

VPLIV SISTEMA REJE IN SEZONE NA KONCENTRACIJO METANA V ČREDAH KRAV MOLZNIC

Matej Podgornik Milosavljevič¹, Tina Perčič², Marija Bric³, Marija Klopčič⁴

IZVLEČEK

Globalno segrevanje kot posledica izpusta toplogrednih plinov predstavlja največji problem današnjega časa. Metan, eden izmed pomembnih toplogrednih plinov v okviru živinorejskega sektorja, predvsem na področju reje krav molznic, uvrščamo med največje vire emisij poleg CO₂, N₂O in NH₃. Prežvekovalci imajo na splošno višje emisije metana od monogastričnih živali zaradi dolgega prebavnega trakta in obsežnega ekosistema v vampu, kjer se nahajajo številni mikroorganizmi, vključno z metanogeni. Potreba po zmanjšanju metana na področju živinoreje predstavlja velik problem energetske učinkovitosti zaužite krme, zato bo potrebno spremeniti sisteme živinoreje in vzpostaviti novo strategijo, ki bo učinkovita in bo zadovoljila tudi potrebe živali. Na tem področju potekajo številne raziskave. Prehrana živali, ureditev in zračenje hleva ter načini odstranjevanja in skladiščenje ter aplikacija živalskih izločkov, so dejavniki, ki lahko negativno ali pozitivno vplivajo na globalno segrevanje. V okviru EIP-AGRI projekta »Inovativni okoljsko-podnebno naravnani sistemi upravljanja govedorejske kmetije za zagotavljanje pridelave krme in optimalnih pogojev reje govedi« smo v zadnjem letu mesečno izvajali meritve koncentracije metana na različnih mestih v hlevu in izven njega na 10 kmetijah s kravami molznicami v Sloveniji. Meritve smo izvedli s prenosnim Gasmet GT5000 Terra večplinskim FTIR analizatorjem. V prispevku bomo predstavili nekatere rezultate meritev koncentracije metana, glede na način reje in sezono.

KLJUČNE BESEDE: govedo, krave molznice, sistem reje, emisije metana

EFFECT OF HOUSING SYSTEM AND SEASON ON METHANE CONCENTRATIONS IN DAIRY CATTLE HERDS

Global warming as a result of the release of greenhouse gases is the biggest problem of nowadays. Methane, one of the most important greenhouse gases in the livestock sector, especially in the area of dairy cow breeding, is considered as one of the biggest sources of emissions alongside CO₂, N₂O and NH₃. Ruminants generally have higher methane emissions than monogastric animals due to the long digestive tract and extensive ecosystem in the rumen, which hosts many microorganisms, including methanogens. The need to reduce methane in the field of animal husbandry represents a major problem of the energy efficiency of the feed consumed, so it will be necessary to change the animal husbandry systems and establish a new strategy that will be efficient and will also satisfy the needs of the animals. There is a lot of research going on in this area. Animal nutrition, arrangement and ventilation of the barn, and methods of removal and storage, as well as applications of

¹ mag. inž. agr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za zootehniko, Groblje 3, 1230 Domžale

² mag. inž. zoot., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za zootehniko, Groblje 3, 1230 Domžale

³ mag. inž. zoot., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za zootehniko, Groblje 3, 1230 Domžale

⁴ izr. prof. dr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za zootehniko, Groblje 3, 1230 Domžale

animal secretions, are factors that can have a negative or positive effect on global warming. In the framework of the EIP-AGRI project "Innovative environmental and climate-oriented cattle farm management systems to ensure the production of fodder and optimal conditions for cattle breeding", we carried out monthly measurements of methane concentration in various places in the barn and outside it on 10 farms in Slovenia with dairy cows in the last year. The measurements were performed with a portable Gasmeter GT5000 Terra multi-gas FTIR analyser. In this article, we will present some results of methane concentration measurements, depending on the housing system and the season.

KEYWORDS: cattle, dairy cows, housing system, methane emissions

1 UVOD

Metan je toplogredni plin, ki poleg CO₂, N₂O in NH₃ močno vpliva na globalno segrevanje. Največji izpust metana v ozračje povzročajo živinoreja, plinovodi, odlagališča odpadkov in pridelava riža (Scoones, 2022). Je drugi največji antropogeni dejavnik trenutnega globalnega segrevanja (Myhre in sod., 2013) in številne študije kažejo, da bo tako tudi v prihodnosti. Poleg ogljikovega dioksida bo metan imel pomembno vlogo pri strategijah ublažitve za doseganje ciljev nizkega segrevanja. Živinoreja predstavlja tretjino globalnih antropogenih emisij metana (Saunio in sod., 2020).

Življenjska doba metana v ozračju je krajša od življenjske dobe ogljikovega dioksida. Ker ima metan na kratek rok velik potencial segrevanja, saj hitro razpade, se pojavljajo mnenja, da so učinki metana glede na uporabo standardnih meril ocenjevanja precenjeni in pojavljajo se predlogi alternativnih ocen »potenciala globalnega segrevanja« (Allen in sod., 2018; Del Prado in sod., 2021).

Emisije metana pri različnih kategorijah živali so se med leti 1961 in 2018 povečale za 51,4 % zaradi povečanja števila prežvekovalcev in posledično povečanega izločanja gnoja (FAOSTAT, 2020). Glede na predvideno naraščajoče povpraševanje po živinorejskih proizvodih se bo ta trend nadaljeval, še posebej v državah v razvoju, kjer se bo obseg živinoreje dodatno povečeval kot posledica večje kupne moči in spremembe prehranskih navad (FAO, 2018).

Čeprav obstajajo številni dokumenti in globalne ocene, ki temeljijo na dokazih, je razumevanje vplivov in koristi različnih sistemov živinoreje slabo. Ravno to nerazumevanje pa povzroča številne nesporazume na področju javnih in političnih komentarjev (Alibés in sod., 2020; Herrero in sod., 2016, 2009; Paul in sod., 2020; Rivera-Ferre in sod., 2016). Enostranska obravnava živinoreje je povsem nesmiselna, ker obstajajo sistemi, ki predstavljajo intenzivno industrijsko rejo v zaprtih hlevih in sistemi paše kjer se živali prosto gibljejo. Zato je tudi dinamika emisij različna in zahteva specifične rešitve za vsako posamično področje. Pašniki, namenjeni ekstenzivni živinoreji, pokrivajo več kot polovico površine kopnega (ILRI in drugi, 2021) na področjih, kjer je konvencionalno kmetijstvo z velikimi živinorejskimi sistemi nemogoče (Manzano in sod., 2021).

Vse bolj se kaže potreba po razvoju programov za odstranjevanje in zmanjšanje metana, ki bodo vključevali tehnološke rešitve in modeliranje (Jackson in sod., 2020). Odstranjevanje metana bi pripomoglo k zmanjšanju njegove emisije. Če bi se odstranitev izkazala za izvedljivo in uporabno v velikem obsegu, bi lahko razmeroma velik toplogredni potencial metana (GWP – Global Warming Potential) že v prvih nekaj desetletjih zagotovil upočasnitev kratkoročne stopnje globalnega segrevanja (Allen in sod., 2016). Vse tehnologije za odstranjevanje metana bi bilo potrebno natančno preučiti (Bui in sod., 2018). Prednost tehnologije odstranjevanja metana je, da sta zajemanje in shranjevanje nepotrebna, zato ni dolgoročnih stroškov spremljanja in potencialnih preusmeritev shranjevanja. Stroški pa bi se s sočasnim odstranjevanjem drugih plinov še dodatno zmanjšali (Jackson in sod., 2020). Trenutno je na voljo zelo malo finančnih spodbud za odstranjevanje metana v zasebnem sektorju, zato projekti za zajemanje toplogrednih plinov zahtevajo javno financiranje (Bui in sod., 2018; Durmaz, 2018; Shindell in sod., 2017).

Chang in sod. (2021) so v svoji študiji primerjali emisije metana iz živinoreje in intenzivnost emisij, ki so bile opredeljene s količino izpuščenega metana na enoto živalskih beljakovin. Ocenjevanje je potekalo z različnimi metodologijami. Ugotovili so, da se je intenzivnost emisij zaradi povečane učinkovitosti proizvodnje beljakovin v obdobju 2000 do 2018 zmanjšala za večino kategorij živali po vsem svetu. Opozorili so, da spodbujanje zdrave in uravnotežene trajnostne prehrane v večini držav ne bo zadostovalo za ublažitev emisij metana pri živalih brez prizadevanj za izboljšanje učinkovitosti proizvodnje.

Živinoreja oziroma reja prežvekovalcev je pomemben vir preživetja in gospodarstva, vendar pa predstavlja pomemben delež emisij metana. Potreben bo razvoj trajnostnih pristopov za zmanjševanje emisij metana, ki zahteva razumevanje proizvodnje metana pri prežvekovalcih in njegovih emisij. Razviti se bodo morale ustrezne merilne tehnike. Na podlagi znanstvenih raziskav se bodo morali razviti in uveljaviti ustrezni ukrepi za zmanjšanje emisij metana, pri tem da se ne bo zmanjšala produktivnost (Kumari in sod., 2020).

Zaradi pomembnosti ohranitve živinoreje in hkrati zmanjševanja emisij metana, ki negativno vplivajo na globalno segrevanje, smo se odločili za izvedbo raziskave, ki je temeljila na dejstvu, da je eden od pomembnih faktorjev poleg sistema namestitve živali tudi letni čas v katerem vsi procesi potekajo.

2 MATERIAL IN METODE DELA

V okviru EIP-AGRI projekta z naslovom »**Inovativni okoljsko-podnebno naravnani sistemi upravljanja govedorejske kmetije za zagotavljanje pridelave krme in optimalnih pogojev reje govedi**« smo na desetih govedorejskih kmetijah usmerjenih v prirejo mleka mesečno izvajali meritve koncentracije metana (CH₄) in drugih toplogrednih plinov (NH₃, CO₂ in N₂O). Meritve smo od julija 2022 do oktobra 2023 izvajali na različnih mestih v hlevu in izven hleva. V študijo smo vključili kmetije z različnimi sistemi namestitve živali in sicer 2 kmetiji z vezano rejo, 1 kmetijo na prosto rejo z ležalnimi boksi

in polnimi tlemi, 3 kmetije na prosto rejo z ležalnimi boksi in rešetkami na blatnih hodnikih, 2 kmetiji s kompostno ležalno površino, en hlev na globoki nastilj in en hlev s propustnimi tlemi brez ležalnih boksov.

Meritve koncentracije amonijaka, metana in drugih toplogrednih plinov smo izvajali na različnih mestih v hlevu (krmilna miza, blatni hodniki v delu kjer so molznice, v boksih kjer je mlada živali) in na 8 mestih izven hleva na višini 1,5 metra nad tlemi. Mesta na katerih smo izvajali meritve so bila določena in so se vsak mesec izvajale na istem mestu. Istočasno z meritvami amonijaka, metana in drugih TPG plinov smo izvedli meritve parametrov mikro-klime hleva, kot so temperatura, vlaga in pretok zraka.

Meritve amonijaka, metana in drugih TPG plinov smo izvedli s prenosnim Gasmeter GT5000 Terra več plinskim FTIR analizatorjem. Parametre mikro-klime smo izmerili s pomočjo multi-funkcijskega TESTO 435.

Cilj naše raziskave je bil ugotoviti razlike v koncentraciji metana in drugih TPG plinov ter parametrov mikro-klime znotraj posameznega hleva (krmilna miza, blatni hodniki, ležalni boksi) in med kmetijami glede na način namestitve živali (vezana reja, prosta reja, kompostni hlevi, inovativni hlev s propustnimi tlemi, globoki nastilj). Glede na to, da so nas zanimale razlike med posameznimi meseci (sezonski vpliv), smo te meritve izvajali mesečno od julija 2022 dalje.

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

Na desetih kmetijah s kravami molznicami smo v letu 2023 mesečno izvajali **meritve temperature zraka** na različnih mestih v hlevu na višini 1,5 m. V tem prispevku prikazujemo povprečne meritve temperature izmerjene v hlevu v mesecu januarju in juniju 2023. Glede na to, da so zunanje temperature v mesecu januarju bistveno nižje kot v mesecu juniju, so se podobno gibale tudi temperature v opazovanih hlevih. Januarja 2023 se je povprečna temperatura v opazovanih hlevih gibala od $-0,9^{\circ}\text{C}$ do $12,3^{\circ}\text{C}$. Najnižja povprečna temperatura v mesecu januarju je bila izmerjena na kmetiji K5, in sicer $-0,9^{\circ}\text{C}$. Najvišja povprečna temperatura pa je bila izmerjena v tem istem mesecu na kmetiji K1, in sicer $12,3^{\circ}\text{C}$. V petih hlevih se je povprečna temperatura znotraj hleva gibala med $2,35$ in $4,36^{\circ}\text{C}$. V štirih hlevih so se temperature znotraj hleva gibale med $7,83$ in $12,3^{\circ}\text{C}$. V mesecu juniju so se povprečne temperature v hlevih gibale med 17 do $28,6^{\circ}\text{C}$. Kmetiji K3 in K5 se nahajata na višji nadmorski višini, zato je bila temperatura zraka v teh dveh hlevih nižja kot na ostalih kmetijah, in sicer je na kmetiji K3 povprečna temperatura zraka dosegla 17°C , na kmetiji K5 pa $18,0^{\circ}\text{C}$. Povprečna temperatura zraka v večini hlevov je bila v mesecu juniju nad 20°C , in sicer od $21,7$ do $28,1^{\circ}\text{C}$. Na sliki 1 prikazujemo povprečne temperature zraka izmerjene znotraj hleva na višini 1,5 m nad tlemi na 10 v študijo vključenih govedorejskih kmetijah.

Hkrati s merjenjem temperature, smo merili tudi **vlago zraka v hlevu** na višini 1,5 m. Meritve so pokazale, da je bila vlaga višja v mesecu januarju v primerjavi s povprečno relativno vlago zraka v hlevu v mesecu juniju. Vendar so razlike v relativni vlagi zraka med

mesecem januarjem in junijem bistveno manjše kot razlike v temperaturi zraka znotraj hleva. Relativna vlaga zraka v opazovanih hlevih se je januarja gibala med 65,8 % (kmetija K10) in 81,7 % (kmetija K6). Relativna vlaga zraka se je v mesecu juniju gibala med 52,3% (kmetija K1) in 69,3 % (kmetija K9). Na sliki 2 prikazujemo povprečno relativno vlago zraka znotraj hleva za mesec januar in junij 2023 po posameznih kmetijah.

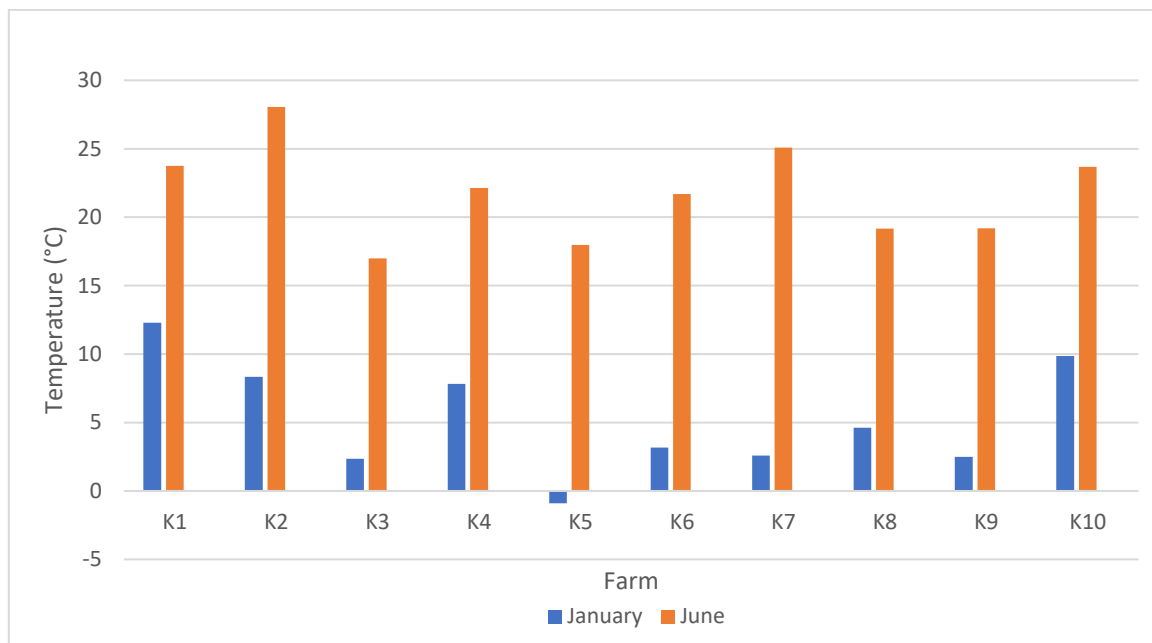


Figure 1: Average temperature in the barns by individual dairy farms in January and in June

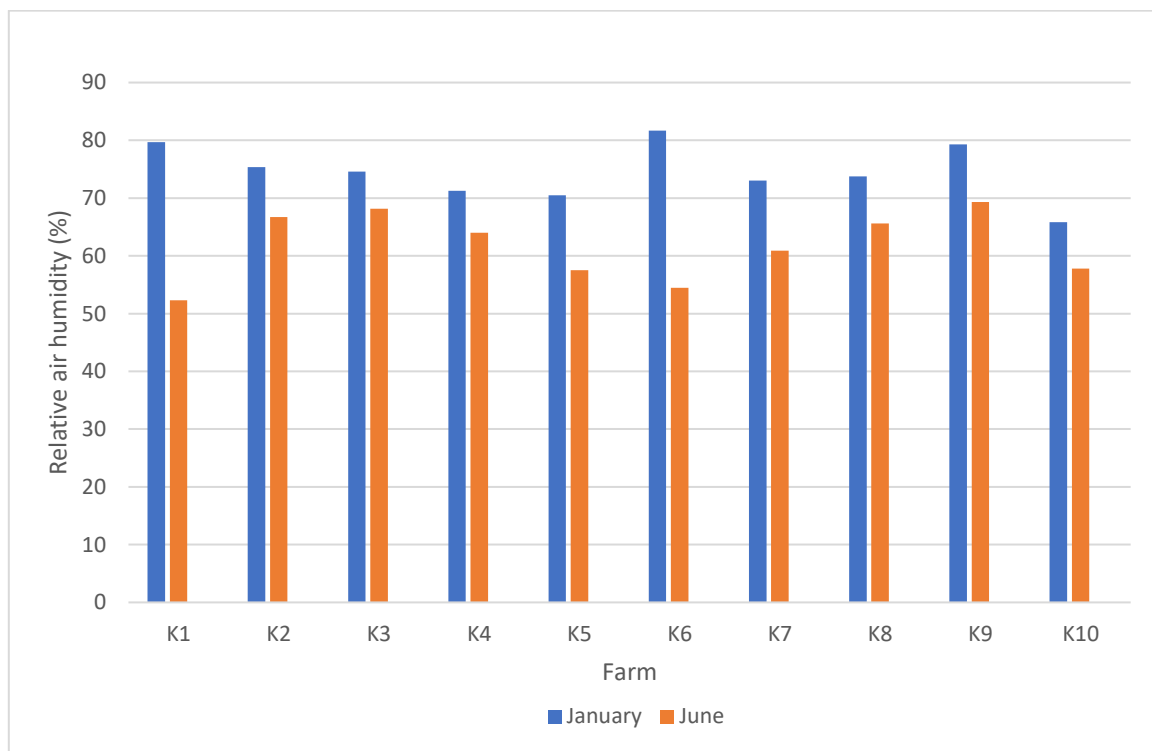


Figure 2: Average relative humidity in the barns by individual dairy farms in January and in June

V istem obdobju smo mesečno merili tudi **koncentracijo metana** na različnih mestih v hlevu na višini 1,5 m nad tlemi. Na osnovi izmerjenih koncentracij metana, parametrov mikro-klime in števila živali v hlevu smo pridobili parametre, na osnovi katerih bomo lahko izračunali emisije toplogrednih plinov.

Na sliki 3 prikazujemo povprečne vrednosti koncentracije metana (v ppm) v hlevu. V vsakem hlevu je bilo narejenih od 12 do 18 meritev. Znotraj hleva so bile ugotovljene precejšnje razlike v koncentraciji metana glede na to, kje je bila meritev narejena. Ob oknih je bila vrednost metana nižja kot na sredini hleva (tam je bila tudi največja koncentracija krav), kjer je bila najvišja in nižja od vrednosti na krmilni mizi.

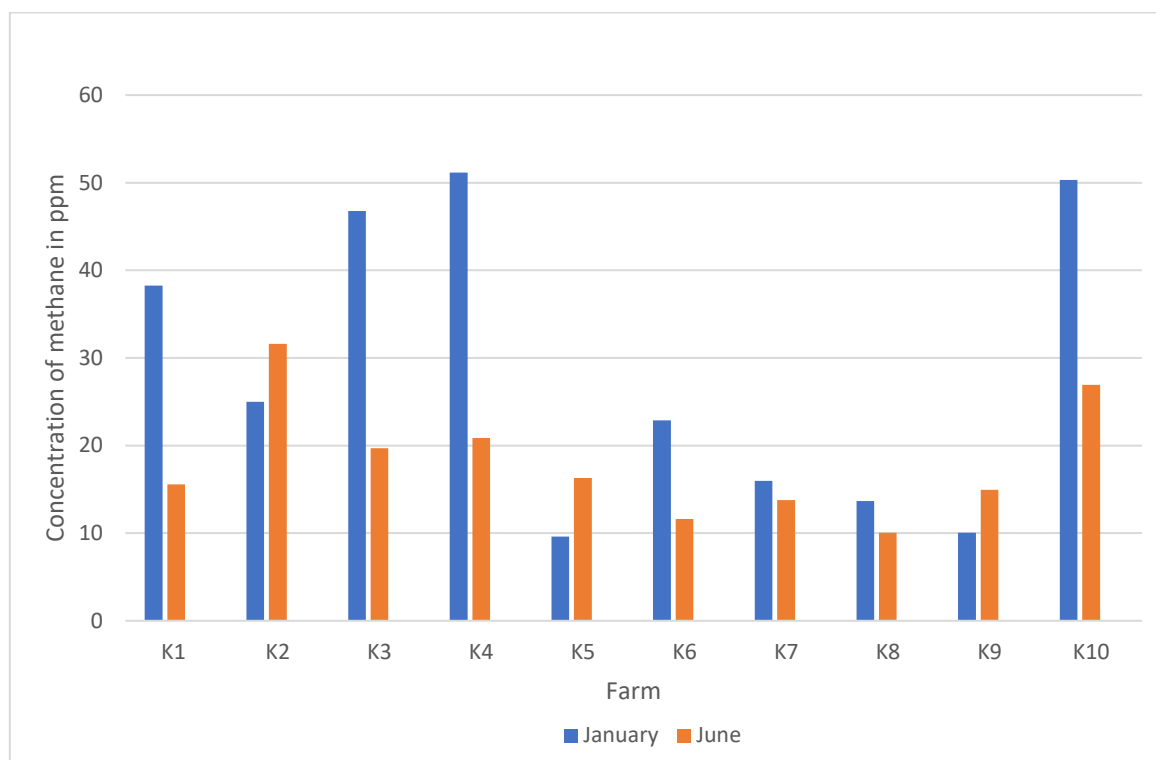


Figure 3: Average methane concentration in the barns by individual dairy farms in January and in June

Povprečna koncentracija metana se je v mesecu januarju gibala med 9,62 (kmetija K5) in 51,2 ppm (kmetija K4). Na štirih kmetijah so bile povprečne vrednosti koncentracije metana bistveno višje, in sicer na kmetiji K1 38,3 ppm, na kmetiji K3 46,8 ppm, na kmetiji K10 50,3 ppm in na kmetiji K4 51,2 ppm. Na ostalih šestih kmetijah so se povprečne vrednosti gibale od 9,6 ppm na kmetiji K5 do 25,0 ppm na kmetiji K2. V mesecu juniju je bila najnižja povprečna koncentracija metana 10,1 ppm na kmetiji K8, najvišja pa 31,6 ppm na kmetiji K2. V tem mesecu odstopajo vrednosti le na dveh kmetijah z vrednostjo 26,9 (kmetija K10) in 31,6 ppm (kmetija K2). Na ostalih osmih kmetijah so se povprečne vrednosti koncentracije metana gibale med 10,1 in 20,9 ppm.

Kmetiji K8 in K9 imata kompostni hlev, zato so izmerjene vrednosti metana nižje v primerjavi z ostalimi kmetijami. Kmetija K5 se nahaja na višji nadmorski višini glede na

ostale kmetije, in sicer na nadmorski višini 760 m, zato je tam izmerjena nižja povprečna koncentracija metana (januar, junij) in znaša 12,96 ppm.

4 ZAKLJUČEK

Na osnovi pregleda literature vezano na problematiko emisij toplogrednih plinov in amonijaka na govedorejskih kmetijah ter mesečnih meritev koncentracije metana in drugih toplogrednih plinov skupaj s parametri mikro-klime (temperatura, relativna vlaga, pretok zraka) ugotavljamo, da prihaja do velikih razlik med kmetijami. Razlogi za te razlike so rezultat različnih sistemov kmetovanja, sistemov reje, managementa, prehrane, sistemov namestitve živali, pasme živali, sezonskih vplivov in drugo (Gerber in sod., 2010).

Rezultati meritev koncentracije metana na različnih mestih v hlevu na 10 govedorejskih kmetijah s kravami molznicami kažejo, da do precejšnjih razlik prihaja že znotraj samega hleva kar lahko pripisujemo razlikam v pretoku zraka (odprti prostori / zaprti prostori), gostoti in številu živali na posameznih mestih kjer so bile meritve izvedene, kategoriji živali (teleta, telice, presušene krave, krave v laktaciji). Še večje razlike ugotavljamo med kmetijami. Te razlike pa zagotovo izhajajo tudi iz razlik v namestitvi živali (vezana reja, prosta reja z ležalnimi boksi na polnih tleh, prosta reja z ležalnimi boksi na rešetkah, kompostni hlevi, hlev s propustnimi tlemi in globok nastilj). S tem je povezan tudi način in pogostnost odstranjevanja živalskih izločkov iz hleva.

Poleg razlik med kmetijami opažamo tudi sezonski vpliv, ki se kaže v tem, da so bile koncentracije metana v zimskih mesecih precej višje pozimi kot poleti predvsem na tistih kmetijah, kjer so hlevi pozimi precej zaprti in je posledično pretok zraka slabši. Na kmetijah kjer so hlevi tudi pozimi bolj odprti ugotavljamo manjše razlike med zimskimi in poletnimi meritvami koncentracije metana.

5 ZAHVALA

Študijo je finančno podprla Evropska komisija iz programa EIP-AGRI in Programa razvoja podeželja Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano RS, za kar se iskreno zahvaljujemo. Raziskava je bila izvedena v okviru EIP-AGRI projekta z naslovom **»Inovativni okoljsko-podnebno naravnani sistemi upravljanja govedorejske kmetije za zagotavljanje pridelave krme in optimalnih pogojev reje govedi«**.

6 LITERATURA

- Alibés J., García J., Herrera P. M., Llorente M., Majadas J., Manzano P., Moreno G., Navarro A., Orodea M., Oteros-Rozas E. 2020. Extensive farming and climate change: An in-depth approach. Fundacion Entretantos. Valladolid, Spain.
- Allen M. R., Fuglestedt J. S., Shine K. P., Reisinger A., Pierrehumbert R. T., Forster P. M. 2016. New use of global warming potentials to compare cumulative and short-lived climate pollutants. Nature Climate Change, 6, 773-776.

- Allen M. R., Shine K. P., Fuglestvedt J. S., Milllar R. J., Cain M., Frame D. J., Macey A. H. 2018. A solution to the misrepresentations of CO₂-equivalent emissions of short-lived climate pollutants under ambitious mitigation. *npj Clim. Atmos. Sci.*, 1, 16.
- Bui M., Adjiman C. S., Bardow A., Anthony E. J., Boston A., Brown S., Fennell P. S., Fuss S., Galindo A., Hackett L. A., Hallett J. P., Herzog H. J., Jackson G., Kemper J., Krevor S., Maitland G. C., Matuszewski M., Metcalfe I. S., Petit C., Puxty G., Reimer J., Reiner D. M., Rubin E. S., Scott S. A., Shah N., Smit B., Trusler J. P. M., Webley P., Wilcox J., Dowell N. M. 2018. Carbon capture and storage (CCS): the way forward. *Energy and Environmental Science*, 11, 1062-1176.
- Chang J., Peng S., Yin Y., Ciais P., Havlik P., Herrero M. 2021. The key role of production efficiency changes in livestock methane emission mitigation. *AGU Advances*, 2, e2021AV000391.
- Del Prado A., Manzano P., Pardo G. 2021. The role of the European small ruminant dairy sector in stabilising global temperatures: lessons from GWP* warming-equivalent emission metrics. *Journal of Dairy Research*, 88, 1, 8-15.
- Durmaz T. 2018. The economics of CCS: why have CCS technologies not had an international breakthrough? *Renew. Sustain. Energy Rev.* 95, 328-340.
- FAO. 2018. The future of food and agriculture – Alternative pathways to 2050. Summary version. Rome. 60 str.
- FAOSTAT. 2020. Food and Agriculture Data. <http://www.fao.org/faostat/en/#home>
- Gerber P., Vellinga T., Opio C, Henderson B., Steinfeld H. 2010. Greenhouse Gas Emissions from the Dairy Sector - A Life Cycle Assessment. FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Animal Production and Health Division, Rome, Italy.
- Herrero M., Henderson B., Havlík P., Thornton P. K., Conant R. T., Smith P., Wirsenius S., Hristov A. N., Gerber P., Gill M., Butterbach-Bahl K., Valin H., Garnett T., Stehfest E. 2016. Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector. *Nature Climate Change*, 6, 5, 452-461.
- Herrero M., Thornton P. K., Gerber P., Reid R. S. 2009. Livestock, livelihoods and the environment: Understanding the trade-offs. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 1(2), 111–120
- ILRI, IUCN, FAO, WWF, UNEP, ILC. 2021. Rangelands Atlas. ILRI
- Jackson R. B., Abernethy S., Canadell J. G., Cargnello M., Davis S. J., Féron S., Fuss S., Heyer A. J., Hong C., Jones C. D., Matthews H. D., O'Connor F. M., Pisciotta M., Rhoda H. M., De Richter R., Solomon E. I., Wilcox J. L., Zickfeld K. 2020. Atmospheric methane removal: a research agenda. *Phil. Trans. R. Soc. A.*, 379: 20200454.
- Kumari S., Fagodiya R. K., Hiloidhari M., Dahiya R. P., Kumar A. 2021. Methane production and estimation from livestock husbandry: A mechanistic understanding and emerging mitigation options. *Science of the Total Environment*, 709, 3: 136135.
- Manzano P., Burgas D., Cadahía L., Eronen J. T., Fernández-Llamazares Á., Bencherif S., Holand Ø., Seitsonen O., Byambaa B., Fortelius M., Fernández-Giménez M. E., Galvin K. A., Cabeza M., Stenseth N. C. 2021. Toward a holistic understanding of pastoralism. *One Earth*, 4, 5, 651-665.

- Myhre G., Shindell D., Bréon F. M., Collins W., Fuglestvedt J., Huang J., Koch D., Lamarque J. F., Lee D., Mendoza B., Nakajima T., Robock A., Stephens G., Takemura T., Zhang H. 2013. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. 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* [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Paul B. K., Butterbach-Bahl K., Notenbaert A., Nderi A. N., Ericksen P. 2020. Sustainable livestock development in low-and middle-income countries: Shedding light on evidence-based solutions. *Environmental Research Letters*, 16, 1: 011001.
- Rivera-Ferre M. G., López-i-Gelats F., Howden M., Smith P., Morton J. F., Herrero M. 2016. Re-framing the climate change debate in the livestock sector: mitigation and adaptation options. *WIREs Clim Change*, 7, 6, 869-892.
- Saunio M., Stavert A. R., Poulter B., Bousquet P., Canadell J. G., Jackson R. B., et al. 2020. The global methane budget 2000–2017. *Earth System Science Data*, 12, 3, 1561-1623.
- Scoones I. 2022. Livestock, methane, and climate change: The politics of global assessments. *WIREs Clim Change*, 14, 1: e790.
- Shindell D. T., Fuglestvedt J. S., Collins W. J. 2017. The social cost of methane: theory and applications. *Faraday Discuss.* 200, 429-451.