lyu Z, Shao N, Akinyemi T, Whitman WB, 2018, Methanogenesis, *Curr Biol*, 28, 727–32.
6. Mostert PF, Van Middelaar CE, Bokkers EAM, De Boer IJM, 2018, The impact of subclinical ketosis

Zaključak

Unutar govedarske proizvodnje, farme visokomlečnih krava predstavljaju značajan izvor emisije metana. Metan ima značajnu ulogu u globalnom zagrevanju. Metan se stvara fermentacijom u buragu krava (oko 90%), iz koga se pretežno eliminiše podrigivanjem, ali i fermentacionim procesima u stajnjaku (oko 10%). Ključno mesto, sa aspekta zaštite životne sredine, kada je u pitanju metabolički put proizvodnje metana je prihvatanje vodonika od strane metanogenih arheja. U istraživanjima vezanim za smanjenje emisije metana iz buraga krava, interesantni su svi alternativni putevi metabolizma koji će preuzeti vodonik i uključiti ga u procese u kojima će se sintetisati proizvodi koji povećavaju nutritivnu vrednost proizvoda životinjskog porekla uz očuvanje zdravlja i dobrobiti životinja.

Zahvalnica

Istraživanje je sprovedeno uz podršku Fonda za nauku Republike Srbije, broj projekta 7750295, “Mitigation of methane production from dairy cattle farm by nutritive modulation of cow’s metabolism-MitiMetCattle”. ■

- in dairy cows on greenhouse gas emissions of milk production, *J Clean Prod*, 171, 773–82.
7. Mostert PF, Van Middelaar CE, De Boer IJM, Bokkers EAM, 2018, The impact of foot lesions in dairy cows on greenhouse gas emissions of milk production, *Agr Syst*, 167, 206–12.
8. Myhre G, Shindell D, Bréon FM, 2013, Chapter 8, Anthropogenic and natural radiative, In *Climate Change 2013: the Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Eds,TF, Stocker, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 659–740.
9. Reisinger A, Clark H, Cowie AL, Emmet-Booth J, Gonzalez Fischer C, Herrero M, Leahy S, 2021, How necessary and feasible are reductions of methane emissions from livestock to support stringent temperature goals? *Philos Trans A Math Phys Eng Sci*, 379.
10. Tapio I, Snelling TJ, Strozzi F, Wallace RJ, 2017, The ruminal microbiome associated with methane emissions from ruminant livestock, *J Anim Sci Biotechnol*, 8, 1–11.