



UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Katja STROPNIK

**GLOBALNE EMISIJE TOPLOGREDNIH PLINOV IZ  
KMETIJSTVA, GOZDARSTVA IN DRUGIH VRST  
RABE ZEMLJIŠČ**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij - 1. stopnja

Ljubljana, 2020

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Katja STROPNIK

**GLOBALNE EMISIJE TOPLOGREDNIH PLINOV IZ KMETIJSTVA,  
GOZDARSTVA IN DRUGIH VRST RABE ZEMLJIŠČ**

DIPLOMSKO DELO  
Univerzitetni študij - 1. stopnja

**GLOBAL GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM AGRICULTURE,  
FORESTRY AND OTHER LAND USE**

B. SC. THESIS  
Academic Study Programmes

Ljubljana, 2020

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študijskega programa prve stopnje Kmetijstvo – agronomija. Delo je bilo opravljeno na Katedri za agrometeorologijo, urejanje kmetijskega prostora ter ekonomiko in razvoj podeželja.

Študijska komisija Oddelka za agronomijo je za mentorja diplomskega dela imenovala doc. dr. Zaliko Črepinšek.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Metka HUDINA  
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: doc. dr. Zalika ČREPINŠEK  
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: doc. dr. Tjaša POGAČAR  
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Datum zagovora:

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Du1
DK	UDK 551.583:63(043.2)
KG	toplogredni plini, izpusti, kmetijstvo, gozdarstvo, druga raba tal
AV	STROPNIK, Katja
SA	ČREPINŠEK, Zalika (mentor)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Univerzitetni študijski program prve stopnje Kmetijstvo - agronomija
LI	2020
IN	GLOBALNE EMISIJE TOPLOGREDNIH PLINOV IZ KMETIJSTVA, GOZDARSTVA IN DRUGIH VRST RABE ZEMLJIŠČ
TD	Diplomsko delo (Univerzitetni študij - 1. stopnja)
OP	VI, 21 str., 9 sl., 30 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Varnost oskrbe s hrano in kmetijstvo se spopadata z velikimi izzivi podnebnih sprememb v smislu pričakovanih negativnih vplivov na produktivnost in izvajanja sektorskih ukrepov za omejitev globalnega segrevanja. Kmetijstvo je med gospodarskimi panogami, ki so najbolj izpostavljene podnebnim spremembam in bi moralo biti zgled na področju zmanjševanja izpustov toplogrednih plinov (TGP), vendar so se v zadnjih 50 letih izpusti TGP iz kmetijstva skoraj podvojili, brez ukrepov pa naj bi se po napovedih do 2050 še povečali za dodatnih 30 %. Baza izpustov FAOSTAT predstavlja najboljše znanje o kmetijskih izpustih TGP doslej. Vsako leto se posodablja in ponuja svetovno referenčno točko o izpustih in možnostih za blažitev v sektorju. Izpusti so podani v ekvivalentu CO <sub>2</sub> (ekv. CO <sub>2</sub> ), to je količina nekega TGP, izražena s količino (v tonah) CO <sub>2</sub> , ki ima enak toplogredni učinek. Največji vir izpustov v kmetijstvu je živinoreja, kjer se pri fermentaciji v prebavilih (40 % vseh izpustov iz kmetijstva) in skladiščenju živinskih gnojil (20 %) sproščajo ogromne količine metana, ki ima 23x večji toplogredni učinek kot CO <sub>2</sub> . Pri številnih procesih v kmetijstvu se sproščajo didušikovi oksidi, ki imajo 310x večji toplogredni učinek kot CO <sub>2</sub> : skladiščenje živinskih gnojil, gnojenje z mineralnimi gnojili, paša, razkranje žetvenih ostankov, biološka vezava dušika, obdelovanje histosolov, sežiganje biomase. Globalni izpusti TGP iz kmetijstva, gozdarstva in drugih vrst rabe zemljišč so znašali v letu 2010 10 <sup>10</sup> t ekv. CO <sub>2</sub> , ponori iz istih virov pa 2 <sup>10</sup> t ekv. CO <sub>2</sub> . K svetovnim izpustom TGP največ prispeva Azija (44 %), sledita obe Ameriki (25 %) ter Afrika (15 %), Evropa (12 %) in Oceanija (4 %). Poznavanje prispevka kmetijstva k izpustu TGP je osnova za zmanjšanje izpustov in s tem vpliva kmetijstva na podnebne spremembe ter za njegovo prilagajanje na spremenjeno podnebje.

## KEY WORDS DOCUMENTATION

- ND Du1
- DC UDC 551.583:63(043.2)
- CX greenhouse gasses, emissions, agriculture, forestry, other land use
- AU STROPNIK, Katja
- AA ČREPINŠEK, Zalika (supervisor)
- PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
- PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy, Academic Study Programme in Agriculture - Agronomy
- PY 2020
- TI GLOBAL GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM AGRICULTURE, FORESTRY AND OTHER LAND USE
- DT B. Sc. Thesis (Academic Study Programmes)
- NO VI, 21 p., 9 fig., 30 ref.
- LA sl
- AL sl/en
- AB Food security and agriculture face major challenges of climate change in terms of expected negative impacts on productivity and the implementation of sectoral measures to mitigate global warming. Agriculture is one of the most exposed industries to climate changes and should set an example on reducing greenhouse gas (GHG) emissions. But emissions from agriculture have almost doubled in the last 50 years, without any reducing steps the emissions will increase for 30 % by 2050. The FAOSTAT emissions database represents the most comprehensive knowledge base on GHG emissions from agriculture. It is being updated annually and offers a global reference point on emissions and mitigation options in the sector. Emissions are measured in CO<sub>2</sub> equivalent (eq. CO<sub>2</sub>), which represents the amount of one specific GHG, measured in tons of CO<sub>2</sub>, that has the same global warming potential. The main source of GHG in agriculture is livestock production, because of enteric fermentation (40 % of all agriculture emissions) and manure storage (20 %), which causes a lot of methane emissions. Methane has 23x higher global warming potential than CO<sub>2</sub>. Other very problematic GHG is nitrous oxide with 310x higher global warming potential than CO<sub>2</sub>. N<sub>2</sub>O emissions come from: manure storage, mineral fertilization, grazing, biomass burning, decay of crop leftovers, biological nitrogen fixation and histosol cultivation. Global GHG emissions from agriculture, forestry and other land use in 2010 amounted 10<sup>10</sup> t eq. CO<sub>2</sub>, and removal was 2<sup>10</sup> t eq. CO<sub>2</sub>. Asia contribute the most to global GHG emissions (44 %), Americas (25 %), Africa (15 %), Europe (12 %) and Oceania (4 %). Knowledge of the contribution of agriculture to GHG emissions is the basis for reducing emissions, thus the impact of agriculture on climate change and for adapting to changed climate.

## KAZALO VSEBINE

	Str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO SLIK	VI
<b>1 UVOD</b>	<b>1</b>
1.1 NAMEN IN POVOD DELA	2
<b>2 TOPLOGREDNI PLINI IN UČINEK TOPLE GREDE</b>	<b>2</b>
2.1 TOPLOGREDNI PLINI	2
2.2 TOPLOGREDNI UČINEK IN GLOBALNO SEGREVANJE	3
2.3 POSLEDICE SPREMENB KONCENTRACIJE TOPLOGREDNIH PLINOV V ATMOSFERI	4
<b>3 EMISIJE TOPLOGREDNIH PLINOV IZ KMETIJSTVA</b>	<b>5</b>
3.1 IZVOR TOPLOGREDNIH PLINOV	5
3.2 EMISIJE TOPLOGREDNIH PLINOV V SLOVENIJI	7
3.3 EMISIJE TOPLOGREDNIH PLINOV V EVROPI	7
3.4 EMISIJE METANA	9
<b>3.4.1 Emisije metana v Evropi</b>	<b>9</b>
3.5 EMISIJE DIDUŠIKOVEGA OKSIDA	10
<b>3.5.1 Emisije didušikovega oksida v Evropi</b>	<b>11</b>
3.6 EMISIJE OGLJIKOVEGA DIOKSIDA	11
3.7 PRISPEVEK ŽIVINOREJE K SKUPNIM EMISIJAM TOPLOGREDNIH PLINOV	12
<b>3.7.1 Prispevek živinoreje k skupnim emisijam toplogrednih plinov v Sloveniji</b>	<b>13</b>
3.8 EMISIJE TOPLOGREDNIH PLINOV PRI PRIDELAVI RIŽA	14
<b>4 EMISIJE TOPLOGREDNIH PLINOV IZ GOZDARSTVA</b>	<b>15</b>
<b>5 EMISIJE TOPLOGREDNIH PLINOV IZ DRUGE VRSTE RABE TAL</b>	<b>15</b>
<b>6 UKREPI ZA ZMANJŠANJE EMISIJ V KMETIJSTVU</b>	<b>16</b>
<b>7 POVZETEK S SKLEPI</b>	<b>17</b>
<b>8 VIRI</b>	<b>19</b>
ZAHVALA	22

## KAZALO SLIK

	Str.
Slika 1: Tok energije med vesoljem, atmosfero in Zemljinim površjem (Ukrepanje EU ..., 2017)	4
Slika 2: Viri emisij toplogrednih plinov iz kmetijstva (prirejeno po Russell, 2014)	5
Slika 3: Prispevek različnih kmetijskih dejavnosti, gozdarskih ukrepov in rabe tal k emisijam in ponorom TGP v Združenih državah Amerike za leto 2007 (prirejeno po Horowitz in Gottlieb, 2010)	6
Slika 4: Delež emisij v Sloveniji iz sektorja kmetijstva v letu 2017 (prirejeno po SURS, 2020)	7
Slika 5: Prispevek kmetijstva v EU k skupnim emisijam TGP v letu 2015 (prirejeno po European Statistics Explained, 2020)	8
Slika 6: Emisije metana in didušikovega oksida iz kmetijstva v EU v obdobju 1990-2015 (Eurostat Statistics Explained, 2020)	9
Slika 7: Spremembe emisij metana iz kmetijstva v obdobju 1990-2015 (Eurostat Statistics Explained, 2020)	10
Slika 8: Spremembe emisij didušikovega oksida iz kmetijstva v obdobju 1990-2015 (Eurostat Statistics Explained, 2020)	11
Slika 9: Struktura izpustov TGP v govedoreji v Sloveniji (Verbič, 2008)	14

## 1 UVOD

Globalne emisije so velik problem poindustrijske dobe. Njihove količine so se v tem času znatno povečale, kar vpliva na podnebne spremembe, spremembe vegetacije in zdravje ljudi. Emisije toplogrednih plinov (TGP) so tiste, ki najbolj vplivajo na višanje povprečne temperature zraka na Zemlji. Koncentracija ogljikovega dioksida se je od leta 1750 povečala za kar 35 %, med tem ko se je povprečna temperatura na Zemlji v 20. stoletju zvišala za  $0,74 \pm 0,18$  °C. Da je zvišanje temperature posledica človeških dejavnosti, so potrdili znanstveniki, združeni v Medvladnem odboru za podnebne spremembe pri Združenih narodih (IPCC, 2014).

Glede na izvor TGP ločimo več sektorjev, med katerimi je tudi kmetijstvo, ki je po količini izpustov TGP takoj za prometnim in energijskim sektorjem. Največ izpustov iz kmetijstva je zaradi živinoreje, neracionalne rabe dušikovih gnojil in skladiščenja živinskega gnoja. K izpustom prispeva tudi deforestacija in spremembe rabe tal. Deforestacija je velik problem pri večanju količin emisij, saj gozdovi predstavljajo glaven ponor ogljikovega dioksida v naravi. Za dosledno zmanjševanje in nadziranje izpustov TGP je potrebno izpuste evidentirati. Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO) je v Sloveniji zadolžena za pripravo emisijskih evidenc in za njihovo poročanje. Pri izračunih emisij iz kmetijstva sodeluje ARSO s Kmetijskim inštitutom Slovenije (KIS). Ponore in emisije, ki nastajajo zaradi rabe zemljišč, spremembe rabe zemljišč in gozdarstva (LULUCF – Land Use, Land Use Change and Forestry) pa v celoti izračunavajo na Gozdarskem inštitutu Slovenije (GIS) (Mekinda Majaron, 2012).

Količine emisij v kmetijskem sektorju se skozi leta povečujejo. Po drugi strani je kmetijstvo pod velikim vplivom podnebnih sprememb in pod pritiskom, da zagotovi dovolj hrane za naraščajočo populacijo. Posamezne države bi lahko z boljšim nadzorom nad količino emisij iz kmetijstva, živinoreje, ribištva in gozdov določile, kako in kje zmanjšati emisije toplogrednih plinov, hkrati pa bi država morala skrbeti za prehransko varnost, trdoživost in razvoj kmetijstva. Podatkovna baza emisij, imenovana FAOSTAT, predstavlja najbolj obširen vir podatkov o izpustih toplogrednih plinov iz kmetijstva. Podatki se obnavljajo letno, kar nam omogoča točen pregled nad količino emisij, pomaga pa nam tudi pri določanju načina zmanjšanja emisij v določenem sektorju. Emisije se merijo v ekvivalentu CO<sub>2</sub>. Gre za mero, ki se uporablja za primerjavo učinka emisij med različnimi toplogrednimi plini. Leta 2010 so globalne emisije iz kmetijstva, gozdov in druge rabe zemljišč znašale 10 milijard ton ekv. CO<sub>2</sub>. Količina odstranjenega CO<sub>2</sub> v istem letu pa je znašala 2 milijardi ton ekv. CO<sub>2</sub>. V časovnem obdobju 2001–2010 so največ emisij toplogrednih plinov prispevale živinoreja, pridelava poljščin in deforestacija. Manj sta prispevala degradacija mokrišč in požiganje rastlinskih ostankov. Največ odstranjenega CO<sub>2</sub> iz atmosfere pa je šlo na račun gozdov. Glede na kontinente je v obdobju 2001–2010 največ emisij iz kmetijstva prispevala Azija, in sicer kar 44 %. Sledijo ji Amerika s 25 %, Afrika s 15 %, Evropa z 12 % in Oceanija s 4 %. Emisije iz kmetijstva izključujejo izpuste iz gorenja fosilnih goriv pri rabi kmetijske mehanizacije. Te so v letu 2010 dodatno prispevale 785 milijonov ton ekv. CO<sub>2</sub> (FAO, 2014).



Zmanjševanje emisij iz kmetijskega sektorja, gozdarstva in druge rabe tal, je ključnega pomena za kakovostno bivanje vseh živih bitij na našem planetu. Kmetijski sektor najbolj ogrožajo podnebne spremembe, ki so posledica prekomernih izpustov in povečanja koncentracije TGP v atmosferi. Kmetijstvo mora zato poleg varstva oskrbe s hrano pozornost nameniti zmanjševanju emisij, da bo njegov prispevek k onesnaževanju okolja čim manjši (Operativni pregled ..., 2014)

## 1.1 NAMEN IN POVOD DELA

Zaradi naraščanja števila svetovnega prebivalstva so potrebe po hrani vedno večje, širijo se pridelovalne površine. Kmetijstvo je pomemben vir toplogrednih plinov, s čimer vpliva na spreminjanje okolja. Namen dela je predstaviti dejavnike, ki prispevajo k emisijam toplogrednih plinov iz kmetijstva, gozdarstva in druge rabe tal. Podrobneje so predstavljeni plini in panoge, ki prispevajo največ izpustov toplogrednih plinov. Pri tem smo uporabili metodo zbiranja podatkov iz domače in tuje literature.

## 2 TOPLOGREDNI PLINI IN UČINEK TOPLE GREDE

### 2.1 TOPLOGREDNI PLINI

Toplogredni plini (TGP) so plini v ozračju, ki vplivajo na podnebje Zemlje. TGP prepustijo večino kratkovalovnega sevanja Sonca v atmosfero Zemlje, del dolgovalovnega sevanja Zemlje pa vpijejo in ga ponovno sevajo na zemeljsko površino. S tem spreminjajo toplotno bilanco in prispevajo k pojavu, znanemu kot učinek tople grede (IPCC, 2014). Primarni toplogredni plini na Zemlji so vodna para, ogljikov dioksid, metan, didušikov oksid in ozon. Brez prisotnosti teh bi bila povprečna temperatura zraka na Zemlji  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , tako pa je  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . TGP omogočajo tudi, da ponoči, ko nismo deležni segrevanja zaradi sončnih žarkov, temperatura ozračja ostaja primerna za življenje na našem planetu (NASA, 2020).

Toplogredni plini, ki imajo ob prevelikih koncentracijah v atmosferi povečan toplogredni učinek, so ogljikov dioksid ( $\text{CO}_2$ ), metan ( $\text{CH}_4$ ), didušikov oksid ( $\text{N}_2\text{O}$ ) ter F plini, ki zajemajo fluorirane ogljikovodike (HFC), perfluorirane ogljikovodike (PFC) in žveplov heksafluorid ( $\text{SF}_6$ ). Te pline spremljajo v evidencah TGP, ki so izdelane po dogovoru po IPCC metodologiji. IPCC je Medvladni odbor za podnebne spremembe pri Združenih narodih. Slovenija je s podpisom Kjotskega protokola prevzela obveznosti 8 % zmanjšanja izpustov toplogrednih plinov v obdobju 2008–2012 in ga celo preseгла za 3 %. Slovenija je leta 2015 podpisala Pariški sporazum, ki spodbuja prehod v nizkoogljico družbo na globalni ravni, ekstremno zmanjšanje porabe fosilnih goriv in omejitev zvišanja temperature na največ  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  glede na predindustrijsko dobo. Pariški sporazum je stopil v veljavo 4. novembra 2016, ukrepi pa se bodo začeli izvajati po letu 2020 (ARSO, 2020). Izpusti TGP plinov so v Sloveniji leta 2018 znašali 17.502 Gg

ekvivalenta CO<sub>2</sub>. Glede na izhodiščno leto 1986 je to za 14,1 % nižja vrednost. Do največjih znižanj emisij je prišlo v sektorju za energetiko in sektorju rabe goriv iz industrije in gradbeništva. V Sloveniji predstavlja največji delež v skupnih izpustih TGP CO<sub>2</sub>. Ta nastaja pri izgorevanju goriva in industrijskih procesih. V letu 2018 so emisije CO<sub>2</sub> znašale 82,8 % skupnih emisij TGP. Sledijo emisije metana z 11,1 % in emisije didušikovega oksida s 4,3 %. Emisije F-plinov so zelo nizke in so v Sloveniji leta 2018 znašale le 1,9 % skupnih emisij. Njihov toplogredni učinek pa je precej večji kot učinek metana, didušikovega oksida in ogljikovega dioksida (ARSO, 2020).

Za spremljanje količine TGP v ozračju in njihovo primerjavo je potrebno upoštevati njihov toplogredni potencial. Toplogredni potencial plina se izraža v razmerju glede na toplogredni učinek CO<sub>2</sub>, ki je po dogovoru 1 (Eurostat Statistics Explained, 2017). Najpomembnejši TGP je CO<sub>2</sub>, katerega koncentracija v atmosferi se je v zadnjih 130 letih povečala za okoli 40 %. Izpusti CO<sub>2</sub> so del naravnih procesov na Zemlji, prekomerno nasičenje atmosfere z njim pa gre na račun človeških dejavnikov. Povečanje CO<sub>2</sub> je povzročilo v istem obdobju povišanje globalne temperature za okoli  $0,85 \pm 0,2$  °C (ARSO, 2020).

Glede na izvor izpustov TGP ločimo 5 osnovnih kategorij: raba energije, industrijski procesi in raba proizvodov, kmetijstvo, gozdarstvo z rabo in spremembo rabe tal, ter odpadki. Vpliv posameznega TGP je odvisen od koncentracije ali količine plina v atmosferi, od časa zadrževanja plina v atmosferi in od moči vpliva posameznega plina na spremembe v atmosferi (ARSO, 2020).

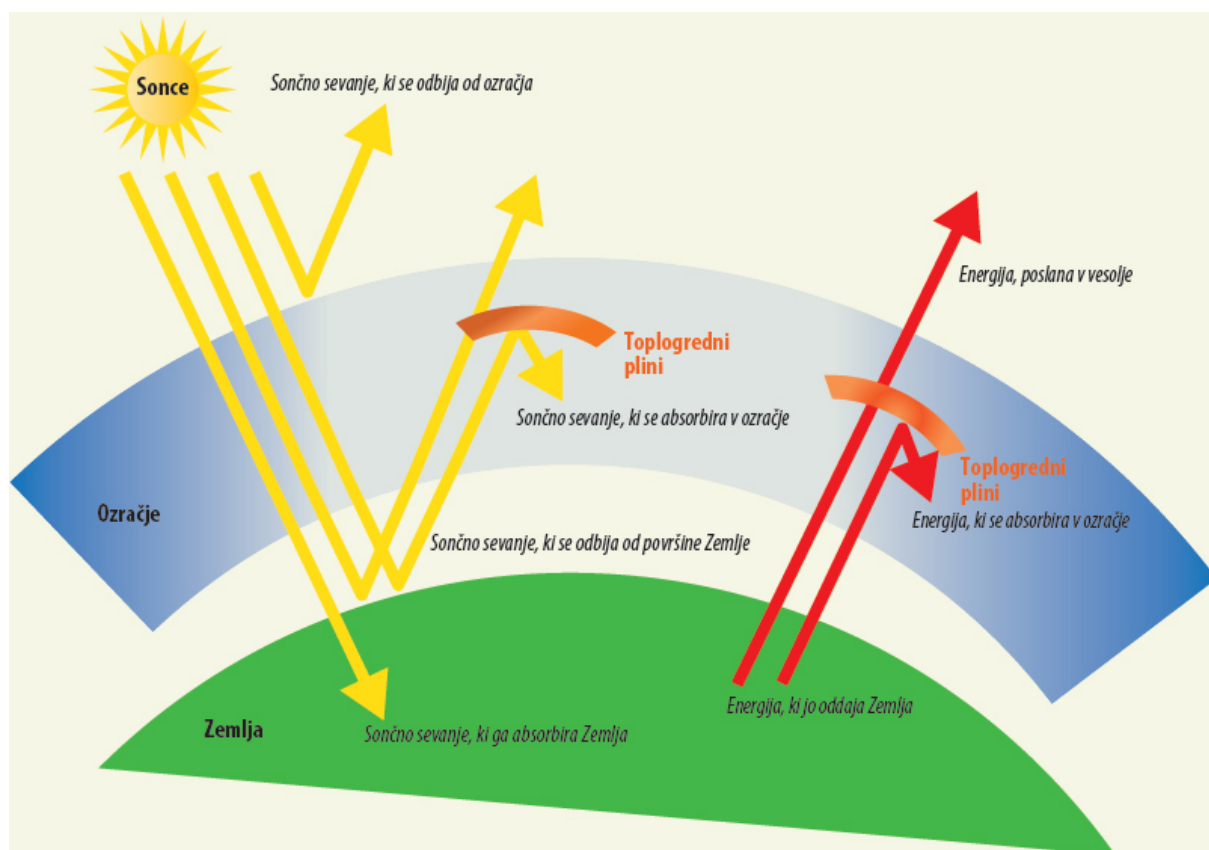
## 2.2 TOPLOGREDNI UČINEK IN GLOBALNO SEGREVANJE

Taljenje ledenikov, višanje morske gladine in izumiranje tropskih gozdov je le nekaj glavnih posledic človekovih dejavnikov, ki zadnjih nekaj stoletij segrevajo ozračje zaradi vse večjih količin emisij TGP. Toplogredni učinek je proces segrevanja ozračja, ko toplogredni plini zadržijo toploto, odbito od površja Zemlje (Nunez, 2019). Če je koncentracija TGP v ozračju večja, je tudi delež absorbirane energije večji. Absorbirana energija segreva ozračje na podoben način, kot se segreva tople grede. Ta proces (slika 1) na dolgi rok vpliva na spremembe podnebja na Zemlji (IPCC, 2014).

Podnevi se površje Zemlje zaradi energije, ki jo prejme s sevanjem Sonca, segreva, ponoči pa se ohlaja in toplota izhaja nazaj v ozračje. Nekaj toplote pa ujamejo toplogredni plini, kar omogoča, da tudi ponoči ostaja površje Zemlje dovolj toplo za življenje (Nunez, 2019).

Ljudje sproščamo v ozračje vedno več TGP, katerih emisije vedno bolj vplivajo na segrevanje ozračja. Temu procesu rečemo globalno segrevanje. Vsakemu toplogrednemu plinu so določili toplogredni potencial, ki nam pove kakšen vpliv ima posamezen plin na segrevanje ozračja. Gre za mero, ki nam pove, koliko energije bo absorbirala 1 tona plina v določenem času, glede na

1 tona emisij CO<sub>2</sub>. Večji kot je potencial, bolj določen plin segreva ozračje v primerjavi s CO<sub>2</sub>. Časovno obdobje za določanje toplogrednega potenciala je 100 let. CO<sub>2</sub> ima po dogovoru potencial 1, saj se ga uporablja kot referenco za ostale pline (EPA, 2020).



Slika 1: Tok energije med vesoljem, atmosfero in Zemljinim površjem (Ukrepanje EU ..., 2017)

### 2.3 POSLEDICE SPREMEMB KONCENTRACIJE TOPLOGREDNIH PLINOV V ATMOSFERI

Med mnogimi posledicami naj naštejemo glavne (NASA, 2020):

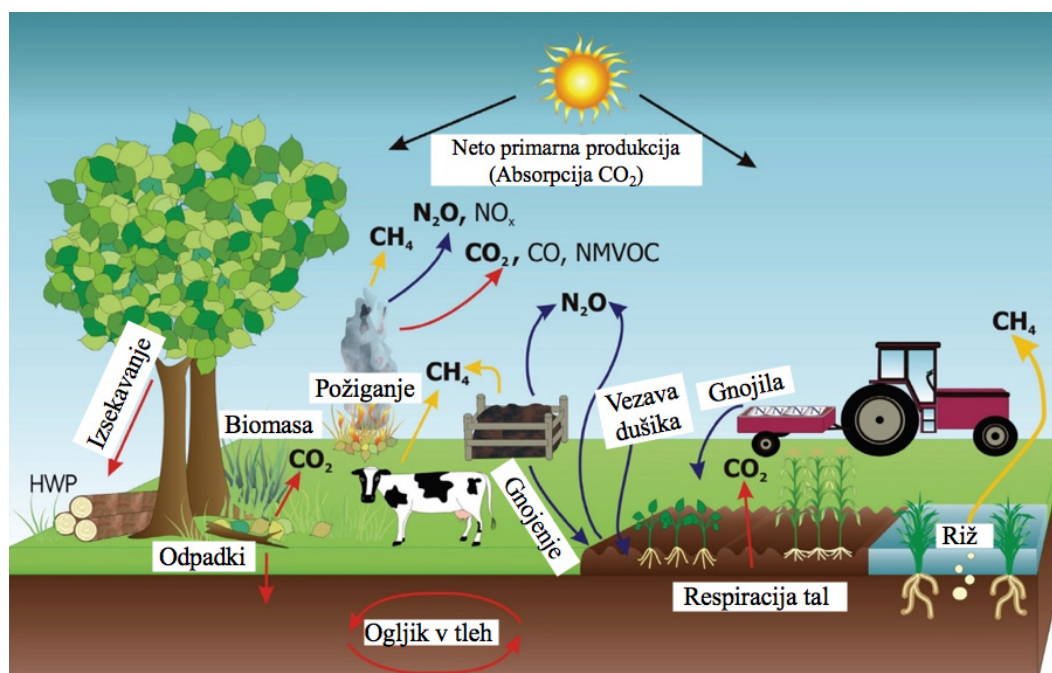
- temperature na Zemlji bodo postale višje,
- ponekod bo večja evaporacija in več padavin, nekatere regije bodo bolj sušne, druge bolj zasičene s padavinami,
- segreli se bodo oceani in pospešeno bo taljenje ledenikov in ledu, kar bo zvišalo morsko gladino,
- številne rastline se bodo prilagodile na višje koncentracije CO<sub>2</sub> in bodo boljše izkoriščale vodo iz tal. Višje temperature bodo vplivale na spremembe lokacije uspevanja določenih rastlinskih kultur.

### 3 EMISIJE TOPLOGREDNIH PLINOV IZ KMETIJSTVA

#### 3.1 IZVOR TOPLOGREDNIH PLINOV

Največ emisij TGP iz kmetijstva je v obliki metana in didušikovega oksida. Izpusti metana so vezani na izpuste v živinoreji, didušikov oksid pa izhaja iz sintetičnih in naravnih gnojil in ostankov v tleh. Ti dejavniki so največji vir emisij, vezanih na kmetijstvo, in na svetovni ravni znašajo 65 % skupnih izpustov TGP iz kmetijstva. Manj vplivni viri pa so upravljanje z gnojili, pridelovanje riža, požiganje rastlinskih ostankov na poljih in njivah in raba fosilnih goriv v kmetijstvu. Vpliv posameznega dejavnika je odvisen od načina pridelave in rabe tal, rastlinske kulture, ki jo gojimo, oblike kmetijske prakse in naravnih dejavnikov kot so vreme, topografija in hidrologija (Eurostat Statistics Explained, 2020).

Na sliki 2 so prikazani posamezni viri emisij TGP iz kmetijstva. Prikazano je kroženje ogljika v tleh in izpusti  $\text{CO}_2$  iz tal zaradi kmetijske rabe, ki vpliva na respiracijo tal. Iz riževih polj so prikazani izpusti  $\text{CH}_4$ . Gnojenje z mineralnimi in živinskimi gnojili, shranjevanje živinskega gnoja, ter fiksacija N pripomorejo k izpustom  $\text{N}_2\text{O}$ . Skladiščenje živinskega gnoja in živinski ekskreti povečujejo izpuste  $\text{CH}_4$ . Iz požiganja rastlinskih ostankov in gozdov izhajajo  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  in ostali  $\text{NO}_x$  (dušikovi oksidi),  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  (ogljikov monoksid) in NMVOC (hlapni ogljikovodiki). Z ravnanjem z odpadki, izsekavanjem gozdov in predelavo lesnih produktov (HWP – harvesting wood products) in z različnimi načini rabe biomase vplivamo na izpuste  $\text{CO}_2$  v ozračje in tla.



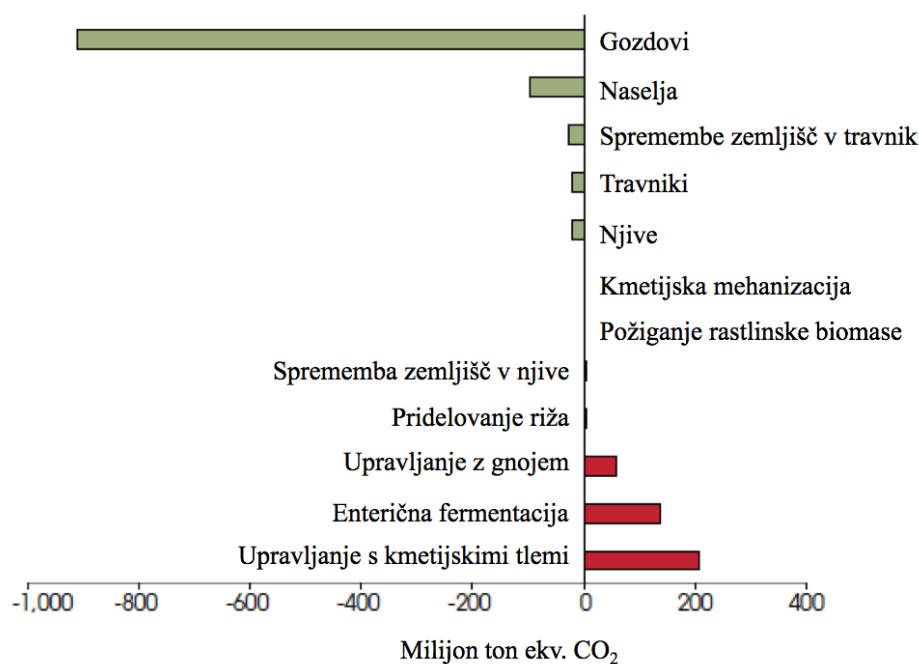
Slika 2: Viri emisij toplogrednih plinov iz kmetijstva (prirejeno po Russell, 2014)

Glavni vir emisij TGP je enterična fermentacija rejnih živali, kot so govedo, ovce in koze. Te producirajo metanove emisije v procesu enterične fermentacije, ki je sicer naraven del prebave prežvekovalcev. Gre za anaerobno razgradnjo in fermentacijo hrane, nato pa sledi absorbcija hranil v prebavnem traktu teh živali. Ta proces ni 100 % učinkovit, zato so prisotne izgube energije hrane v obliki metana. Ukrepi za zmanjšanje te fermentacije ne bi zgolj zmanjšali emisij, temveč bi povečali produktivnost živali s povečanjem prebavne učinkovitosti.

Pomembna dejavnika sta tudi nitrifikacija in denitrifikacija tal, ki prispevata k emisijam  $N_2O$ ; nitrifikacija je aerobna mikrobna oksidacija amonijaka do nitrata, denitrifikacija pa je redukcija nitrata do  $N_2$  plina (Verbič, 2020). Razpadanje gnojil prav tako prispeva k emisijam metana in didušikovega oksida (Eurostat Statistics Explained, 2020).

Z leti se globalne emisije TGP zaradi kmetijstva povečujejo, zaradi rasti populacije in s tem povečanih potreb po hrani, pa tudi zaradi sprememb pri načinu prehranjevanja, kar vpliva na različno rabo tal. Največja rast emisij se pričakuje v Aziji in podsaharski Afriki zaradi velikega povečanja potreb po hrani. Najbolj naj bi se povečala pridelava rastlinskega olja in živalskih produktov (Russell, 2014).

Slika 3 prikazuje, kako različne kmetijske prakse, pogozdovanje in spremenjena raba tal vplivajo na povečanje emisij TGP. Hkrati prikazuje kako ohranjanje gozdov, naselij, njiv in naravnega travinja na mestih, kjer takšna raba tal obstaja že vrsto let, deluje kot ponor  $CO_2$  iz atmosfere. Njihovo širjenje, ki bi poseglo v naravne ekosisteme, pa bi imelo nasprotni učinek.

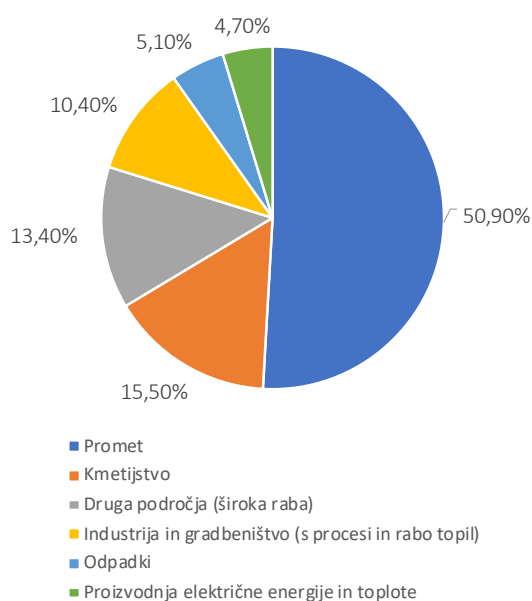


Slika 3: Prispevek različnih kmetijskih dejavnosti, gozdarskih ukrepov in rabe tal k emisijam in ponorom TGP v Združenih državah Amerike za leto 2007 (prirejeno po Horowitz in Gottlieb, 2010)

Največ emisij TGP iz kmetijstva so v letu 2011 imele naslednje države: Kitajska, Brazilija, ZDA, Indija, Indonezija, Rusija, Kongo, Argentina, Mjanmar in Pakistan. Skupaj so te države prispevale 51 % globalnih emisij iz kmetijstva (Russell, 2014).

### 3.2 EMISIJE TOPLOGREDNIH PLINOV V SLOVENIJI

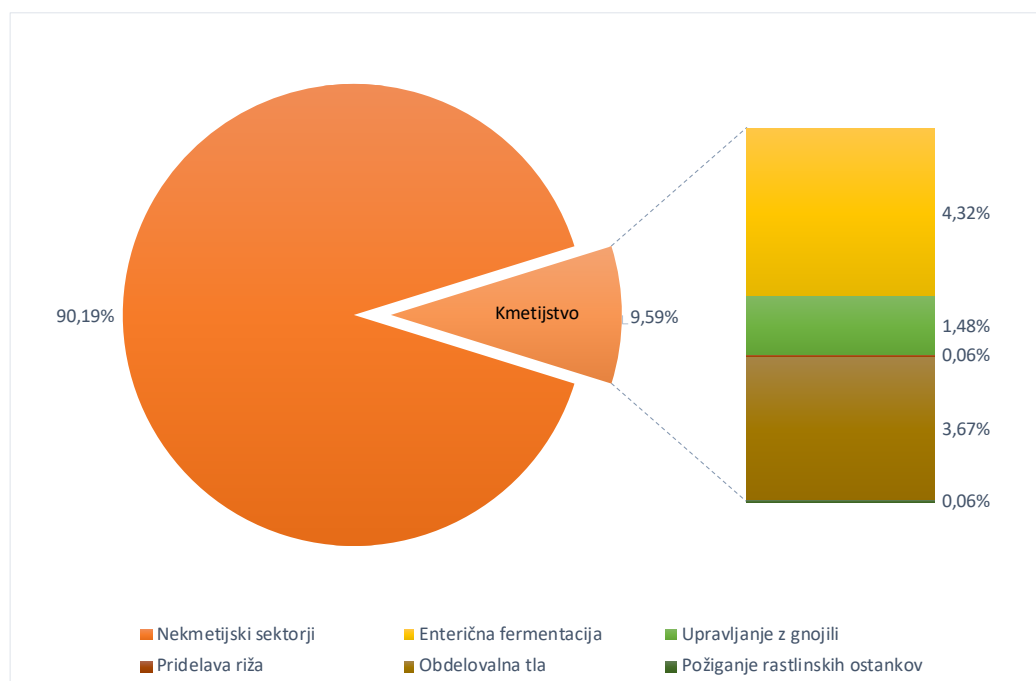
Cilj Republike Slovenije je obvladovanje emisij TGP in hkrati povečanje samooskrbe s hrano. Delež emisij TGP iz kmetijstva je pri nas v letu 2017 predstavljal 15,5 % skupnih izpustov TGP. Do leta 2020 naj bi se emisije povečale za največ 5 %, do leta 2030 pa za največ 6 % glede na izhodiščno leto 2005. Takšen je cilj obvladovanja TGP v Sloveniji. K največ emisijam TGP v Sloveniji prispeva govedoreja, ki je v letu 2012 prispevala 67,6 % vseh izpustov iz kmetijstva, in gnojenje z mineralnimi gnojili, ki je v istem letu prispevalo 7,7 % (Verbič in sod., 2020).



Slika 4: Delež emisij v Sloveniji iz sektorja kmetijstva v letu 2017 (prirejeno po SURS, 2020)

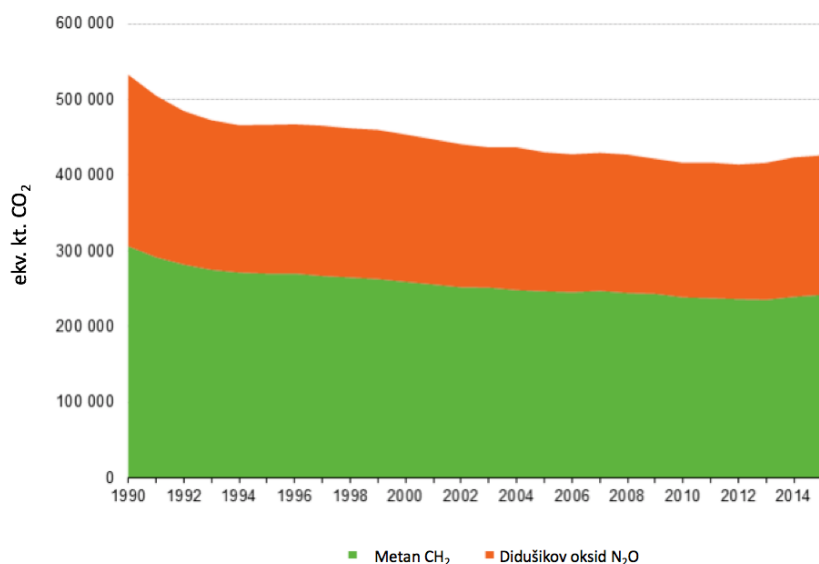
### 3.3 EMISIJE TOPLOGREDNIH PLINOV V EVROPI

Emisije TGP iz kmetijstva izhajajo iz upravljanja z gnojili, obdelovalnih tal, enterične fermentacije, pridelave riža in požiganja rastlinskih ostankov. Leta 2015 so emisije TGP v EU znašale 9,59 % od skupnih emisij TGP. Znotraj kmetijstva je k skupnim emisijam TGP 4,32 % prispevala enterična fermentacija, 3,67 % obdelava tal, 1,48 % upravljanje z gnojili, pridelovanje riža in požiganje rastlinskih ostankov pa sta prispevala vsak po 0,06 % (slika 5).



Slika 5: Prispevek kmetijstva v EU k skupnim emisijam TGP v letu 2015 (prirejeno po European Statistics Explained, 2020)

Emisije TGP iz kmetijstva v EU so se deloma zmanjšale zaradi različnih ukrepov, delno pa so posledica povečanja pridelave hrane izven EU. Uvoz hrane in pijače se je od leta 1990 zelo povečal. Skupne emisije TGP iz kmetijstva so se med letoma 1990 in 2015 zmanjšale za 20 %. Do zmanjšanja je prišlo predvsem zaradi zmanjšane rabe dušikovih gnojil, kar je prispevalo k manjšim izpustom  $N_2O$ . Zmanjšalo pa se je tudi število rejnih živali, predvsem goveda in ovc, tako da so se zmanjšali tudi izpusti  $CH_4$  (slika 6). Trendi zmanjšanja emisij med državami v EU se precej razlikujejo. Največje zmanjšanje emisij so zabeležile Slovaška, Bolgarija in Estonija, Ciper in Španija pa sta emisije celo povečali. Do povečanja emisij v teh dveh državah je prišlo zaradi povečanja števila rejnih živali, predvsem prašičev in goveda na Cipru in prašičev ter perutnine v Španiji (Eurostat Statistics Explained, 2020).



Slika 6: Emisije metana in didušikovega oksida iz kmetijstva v EU v obdobju 1990-2015 (Eurostat Statistics Explained, 2020)

### 3.4 EMISIJE METANA

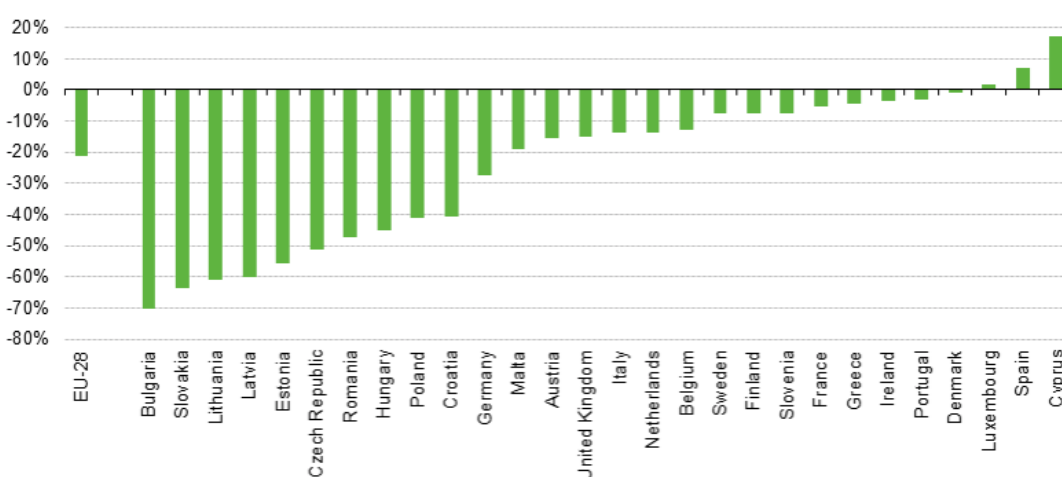
Nastanek in izpusti metana v kmetijstvu so vezani predvsem na živinorejo. Emisije metana so produkt enterične fermentacije prežvekovalcev in drugih rejnih živali, kot so svinje in konji. Nastajajo pa lahko tudi zaradi razkroja gnoja v anaerobnih razmerah. Količina izpustov metana iz živinoreje je ocenjena glede na število živali in mero izpusta za posamezno živalsko vrsto. Mere izpusta so odvisne od načina prebave živali, starosti, teže, energijske porabe in kvalitete ter kvantitete zaužite krme (Kmetijsko gozdarski zavod Celje, 2020). Na povečanje izpustov metana lahko vpliva tudi zdravljenje živine z antibiotiki. Raba antibiotikov ima vpliv na interakcije med mikro in makro organizmi v kmetijskem ekosistemu. Njihova prekomerna raba lahko privede do rezistence na antibiotike med patogeni in širjenje rezistenčnih genov v okoliške ekosisteme. Antibiotiki lahko spreminjajo mikrobne emisije TGP z vplivom na mikrobo v vampu prežvekovalcev (Hammer in sod., 2016). Emisije metana iz gnoja pa so preračunane na količino pridelanega gnoja (upoštevamo število in vrsto živali) in deleža anaerobno razkrojenega gnoja. Delež razkrojenega gnoja je odvisen od vremena, upravljanja z gnojili in načina shranjevanja. Do anaerobnega razkroja gnoja pride večinoma pri reji živali v omejenem prostoru za potrebe mlečne industrije, reji pitancev, prašičev in perutnine za potrebe mesa (Kmetijsko gozdarski zavod Celje, 2020).

#### 3.4.1 Emisije metana v Evropi

Največji vir emisij metana je enterična fermentacija prežvekovalcev, še posebej goveda. Med letoma 1990 in 2015 so se emisije metana iz kmetijstva zmanjšale za 64304 kiloton ekv. CO<sub>2</sub>, kar pomeni 21 % zmanjšanje. Emisije iz dveh najpomembnejših virov metana, enterične fermentacije in gnojenja, so se zmanjšale za 22 % in 17 %. Glavni dejavnik zmanjšanja teh



emisij je zmanjšanje števila rejnih živali v novih državah članicah EU. Reja goveda je upadla za 26 %, reja ovac pa za 33 % med letoma 1990 in 2015. Največja onesnaževalka z metanom v EU je Francija, prav zaradi živinoreje prispeva 18 % k skupnim emisijam metana v EU. Drugi dve večji onesnaževalki z metanom sta Nemčija in Velika Britanija. Države se v količini emisij razlikujejo predvsem zaradi različnega načina živinoreje in njene številčnosti, prav tako pa tudi zaradi različnih klimatskih dejavnikov in različne sestave krme. Skoraj vse države članice EU so med letoma 1990 in 2015 zmanjšale emisije metana iz kmetijstva. Največji procent zmanjšanja imata Bolgarija (-70 %) in Slovaška (-64 %). Ciper, Španija in Luksemburg pa so edine države članice, ki so povečale emisije metana. Povečanje gre predvsem na račun večjega števila rejnih živali (Eurostat Statistics Explained, 2020).



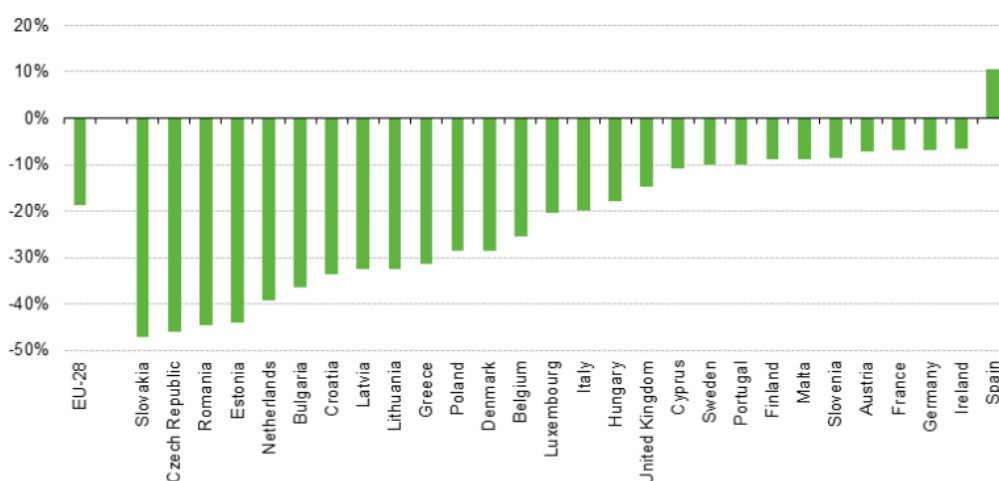
Slika 7: Spremembe emisij metana iz kmetijstva v obdobju 1990-2015 (Eurostat Statistics Explained, 2020)

### 3.5 EMISIJE DIDUŠIKOVEGA OKSIDA

Največ emisij  $N_2O$  iz kmetijstva nastaja pri gnojenju z mineralnimi gnojili in gnojili živalskega izvora. Do sproščanja tega plina prihaja tudi pri skladiščenju gnojil živalskega izvora in obdelavi tal (predvsem šotnih). V kmetijstvu je potrebno za zmanjšanje emisij  $N_2O$  upoštevati načela kroženja dušika. Pomembno je, da ne pretiravamo s količinami gnojil in gnojimo glede na potrebe rastlin. Velik problem je tudi prevelika vsebnost beljakovin v krmi, saj je njihov izkoristek pri reji živali slab. Velik delež zaužitega dušika živali izločijo v obliki blata in urina. Prevelika vsebnost beljakovin v krmi pomeni večjo vsebnost dušika v izločkih ter večje tveganje za emisije didušikovega oksida in amonijaka. Sproščanje teh plinov je manjše na paši kot pri hlevski reji (Kmetijsko gozdarski zavod Celje, 2020).

### 3.5.1 Emisije didušikovega oksida v Evropi

Največji vir  $N_2O$  so emisije iz kmetijskih tal. Od leta 1990 do 2015 so se emisije  $N_2O$  zmanjšale za 17 %, predvsem zaradi zmanjšanja rabe dušikovih gnojil. Najvišje emisije  $N_2O$  iz kmetijstva so bile v letu 2015 zabeležene v Franciji in Nemčiji in sicer 19 % in 17 % od skupnih emisij  $N_2O$ . V prej omenjenem časovnem obdobju je bilo zaznано zmanjšanje emisij  $N_2O$  pri vseh državah članicah EU, razen pri Španiji. Največje znižanje emisij  $N_2O$  pa so zaznali na Slovaškem (-47 %), na Češkem (-46 %), v Romuniji (-45 %) in v Estoniji (-44 %). Spremembe v načinu kmetovanja so pripeljale do različnih količin  $N_2O$  emisij med državami članicami EU. Upoštevati pa moramo tudi, da imajo številne države težave z metodologijo ocenjevanja emisij  $N_2O$  iz kmetijskih tal (Eurostat Statistics Explained, 2020).



Slika 8: Spremembe emisij didušikovega oksida iz kmetijstva v obdobju 1990-2015 (Eurostat Statistics Explained, 2020)

### 3.6 EMISIJE OGLJIKOVEGA DIOKSIDA

Največji prispevek emisij  $CO_2$  je zaradi izsekavanja gozdov ali deforestacije. Procesi v tleh, vezani na ogljik, so odvisni od ravnotežja med porabo (fotosinteza) in proizvodnjo (dihanje ali respiracija) ogljika. Spreminjanje okolja in rabe tal vpliva na ravnotežje ogljika v tleh. Sprememba naravne vegetacije za pridobivanje kmetijskih površin je vzrok za večje emisije  $CO_2$ , ne zgolj zaradi izgube rastlinske biomase, temveč tudi zaradi povečanega razkroja organske snovi v tleh. Na povečan razkroj organske mase v tleh vplivajo številne kmetijske prakse, kot sta gnojenje in namakanje. Emisije  $CO_2$  iz kmetijstva znašajo 21-25 % skupnih emisij  $CO_2$ . Njihov izvor so uporaba fosilnih goriv na kmetijah, spreminjanje načinov gojenja in krčenje gozdov. Emisije  $CO_2$  na hektar ekološke kmetijske prakse so za 48-66 % manjše kot na hektar konvencionalne kmetijske prakse (El-Hage Scialabba in Hattam, 2002).

K sekvestraciji ali dolgotrajni odstraniti CO<sub>2</sub> iz atmosfere lahko pripomoreta dve kmetijski praksi: povečanje deleža rastlinskih ostankov na polju in povečanje volumna organske snovi v tleh. Ti dve praksi vključujeta spremembo iz konvencionalne obdelave tal v ohranitveno obdelavo tal, zmanjševanje ledin, gojenje trajnih rastlin namesto sezonskih, namakanje, spremembe pri načinu gnojenja, sajenje varovalnih posevkov in dodajanje dodatne organske mase v obliki gnoja (Horowitz in Gottlieb, 2010).

### 3.7 PRISPEVEK ŽIVINOREJE K SKUPNIM EMISIJAM TOPLOGREDNIH PLINOV

Največ metana iz kmetijstva nastane pri fermentaciji krme v vampu. V vampu zaradi mikrobne aktivnosti nastajajo hlapne maščobne kisline, amonijak in mikrobna masa. Ob tem procesu nastaja tudi veliko metana, ki ga žival izruga in se tako spušča v ozračje. Metan pa nastaja tudi v debelem črevesu živali ob fermentaciji krme, pri skladiščenju živinskih gnojil na gnojiščih in v jamah za gnojevko (Verbič, 2008). Emisije metana lahko zmanjšamo, če za lažjo prebavljivost drobno zrežemo krmo. Prav tako pa je krmljenje s silažo namesto s suho krmo pomemben dejavnik pri zmanjšanju emisij metana (Kmetijski gozdarski zavod Celje, 2020).

Goveja gnojevka se lahko uporablja v bioplinarnah za proizvodnjo električne energije in toplote iz metana. Tako se zmanjša njegov izpust. V Sloveniji je bioplinarn malo, saj je živinoreja precej razdrobljena, večina kmetij je majhnih, cena izgradnje bioplinarne pa je precej visoka. Podaljšana pašna sezona in povečanje števila živali na paši lahko prispevata k zmanjšanju izpustov TGP. Živinoreja naj bi temeljila na izkoriščanju travinja, kar pomeni, da živali izkoriščajo biomaso, ki je za ljudi neuporabna (Kmetijsko gozdarski zavod Celje, 2020).

Do izpustov didušikovega oksida pa prihaja zaradi presnavljanja dušikovih spojin, ki jih izločajo domače živali v obliki živinskih iztrebkov. Največji izpusti tega plina so v skladiščih živinskih gnojil. Izpusti so tudi zaradi dušika, ki ga živali izločajo na paši, prav tako pa zaradi rabe gnojil živalskega izvora. Pri govedoreji so prisotni tudi posredni izpusti didušikovega oksida kot posledica odplavljanja dušikovih spojin v vode in uhajanje amonijaka v ozračje. Do njihovega nastajanja pa prihaja v naravnem okolju (Verbič, 2008).

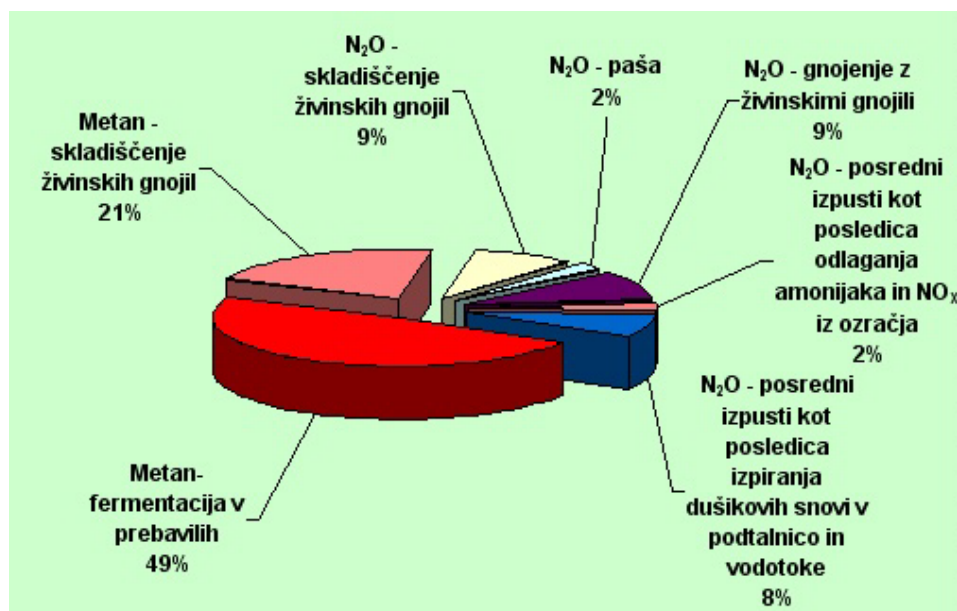
Trenutno je na svetu največ povpraševanja po svinjskem mesu. Reja prašičev se bo z leti še povečala na račun večanja človeške populacije. Prašičereja prispeva emisije z izdihanim CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> z enterično fermentacijo in CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> ter N<sub>2</sub>O iz živinskega gnoja. Količina izdihanega CO<sub>2</sub> zavisi od psihološkega stanja živali, mase živali, njene produktivnosti in količine zaužite krme. Enterični CH<sub>4</sub> je odvisen od količine zaužitih vlaknin in kapacitete vampa v živali. Redno odstranjevanje ekskretov in čiščenje hlevov pripomore k zmanjšanju emisij CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> in N<sub>2</sub>O. Skladiščenje prašičjega gnoja ponuja širok spekter izboljšav, ki bi zmanjšale emisije TGP iz gnoja. Tudi različne strategije hranjenja prašičev prispevajo k manjšim izpustom TGP. Skupne emisije TGP iz prašičereje znašajo 448,3 kg ekv. CO<sub>2</sub> na prašiča, od tega 81 % CO<sub>2</sub>, 17 % CH<sub>4</sub> in 2 % N<sub>2</sub>O (Philippe in Nicks, 2014). K skupnim emisijam TGP iz živinoreje največ prispeva

govedoreja (70 %), prašičereja (13 %), reja drobnice (9 %) in perutninarstvo (8 %) (Philippe in Nicks, 2014).

### **3.7.1 Prispevek živinoreje k skupnim emisijam toplogrednih plinov v Sloveniji**

Živinoreja je v Sloveniji najpomembnejša kmetijska panoga, a kljub temu je relativno gledano njen skupni prispevek izpustov TGP veliko manjši kot v svetu. Med živinorejskimi panogami prevladuje govedoreja, sledijo ji prašičereja, reja drobnice, konjereja, perutninarstvo, kunčjereja, čebelarstvo in druge (KGZS, 2020). Govedoreja pri nas prispeva 6,1 % izpustov TGP, vključno s posrednimi izpusti in izpusti zaradi gnojenja z živinskimi gnojili. V Sloveniji so se izpusti metana in didušikovega oksida iz govedoreje v letih od 1986 do 2006 zmanjšali za 14,8 %. Učinek zmanjšanja na državni ravni pa ni tako viden, saj so se v enakem obdobju izpusti iz prometa precej povečali. Do zmanjšanja izpustov v govedoreji je prišlo zaradi izboljšane učinkovitosti reje. Reja pasem krav, ki imajo večjo mlečnost, in hitro rastočih pitancev je veliko boljša iz vidika zmanjšanja TGP plinov, saj ti prispevajo manj izpustov kot pasme krav z manjšo mlečnostjo in počasneje rastočimi pitanci (Verbič, 2020).

Za nadaljnje zmanjšanje izpustov TGP plinov so možnosti precejšnje. Učinkovitejša raba energijske krme in izboljšanje učinkovitosti kroženja dušika na kmetiji sta glavna ukrepa za zmanjšanje izpustov iz govedoreje. Dejavniki, ki prispevajo k zmanjšanju izpustov TGP, so povečana mlečnost in daljša življenjska doba za krave molznice, povečanje prirasta pitancev, izboljšana kakovost krme, uskladitev krmnih obrokov v izogib povečani vsebnosti beljakovin, uvedba učinkovitega načina paše, skrbno in odgovorno ravnanje z živinskimi gnojili, gnojenje z manjšimi izpusti amonijaka, uvedba bioplinarn in učinkovita raba energije na kmetiji. Pri živinoreji lahko kmetje zmanjšajo izpuste tudi s spremembami sestave krme. V času shranjevanja krme se lahko krmi dodajajo probiotiki, ki zajemajo metan, ki se pridela med shranjevanjem. Zajet metan se lahko kasneje uporabi za pridobivanje energije (Verbič, 2008).



Slika 9: Struktura izpustov TGP v govedoreji v Sloveniji (Verbič, 2008)

### 3.8 EMISIJE TOPLOGREDNIH PLINOV PRI PRIDELAVI RIŽA

Riž je drugo najpomembnejše živilo za prehrano ljudi na svetu, po podatkih FAO so ga v letu 2018 pridelovali na več kot 167 milijonih hektarjev, hkrati pa je pridelava riža ena največjih proizvajalk emisij metana na svetu. Ozračje na Zemlji se vedno bolj segreva, prav tako pa se večja koncentracija CO<sub>2</sub> v ozračju. Oba dejavnika vplivata na pridelavo riža in na izpuste metana iz riževih polj. Ocenjujejo, da naj bi ta dva dejavnika kar za dvakrat povečala intenziteto izpustov TGP pri pridelavi riža do konca 21. stoletja. Riževa polja zajemajo 11 % kopnega površja na Zemlji in hkrati prispevajo 10 % vseh antropogenih metanovih emisij zaradi antropogenega izvora in skupaj 20 % metanovih emisij iz kmetijstva. Toplogredni učinek toplogrednih plinov iz riževih polj je 4x večji od učinka polj, posejanih s pšenico ali koruzo (van Groenigen in sod., 2012). Riža se največ pridelava in predelava v Aziji. Izpusti metana pri pridelavi riža se spreminjajo glede na način rabe vode. Največ (70-80 %) izpustov je pri sistemu namakanja. Riževa polja, zalita z deževno vodo, predstavljajo 15 % izpustov, polja zalita s podtalno vodo pa 10 %. Upravljanje z vodo je ključnega pomena pri zmanjševanju emisij TGP pri pridelavi riža. Sušenje tal omogoča vstop zraka v plasti tal, kar omogoča oksidacijo metana in tako zmanjšuje njegovo produkcijo (Johnson in sod., 2007).

Zaradi rabe fosilnih goriv in spremembe rabe površja Zemlje ljudje močno vplivamo na povečanje izpustov CO<sub>2</sub> v atmosfero in segrevanje ozračja. Povečanje CO<sub>2</sub> dokazano vpliva na pridelek riža in emisije metana iz riževih polj. Višje temperature zraka za 1 °C zmanjšajo pridelek riža za 14,6 % (van Groenigen in sod., 2012).

Zakaj in kako sploh vpliva povečanje CO<sub>2</sub> na količino izpustov metana pri rižu? Metanogene arheje so odvisne od vsebnosti ogljika v rastlini, saj je to njihov glavni vir organske snovi iz substrata. Večinoma gre za mutualistične ali simbiotične arheje, katerih produkt je metan. Povečane količine CO<sub>2</sub> vplivajo na biomaso korenin v večji meri kot na biomaso pridelka. Rastlina riža tako preusmeri večino asimiliranega ogljika v korenine, prispeva k večji masi ogljika v tleh in večjim emisijam metana. Produkcija metana je odvisna od aktivnosti metanogenih arhej in dostopnosti substrata zanje. K zmanjšanju TGP iz riževih polj, lahko prispeva alternativna raba gnojil (npr. namesto uree, uporabimo amonijev sulfat) in medsezonsko osuševanje polja (van Groenigen in sod., 2012).

#### **4 EMISIJE TOPLOGREDNIH PLINOV IZ GOZDARSTVA**

Gre za emisije antropogenega izvora zaradi dejavnikov kot so: deforestacija (krčenja gozdov), obdelovanje organske mase v tleh, izsuševanje šote in barij za pridobivanje kmetijskih zemljišč, požiganje gozdov itd. Emisije, nastale zaradi obdelave tal, bogatih z organsko maso, so velik problem. Ob izsuševanju in degradaciji šot in barij lahko pride do velikih razlik v količini zaloga ogljika. Širjenje kmetijskih površin ima velik vpliv na okolje, saj zmanjšuje biodiverzitetu zaradi rušenja naravnih ekosistemov, kot so gozdovi in travniki. Ob deforestaciji in izčrpanju organske snovi iz tal se sprostijo ogromne količine CO<sub>2</sub>, ki se sicer v obliki ogljika zadržujejo v drevesih in organski plasti tal (Lenka in sod., 2015).

Deforestacija ima tudi takojšnji učinek na vodni krog in povzroča poplavljanje ali izsuševanje tal. Od vseh globalnih emisij TGP naj bi bilo 24 % pripisanih kmetijstvu, 12 % od tega lahko pripišemo spremembi rabe tal, zaradi težnje po večji pridelavi hrane in tako širjenju kmetijskih zemljišč. Ker se število prebivalcev na Zemlji veča, prav tako pa potrebe po hrani, se bo ta delež verjetno skozi leta še povečeval. Širjenje kmetijskih površin bi morali omejiti, saj poseganje v naravne ekosisteme s spreminjanjem rabe tal omejuje odstranjevanje ogljika iz atmosfere. Travinje, bogato z ogljikom, in gozdovi v zmernem pasu, so bili zamenjani s posevki poljščin, ki imajo manjšo zmogljivost odstranjevanja ogljika iz ozračja (Lenka in sod., 2015).

Pogozdovanje ima velik potencial pri zmanjšanju emisij TGP. Gozdovi so zelo aktivni pri odstranjevanju ogljika iz atmosfere. Na mestih, kjer je prišlo do deforestacije in degradacije tal, bi ponovno pogozdovanje blagodejno vplivalo na ponovno vzpostavitev vodnega kroga in ohranjanje biodiverzitet in ekosistema (Lenka in sod., 2015).

#### **5 EMISIJE TOPLOGREDNIH PLINOV IZ DRUGE VRSTE RABE TAL**

K drugim vrstam rabe tal prištevamo barja, močvirja, mokrišča, trstičevje, mangrove, pozidano in kmetijstvu sorodno zemljišče in požiganje rastlinskih ostankov (Šifrant ..., 2020). Poplavljen mokrišča vežejo velike količine ogljika in predstavljajo ponor ogljika. Izsuševanje mokrišč za pridobivanje kmetijskih zemljišč vodi v hitro povečanje količine emisij CO<sub>2</sub> in N<sub>2</sub>O.

Baza podatkov o emisijah FAO ocenjuje, da je velikost izsušenih šotnih tal pod njivami in travniki 250000 km<sup>2</sup>. Skupne emisije TGP iz teh območij so leta 2010 znašale 0,9 Gt ekv. CO<sub>2</sub>. Največji delež k skupnim emisijam TGP iz teh območij je prispevala Azija z 0,44 Gt ekv. CO<sub>2</sub> na leto. V južni Aziji so leta 2006 emisije CO<sub>2</sub> iz izsušenih mokrišč znašale 0,61 ± 0,25 Gt CO<sub>2</sub>. Požiganje vegetacije sprošča v atmosfero pline CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, predhodnike ozona in aerosole (vključno s črnim ogljikom). Ko vegetacija po požiganju ponovno zraste, sprejme CO<sub>2</sub> in dušik. Upravljanje s tlemi in spremembe namembnosti tal s požiganjem vodijo v trajno odstranitev vegetacije, kar povzroči povečanje emisij TGP v atmosferi. Za spremljanje požiganja rastlinskih ostankov uporabljajo satelite, s katerimi pa je težko določiti, ali gre za požare antropogenega ali naravnega izvora. Deforestacija in degradacija s požiganjem v tropih je v obdobju 1997-2009 prispevala 1,39 Gt ekv. CO<sub>2</sub> emisij TGP na leto, kar predstavlja 20 % od skupnih emisij TGP iz požiganja (Smith in sod., 2014).

Raba tal in spremembe rabe tal velikokrat vplivajo na degradacijo naravnih mokrišč in dinamiko TGP. Naravna mokrišča služijo kot ponor atmosferskega CO<sub>2</sub> in kot vir CH<sub>4</sub> in N<sub>2</sub>O. To je pokazatelj zmožnosti blaženja učinka tople grede, zaradi negativnega potenciala h globalnemu segrevanju, ki znaša -0,9 do -8,7 ton ekv. CO<sub>2</sub> na hektar na leto. Spremembe rabe tal vplivajo na zmanjšanje vezave CO<sub>2</sub> zaradi povečanja respiracije v ekosistemu. Vsa obrečna mokrišča zmanjšujejo emisije CH<sub>4</sub>, njihova sprememba v pašnike pa je njihove emisije močno povečala. Izsušena mokrišča in polja, pridobljena iz šotnih tal, vplivajo na povečanje emisij N<sub>2</sub>O. Vse spremembe rabe tal povečajo toplogredni potencial za 65,4-2948,8 % v primerjavi z naravnimi mokrišči. Na količino emisij iz spremembe rabe tal pa vplivajo tudi vsebnost vode v tleh, tekstura tal, slanost tal, vsebnost dušika v tleh in pH tal (Tan in sod., 2019).

## **6 UKREPI ZA ZMANJŠANJE EMISIJ V KMETIJSTVU**

Zmanjšanje emisij iz kmetijstva je mogoče doseči s spremembami pri načinu kmetovanja in pri zahtevah po hrani. Izboljšave so možne pri nadzorovanem gnojenju in ohranitveni obdelavi tal (Russell, 2014). Ohranitvena obdelava tal zajema postopke, ki so bolj sonaravni in stremijo k ohranjanju naravne rodovitnosti tal (Ograjšek, 2012). Ta dva ukrepa sta relativno poceni in imata dober potencial zmanjšanja emisij. Dobra organiziranost pašništva, kot je krožna pašnja ali spremembe v sestavi krme, pa tudi obnavljanje onesnaženih tal in ohranitev organske mase v tleh, so pomembni dejavniki pri zmanjšanju emisij iz kmetijstva. Kot potrošniki hrane lahko k največjemu učinku zmanjšanja emisij pripomoremo, če se odrečemo ali vsaj zmanjšamo porabo mesa, najbolj govedine. Zmanjšanje količine zavržene hrane prav tako predstavlja eno od rešitev in načinov zmanjšanja emisij TGP (Russell, 2014).

Pridelovalci poljščin lahko spremenijo načine gnojenja in sestavo gnojil, da zmanjšajo emisije dušikovih gnojil in gnojil živinskega izvora. Kmetje lahko dosežejo zmanjšanje emisij s testi na rastlinah, testi tal, s preciznostjo doziranja gnojil, z uporabo počasi topnih gnojil in zaviralci nitrifikacije. Pomembne so tudi spremembe v času doziranja gnojil za boljši sprejem le teh v

rastlino. Prispevki k emisijam TGP, ki so sicer manjši, so tudi zaradi gorenja fosilnih goriv v traktorjih in drugi kmetijski mehanizaciji. Uporaba mehanizacije, ki porablja manj goriva, in boljša učinkovitost strojev, lahko prav tako prispevata k zmanjšanju TGP (Horowitz in Gottlieb, 2010). Ukrepi, ki jih sprejemajo kmetje za zmanjšanje emisij TGP neposredno prispevajo k boljši konkurenčnosti panoge (Verbič in sod., 2020).

Vlada republike Slovenije je v okviru prilagajanja na podnebne spremembe sprejela tudi usmeritve in predlagane dobre prakse za zmanjšanje emisij TGP iz kmetijstva. Glavne usmeritve (GOV.SI, 2020):

- povečanje samooskrbe in lokalne oskrbe s hrano,
- raba in obdelava tal, ki preprečuje povečanje emisij CO<sub>2</sub>, kar pomeni ohranjanje zaloge ogljika v tleh,
- učinkovita raba energije v kmetijstvu,
- proizvodnjo energije iz obnovljivih virov, ki hkrati ne konkurira pridelovanju hrane,
- učinkovitejša reja živali,
- izboljšanje kroženja dušika in povečanje simbiotske vezave dušika.

Dobre prakse za zmanjšanje emisij TGP so (GOV.SI, 2020):

- pripravljanje krmnih obrokov, ki omogočajo učinkovito izkoriščanje energije,
- računanje in odmerjanje krmnih obrokov za rejne živali, glede na njihove potrebe,
- nadzorovanje zdravja rejnih živali in obvladovanje njihove reprodukcije,
- izbira vrst in pasem rejnih živali z manjšimi emisijami TGP,
- reja živine na paši oz. reja na prostem,
- zajemanje bioplina iz skladišč z živinskim gnojem,
- nadzorovano gnojenje glede na potrebe rastlin in izdelava gnojilnih načrtov,
- gnojenje na način, ki omogoča najmanjše emisije v zrak,
- ohranjanje rodovitnosti tal in preprečevanje erozije.

## 7 POVZETEK S SKLEPI

Večanje človeške populacije vpliva na vedno večje potrebe po hrani in kmetijskih zemljiščih. To vpliva na večanje emisij TGP iz kmetijstva in prispeva 10 % k skupnim globalnim emisijam TGP, kar vpliva na spreminjanje podnebja. Kmetijstvo se spopada s podnebnimi spremembami, hkrati pa je njegova primarna naloga skrbeti za varnost oskrbe s hrano. Ob vedno številnejši populaciji bo v prihodnje zelo pomembno, da bo kmetijstvo uravnoteženo skrbelo za zadostne količine hrane in hkrati zmanjševalo emisije TGP.

Najpomembnejši TGP so CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> in N<sub>2</sub>O. Vsi ti nastajajo tudi zaradi kmetijstva, krčenja in izsekavanja gozdov ter druge rabe tal. Največ emisij TGP iz kmetijstva prispeva Azija (44 %),



sledijo pa ji Amerika (25 %), Afrika (15 %), Evropa (12 %) in Oceanija (4 %). Emisije CO<sub>2</sub> so večinoma vezane na spreminjanje rabe tal in krčenje gozdov. Veliko emisij CO<sub>2</sub> prispevajo tudi riževa polja. Živinoreja in upravljanje z živalskimi gnojili sta glavna vira emisij CH<sub>4</sub> iz kmetijstva. Emisije N<sub>2</sub>O iz kmetijstva pa so večinoma posledica gnojenja z mineralnimi gnojili in živalskimi gnojili. Glavni vir emisij toplogrednih plinov iz kmetijstva je živinoreja, ki skupaj prispeva več kot 14 % k skupnim emisijam TGP antropogenega izvora. CH<sub>4</sub> in N<sub>2</sub>O sta glavna TGP iz živinoreje. Nastajata predvsem zaradi enterične fermentacije v vampu prežvekovalcev ter rabe in načina shranjevanja živalskega gnoja. Pomemben vir TGP je tudi pridelava riža. Riževa polja predstavljajo kar 11 % kopnega površja na Zemlji, saj v Aziji in po vsem svetu riž predstavlja eno glavnih živil v prehrani ljudi. Pridelava riža prispeva k povečanju emisij CH<sub>4</sub> zaradi sistema namakanja riževih polj, ki vpliva na večjo vezavo ogljika iz zraka, ta pa predstavlja substrat za metanogene arheje, katerih produkt je CH<sub>4</sub>. Na področju gozdarstva je velik problem krčenje gozdov zaradi potreb po kmetijskih zemljiščih. Gozdovi predstavljajo enega glavnih ponorov ogljika na Zemlji, njihovo krčenje pa neposredno vpliva na večanje koncentracije CO<sub>2</sub> v atmosferi. Izpusti TGP iz druge rabe tal zajemajo sežiganje rastlinskih ostankov, sproščanje TGP iz izsušenih šotič in barij ter spreminjanje naravnih vegetacij v kmetijska zemljišča. Naravna mokrišča predstavljajo ponor CO<sub>2</sub>, hkrati pa vir N<sub>2</sub>O in CH<sub>4</sub>. Tudi spremembe rabe tal močno povečajo emisije. Za zmanjšanje emisij TGP se priporoča ohranjanje naravnih gozdov in rodovitnih tal za preprečevanje erozije in izsuševanja ter sekvestracijo CO<sub>2</sub>, nadzorovano upravljanje z gnojili in odmerjanje količine gnojil glede na potrebe rastlin, zajemanje bioplina za proizvodnjo električne energije, pripravljanje kakovostnih in uravnoveženih obrokov za rejne živali, nadzorovano rabo antibiotikov v živinoreji, ohranjanje naravnih mokrišč itd.

V prihodnje bo pomembno, da države in kmetijske institucije izobrazijo kmete, jih sproti informirajo in jim čim bolj finančno pomagajo pri ukrepih za zmanjšanje izpustov TGP. Zaradi večanja števila prebivalstva in težnje po vedno več obdelovalnih površinah bo kmetijstvo moralo slediti smernicam za zmanjšanje emisij TGP, se prilagajati podnebnim spremembam, hkrati pa skrbeti za varnost oskrbe s hrano.

## 8 VIRI

- ARSO. Toplogredni plini. Ljubljana. Agencija Republike Slovenije za okolje.  
[http://okolje.arso.gov.si/onesnazevanje\\_zraka/vsebine/toplogredni-plini](http://okolje.arso.gov.si/onesnazevanje_zraka/vsebine/toplogredni-plini) (20.8.2020)
- El-Hage Scialabba N., Hattam C. 2002. Organic agriculture and climate change. Organic agriculture, environment and food security.  
<http://www.fao.org/3/y4137e/y4137e02b.htm#96> (20.8.2020)
- EPA. 2020. Sources of Greenhouse Gas Emissions. Washington, Climate Change Division.  
<https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions> (20.8.2020)
- Eurostat Statistics Explained. 2017. Glossary: Carbon dioxide equivalent.  
[https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/Glossary:Carbon\\_dioxide\\_equivalent](https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/Glossary:Carbon_dioxide_equivalent) (20.8.2020)
- Eurostat Statistics Explained. 2020. Agri-environmental indicator – commitments.  
[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Agri-environmental\\_indicator\\_-\\_commitments](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Agri-environmental_indicator_-_commitments) (20.8.2020)
- FAO. 2014. Greenhouse gas emissions from agriculture, forestry and other land use.  
<http://www.fao.org/in-action/micca> (20.8.2020)
- GOV.SI. 2020. Blaženje učinkov podnebnih sprememb v kmetijstvu.  
<https://www.gov.si teme/blazenje-ucinkov-podnebnih-sprememb-v-kmetijstvu/> (22.8.2020)
- Hammer T. J., Fierer N., Hardwick B., Simojoki A., Slade E., Taponen J., Viljanen H., Roslin T. 2016. Treating cattle with antibiotics affects greenhouse gas emissions, and microbiota in dung and dung beetles. *Proceedings of the Royal Society B*, 283, 1831, doi:10.1098/rspb.2016.0150: 7 str.
- Horowitz J., Gottlieb J. 2010. The role of agriculture in reducing greenhouse gas emissions. *Economic Brief*, 15: 1-8
- IPCC. 2014. Climate Change 2014. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Pachauri R.K, Meyer L.A. (ur.), IPCC, Geneva, Switzerland: 151 str.
- Johnson J. M.-F., Franzluebbers A. J., Lachnicht Weyers S., Reicosky D. C. 2007. Agriculture opportunities to mitigate greenhouse gas emissions. *Environmental Pollution*, 150: 107-124

KGZS. 2020. Živinoreja.

<https://www.kgzs.si/zivinoreja>

Kmetijsko gozdarski zavod Celje. 2020. Govedoreja in toplogredni plini.

<http://www.kmetijskizavod-celje.si/govedoreja-in-toplogredni-plini> (22.8.2020)

Lenka S., Lenka N., Sejian V., Mohanty M. 2015. Contribution of agriculture sector to climate change. V: Climate change impact on livestock: adaptation and mitigation. Springer: 37-48

Mekinda Majaron T. 2012. Emisijske evidence toplogrednih plinov 1986-2010. V: Okolje v katerem živimo. Cegnar T. (ur.). Ljubljana. Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, Agencija Republike Slovenije za okolje: 101-108

NASA. 2020. The cause of climate change.

<https://climate.nasa.gov/causes/> (22.8.2020)

Nunez C. 2019. Causes and effects of climate change. National Geographic.

<https://www.nationalgeographic.com/environment/global-warming/global-warming-overview/> (20.8.2020)

Ograjšek S. 2012. Ohranitvena obdelava tal - stanje v Sloveniji. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 16 str.

Operativni pregled ukrepov zmanjšanja emisij toplogrednih plinov do leta 2020. 2014. Ljubljana, Vlada Republike Slovenije: 111 str.

[https://www.energetika-portal.si/fileadmin/dokumenti/publikacije/op\\_tgp/op\\_tgp\\_2020.pdf](https://www.energetika-portal.si/fileadmin/dokumenti/publikacije/op_tgp/op_tgp_2020.pdf). (20.8.2020)

Philippe F.-X., Nicks B. 2014. Review on greenhouse gas emissions from pig houses: Production of carbon dioxide, methane and nitrous oxide by animals and manure. Agriculture, Ecosystems and Environment, 199: 10-25

Russell S. 2014. Everything you need to know about agricultural emissions. Washington, World Resources Institute.

<https://www.wri.org/blog/2014/05/everything-you-need-know-about-agricultural-emissions> (20.8.2020)

Smith P., Bustamante M., Ahammad H., Clark H., Dong H., Elsiddig E. A., Haberl H., Harper R., House J., Jafari M., Masera O., Mbow C., Ravindranath N. H., Rice C. W., Robledo Abad C., Romanovskaya A., Sperling F., Tubiello F. 2014. Agriculture, forestry and other land use (AFOLU). V: Climate change 2014: Mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edenhofer I. (ur.) Cambridge, Cambridge University Press: 811-922

SURS. Statistični urad RS. 2020.  
<https://www.stat.si/statweb> (26.8.2020)

Šifrant in opis vrst dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč. Uradni list RS.  
[https://www.uradni-list.si/files/RS\\_-2008-122-05471-OB~P001-0000.PDF](https://www.uradni-list.si/files/RS_-2008-122-05471-OB~P001-0000.PDF) (28.8.2020)

Tan L., Ge Z., Zhou X., Li S., Li X., Tang J. 2019. Conversion of coastal wetlands, riparian wetlands, and peatlands increases greenhouse gas emissions: A global meta-analysis. *Global Change Biology*, 26: 1638-1653

Ukrepanje EU na področju energetike in podnebnih sprememb: panoramski pregled. 2017. Luxembourg, Urad za publikacije Evropske unije: 100 str.  
[https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/LR17\\_01/LR\\_ENERGY\\_AND\\_CLIMATE\\_SL.pdf](https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/LR17_01/LR_ENERGY_AND_CLIMATE_SL.pdf) (22.8.2020)

van Groenigen K. J., van Kessel C., Hungate B. A. 2012. Increased greenhouse-gas intensity of rice production under future atmospheric conditions. *Nature Climate Change*, 3: 288-291

Verbič J., Đorić M., Urbančič A., Petelin Visočnik B. 2020. Podnebno ogledalo 2020 Kmetijstvo. Ljubljana, Inštitut Jožef Štefan: 45 str.  
[https://www.podnebnapot2050.si/wpcontent/uploads/2020/06/Podnebno\\_Ogledalo\\_2020\\_Zvezek4\\_Kmetijstvo\\_Koncen\\_2020-06-16.pdf](https://www.podnebnapot2050.si/wpcontent/uploads/2020/06/Podnebno_Ogledalo_2020_Zvezek4_Kmetijstvo_Koncen_2020-06-16.pdf). (20.8.2020)

Verbič J. 2020. Svetovalni kodeks dobrih kmetijskih praks za zmanjševanje izpustov amonijaka. Ljubljana, Kmetijski inštitut Slovenije: 28 str.

Verbič J. 2008. Slovenski govedorejci uspešno zmanjšujejo izpuste toplogrednih plinov. Ljubljana, Kmetijski inštitut Slovenije: 6 str.

## **ZAHVALA**

Za pomoč in strokovno vodstvo pri izdelavi diplomskega dela se zahvaljujem mentorici doc. dr. Zaliki Črepinšek. Za pregled diplomskega dela se zahvaljujem recenzentki doc. dr. Tjaši Pogačar.

Zahvalila bi se tudi svoji družini in prijateljem za pomoč in podporo v času študija in pri nastajanju diplomskega dela.