



Фонд за науку  
Републике Србије

Program IDEJE

CH<sub>4</sub>

Danijela Kirovski

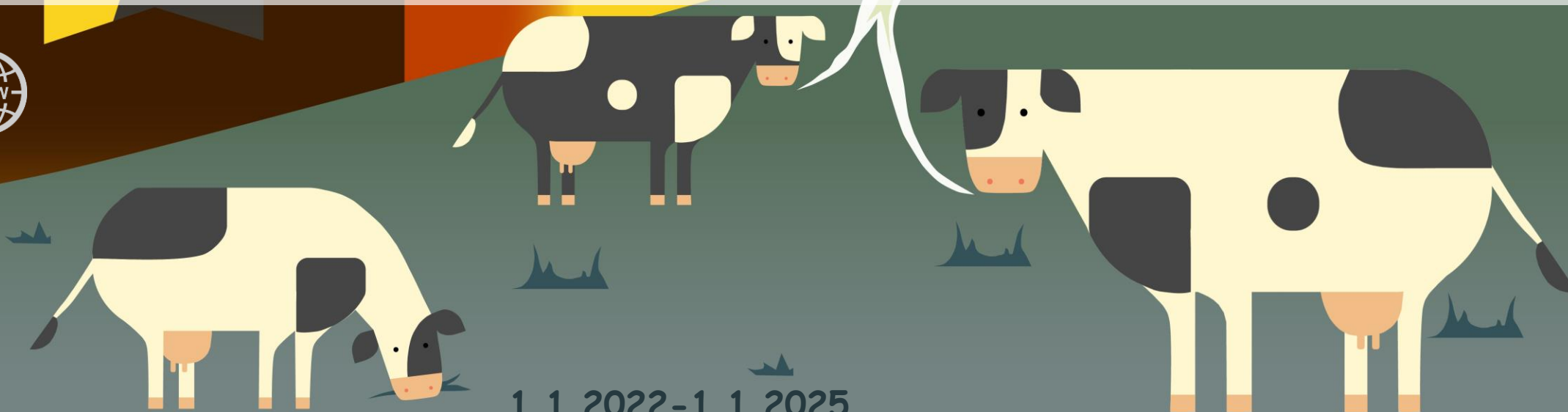
# Smanjenje emisije metana sa farmi krava – rešenje za profitabilnu i ekološki prihvatljivu proizvodnju





Фонд за науку  
Републике Србије  
Program IDEAS

# Mitigation of methane production from dairy cattle farm by nutritive modulation of cow`s metabolism



1.1.2022-1.1.2025

# Naš tim je do sada istraživao:



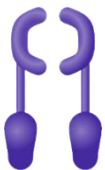
pIRS-1 Ser<sup>307</sup>  
pAkt Ser<sup>473</sup>

## Naše publikacije

SREBP-1

Signalni molekuli u  
različitim tkivima

Biopsija



IR



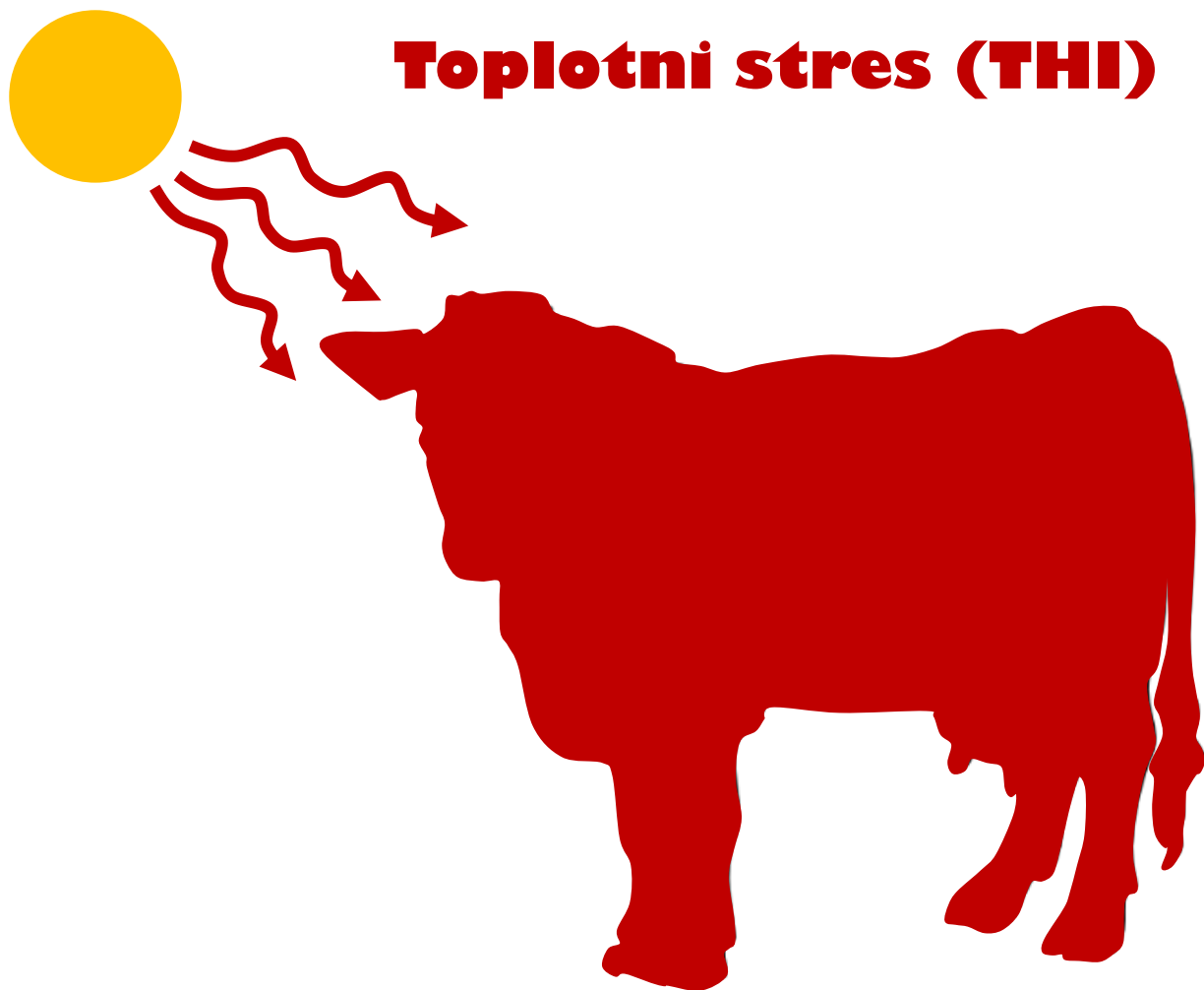
Parametri  
sadržaja  
buraga



Nutritivni  
dodaci

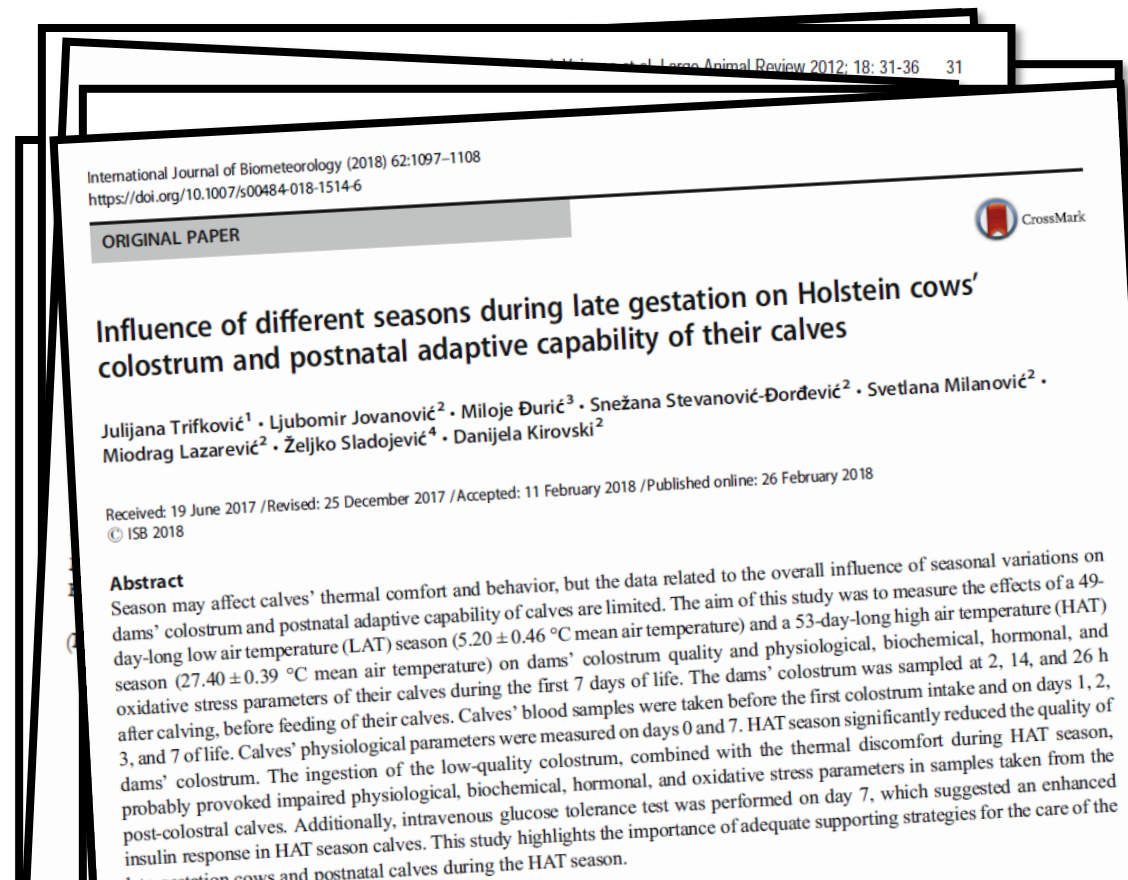


# Naš tim je do sada istraživao:



## Toplotni stres (THI)

## Naše publikacije

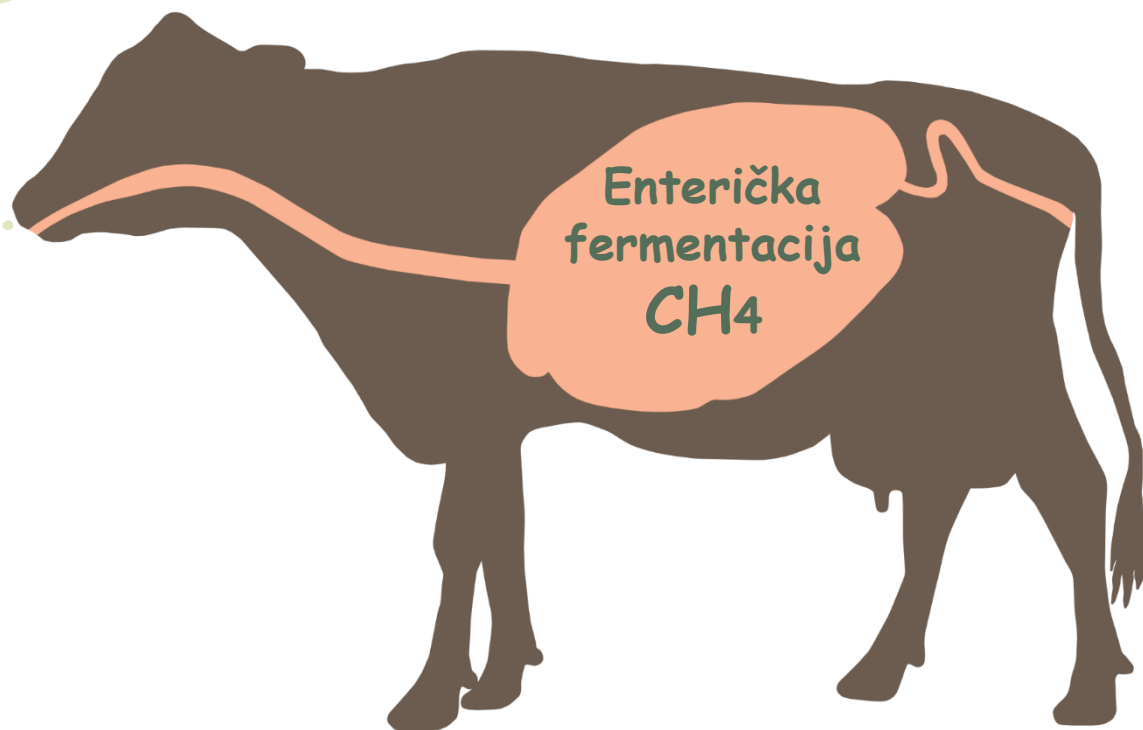




# Naš tim je do sada istraživao:

## Emisija enteričkog metana

CH<sub>4</sub>



## Naše publikacije

Acta Veterinaria-Beograd 2023, 73 (1), 71-86  
UDK: 636.2.09:616-008.9:547.211  
DOI: 10.2478/acve-2023-0006

sciendo  
Research article

**METHANE EMISSION AND METABOLIC STATUS IN PEAK LACTATING DAIRY COWS AND THEIR ASSESSMENT VIA METHANE CONCENTRATION PROFILE**

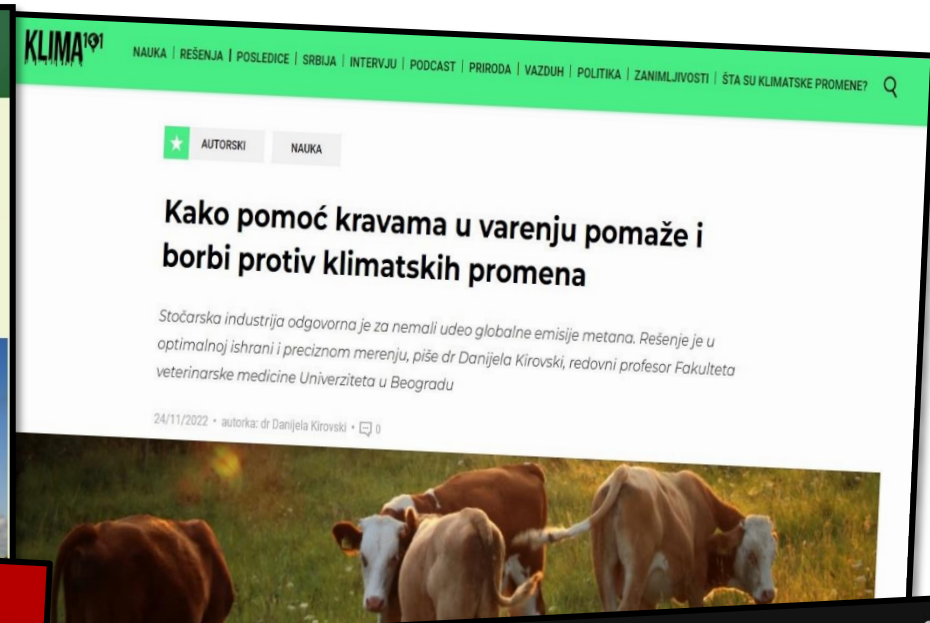
Dušan BOŠNJAKOVIĆ<sup>1</sup>, Danijela KIROVSKI<sup>1</sup>, Radiša PRODANOVIĆ<sup>2</sup>, Ivan VUJANAC<sup>2</sup>, Sveta ARSIĆ<sup>2</sup>, Milica STOJKOVIĆ<sup>1</sup>, Slavica DRAŽIĆ<sup>1</sup>, Sreten NEDIĆ<sup>2\*</sup>, Ljubomir JOVANOVIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University of Belgrade, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Physiology and Biochemistry, Bul. Oslobođenja 18, Belgrade, Serbia; <sup>2</sup>University of Belgrade, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Ruminants and Swine Diseases, Bul. Oslobođenja 18, Belgrade, Serbia

(Received 22 October, Accepted 21 December 2022)

Ruminant husbandry contributes to global methane (CH<sub>4</sub>) emissions and beside its negative impact on the environment, enteric CH<sub>4</sub> emissions cause a loss of gross energy intake in cows. The study is aimed to estimate CH<sub>4</sub> emission and metabolic status in dairy cows via the methane concentration profile as a tool for analyzing the CH<sub>4</sub> emission. The study included eighteen cows whose enteric CH<sub>4</sub> emission

# GOSTOVANJA U MEDIJIMA





Životna sredina  
vazduh, voda i zemljište u/na kome žive ljudi, životinje i biljke





# Zagađenje životne sredine

unošenje zagađujućih materija u životnu sredinu koje imaju ili mogu imati štetne posledice po životnu sredinu, zdravlje ljudi i životinja

Prirodnim procesima ili ljudskom delatnošću (ANTROPOGENO)

*Gasovi staklene bašte  
(Greenhouse gases - GHG)*



*GLOBALNO ZAGREVANJE*

*Ugljen dioksid*

**METAN**

*Oksidi azota*

*Halokarbonati*





# Izvori gasova staklene bašte

## Prirodni - NISU ZAGAĐIVAČI



Proizvodnja



Uklanjanje

## Antropogeni - JESU ZAGAĐIVAČI



Proizvodnja



Uklanjanje

# Efekat staklene bašte - Prirodni fenomen

Esencijalan za život na našoj planeti

Prosečna temperatura na Zemlji je 15°C.

Za udaljenost Zemlje od Sunca, prosečna temperatura bi trebala da bude - 18°C.

Dodatno zagrevanje

## „Efekat staklene bašte“

Prirodni fenomen

Preindustrijski period

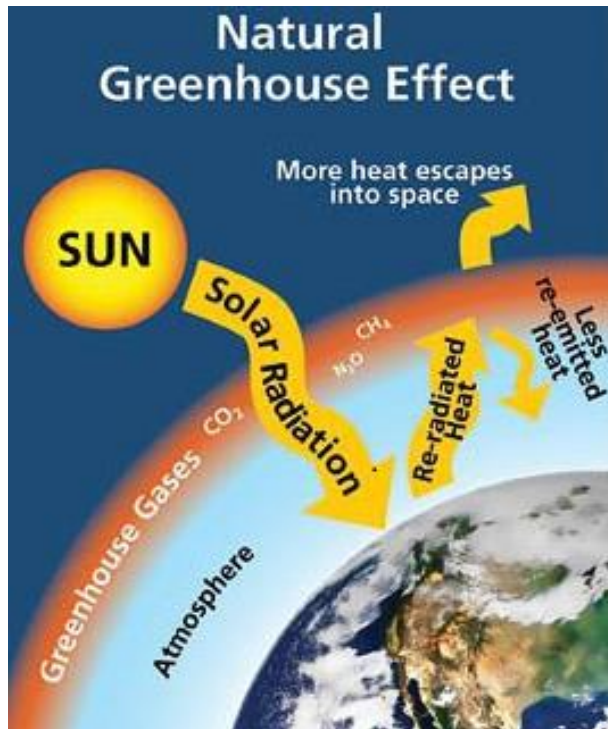
Konc. GHG je bila 200-280 ppm

## „Efekat staklene bašte“

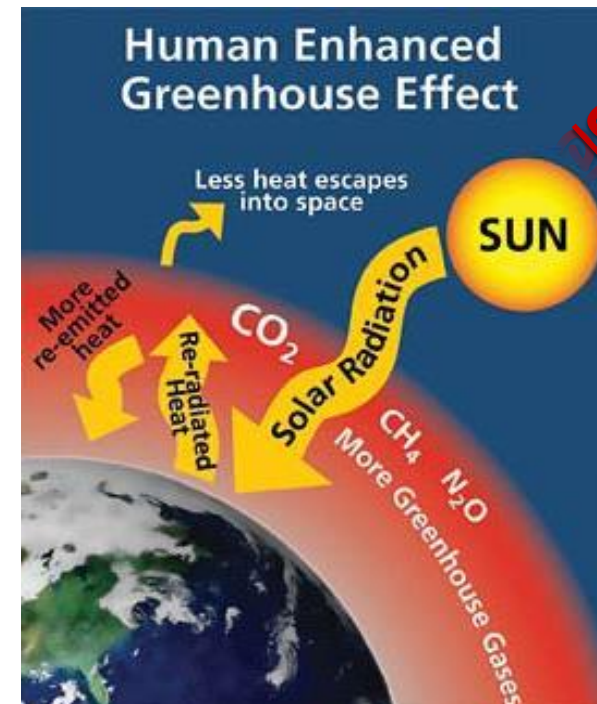
Antropogeni uticaj

Proteklih 100 godina

Konc. GHG je 2022. premašila 420 ppm  
(50% više nego u preindustrijskom periodu)



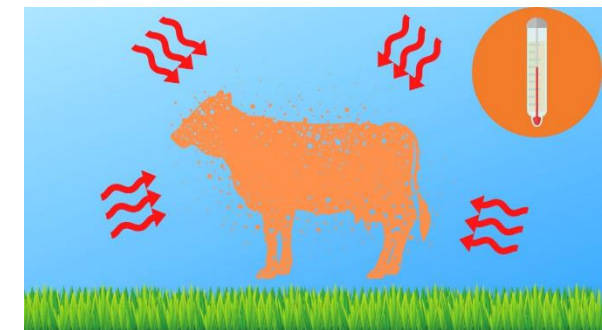
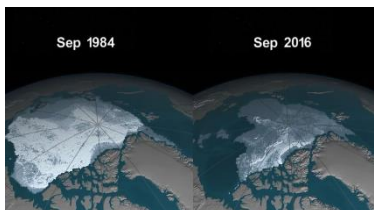
## „Staklena bašta“



Uzrokuje  
globalni rastom temperature  
zadržavanje toplote  
globalnim rastom temperature  
GLOBALNO ZAGREVANJE  
praćeno  
Blaccslo  
Islibeldalms  
VAREK



# INDIKATORI GLOBALNOG ZAGREVANJA



Temperatura vazduha porasla je za  $0.8^{\circ}\text{C}$  u proteklih 100 godina.

# CLIMATE CHANGE CONFERENCES

**Kyoto protokol (1997):** industrijalizovane zemlje i privrede u tranziciji su se obavezale da će ograničiti i smanjiti emisije gasova sa efektom staklene bašte (GHG) u skladu sa dogovorenim pojedinačnim ciljevima (do prosečnog smanjenja emisije od 5% u poređenju sa nivoima iz 1990. tokom petogodišnjeg perioda 2008-2012).

**Doha Amandman (2012):** preuzete obaveze za period od 2013. do 2020. godine.

**Konferencija UN o klimatskim promenama u Parizu (2015):** Vlade su se složile oko dugoročnog cilja - sprečavanje povećanja globalne temperature iznad 2°C u odnosu na predindustrijske nivoe i njeno ograničenje na 1,5°C.

**26. Konferencija UN o klimatskim promenama u Glazgovu (2020):** „net zero“ emisija GHG do 2050.

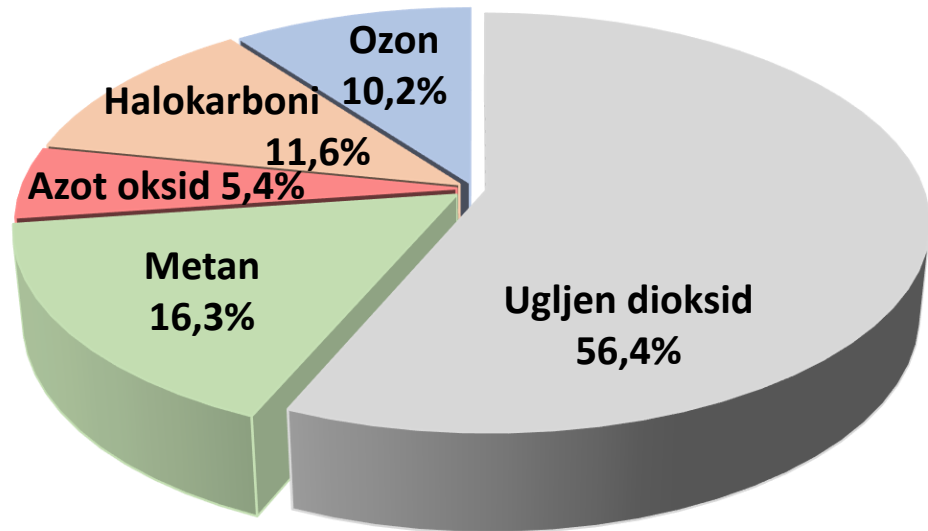


**COP 26 – emisiju CH<sub>4</sub> smanjiti za najmanje 30 % do 2030.**



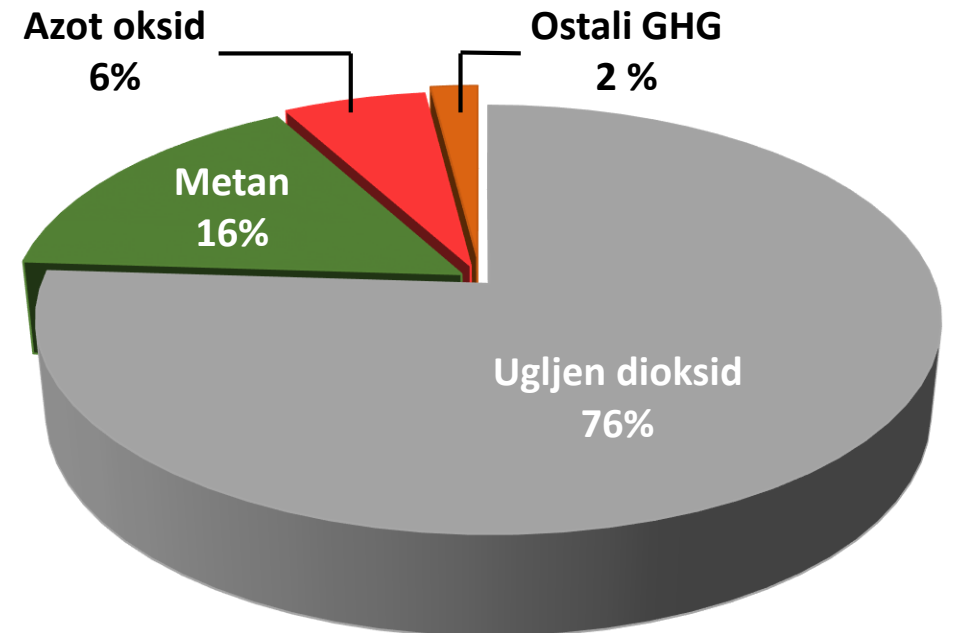
# Zatupljenost GHG

## Prirodni



■ Ugljen dioksid ■ Metan ■ Azot oksid ■ Halokarboni ■ Ozon

## Antropogeni - nagomilavanje u atmosferi

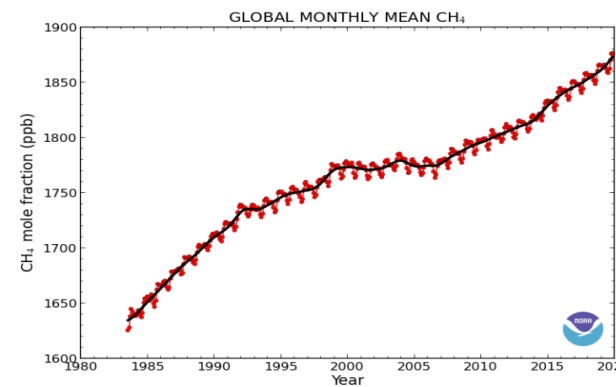
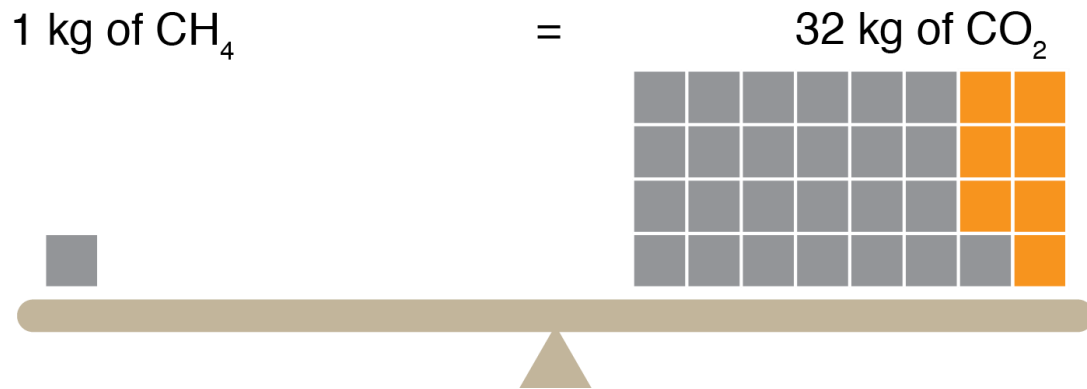


■ Ugljen dioksid ■ Metan ■ Azot oksid ■ Ostali GHG

# Potencijal globalnog zagrevanja (Global Warming Potential - GWP)

Odnos toplote apsorbovane od strane jedinične mase nekog gasa u odnosu na toplotu apsorbovanu od strane jedinične mase  $CO_2$  u toku određenog perioda ( $CO_2$ -eq). Upravo, jedinica  $CO_2$ -eq, definisana je kako bi se standardizovao uticaj različitih gasova staklene bašte na globalno zagrevanje i klimatske promene.

GHG	Poluživot (god)	POTENCIJAL GLOBALNOG ZAGREVANJA		
		GWP <sub>20</sub>	GWP <sub>100</sub>	GWP <sub>500</sub>
$CO_2$	50-200	1	1	1
$CH_4$	12-17	56	21	6,5
$N_2O$	120-150	280	310	170



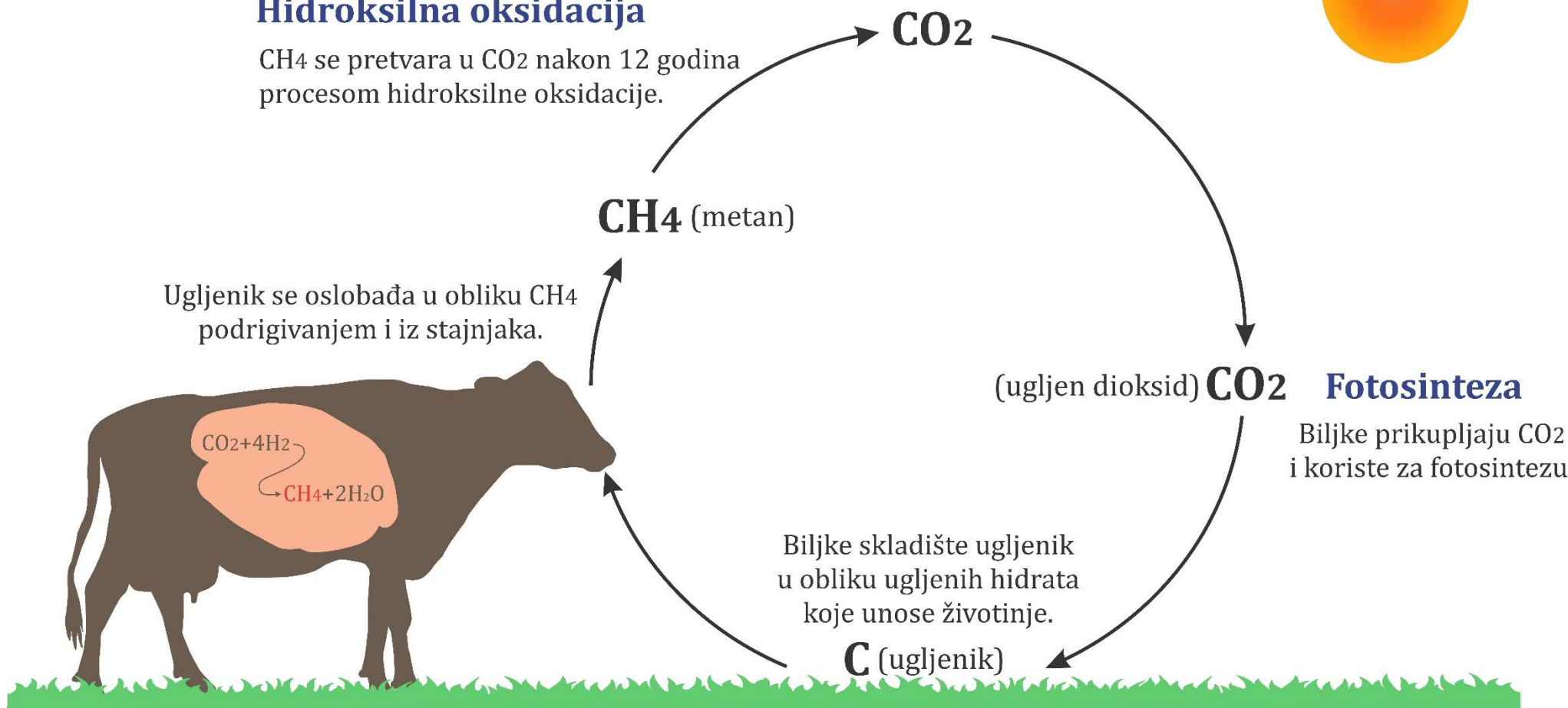
Kratkoročno zagrevanje  
zemljine površine

**COP 26 – emisiju  $CH_4$  smanjiti za najmanje 30 % do 2030.**



## Hidroksilna oksidacija

CH<sub>4</sub> se pretvara u CO<sub>2</sub> nakon 12 godina procesom hidroksilne oksidacije.



Celuloza je najzastupljenije organsko jedinjenje na svetu (u svim travama, usevima i drveću). Njen sadržaj je posebno visok u travama na marginalnim zemljištima, gde žitarica i drugi za ljude jestivi usevi ne mogu da rastu.



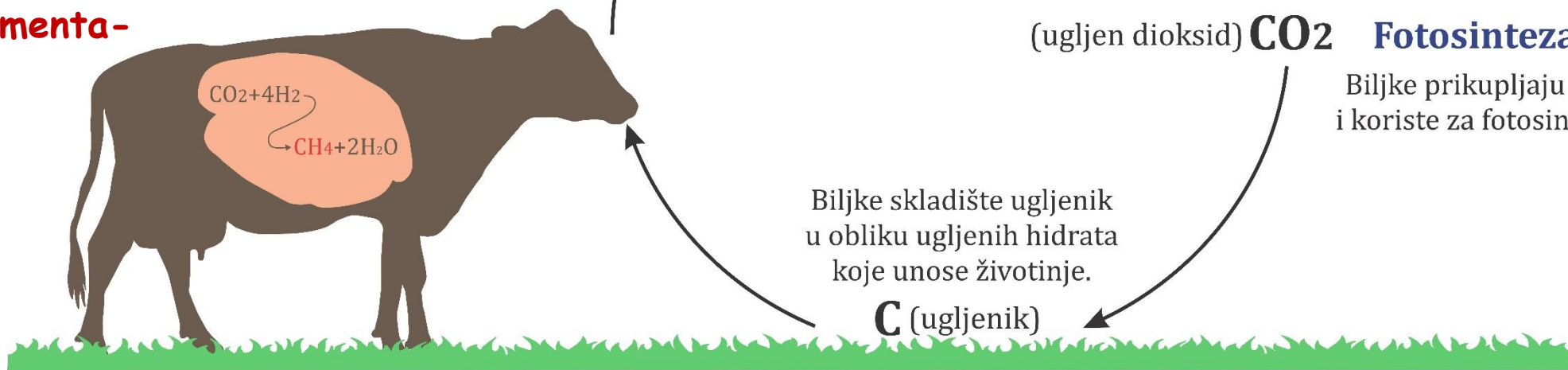
## Hidroksilna oksidacija

CH<sub>4</sub> se pretvara u CO<sub>2</sub> nakon 12 godina procesom hidroksilne oksidacije.

Uzgojem preživara obezbeđuje se nutritivno vredna hrana za ljude od supstrata koji za iste nisu dostupni ili nisu iskoristljivi.

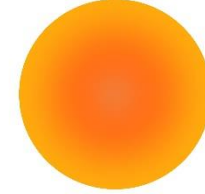
Tokom enteriče fermentacije nastaje CH<sub>4</sub>.

Ugljenik se oslobađa u obliku CH<sub>4</sub> podrigivanjem i iz stajnjaka.



Dve trećine poljoprivrednih zemljišta su marginalna - prekrivena travama koje obiluju celulozom i, zbog toga, su neiskoristljiva za ljude. Međutim, preživari mogu variti celulozu.





## Hidroksilna oksidacija

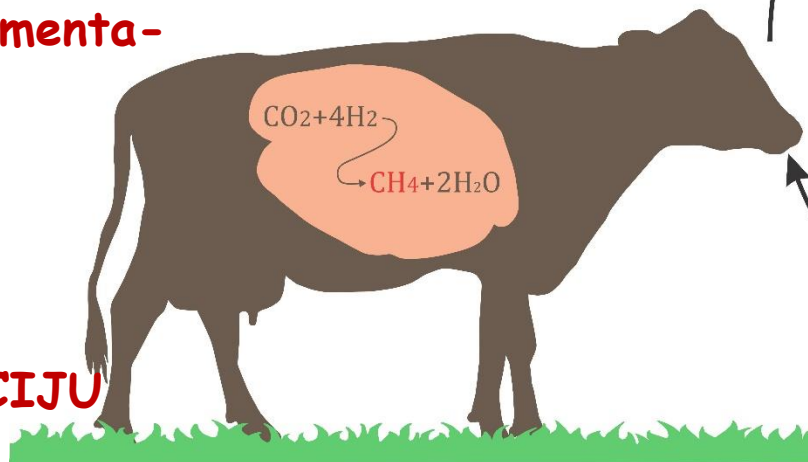
CH<sub>4</sub> se pretvara u CO<sub>2</sub> nakon 12 godina procesom hidroksilne oksidacije.

Uzgojem preživara obezbeđuje se nutritivno vredna hrana za ljude od supstrata koji za iste nisu dostupni ili nisu iskoristljivi.

Tokom enteriče fermentacije nastaje CH<sub>4</sub>.

**ESENCIJALNO ZA LJUDSKU POPULACIJU**

Ugljenik se oslobađa u obliku CH<sub>4</sub> podrigivanjem i iz stajnjaka.



CH<sub>4</sub> (metan)

CO<sub>2</sub>

(ugljen dioksid) CO<sub>2</sub>

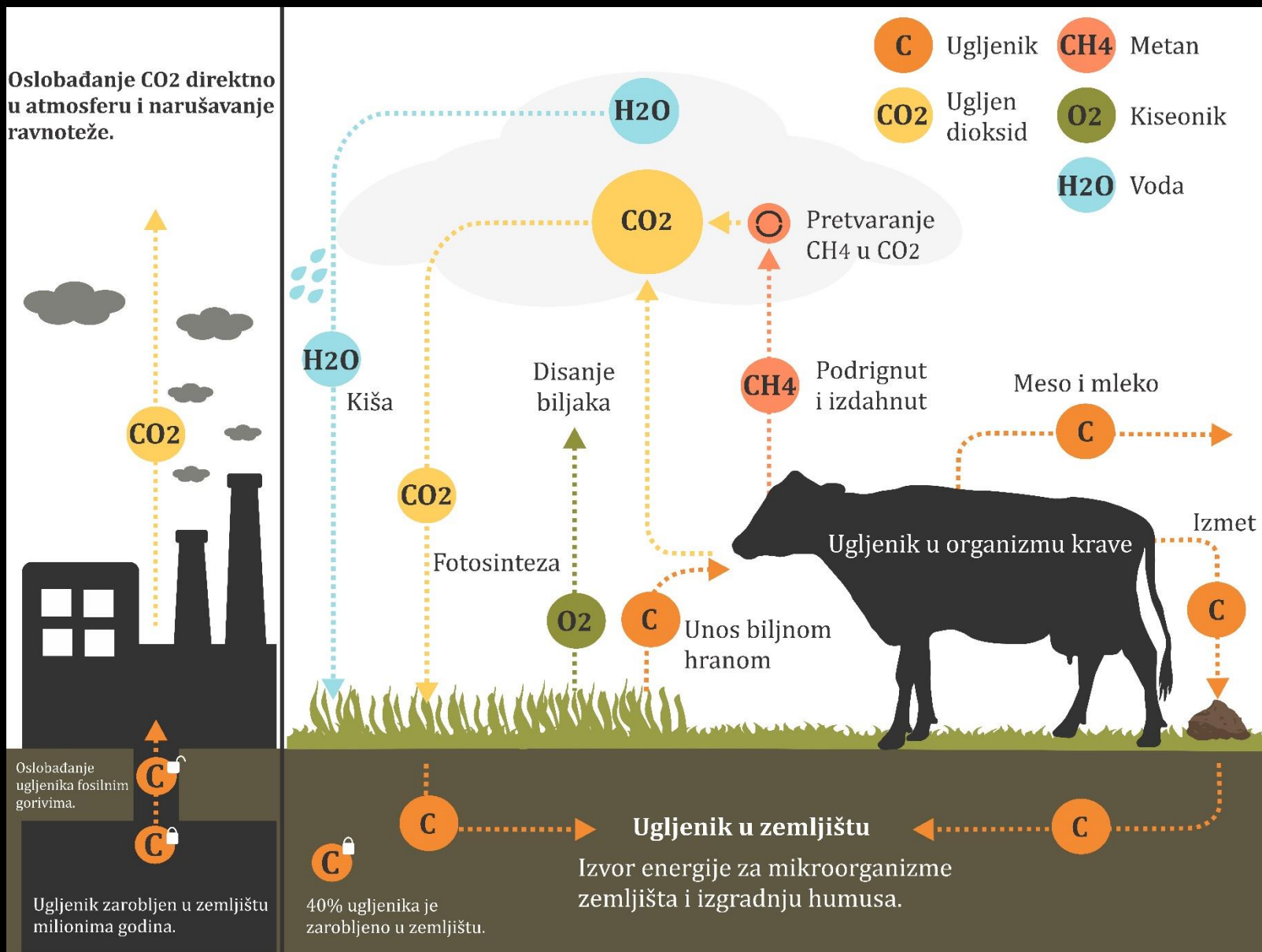
**Fotosinteza**

Biljke prikupljaju CO<sub>2</sub> i koriste za fotosintezu.

Biljke skladište ugljenik u obliku ugljenih hidrata koje unose životinje.

C (ugljenik)

Dve trećine poljoprivrednih zemljišta su marginalna - prekrivena travama koje obiluju celulozom i, zbog toga, su neiskoristljiva za ljude. Međutim, preživari mogu variti celulozu.



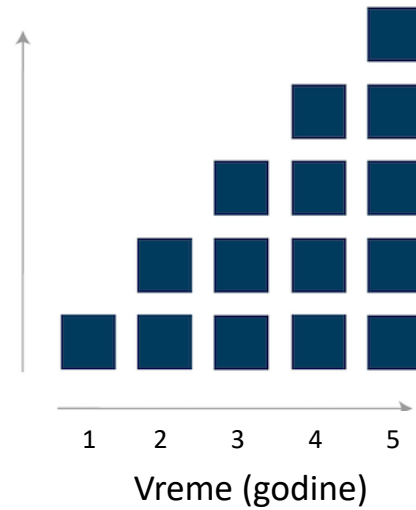
**Biogeni ugljenik**, koji oslobađaju krave u obliku metana, predstavlja deo prirodnog ciklusa kruženja ugljenika. Sa druge strane, ugljenik koji potiče iz fosilnih goriva ima jednosmeran put, koji počinje oslobađanjem iz zemljišta i završava se akumulacijom u vazduhu (atmosfera).

■ = Puls CO<sub>2</sub>

## Skladišni gas

Ugljen dioksid  
(CO<sub>2</sub>)

Atmosferske  
koncentracije



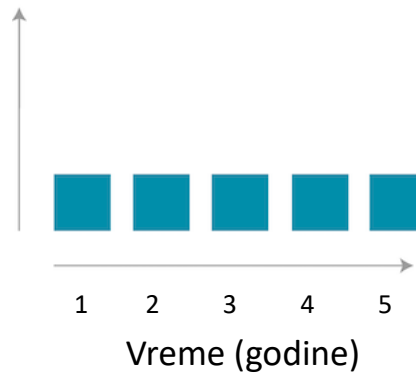
Skladišni gasovi se akumuliraju vremenom jer ostaju u životnoj sredini.

■ = Puls CH<sub>4</sub>

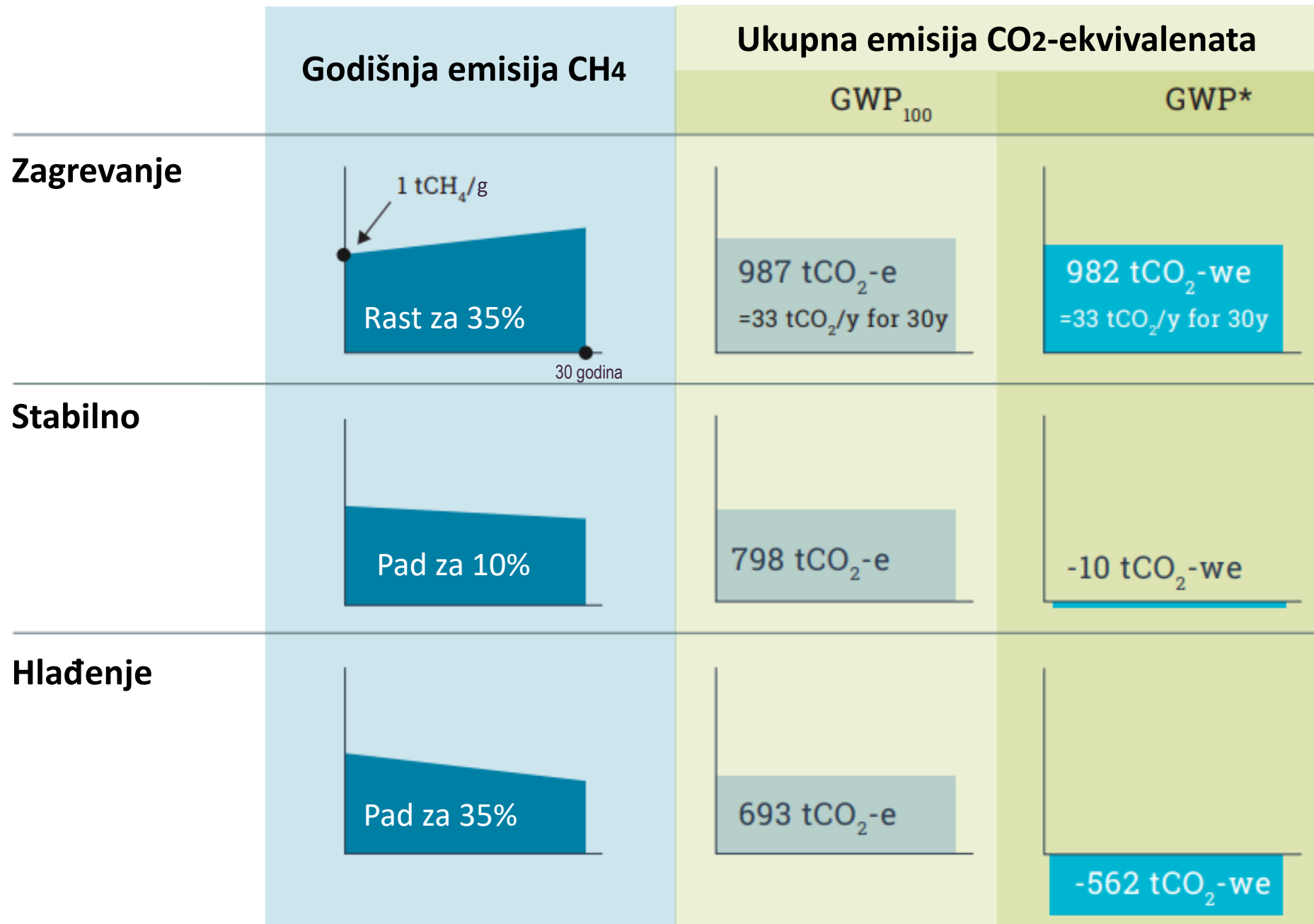
## Protočni gas

Metan  
(CH<sub>4</sub>)

Atmosferske  
koncentracije



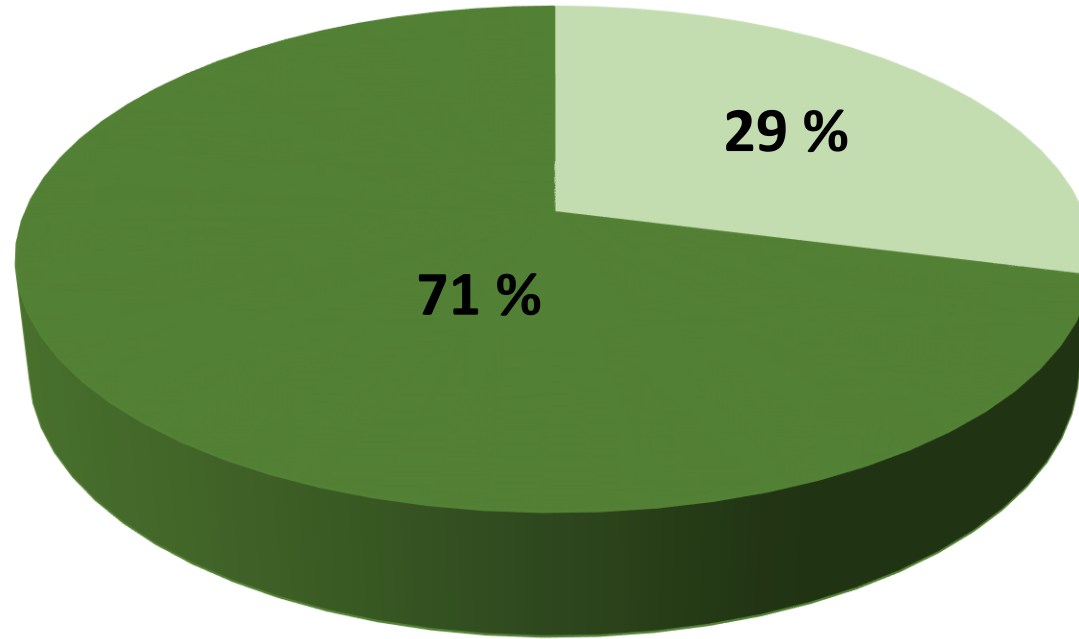
Protočni gasovi stagniraju sve dok se uklanjaju istom brzinom kojom se i stvaraju.



GWP – global warming potential.



# Izvori metana



Nafta/gas (12,7%)



Otpad (12,4%)



Rudnici uglja (6,9%)

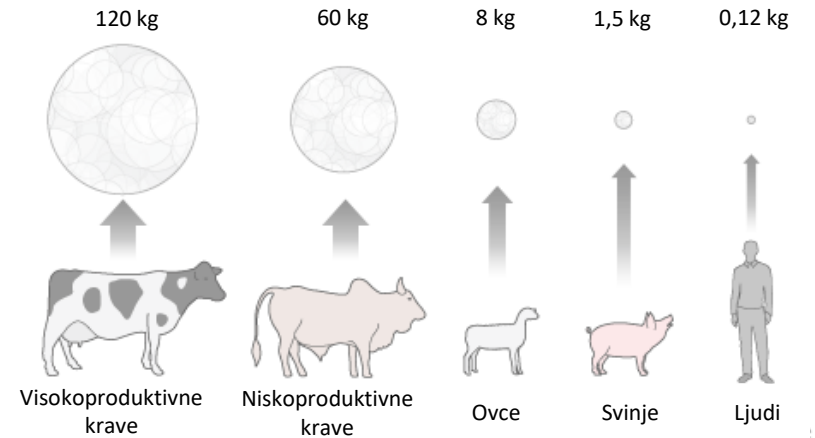


Pirinač (6,9%)



Močvare (29%)

Godišnja emisija metana po životinji/čovjeku



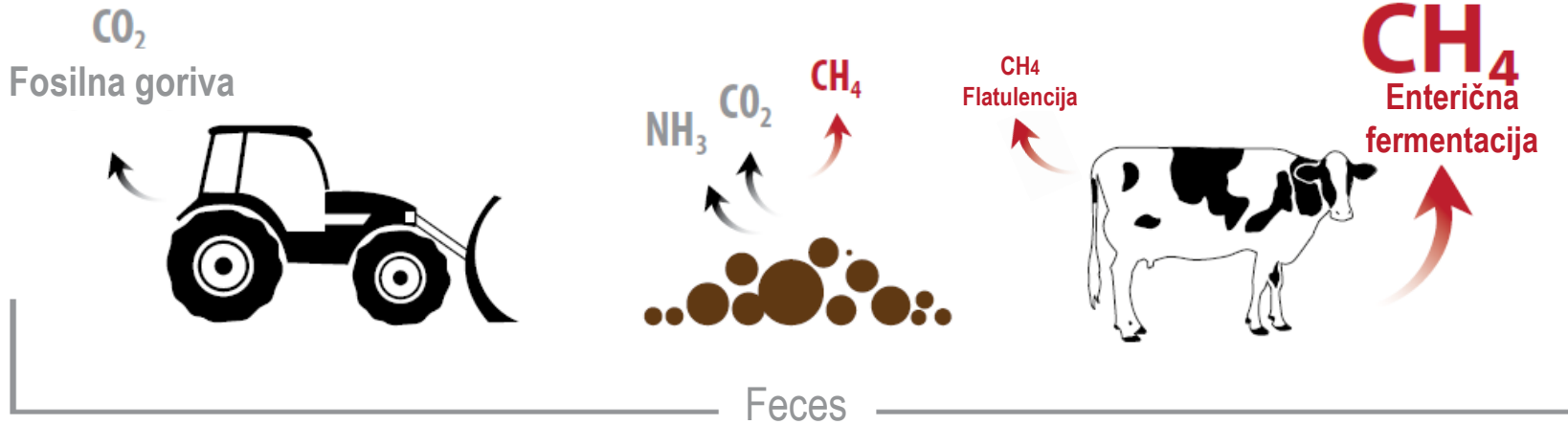
■ Prirodni ■ Antropogeni



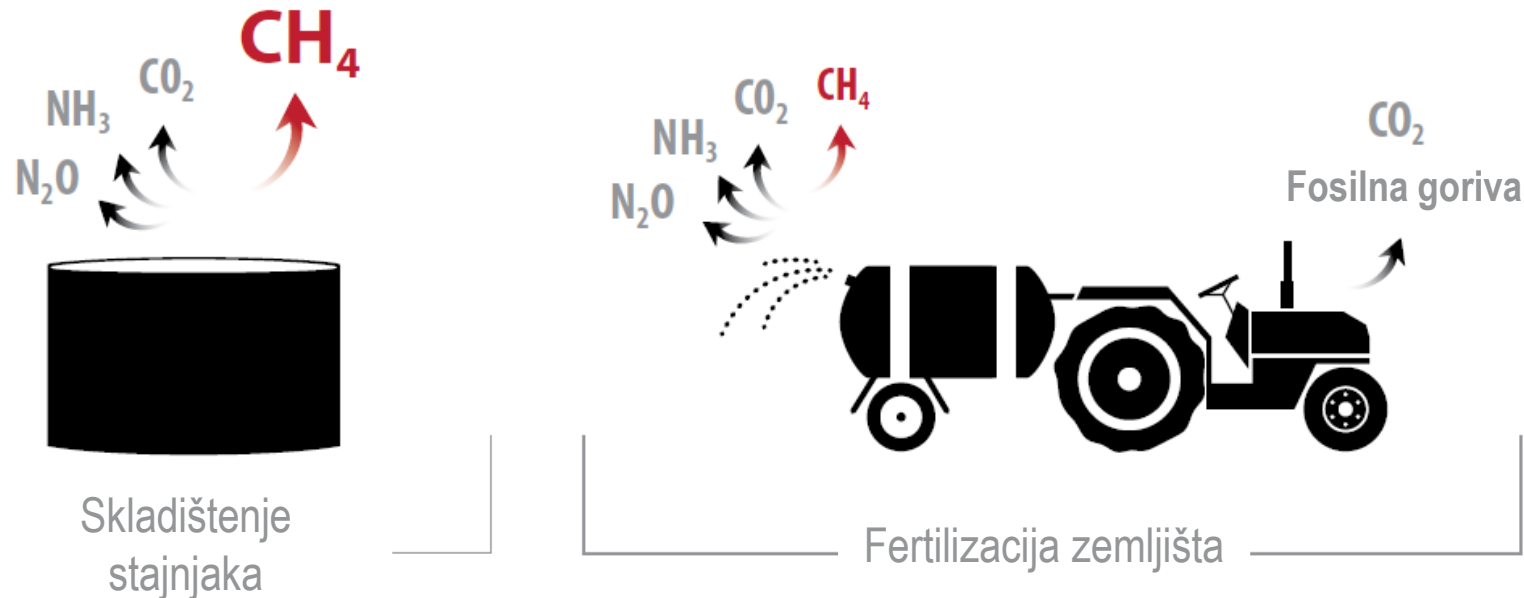
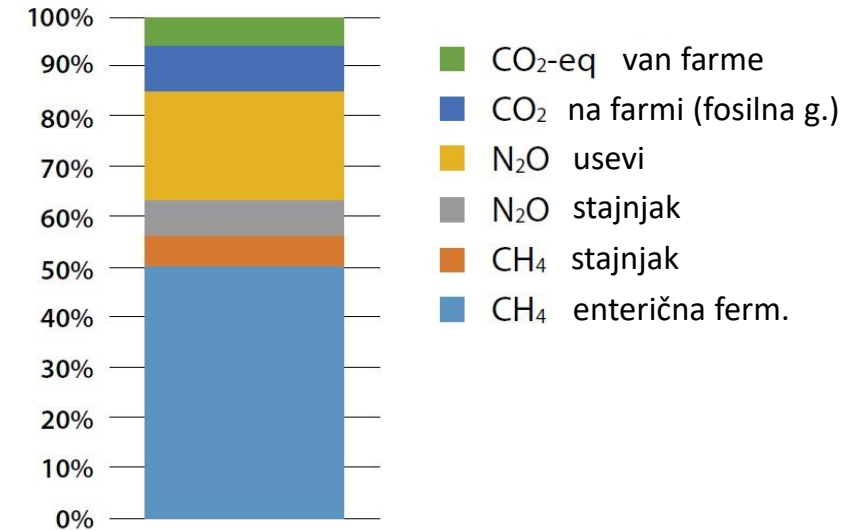
Stočarstvo (21,3%)



# Izvori metana na FARMAMA VISOKOMLEČNIH KRAVA



## FIZIOLOGIJA



Emisija GHG sa farmi

## Menadžment

# Metode za merenje emisije metana u stočarskoj proizvodnji

Neophodno je uzeti u obzir **emisione faktore** za sve pojedinačne GHG, koji zavise od **proizvodne kategorije** goveda, **dela sveta** na kome se ista uzgajaju, **veličine** date **populacije**, ali i **sagorevanje dizela** na farmama (3,13 kg CO<sub>2</sub>eq/kg dizela), **potrošnju struje** na mužu, **hlađenje mleka**, **osvetljenje** i **ventilaciju** (0,47 kg CO<sub>2</sub>eq/kWh), **proizvodnju pesticida** (22 kg CO<sub>2</sub>eq/kg pesticida), **ukupnu masu mehanizacije** na farmi (3,54 kg CO<sub>2</sub>eq/kg), itd.

$$\text{Total CH}_{4\text{Enteric}} = \sum_i E_i$$

$$\text{Emissions} = EF_{(T)} \cdot \left( \frac{N_{(T)}}{10^6} \right) \quad N_2O_{L(mm)} = \left( N_{\text{leaching-MMS}} \cdot EF_5 \right) \cdot \frac{44}{28}$$

$$N_2O_{D(mm)} = \left[ \sum_S \left[ \sum_T \left( N_{(T)} \cdot Nex_{(T)} \cdot MS_{(T,S)} \right) \cdot EF_{3(S)} \right] \right] \cdot \frac{44}{28}$$

$$CH_{4\text{Manure}} = \sum_{(T)} \frac{(EF_{(T)} \cdot N_{(T)})}{10^6}$$

$$Nex_{(T)} = N_{\text{rate}(T)} \cdot \frac{TAM}{1000} \cdot 365$$

**VREDNOSTI SU PRIBLIŽNE, NISU EGZAKTNE.**



# Metode za merenje emisije metana u stočarskoj proizvodnji

## Unutar štale - u objektu (grupna emisija)

Ne može da se precizno odredi poreklo

Nije pogodno za naučna istraživanja vezana za emisiju metana

Ambijentalni uslovi u kojima jedinka boravi/emisija metana iz objekta

## Pojedinačno po životinjama

Precizno utvrđivanje porekla

Pogodno za naučna istraživanja

# Metode za merenje emisije metana u stočarskoj proizvodnji

## Unutar štale - u objektu (grupna emisija)

Ne može da se precizno odredi poreklo

Nije pogodno za naučna istraživanja vezana za emisiju metana

Ambijentalni uslovi u kojima jedinka boravi/emisija metana iz objekta

### MULTI GAS ANALYSER



Određuje do 7 različitih gasova ( $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $O_2$ ,  $H_2$ ,  $NH_3$  i  $H_2S$ ) u objektu  
Sondom se gasovi aspiriraju u aparat i određuje koncentracija  
Posедуje internu memoriju za skladištenje 500 očitavanja  
Rezultati se prenose pomoću USB ili WiFi Bluetooth  
Poseduje softver za prikupljanje podataka



# Metode za merenje metana

## Pojedinačno po životinjama



RESPIRACIONE KOMORE

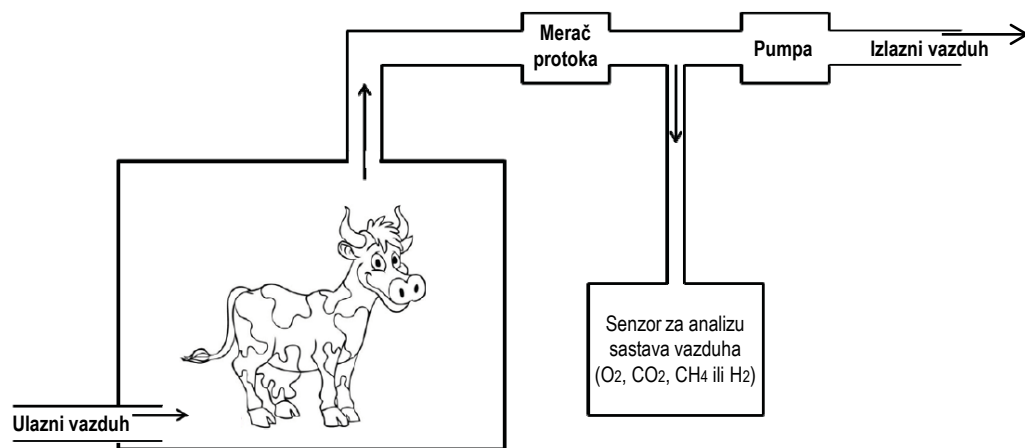
### ZLATNI STANDARD

Inicijalno za merenje energetskeg metabolizma - emisija metana

Sakupljanje izdahnutog vazduha i merenje koncentracije metana

Neophodan period privikavanja

Problem veštačkog okruženja



# Metode za merenje metana

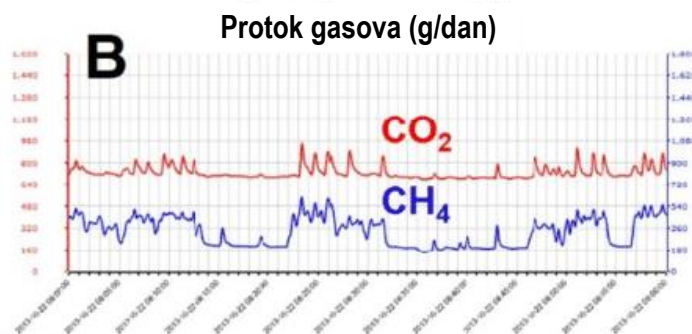
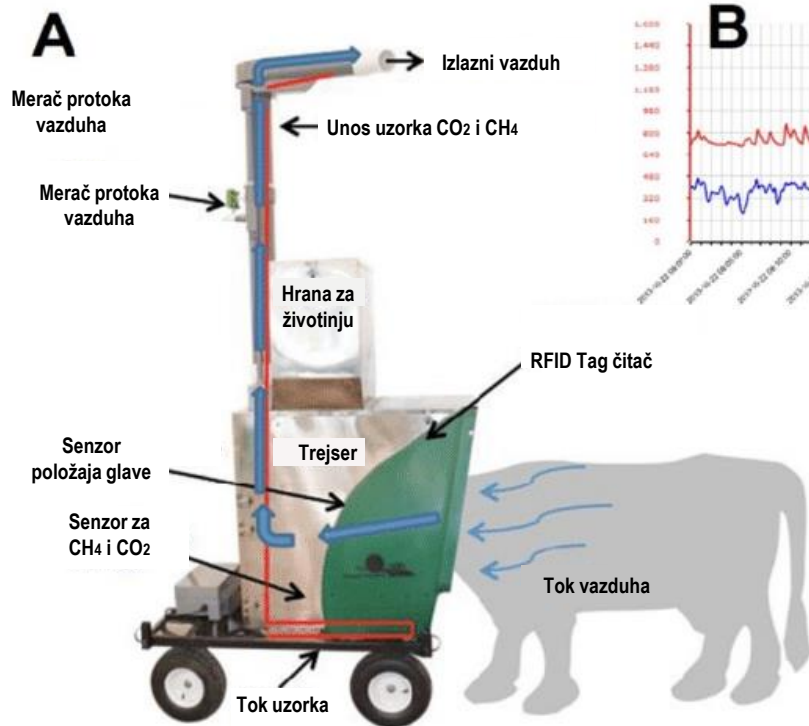
## Pojedinačno po životinjama

### ALTERNATIVNA METODA

Kontinuirana analiza udahnuto-izdahnutog vazduha iz hraniliaca u automatskim sistemima za mužu ili hranilica za koncentrat

Nema potrebe za periodom privikavanja životinja

### GreenFeed™ metod



# Metode za merenje metana

## Pojedinačno po životinjama

*In situ* SF<sub>6</sub> (sumpor heksaflorid) tracer metoda - brzina difuzije

**A**

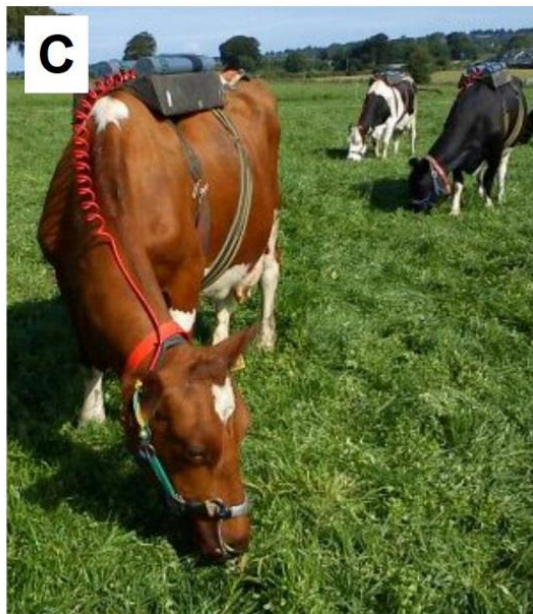
$$Q_{\text{CH}_4} = \frac{C_{\text{CH}_4} - C_{\text{CH}_4}^b}{C_{\text{SF}_6} - C_{\text{SF}_6}^b} Q_{\text{SF}_6} \frac{MW_{\text{CH}_4}}{MW_{\text{SF}_6}}$$

**B**

SF<sub>6</sub>



**C**



**ZA ŽIVOTINJE NA ISPAŠI - aparatura je na životinji**

Poznata emisija gasa za praćenje iz buraga

SF<sub>6</sub>-netoksičan, fiziološki inertan, identično mešanje u buragu kao CH<sub>4</sub>

SF<sub>6</sub>-jeftin, nizak novo deteksije, jednostavan za analizu

Određivanje SF<sub>6</sub> i CH<sub>4</sub> iz kanistera gasnom hromatografijom

Privikavanje životinja na nošenje kompleksnog aparata

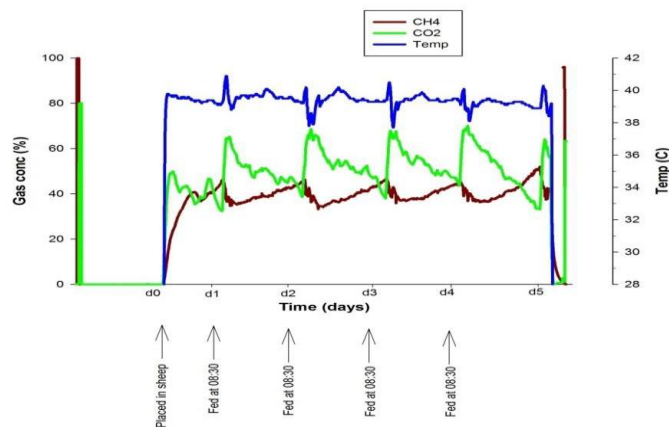
# Metode za merenje metana

## Pojedinačno po životinjama

### In situ metoda merenje produkcije CH<sub>4</sub>



CSIRO - gas senzori za merenje produkcije CH<sub>4</sub> u buragu



Kontinuirano praćenje produkcije u realnom vremenu u buragu

Mere i CO<sub>2</sub> i H<sub>2</sub> i enterične gasove kod ljudi

Mere temperaturu, pH u buragu

Nije potrebno da se vadi iz buraga



# NAŠ IZBOR

## Laserski detektor metana (infracrvena apsorpciona spektroskopija)

Osetljivost od svega **1 ppm**.  
Opseg merenja: **1 - 50 000 ppm**.  
Najmanji interval očitavanja: **0,1 s**.

U kratkim intervalima se mogu detektovati veoma niske konc. CH<sub>4</sub> koje životinja eliminiše izdahom ili visoke konc. koje se eliminišu ruktusom.

Opseg distance merenja: **0,5 - 50 m**.

Beskontaktno merenje emisije CH<sub>4</sub> (dobrobit životinja i bezbednost operatera). Minimalno remećenje komfora životinje i njenog fiziološkog i hranidbenog obrasca ponašanja.

Detekcija CH<sub>4</sub> u **smeši** gasova sa **visokom specifičnošću** (Chagunda, 2013).

Pogoduje merenjima emisije entričkog CH<sub>4</sub> aparata u farmskim uslovima, u kojima su prisutni i razni drugi gasovi i produkti aerobnih ili anaerobnih procesa.



(a)

(b)

(c)

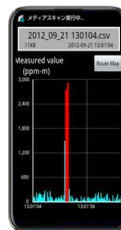


Sorg (2021)

(d)

Jednostavan je za rukovanje, a laserski snop, koji emituje prilikom merenja, ima zelenu boju i odličnu **vidljivost**.

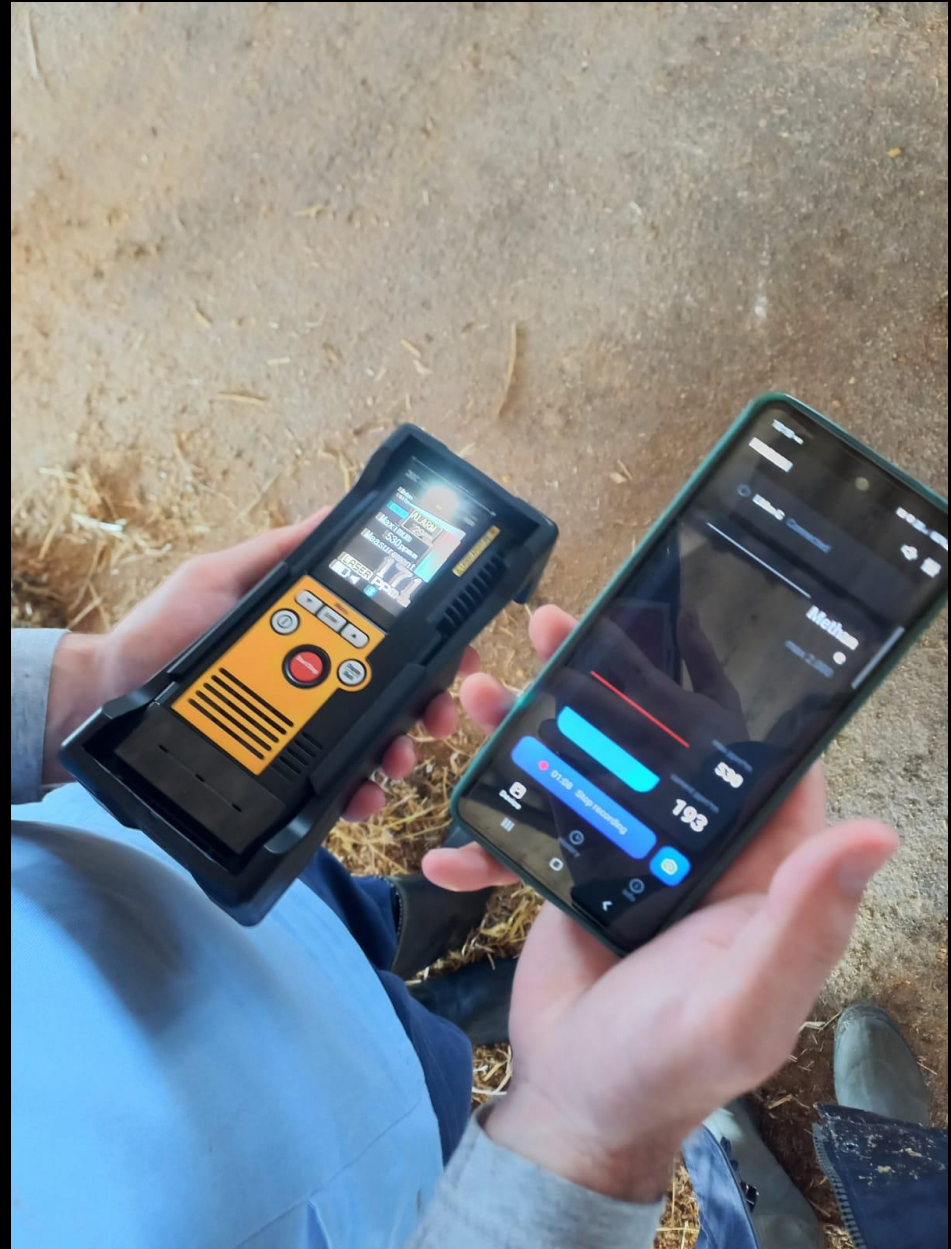
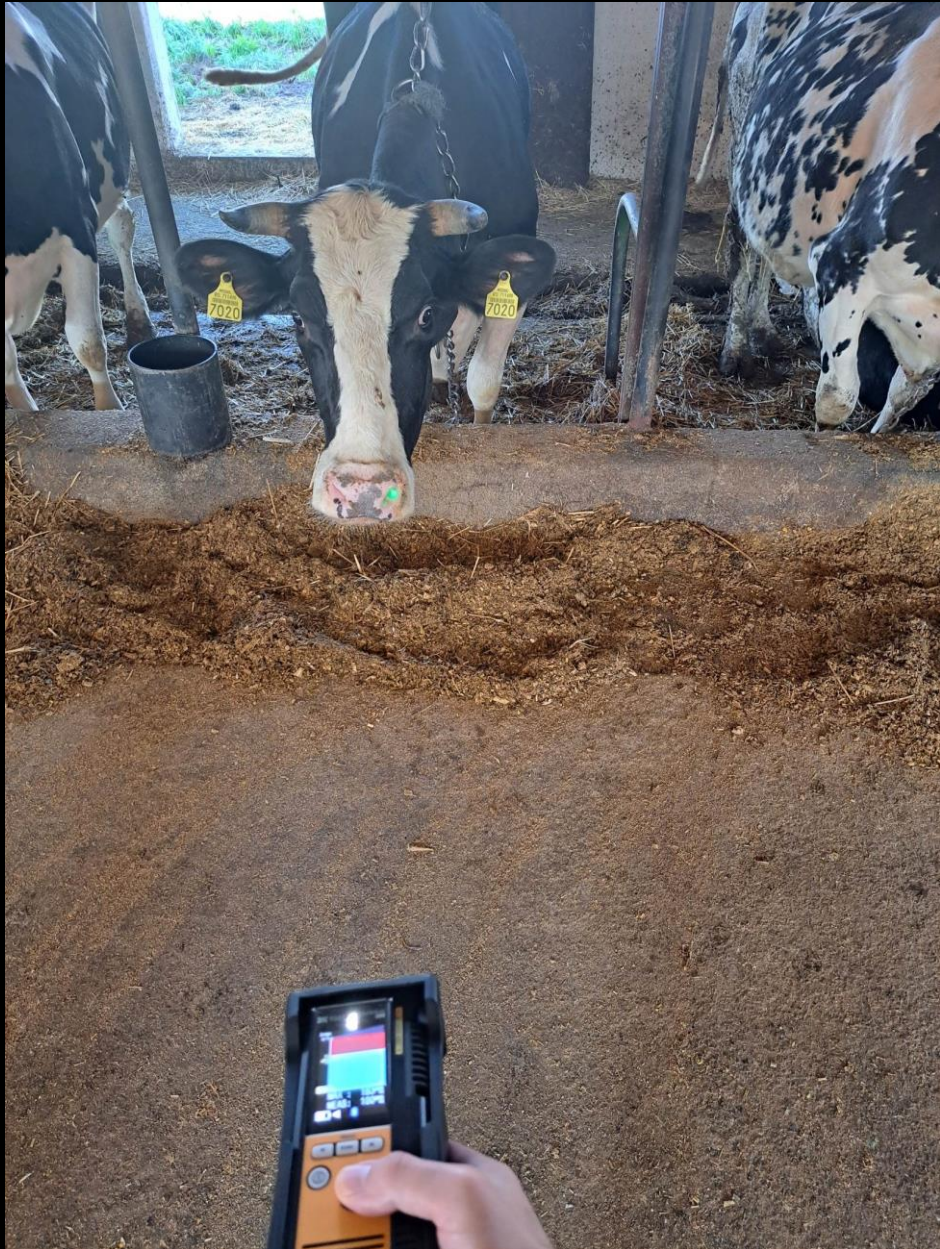
Automatski generiše grafikon sa pikovima CH<sub>4</sub>

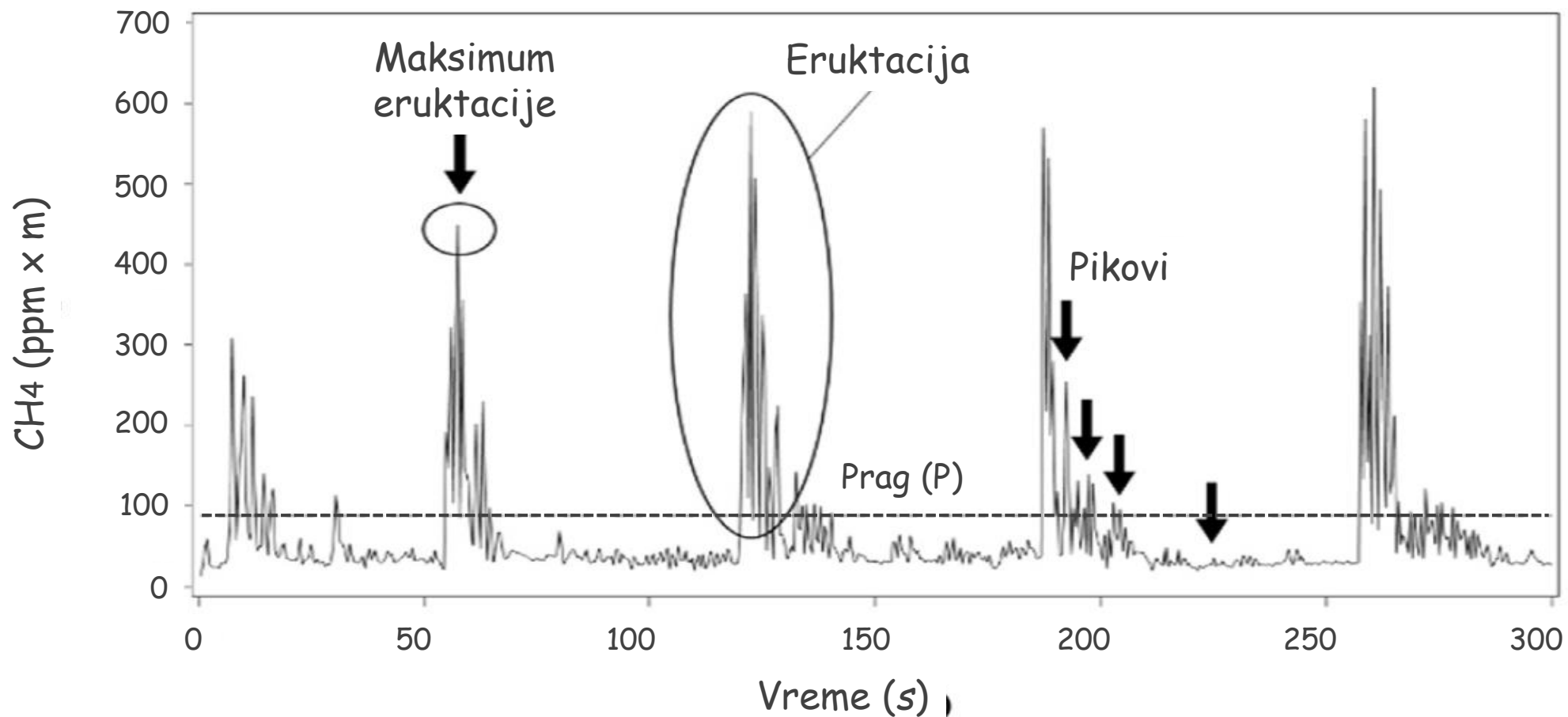


Android aplikacija  
Wi-Fi









**Grafikon 1.** Profil koncentracija CH<sub>4</sub> u izdahnutom vazduhu krava određen laserskim detektorom metana. Prag razdvaja eruktacione i respiracione vrednosti koncentracije CH<sub>4</sub>, a dobijen je formulom  $P=Q3 + (1,5 \times (Q3 - Q1))$ . Q1 i Q3 su prvi i treći kvartil distribucije svih vrednosti koncentracije CH<sub>4</sub>. (Modifikovano prema Sorg i sar. 2018)

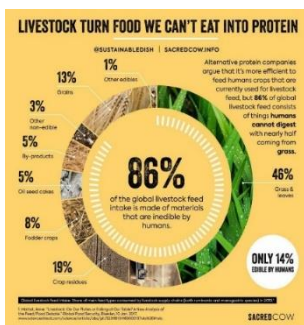




# Veganizam

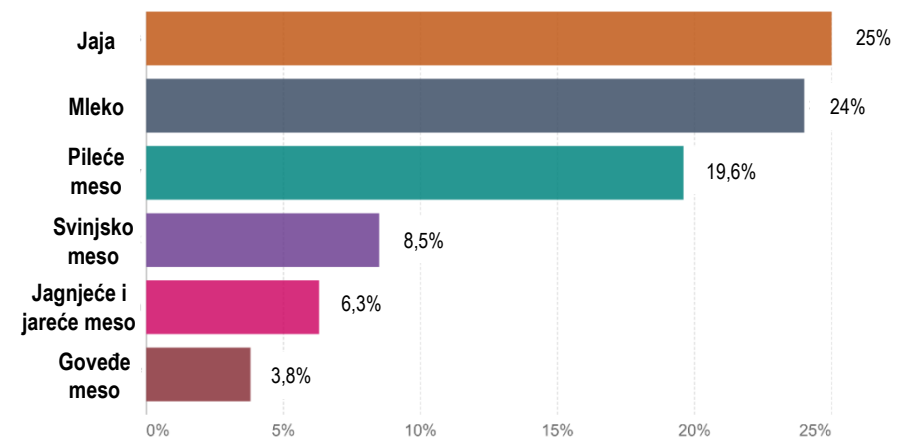
Značaj farmi krava kao izvora visokokvalitetne hrane za ljudsku populaciju.

Krave koriste hranljive izvore, koji **nisu iskoristljivi za ljude**, sa zemljišta (površina) koje **nije upotrebljivo za ljude** i prevode je u **nutritivno vrednu hranu**.



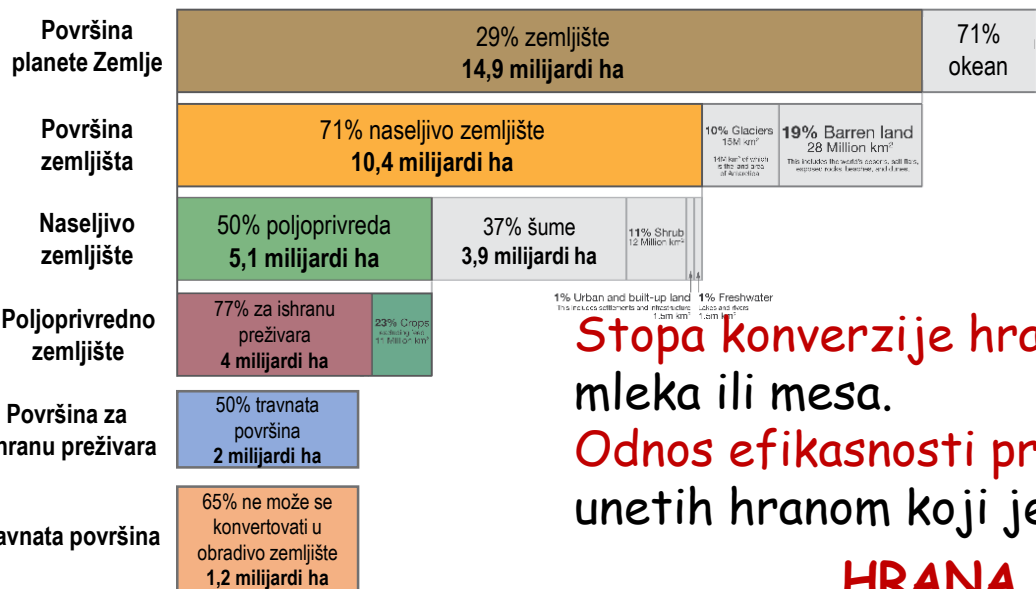
## Efikasnost proteina (produkcija mesa i mleka)

Efikasnost proteina se definiše kao procenat proteina unetih hranom koji se konvertuje u animalni proizvod (meso i mleko). Ukoliko je efikasnost 25%, to znači da će se 25% proteina unetih hranom konvertovati u animalni proizvod, dok će preostalih 75% biti izgubljeno tokom konverzije.



## Globalno korišćenje zemljišta za proizvodnju hrane

Our World in Data



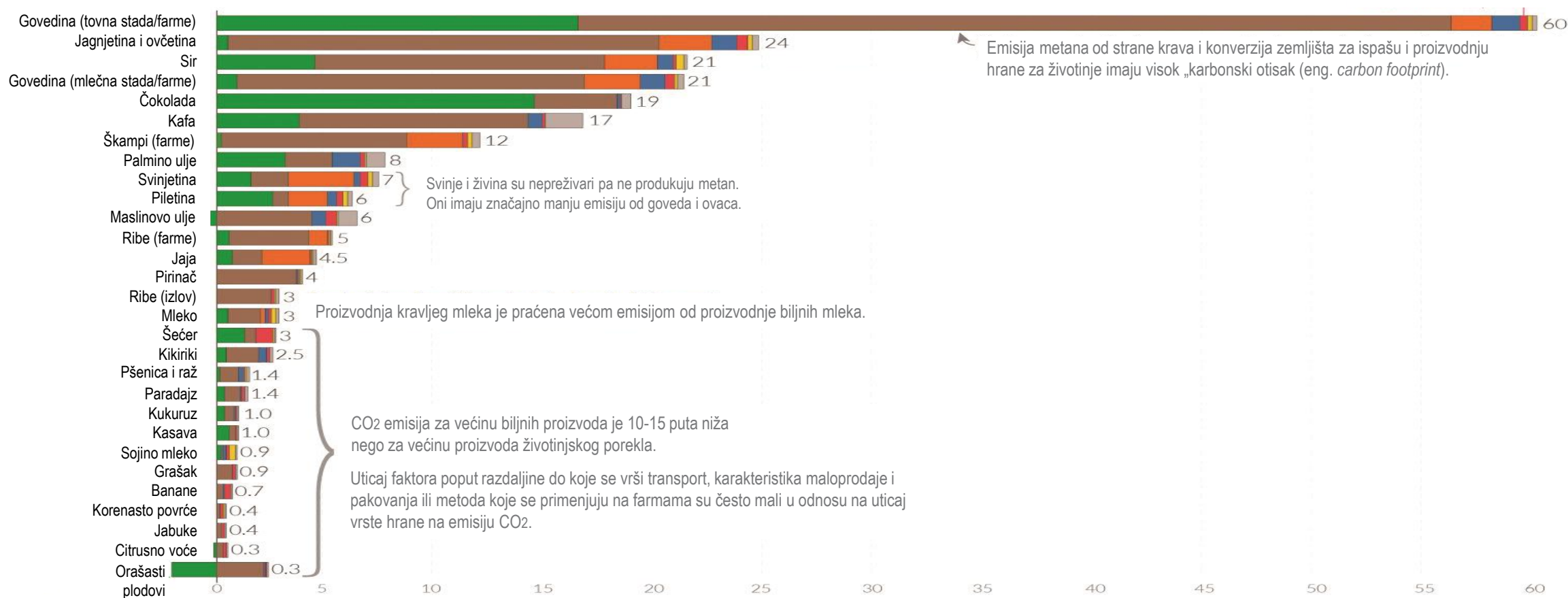
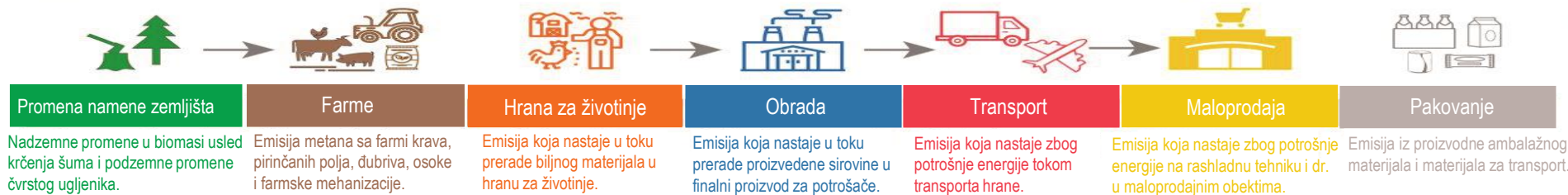
**Stopa konverzije hrane** je pokazatelj količine hrane koja je potrebna za proizvodnju mleka ili mesa.

**Odnos efikasnosti proteina** mesa ili mleka je definisan kao udeo ili procenat proteina unetih hranom koji je efikasno preveden u proizvod životinjskog porekla.

**HRANA ZA ŽIVOTINJE NEISKORISLJIVA ZA LJUDE**

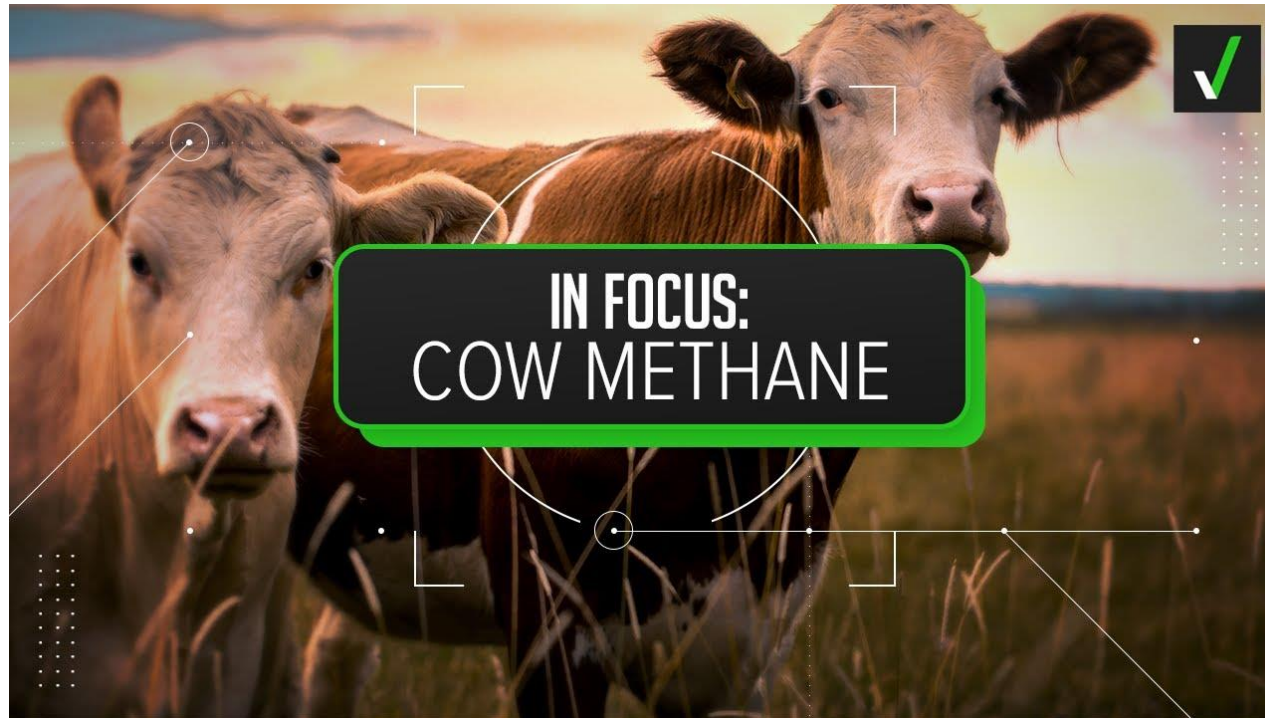


# Hrana: emisija gasova sa efektom staklene bašte (GHG) kroz lanac snabdevanja



Emisija gasova sa efektom staklene bašte po kilogramu proizvoda hrane (kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenata po kilogramu proizvoda)

# Veganizam



Stočarstvo (21,3%)

**IZVOR METANA**

Uzgoj pirinča (6.9%)

# Veganizam



Stočarstvo (21,3%)

**IZVOR METANA**

Uzgoj pirinča (6.9%)



# Veganizam



Stočarstvo (21,3%)

**IZVOR METANA**

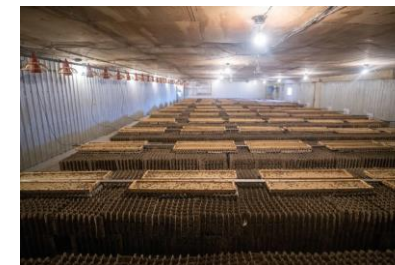
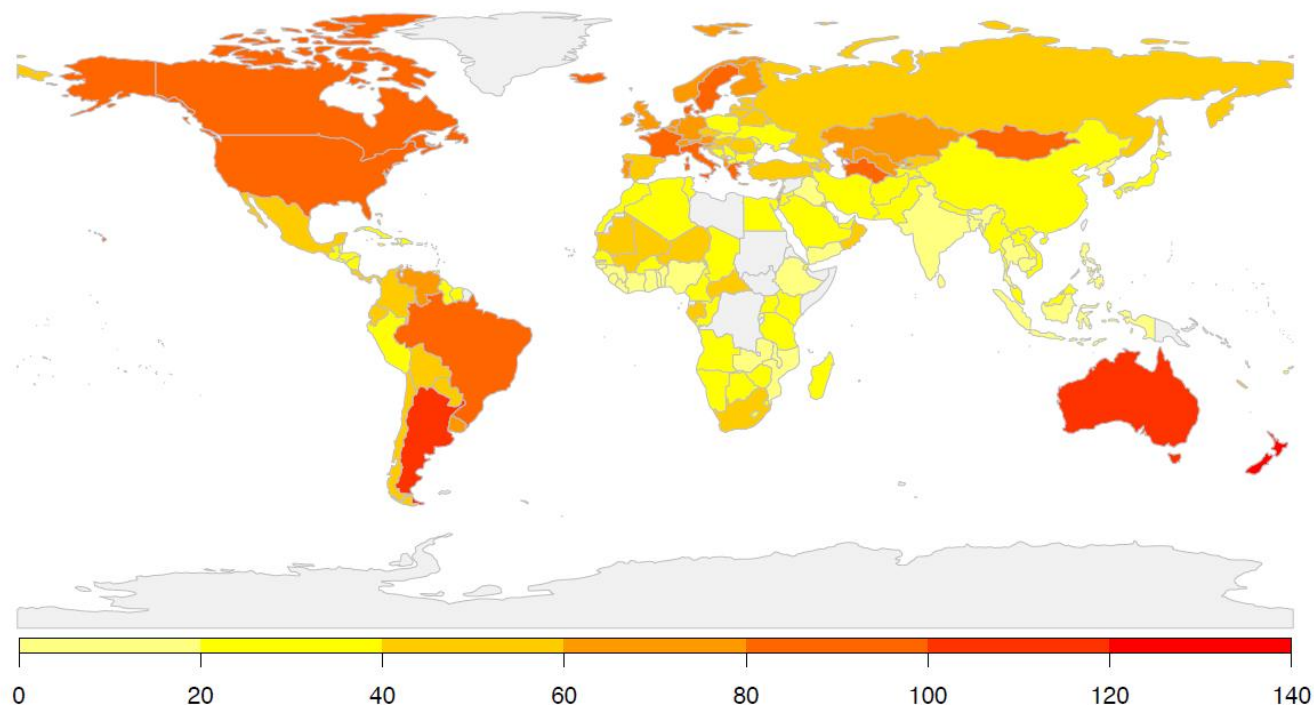
Uzgoj pirinča (6.9%)

**Ukoliko bi svi postali vegani, ne bi bilo dovoljno hrane da se prehrani čovečanstvo. Zbog toga su krave neophodne kao „pretvarači“ biljne hrane u nutritivno vredne proizvode.**

# Promena načina ishrane

konzumacija novih hraniva i smanjena eliminacija hrane

FAOSTAT - the world's largest database of food and agriculture statistics



Izvor: FAOSTAT, 2015d. Commodity Balances/Crops Primary Equivalent (2015-12-16). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

**HALF (Human appropriation of Land for Food) index** – Koliko je zemlje prisvojeno za ishranu čovečanstva  
prosečan: 35,1 (0,65 ha zemljišta po osobi)

**SAD: 97,7/India: 15,8**

**Adaptacija na ishranu u SAD: 178% više poljoprivredne zemlje će nam trebati**

**Adaptacija na ishranu u Indiji 55 % manje poljoprivredne zemlje će nam trebati**

# Upravljanje stajnjakom

Skladištenje fecesa u anaerobnim uslovima omogućava rast metanogena.

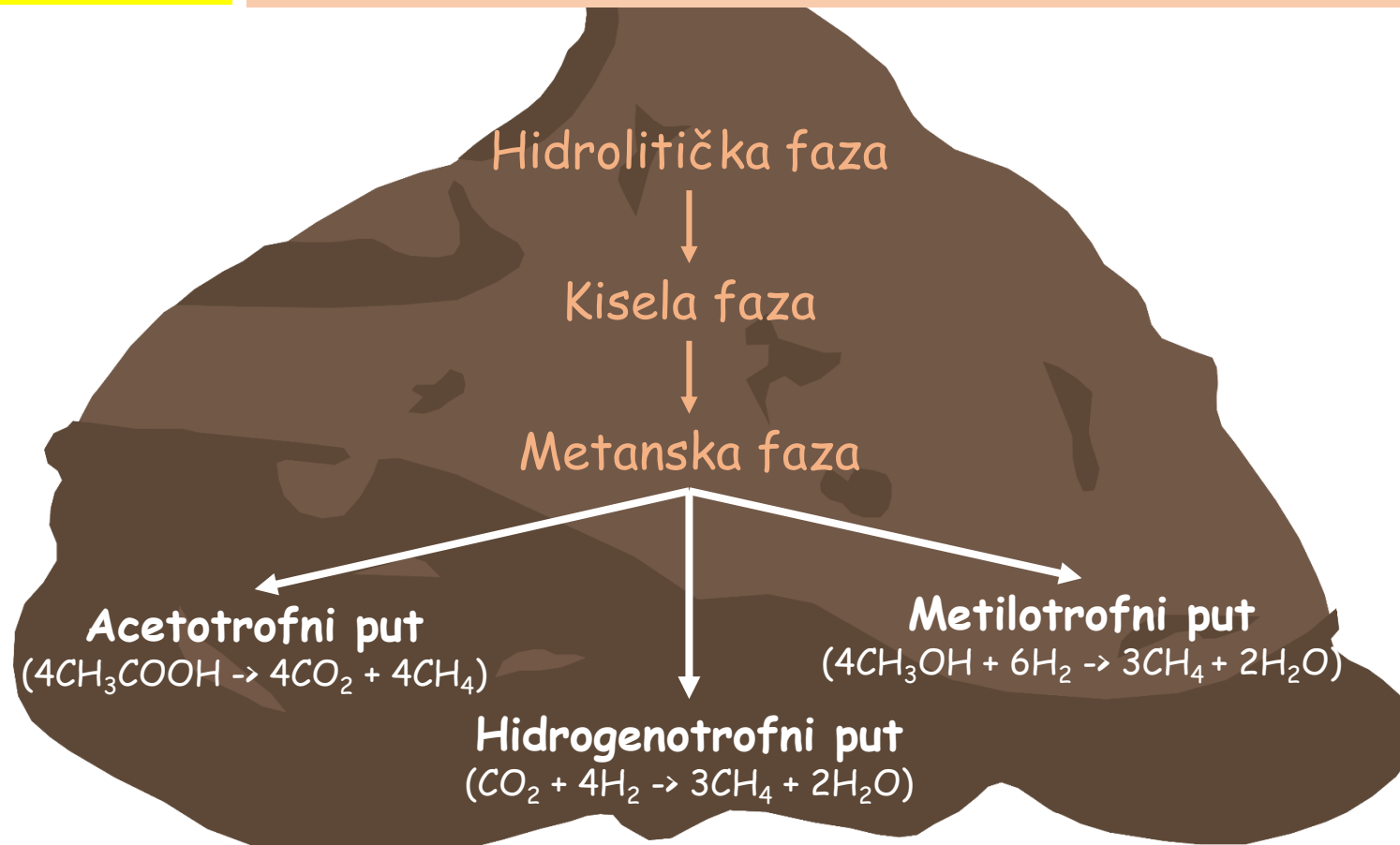
**HIDROLITIČKA FAZA**  
razgradnja lipida, proteina i  
UH do masnih kiselina,  
aminokiselina i prostih šećera.

**KISELA FAZA** - konverzija prostih jedinjenja u kratkolančane  
IMK (mlečna, propionska i buterna kiselina), koje koriste  
homoacetogeni mikroorganizmi za produkciju sirćetne kiseline i  
oslobađanje  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}^+$  - **polazna jedinjenja za metanogenezu**.

~~$\text{O}_2$~~



Metanogeni

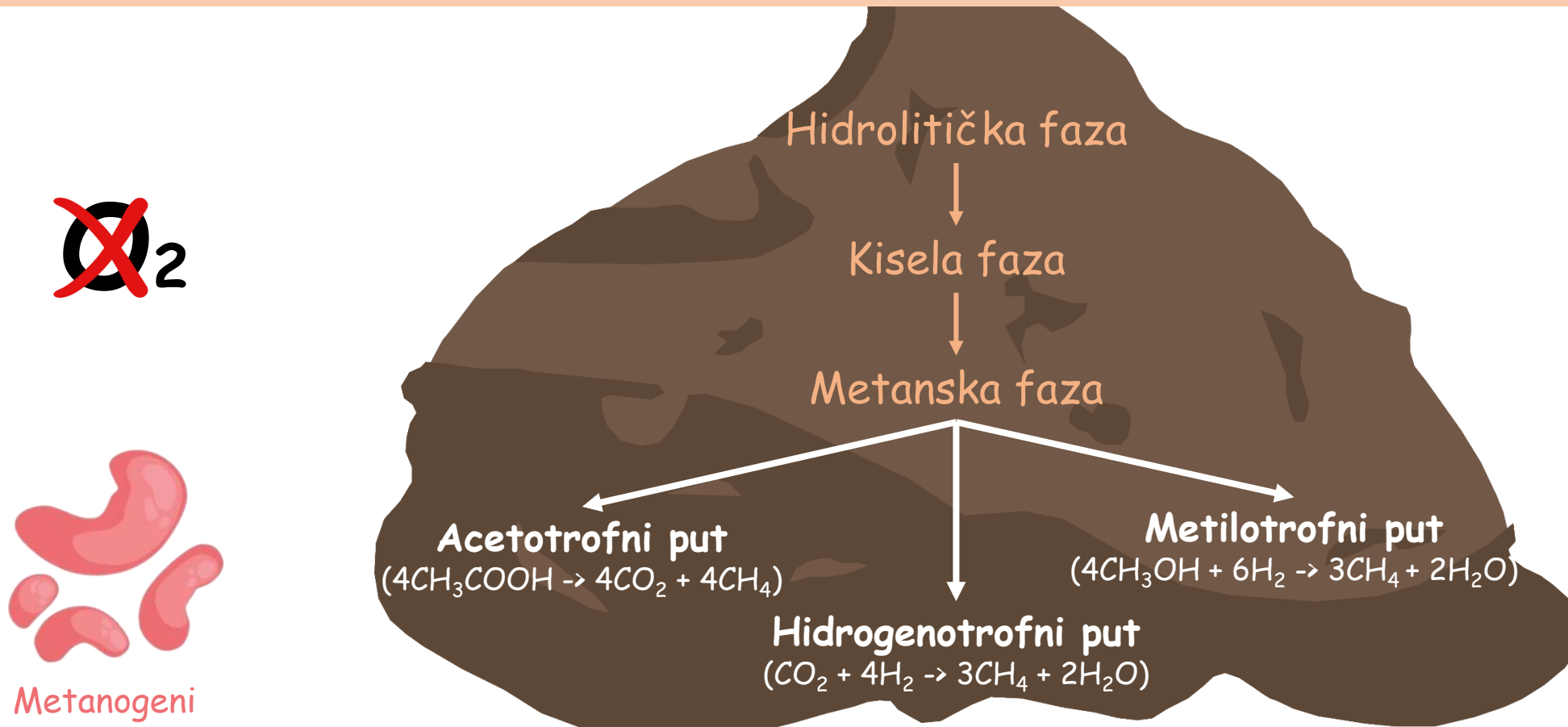




# Upravljanje stajnjakom

Skladištenje fecesa u anaerobnim uslovima omogućava rast metanogena.

**METANOGENEZA** - odvija se jednim od tri puta. Acetotrofni put je dominantan. Emisija metana iz stajnjaka učestvuje sa približno 2% u antropogenim emisijama ovog gasa staklene bašte. Količina oslobođenog metana zavisi od upravljanja stajnjakom (vlažnost, pH, temperatura), godišnjeg doba (ambijentalna temperatura) i sastava stajnjaka.





**Adekvatno upravljanje stajnjakom** - Anaerobno skladištenje stajnjaka - veća produkcija  $\text{CH}_4$

Regulisanje temperature stajnjaka -  $\downarrow 1-2^\circ\text{C}$   $\downarrow \text{CH}_4$  5-10%

Acidifikacija tečnog stajnjaka -

pH 7 optimum

pH 6,5/pH 8,3;  $\downarrow \text{CH}_4$  5-10%; pH 4,5  $\downarrow \text{NH}_4$  i  $\text{N}_2\text{O}$

Azotna kiselina  
Limunska kiselina  
Mlečna kiselina

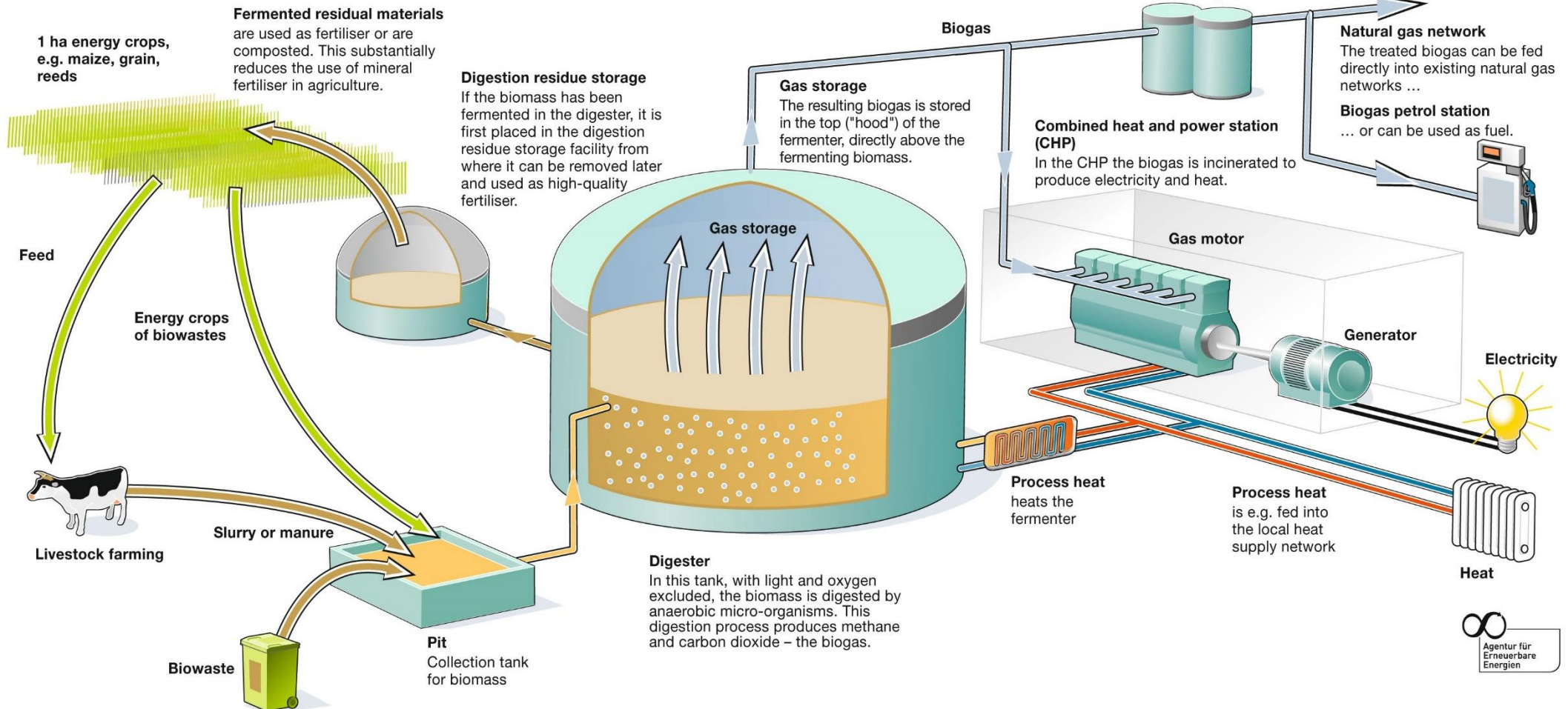




# Anaerobna digestija se može iskoristiti za proizvodnju biogasa u specijalnim postrojenjima

## Biogas system

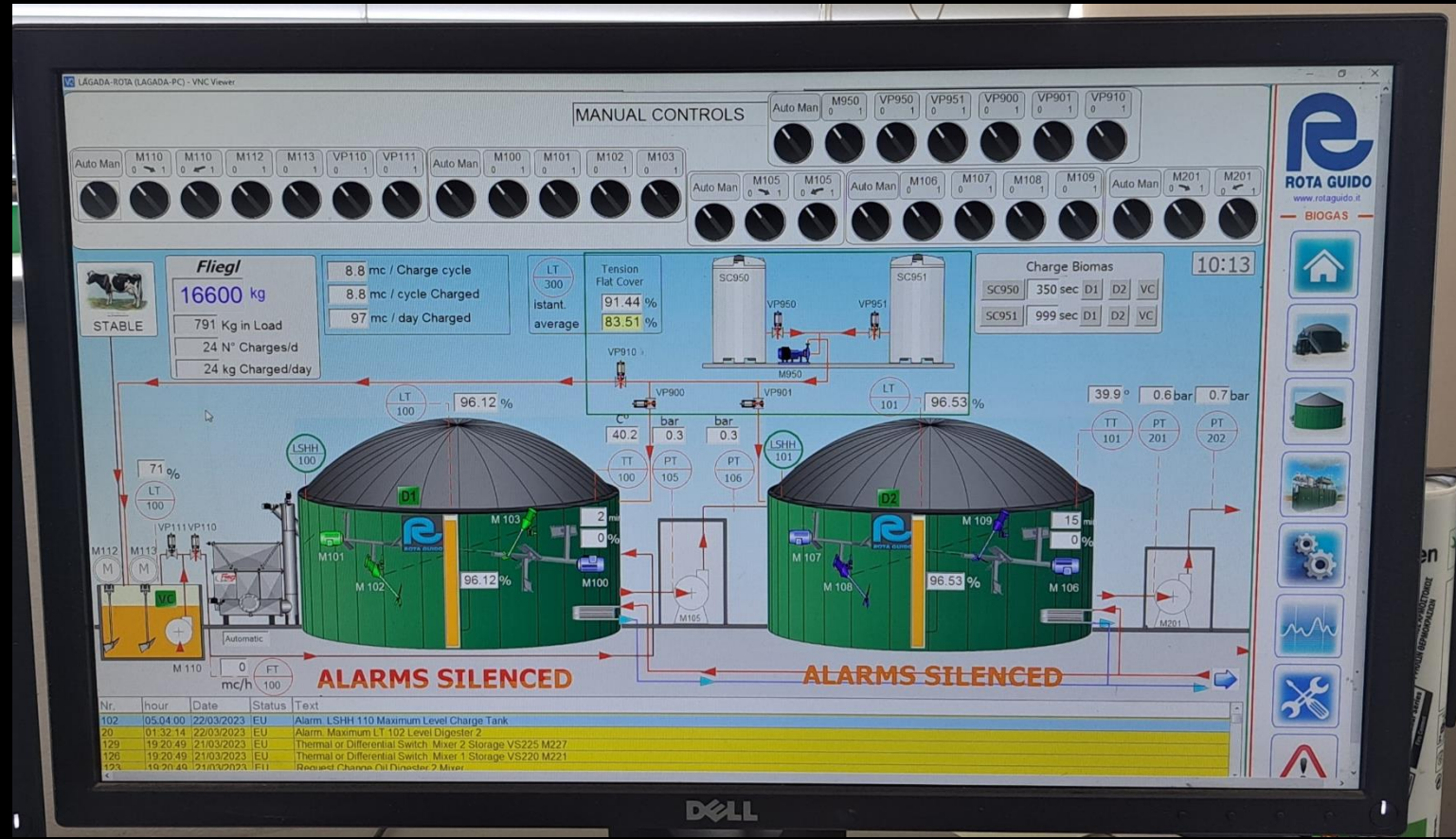
Slurry and solid biomass are suitable for biogas production. A cow weighing 500 kg can be used to achieve e.g. a gas yield of maximum 1.5 cubic metre per day. In energy terms, this equates to around one litre heating oil. Regrowable raw materials supply between 6 000 cubic metre (meadow grass) and 12 000 cubic metre (silo maize/fodder beet) biogas per hectare arable land annually.



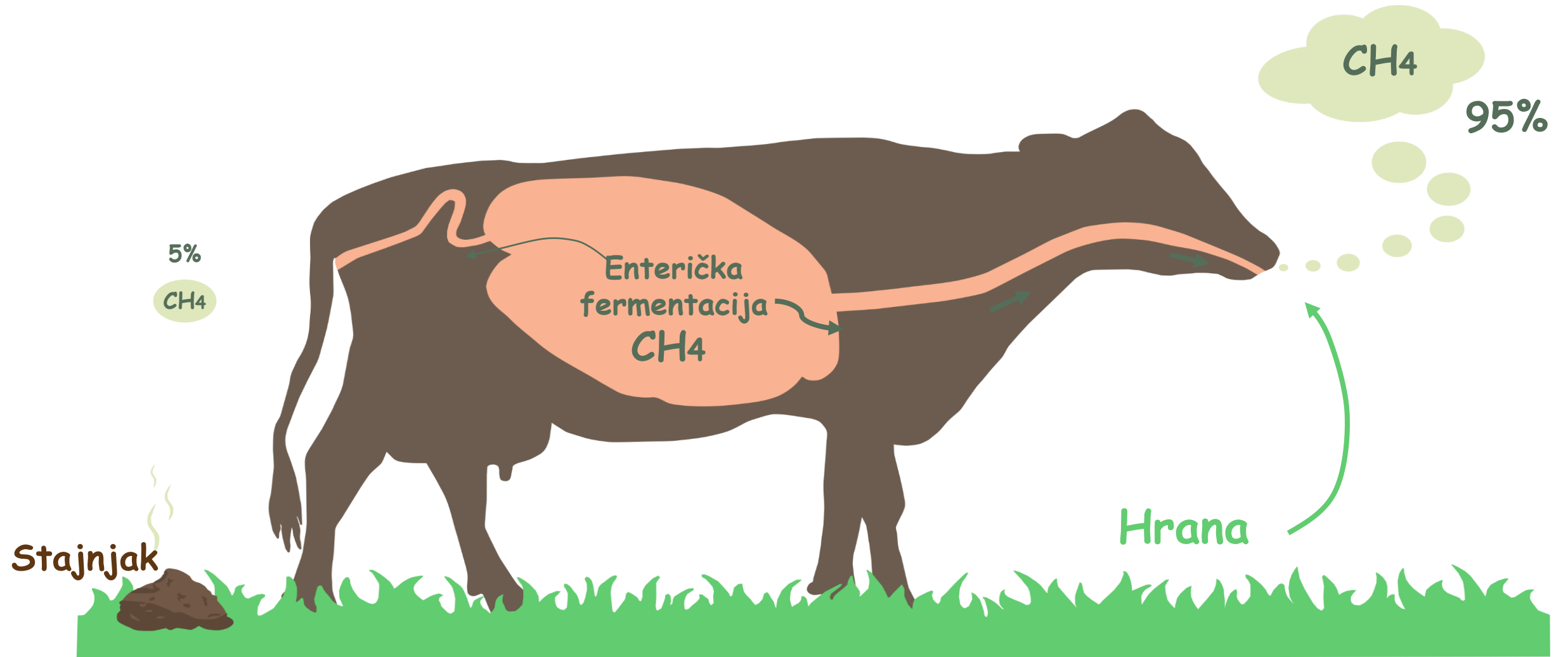








# Nutritivna modulacija metabolizma krava





A diagram of a burrito, shown in a cross-section, with a light brown outer shell and a darker brown filling. The burrito is shaped like a speech bubble. Inside the burrito, there is a layer of green shredded lettuce at the top and a layer of white rice at the bottom. The text is overlaid on the burrito.

Burag predstavlja fermentacionu komoru  
Homeostaza buraga

Visoka vlažnost (voda i pljuvačka)

Zastupljenost nutrijenata

Anaerobni uslovi

Osmolarnost (260-340 mmol/L)

Temperatura (37-42 °C)

pH (6-6.5)

# Tipovi bakterija u buragu

## Na osnovu supstrata



Celulolitičke

Hemicelulolitičke



Amilolitičke

Pektinolitičke

Proteolitičke

Urealitičke

## Na osnovu produkata

### Metanogene

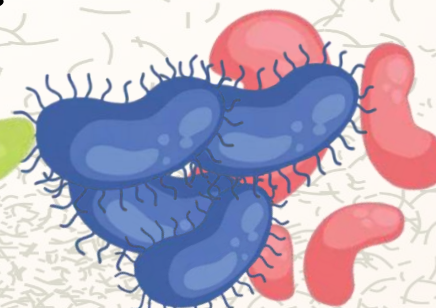
(phylum *Euryarcheota*,  
domen *Archaea*)

*Archaea*-razlikuju se od Eukariota  
i slične su bakterijama, ali sa  
sopstvenim kofaktorima  
(koenzimi M, F420 i F 430)  
i lipidi (izopren-glicerol estri)

### Amonijak-produkujuće



Protozoe



Bakterije

## Na osnovu supstrata koji konzumiraju

Bakterije koje konzumiraju:

Šećere

Masti

Kiseline



Gljivice



**Makromolekuli**  
(Ugljeni hidrati)

Primarne  
bakterije

**Prosti molekuli**  
(monosaharidi - **GLUKOZA**)

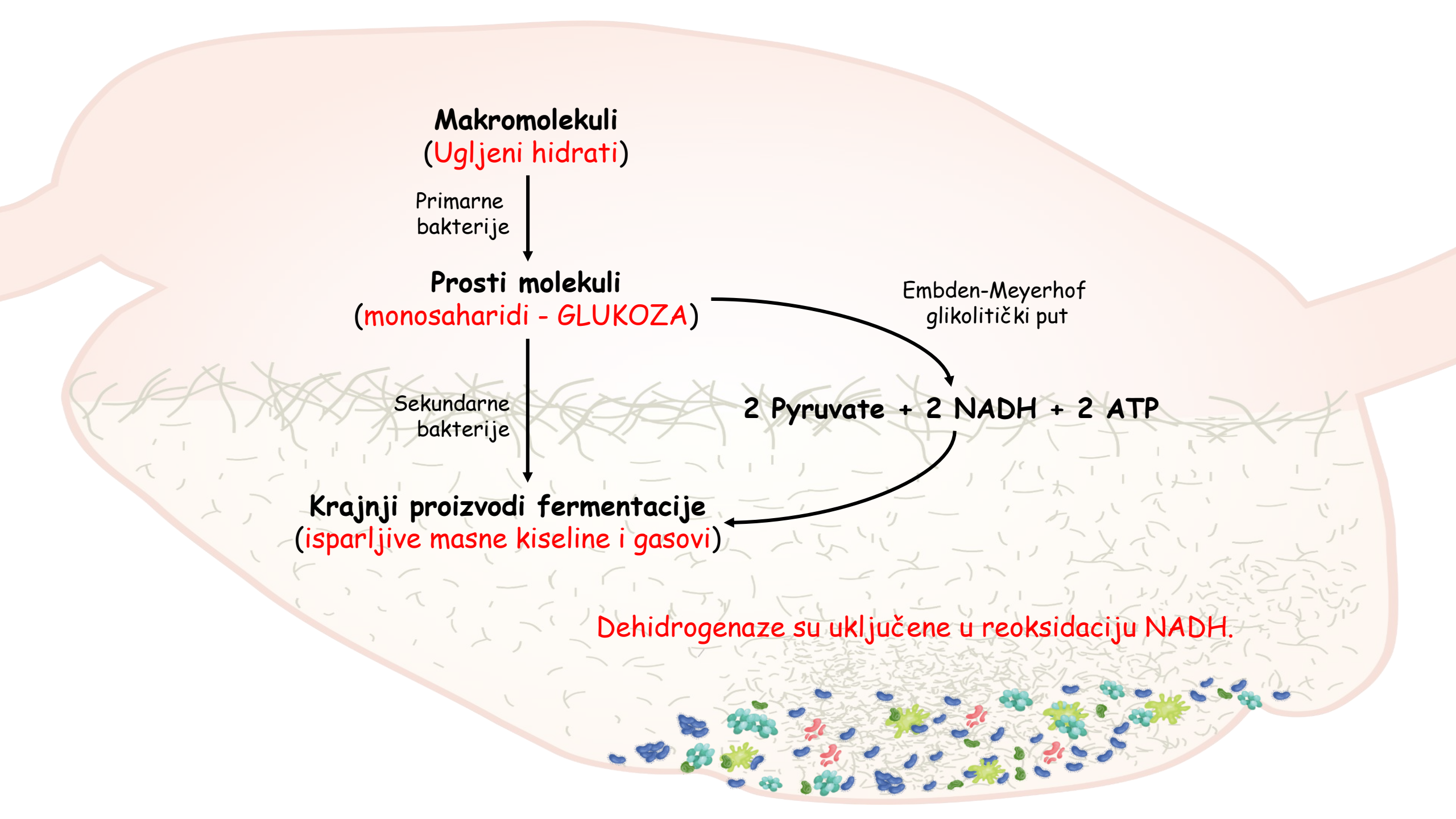
Embden-Meyerhof  
glikolitički put

Sekundarne  
bakterije

**2 Pyruvate + 2 NADH + 2 ATP**

**Krajnji proizvodi fermentacije**  
(isparljive masne kiseline i gasovi)

Dehidrogenaze su uključene u reoksidaciju NADH.





**Makromolekuli**  
**(Ugljeni hidrati)**

**Celuloza**  
(kabasta hraniva)

Celulolitičke  
bakterije

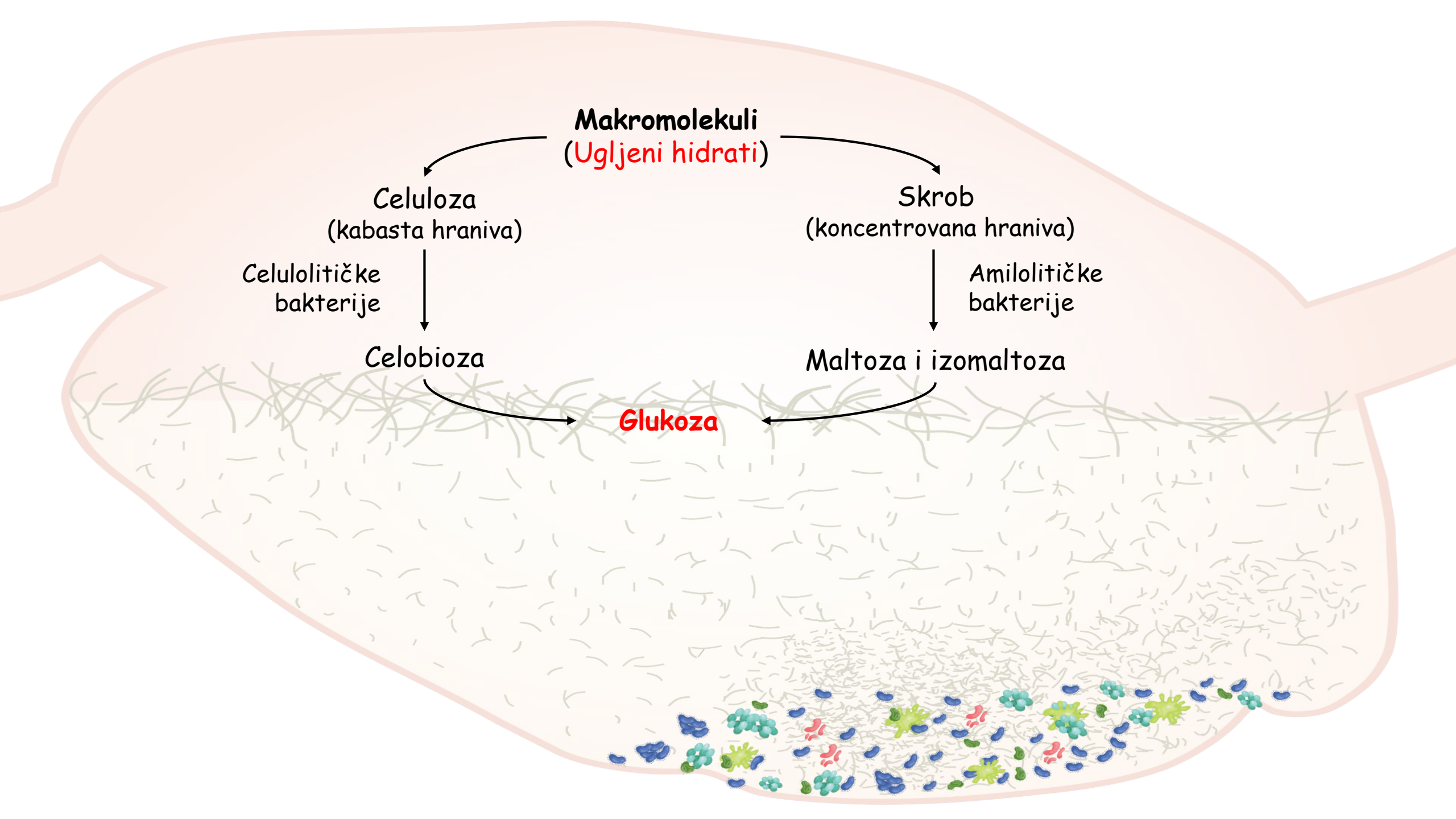
**Celobioza**

**Skrob**  
(koncentrovana hraniva)

Amilolitičke  
bakterije

**Maltoza i izomaltoza**

**Glukoza**



**Makromolekuli**  
(Ugljeni hidrati)

Celuloza  
(kabasta hraniva)

Celulolitičke  
bakterije

Celobioza

Skrob  
(koncentrovana hraniva)

Amilolitičke  
bakterije

Maltoza i izomaltoza

**Glukoza**

2 Acetat

$CO_2$

$CO_2$

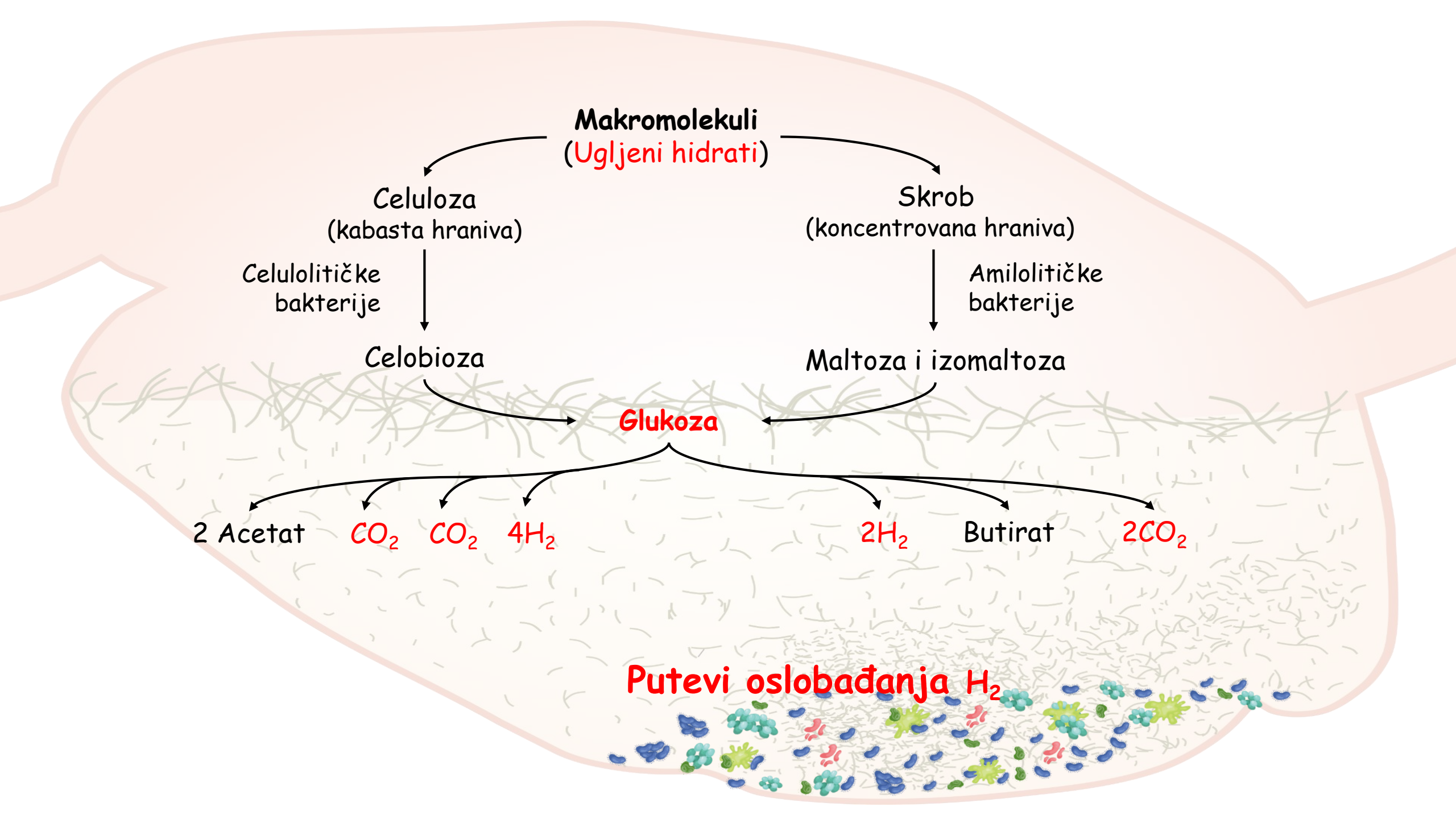
$4H_2$

$2H_2$

Butirat

$2CO_2$

**Putevi oslobađanja  $H_2$**



**Makromolekuli  
(Ugljeni hidrati)**

Celuloza  
(kabasta hraniva)

Celulolitičke  
bakterije

Celobioza

Skrob  
(koncentrovana hraniva)

Amilolitičke  
bakterije

Maltoza i izomaltoza

**Glukoza**

2 Acetat

$CO_2$

$CO_2$

$4H_2$

$CH_4$

$2H_2$

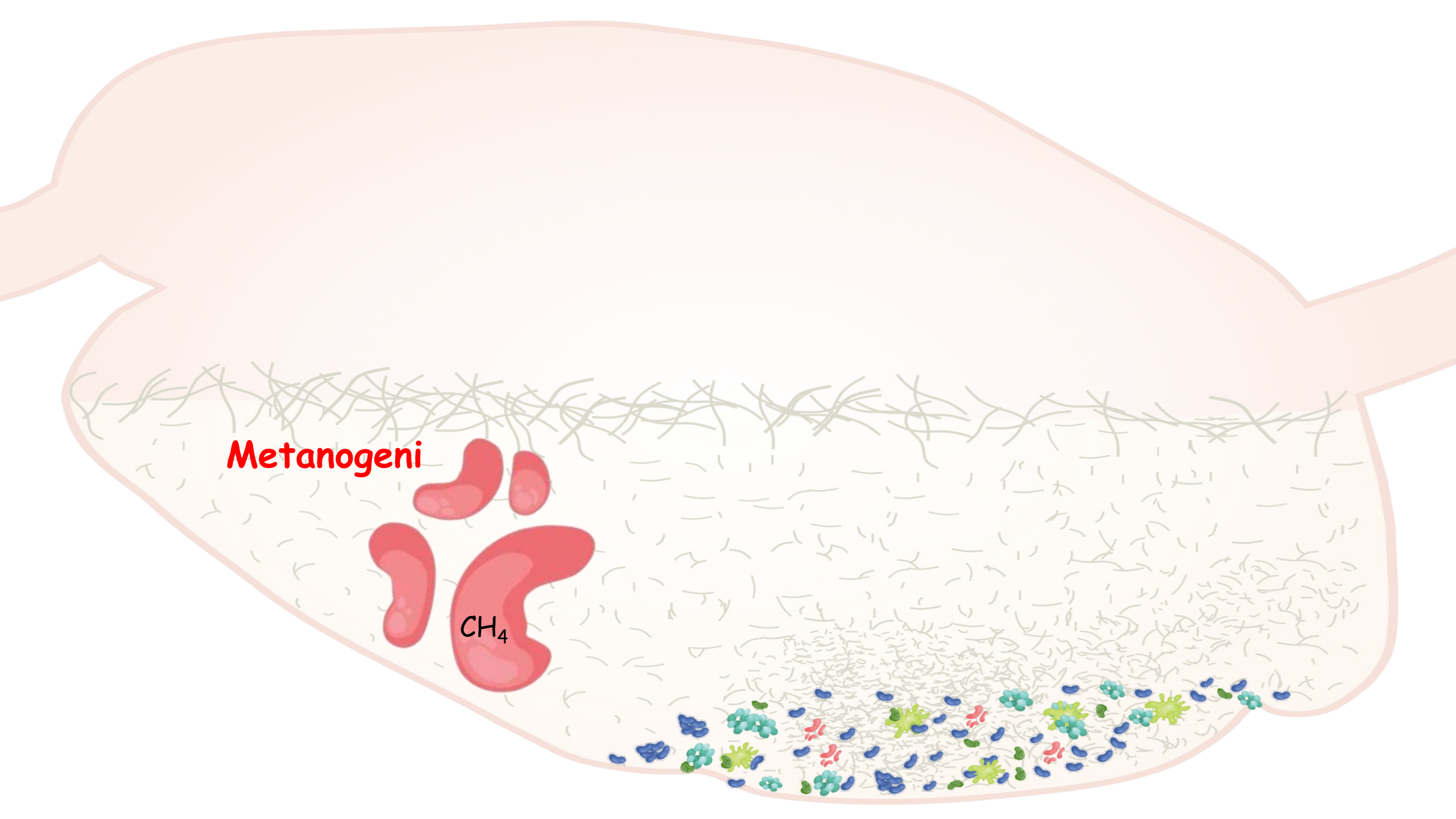
2 Propionat

Butirat

$2CO_2$

**Putevi uklanjanja  $H_2$**





**Metanogeni**

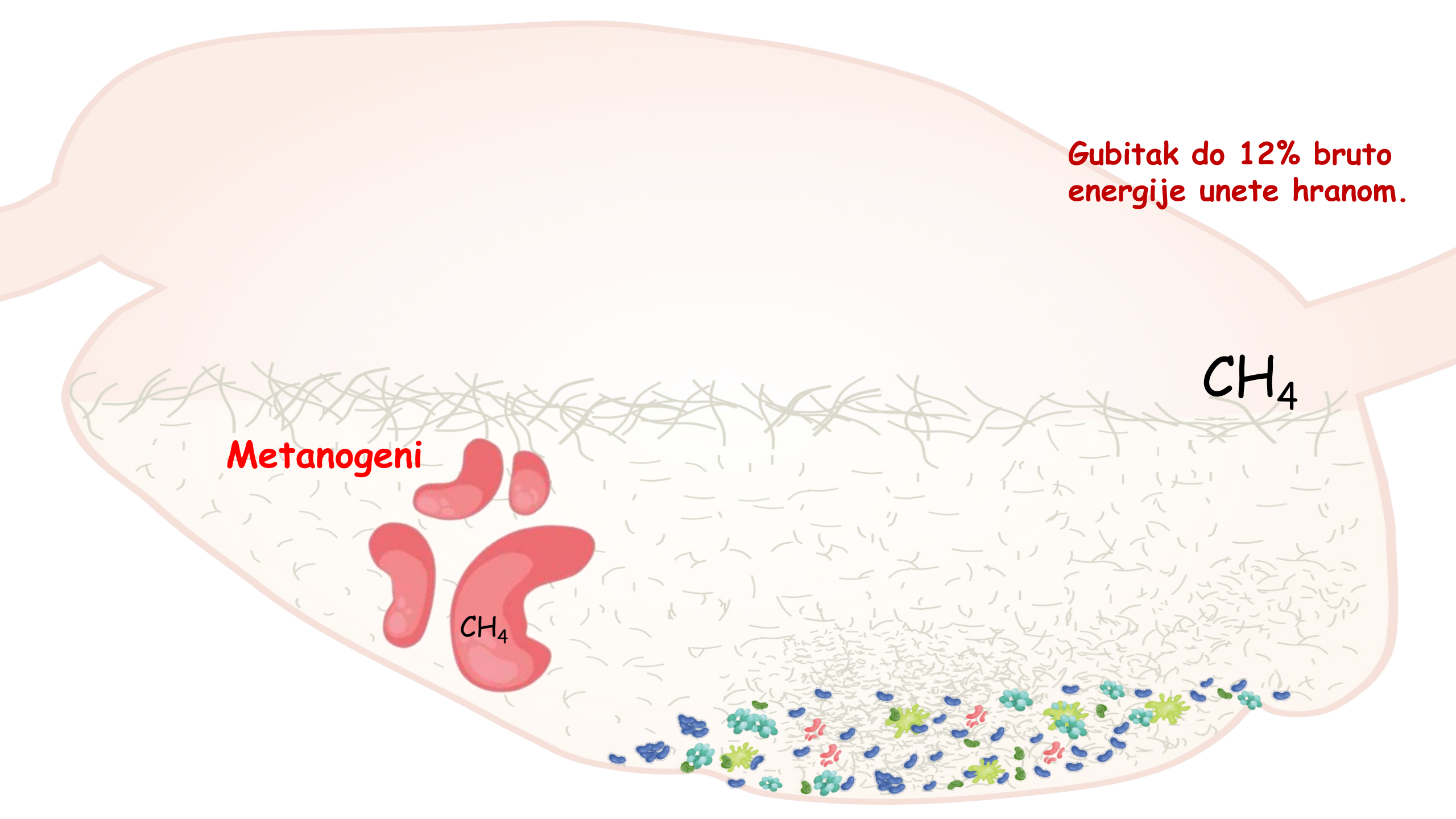
CH<sub>4</sub>

Gubitak do 12% bruto energije unete hranom.

Metanogeni

CH<sub>4</sub>

CH<sub>4</sub>



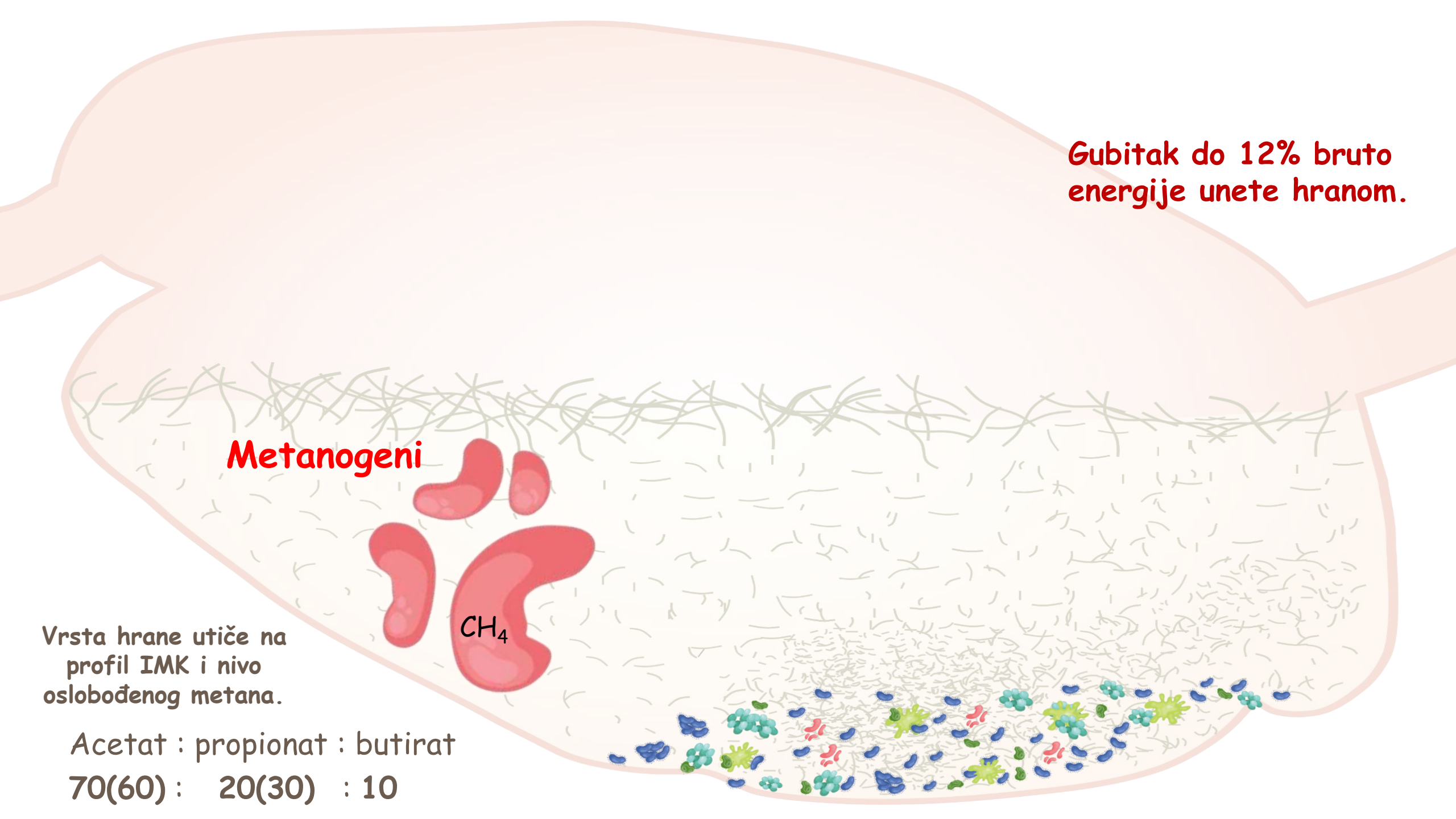
Gubitak do 12% bruto energije unete hranom.

Metanogeni

CH<sub>4</sub>

Vrsta hrane utiče na profil IMK i nivo oslobođenog metana.

Acetat : propionat : butirat  
70(60) : 20(30) : 10





**Proizvodnja  $\text{CH}_4$  je esencijalna za homeostazu buraga** jer sprečava prekomerno nakupljanje  $\text{H}^+$  koji mogu inhibirati aktivnost dehidrogenaza, uključenih u reoksidaciju redukcionih ekvivalenata (NADH).

**Propionat** je krajnji proizvod fermentacije u buragu i glavna alternativa uklanjanju  $\text{H}^+$ .

**Povećanje stvaranja propionata je čvrsto povezano sa smanjenom produkcijom  $\text{CH}_4$ .**

## Dve ključne grupe metanogena

*Methanobrevibacter* SGMT  
(**McrI** i **McrII**)

*Mbb. smithii*, *Mbb. gottschalki*, *Mbb. millerae* i *Mbb. thaueri*

*Methanobrevibacter* RO (koenzimi-manje značajni)  
(**McrII**)

*Mbb. ruminantium* i *Mbb. olleyae*

**CH<sub>4</sub>**

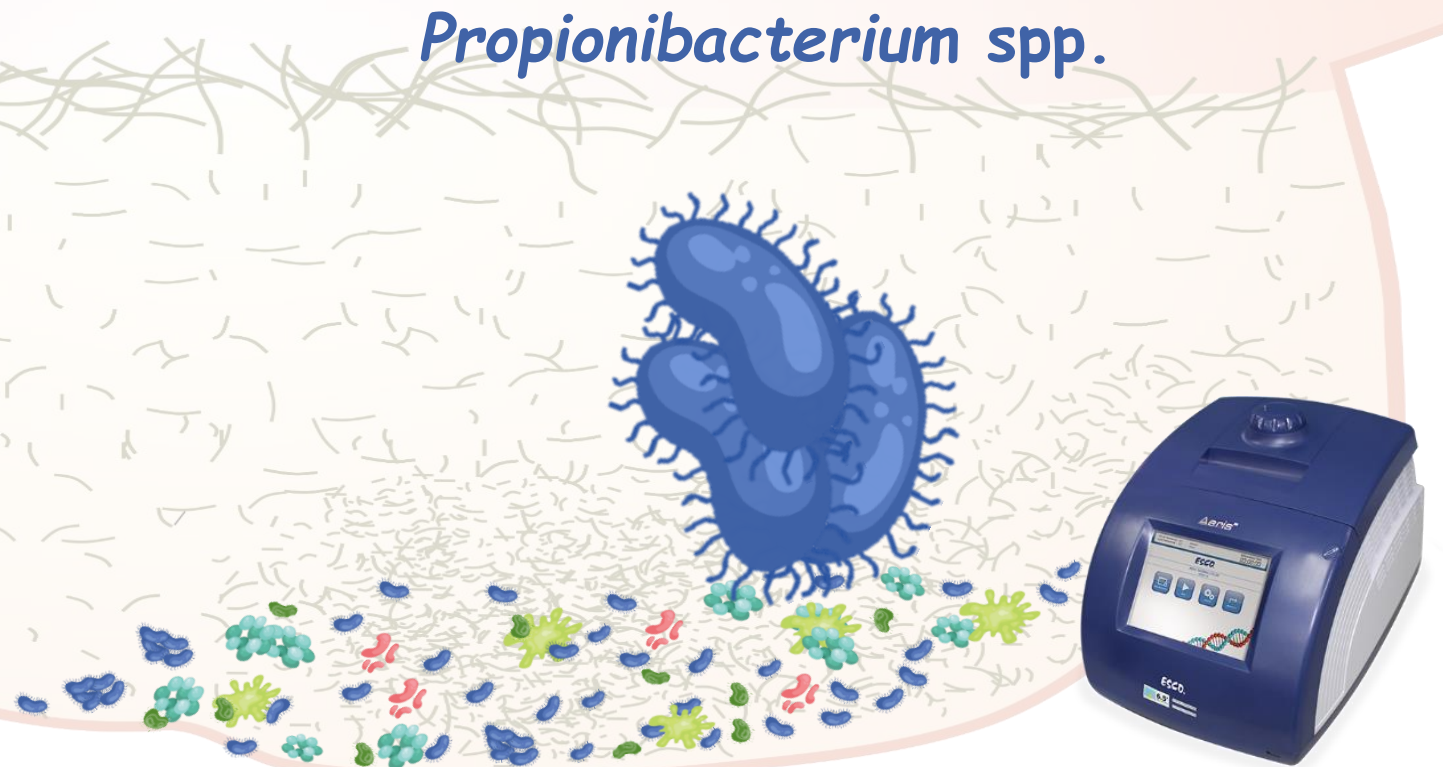
Gubitak 12% energije

*Propionibacterium* spp.

**Methanogeni**

< 70% E

Acetat : propionat : butirat  
70 : 20 : 10



## Dve ključne grupe metanogena

*Methanobrevibacter* SGMT  
(**McrI** i **McrII**)

*Mbb. smithii*, *Mbb. gottschalki*, *Mbb. millerae* i *Mbb. thaueri*

*Methanobrevibacter* RO (koenzimi-manje značajni)  
(**McrII**)

*Mbb. ruminantium* i *Mbb. olleyae*

**Metanogeni**



< 70% E

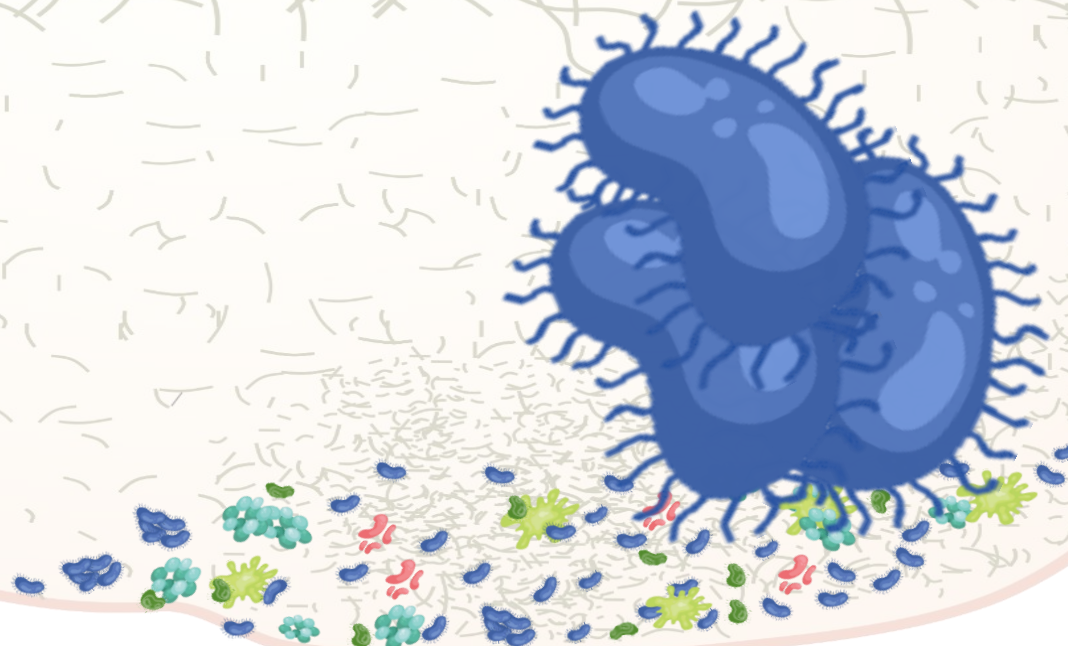
Acetat : propionat : butirat  
40 : 40 : 20

**CH<sub>4</sub>**

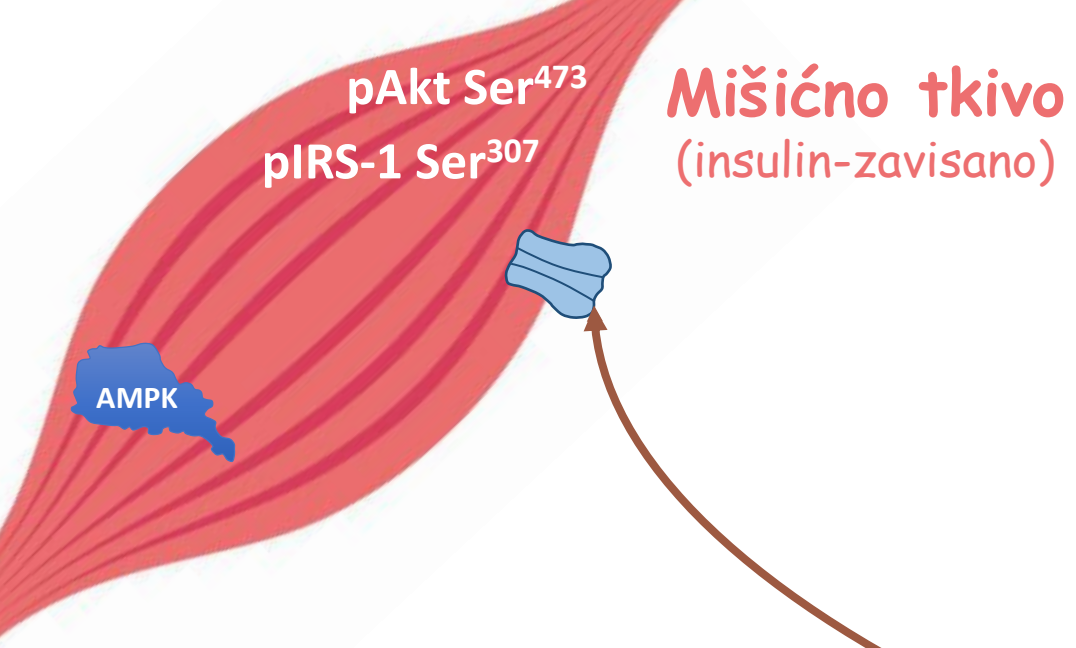
Gubitak 12% energije



*Propionibacterium* spp.



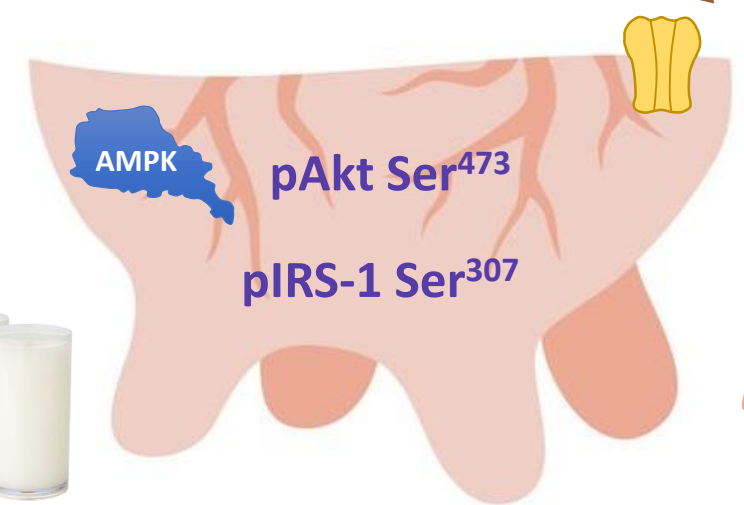
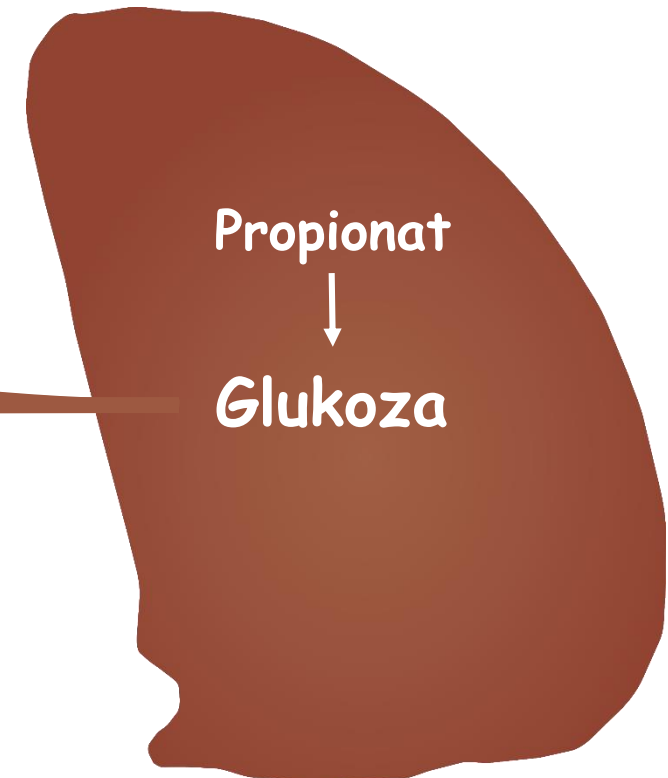




Preusmeravanje H<sup>+</sup> od metanogeneze prema sintezi propionata može povećati efikasnost proizvodnje kod preživara.

**ZAŠTO?**

Propionat je prekursor glukoze kod preživara. Sintetisana glukoza se može usmeriti iz jetre u periferna tkiva i mlečnu žlezdu.

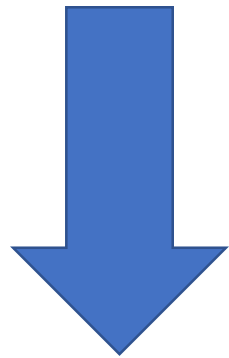


**Mlečna žlezda**  
(insulin-nezavisano)

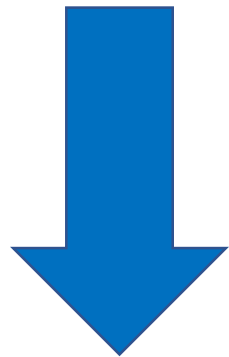


# Nutritivna modulacija metabolizma

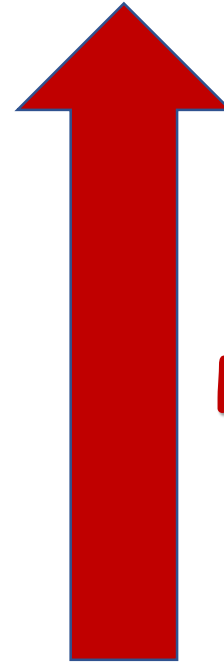
Glavni cilj: preusmeravanje  $H^+$  na alternativne akceptore elektrona (propionat)



$CH_4$



Gubitak energije



Proizvodnju mleka

**PROFITABILNOST FARME**

**EKOLOŠKI PRIHVATLJIVE VISOKO PROFITABILNE FARME MLEČNIH KRAVA**

# Nutritivna modulacija metabolizma

## Nutritivni dodaci



Tanini

Baktericidni efekat - smanjuje populaciju metanogena (Honan i sar., 2021).

Poboljšava mehanizme antioksidativne zaštite (Prodanović i sar., 2023).



Metanogeni



Smanjuje emisiju





## Nutritivna modulacija metabolizma Nutritivni dodaci



Tanini



Dialil disulfid

Inhibicija enzimskog sistema arheja (Kirovski i sar. - neobjavljeni rezultati).

Antimikrobna svojstva (Nakamoto i sar., 2020).

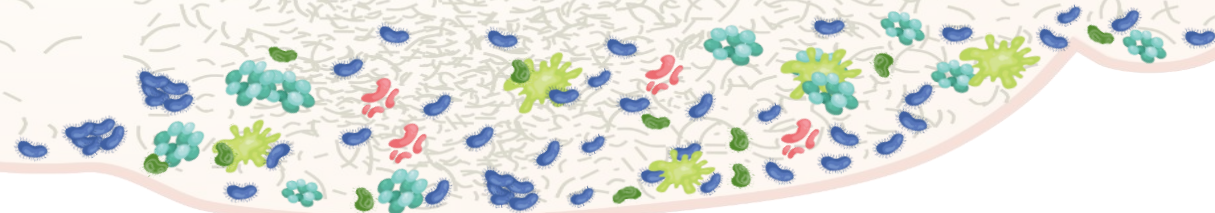
Deluje i kao repelent (Showler i sar., 2010).



Metanogeni



Smanjuje emisiju za 60-70%





Tanini



Dialil disulfid



Braon  
morkse alge

## Nutritivna modulacija metabolizma Nutritivni dodaci

Poboljšava mlečnost, kvalitet mleka i zdravstveni status krava (Nguyen i sar., 2022).

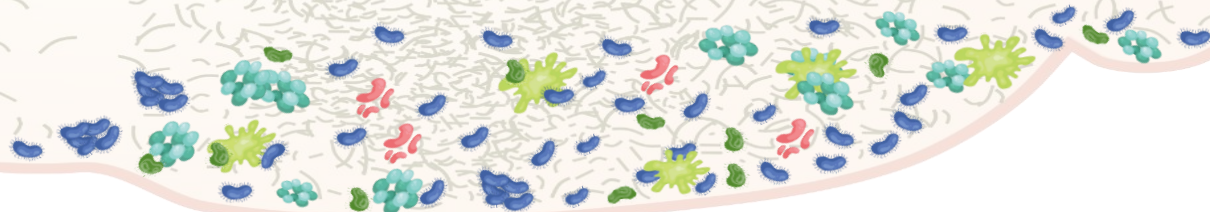
Suprimira populaciju celulolitičkih bakterija (Machado i sar., 2014).



Metanogeni



Smanjuje emisiju za 90%





## Nutritivna modulacija metabolizma Nutritivni dodaci



Tanini



Dialil disulfid



Braon  
morkse alge



Crvene  
morkse alge

Poboljšava mlečnost, kvalitet mleka i zdravstveni status krava (Nguyen i sar., 2022).

Inhibira enzimski sistem arhea i kobamid-zavisan transfer metil grupe tokom metanogeneze (Machado i sar., 2014).

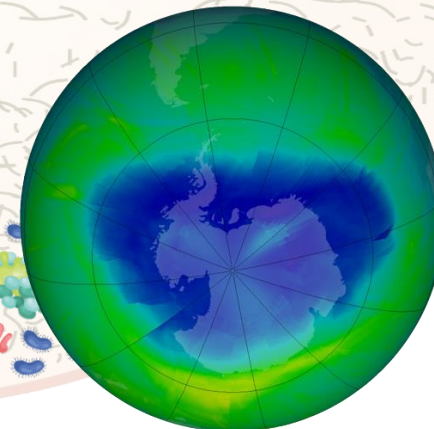
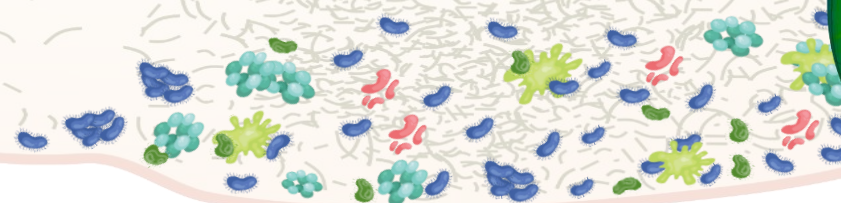


Metanogeni



Smanjuje emisiju za 90%

Međutim...





# Nutritivna modulacija metabolizma

## Nutritivni dodaci



Tanini



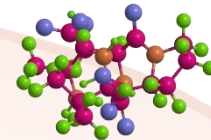
Dialil disulfid



Braon  
morkse alge

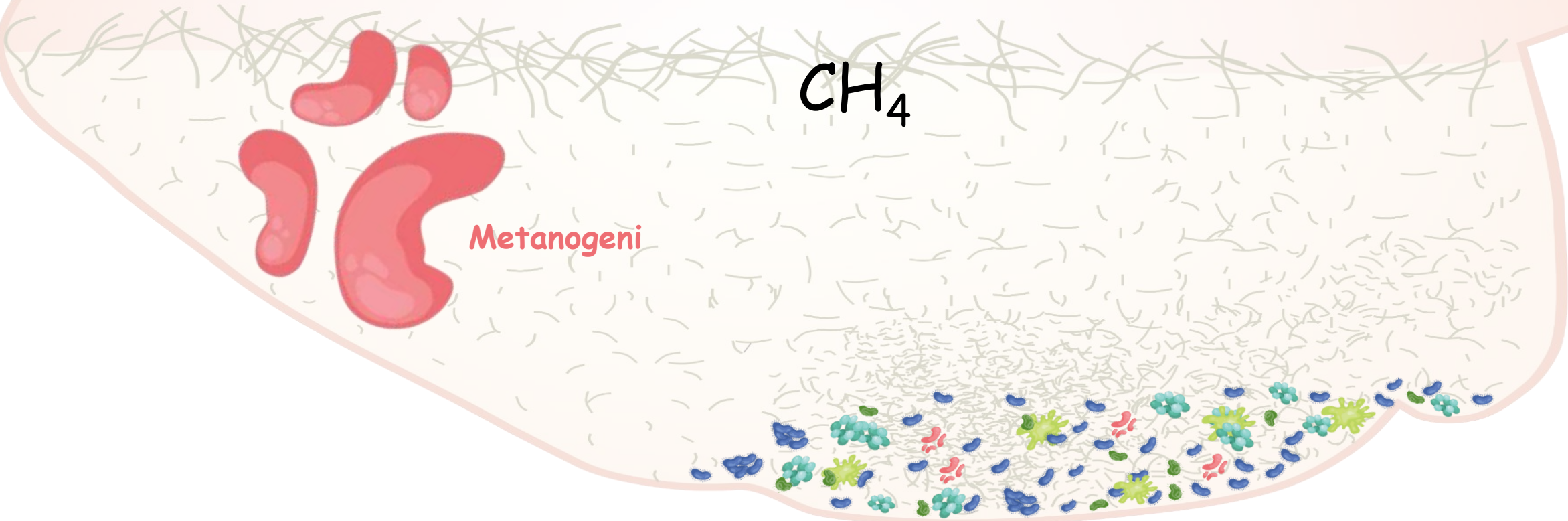


Crvene  
morkse alge



Hemijska jedinjenja  
(peptidi, bakteriocini, itd.)

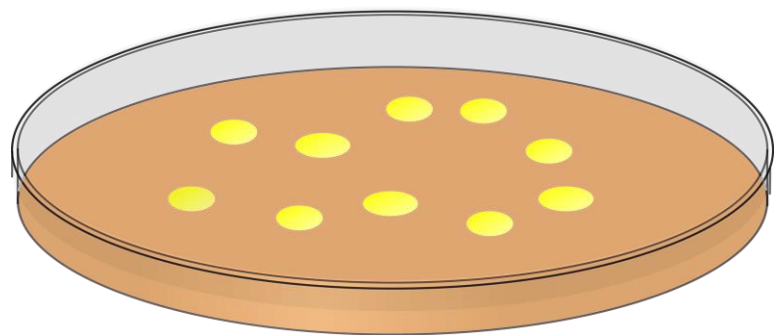
Drastično smanjenje emisije metana - iv vitro studije - upitno?



Metanogeni

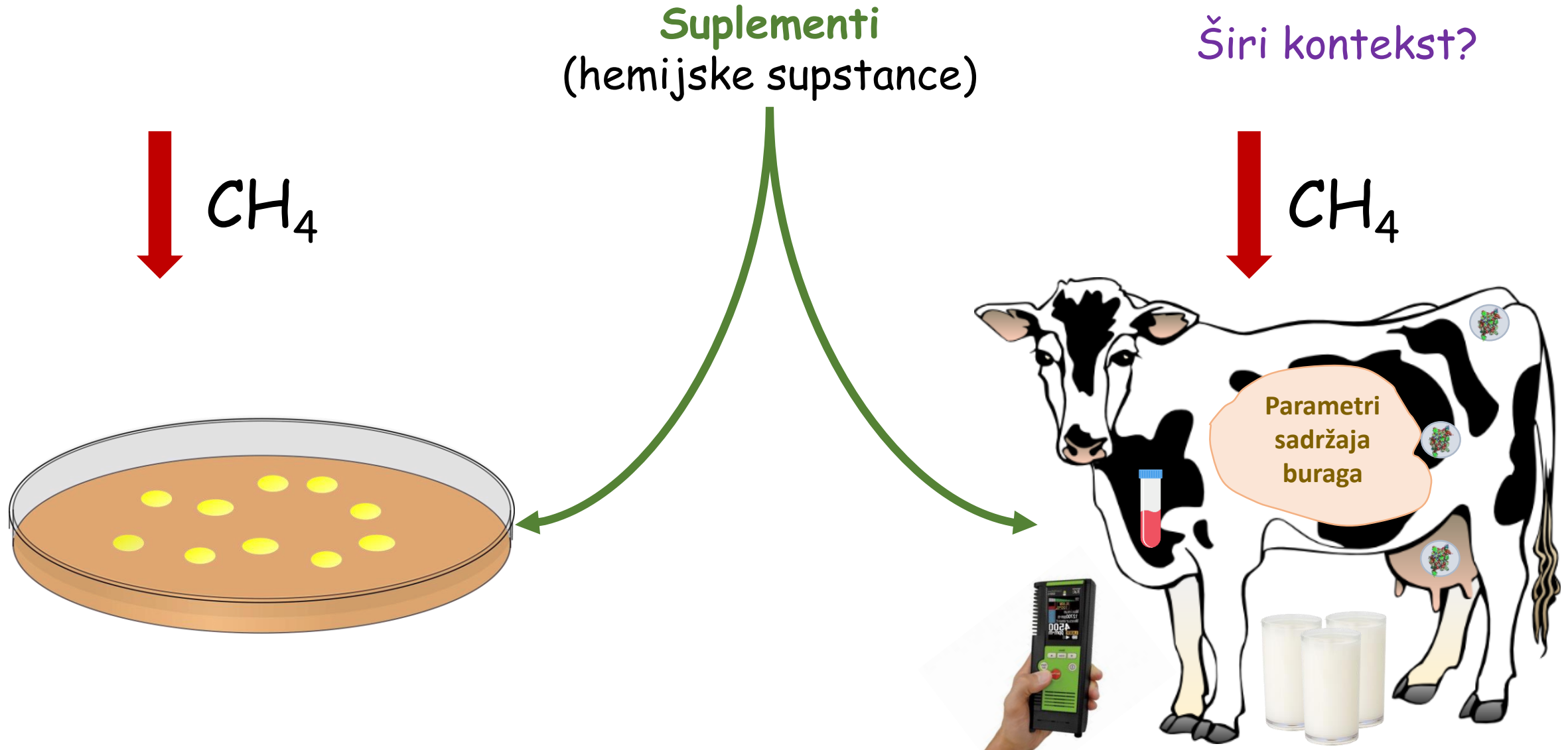
# *In vitro vs. in vivo* studije

**Suplementi**  
(hemijske supstance)



**Parametri  
sadržaja  
buraga**

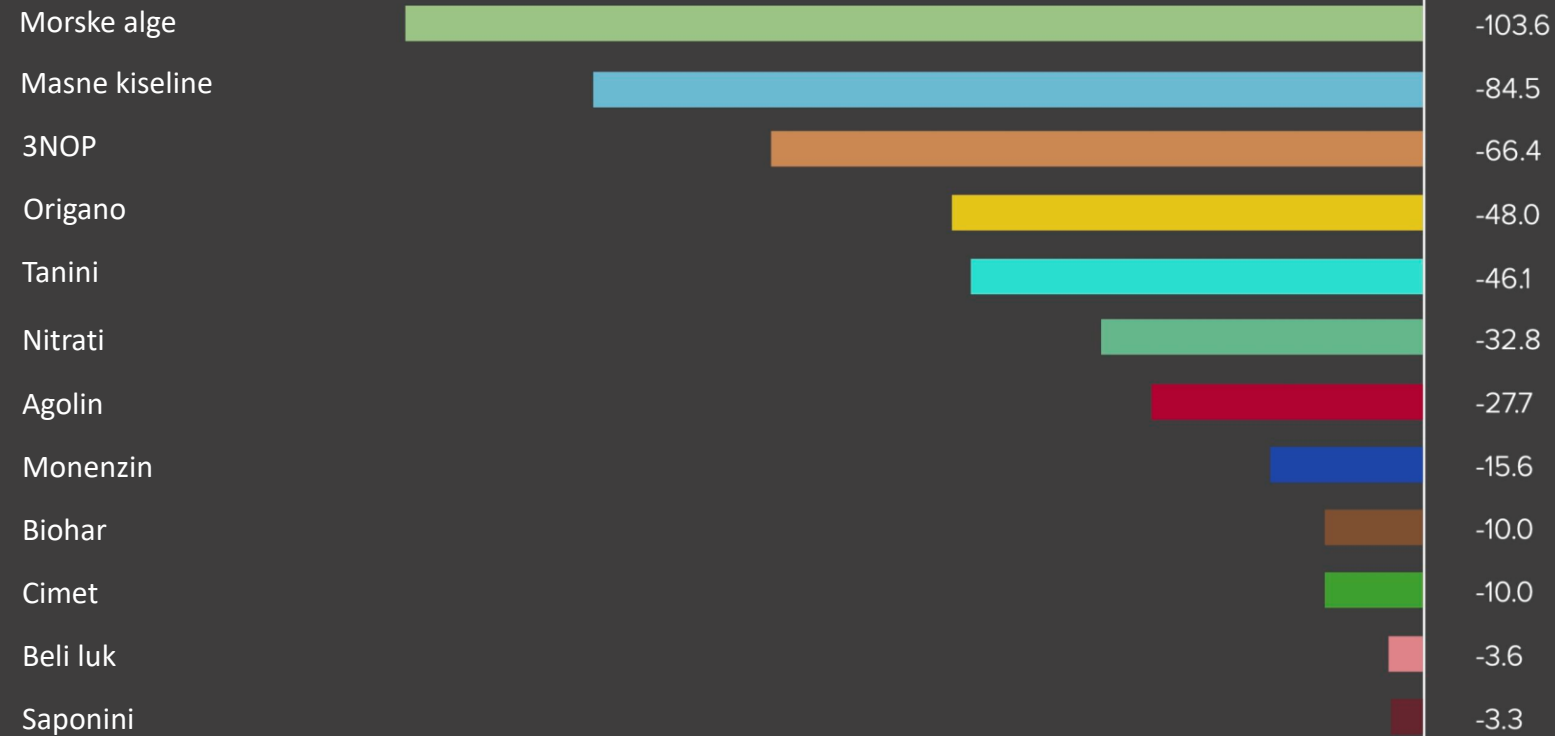
# In vitro vs. in vivo studije





## Smanjenje emisije metana dodavanjem suplemenata

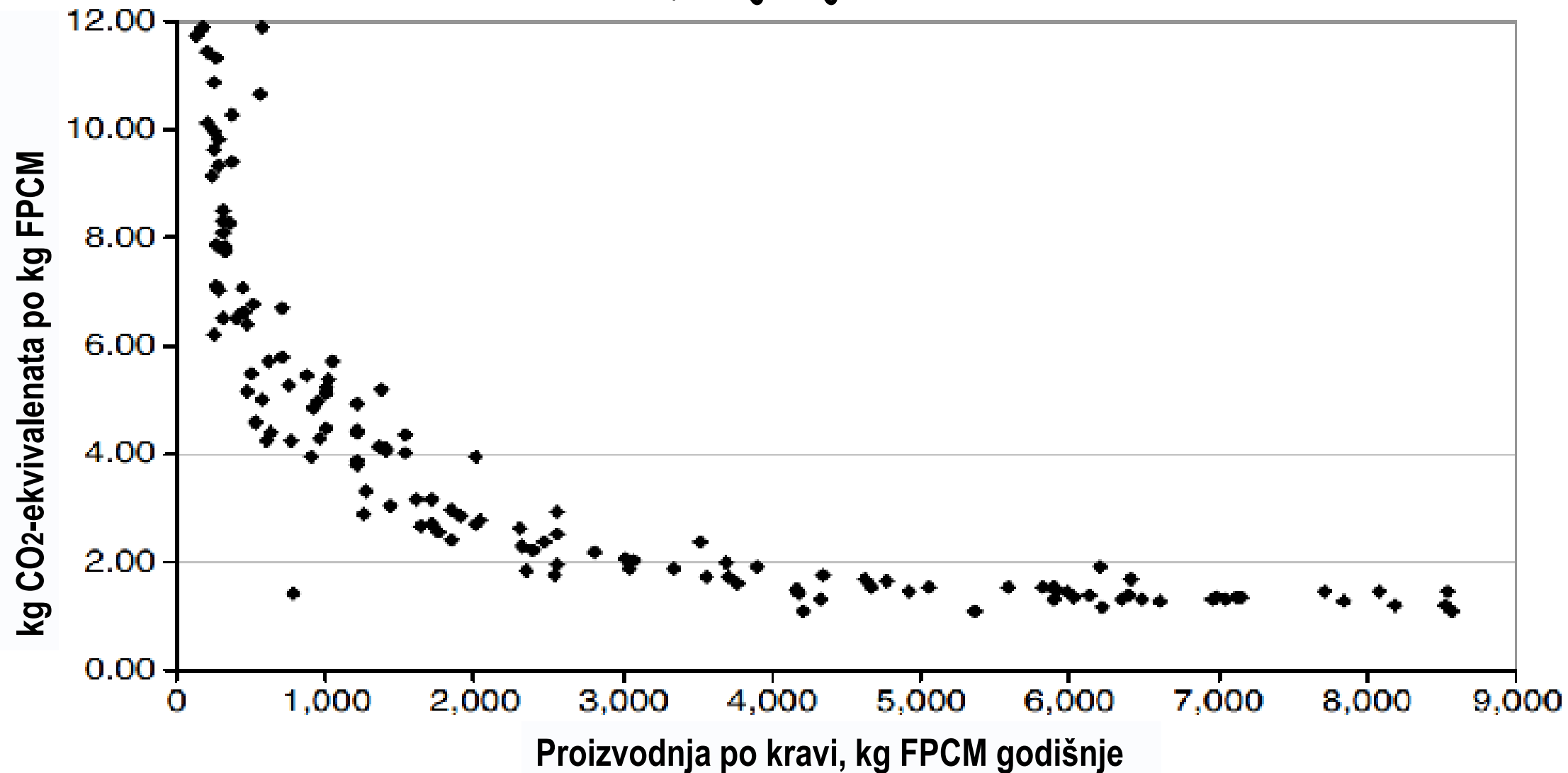
### Suplementi



-120.0 -100.0 -80.0 -60.0 -40.0 -20.0 0.0

Prosečna razlika u produkciji metana (g/d)

Važno je uzeti u obzir **enteričku proizvodnju CH<sub>4</sub> po jedinici proizvoda (kg mleka)** jer je neophodno težiti ravnoteži između proizvedene hrane za rastuću ljudsku populaciju i emisija GHG, uključujući CH<sub>4</sub>.



\*FPCM – fat-protein corrected milk.





## „Carbon footprint“ - ugljeni otisak

Veća efikasnost proizvodnje (veća proizvodnja mleka) - niži CF po kg proizvoda od mleka

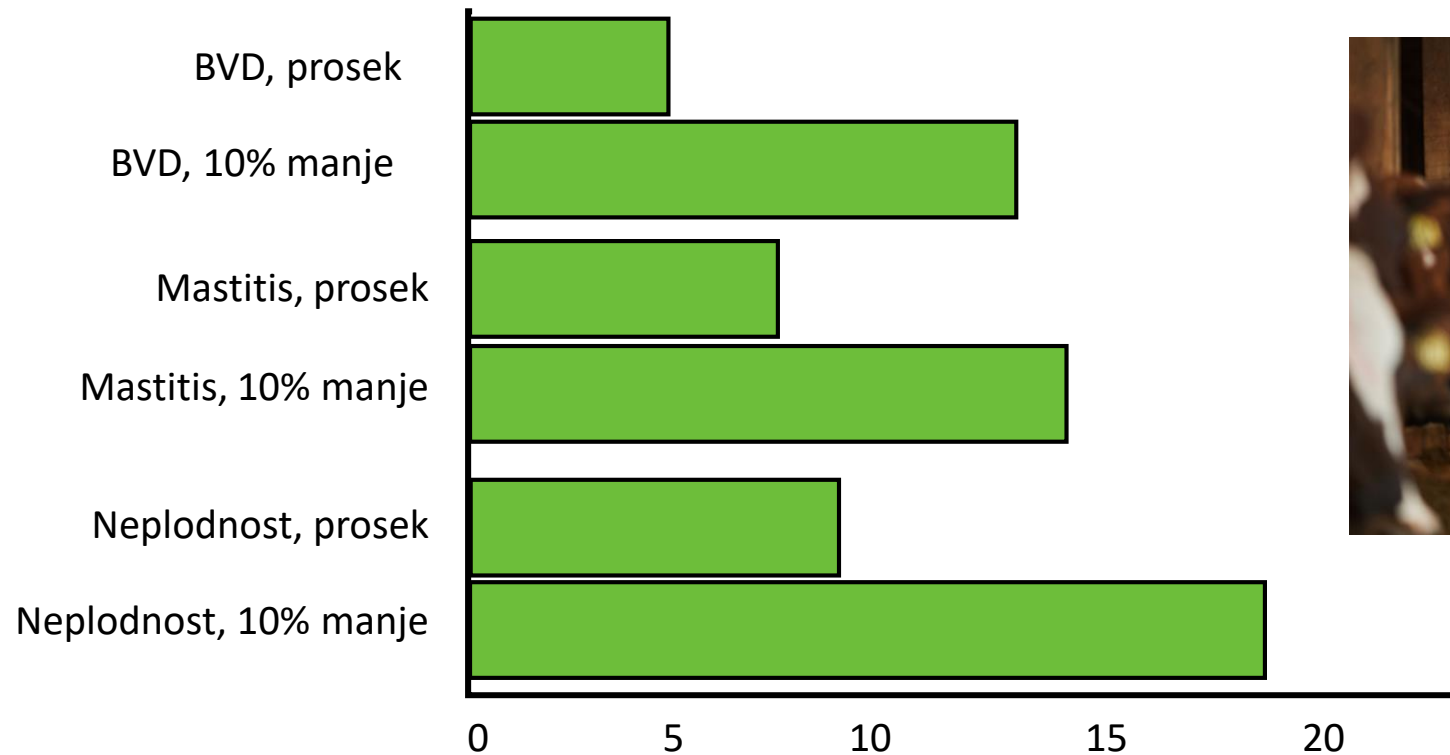


### carbon footprint

*The greenhouse gas emissions (carbon footprint) per unit of milk produced has shrunk by more than 63 percent across the U.S. dairy industry since 1944. An additional 25 percent reduction is targeted by 2020.*



## Emisija gasova sa efektom staklene bašte (GHG) može biti značajno redukovana smanjenom pojavom bolesti u stadu



Procenat (%) redukcije u emisiji GHG po kg energetski korigovanog mleka.



**Kontrolom zdravstvenog statusa krava, SVI VETERINARI DOPRINOSE OČUVANJU ŽIVOTNE SREDINE KROZ SMANJENJE EMISIJE GHG.**



[Home](#)

[About the Project](#)

[Project Team](#)

[Activities](#)

[Publications](#)

[Reports](#)

[Contact](#)

# Project Team







Фонд за науку  
Републике Србије

Program IDEAS



CH<sub>4</sub>

**Hvala na pažnji.**

<https://mitimetcattle.vet.bg.ac.rs/services/>



1.1.2022-1.1.2025