

Emisije stakleničkih plinova u poljoprivredi

Uvod

Poljoprivreda je temeljna ljudska djelatnost sa svrhom osiguranja hrane i sirovina za različite industrije. Istovremeno poljoprivreda značajno doprinosi emisijama stakleničkih plinova (GHG od eng. *greenhouse gases*). Staklenički plinovi, od kojih su najvažniji ugljični dioksid (CO₂), metan (CH₄) i didušikov monoksid (N₂O), zadržavaju toplinu u atmosferi čime uzrokuju porast globalne temperature, što dovodi do klimatskih promjena (IPCC, 2019). Prema podacima Organizacije za hranu i poljoprivredu (FAO, 2016), poljoprivreda doprinosi s približno 10-12% od ukupnih globalnih emisija stakleničkih plinova, ne uključujući emisije povezane s promjenom korištenja tla. To čini poljoprivredu jednom od ljudskih aktivnosti koja pridonosi emisijama stakleničkih plinova, odmah nakon energetike i industrije (Tubiello i sur., 2015).

Emisije GHG iz poljoprivrede proizlaze iz različitih izvora, uključujući enteričku fermentaciju preživača, upravljanje stajskim gnojem, upotrebu sintetičkih i organskih gnojiva te uzgoj riže (Smith i sur., 2014). Enterička fermentacija preživača kao što su krave, ovce i koze uzrokom je znatne količine emisije metana, dok primjena dušičnih gnojiva rezultira emisijama didušikovitog monoksida, plina koji ima čak 298 puta veći potencijal globalnog zagrijavanja od ugljičnog dioksida (IPCC, 2019).

Klimatske promjene uzrokuju niz problema, uključujući porast razine mora, ekstremne vremenske uvjete i gubitak bioraznolikosti (FAO, 2018). Poljoprivreda je također sama po sebi osjetljiva na klimatske promjene koje stoga dovode do smanjenja prinosa, degradacije tla i povećanja pojave štetnika i bolesti (Garnett i sur., 2013). Stoga postoji hitna potreba za razumijevanjem i smanjenjem emisija stakleničkih plinova iz poljoprivrede kako bi se ublažio utjecaj na klimu i umanjile posljedice klimatskih promjena te osigurala dugoročna održivost poljoprivrednih sustava.

Razumijevanje emisija stakleničkih plinova u poljoprivredi iznimno je važno iz više razloga. Najprije, smanjenje emisija iz poljoprivrede može značajno doprinijeti globalnim naporima za ublažavanje klimatskih promjena (IPCC, 2019). Poljoprivreda je jedinstvena po tome što istovremeno može biti i izvor i "ponor" stakleničkih plinova. Pravilnim upravljanjem poljoprivrednim praksama moguće je povećati sekvencijalnu akumulaciju ugljika u tlu i time doprinijeti smanjenju koncentracije CO₂ u atmosferi (Lal, 2018). Nadalje, klimatske promjene imaju direktan utjecaj na poljoprivredu, i to na produktivnost, kvalitetu usjeva i stabilnost poljoprivrednih ekosustava. Povećana svijest o emisijama stakleničkih plinova u poljoprivredi i načinima njihovog smanjenja može pomoći u razvoju strategija koje će osigurati održivu proizvodnju hrane u budućnosti (Foley i sur., 2011). Naposljetku, poljoprivreda je od ključne važnosti za ekonomski razvoj i sigurnost hrane, posebno u zemljama u razvoju. Smanjenjem emisija stakleničkih plinova, moguće je ne samo smanjiti negativne utjecaje na okoliš, već i povećati otpornost poljoprivrednih sustava na klimatske promjene (FAO, 2018).

Cilj ovog rada je pružiti sveobuhvatni pregled emisija stakleničkih plinova u poljoprivredi, te analizirati glavne izvore tih emisija i njihove učinke na okoliš. U radu će se također gledati odrediti ključne poljoprivredne prakse koje pridonose emisijama, kao i moguće metode za njihovo smanjenje. Na taj način, ovaj će rad pružiti temelj za razumijevanje problema emisija stakleničkih plinova u poljoprivredi i ponuditi smjernice za daljnje istraživanje i implementaciju strategija koje

moгу doprinijeti smanjenju ovih emisija i poboljšanju održivosti poljoprivrednih sustava.

Izvori stakleničkih plinova u poljoprivredi

Poljoprivreda emitira različite stakleničke plinove, među kojima su najvažniji metan (CH₄), didušikov monoksid (N₂O) i ugljični dioksid (CO₂). Svaki od ovih plinova ima različite izvore unutar poljoprivredne prakse te različito pridonosi ukupnom učinku staklenika (Slika 2).

Metan je izrazito snažan staklenički plin s potencijalom globalnog zagrijavanja koji je 25 puta veći od ugljičnog dioksida na razdoblje od 100 godina (IPCC, 2014). Iz poljoprivrede potječe oko 50% ukupnih globalnih emisija metana, što znači kako poljoprivreda ima ključnu ulogu u ukupnim emisijama GHG-a (FAO, 2013). Jedan od najvećih izvora metana u poljoprivredi dolazi od enteričke fermentacije, procesa probave u preživača poput goveda, ovaca i koza. Preživači tijekom probave proizvode metan kao nusprodukt, koji se oslobađa putem podrigivanja i, u manjoj mjeri, kroz crijevne plinove (Gerber i sur., 2013). Procjenjuje se kako enterička fermentacija čini oko 40% ukupnih emisija metana iz poljoprivrede (FAO, 2013). Uzgoj riže također doprinosi značajnim emisijama metana. Naime, kada su rižina polja poplavljena, anaerobni uvjeti pogoduju mikroorganizmima koji razgrađuju organske tvari i proizvode metan kao nusprodukt (Yan i sur., 2009). Zbog ovog procesa uzgoj riže doprinosi ukupnoj globalnoj emisiji metana s otprilike 10% (IPCC, 2019). Emisije metana također nastaju skladištenjem i obradom stajskog gnojiva. Kada se stajsko gnojivo skladišti u anaerobnim uvjetima (npr. u tekućem obliku ili u zatvorenim posudama), mikrobiološka razgradnja organskih tvari proizvodi metan (Montes i sur., 2013).

Didušikov monoksid ima čak 298 puta veći potencijal globalnog zagrijavanja od CO₂ na razdoblje od 100 godina (IPCC, 2014). Poljoprivreda je odgovorna za približno 60% globalnih emisija N₂O, a najveći doprinos dolazi od primjene gnojiva i stajskog gnoja (FAO, 2013). Primjena dušičnih gnojiva u poljoprivredi rezultira emisijama N₂O zbog procesa nitrifikacije i denitrifikacije u tlu. Sintetička gnojiva koja sadrže dušik, kao i organska gnojiva poput stajskog gnoja i komposta, pružaju izvor dušika koji se mikrobiološki transformira u N₂O (Butterbach-Bahl i sur., 2013). Procesi nitrifikacije i denitrifikacije su odgovorni za oslobađanje didušikovog monoksida iz tla. Nitrifikacija je aerobni proces u kojem se amonijak pretvara u nitrite i nitrate, dok je denitrifikacija anaerobni proces u kojem se nitrati pretvaraju u plinovite oblike dušika, uključujući N₂O (Snyder i sur., 2009).

Poljoprivredni strojevi, kao što su traktori, kombajni i sustavi za navodnjavanje, koriste fosilna goriva što rezultira emisijama CO₂ (Lal, 2004). Poljoprivreda često uključuje promjene u korištenju zemljišta, poput krčenja šuma, krčenja travnjaka, te obrade i oranja tla. Ove aktivnosti dovode do oslobađanja ugljika pohranjenog u vegetaciji i tlu u atmosferu u obliku CO₂ (Foley i sur., 2011). Krčenje šuma radi stvaranja novih poljoprivrednih površina posebno je problematično jer smanjuje ponore ugljika i povećava emisije CO₂. Unatoč tome što poljoprivreda doprinosi emisijama CO₂, ona također može djelovati kao ponor ugljika kroz sekvencijalnu sekvenciju ugljika u tlu. Sekvencijalna ugljika odnosi se na proces hvatanja i pohranjivanja ugljika iz atmosfere u tlo, čime se smanjuje količina CO₂ u atmosferi (Lal, 2004). Prakse poput konzervacijske obrade tla, sjetve pokrovnih usjeva i agrošumarstva mogu povećati sekvencijalnu ugljika i tako smanjiti ukupne emisije stakleničkih plinova u poljoprivredi (Smith i sur., 2008).

Metode smanjenja emisija stakleničkih plinova

S obzirom na značajan utjecaj poljoprivrede na emisije stakleničkih plinova, postoji potreba za uvođenjem održivih poljoprivrednih praksi koje mogu učinkovito smanjiti emisije CO₂, CH₄ i N₂O. Konzervacijska obrada tla odnosi se na poljoprivredne prakse koje minimaliziraju ometanje tla, kao što su minimalna obrada, nulta obrada i pokrovni usjevi. Ove metode imaju brojne prednosti u smislu smanjenja emisija stakleničkih plinova. Konzervacijska obrada tla povećava zadržavanje organske tvari u tlu, smanjuje eroziju i poboljšava kapacitet tla za zadržavanje vode (Lal, 2015). Korištenje pokrovnih usjeva tijekom razdoblja kada osnovni usjevi nisu prisutni može pomoći u smanjenju emisija CO₂ jer biljke djeluju kao "ponor" ugljika, vežući ugljik iz atmosfere i pohranjujući ga u tlo (Friedrich i sur., 2012). Konzervacijska obrada tla smanjuje mineralizaciju organske tvari i tako smanjuje oslobađanje CO₂ u atmosferu. Studije su pokazale da nulta obrada može smanjiti emisije CO₂ iz tla za 30-60% u usporedbi s konvencionalnom obradom tla (West & Post, 2002). Prehrana stoke ima značajan utjecaj na količinu proizvedenog metana (CH₄) tijekom procesa probave, posebno kod preživača poput goveda. Poboljšanje kvalitete prehrane stoke može smanjiti emisije metana po jedinici proizvedenog mlijeka ili mesa. Dodavanje lako probavljivih ugljikohidrata u prehranu, kao i korištenje dodataka poput ulja, može smanjiti emisije metana jer utječe na mikrobiološke procese u probavnom sustavu preživača (Beauchemin i sur., 2008). Također, dodavanje dodataka kao što su nitrati i tanini može smanjiti proizvodnju metana tijekom probave (Hristov i sur., 2013). Pravilnom primjenom i skladištenjem stajskog gnojiva mogu se značajno smanjiti emisije N₂O i CH₄. Optimizacija količine i vremena primjene gnojiva može smanjiti gubitke dušika iz tla i time smanjiti emisije N₂O (Snyder i sur., 2009). Korištenje tehnika poput preciznog gnojidbenog planiranja, korištenje inhibitorne nitrifikacije te izmjenična primjena sintetičkih i organskih gnojiva može smanjiti emisije stakleničkih plinova. Anaerobna razgradnja stajskog gnojiva u uvjetima niske temperature i visoke vlage rezultira oslobađanjem metana, a arobno kompostiranje gnojiva smanjuje stvaranje metana i dušikovih oksida (Petersen i sur., 2012). Primjena anaerobnih digestora za preradu stajskog gnojiva može dodatno smanjiti emisije CH₄ i istovremeno proizvesti bioplin kao obnovljivi izvor energije (Amon i sur., 2006). Agrošumarstvo podrazumijeva sadnju drveća na poljoprivrednim površinama i kombiniranje poljoprivrednih kultura i/ili stočarstva s uzgojem drveća. Drveće u agrošumarskim sustavima apsorbira i pohranjuje ugljik iz atmosfere, djelujući kao učinkovit ponor CO₂ (Nair i sur., 2010). Osim toga, korištenje drveća i otpaci biljaka povećavaju organsku tvar u tlu, čime se povećava sekvestracija ugljika u tlu (Jose, 2009). Agrošumarstvo također poboljšava bioraznolikost, smanjuje eroziju tla i poboljšava omjere vode i zraka u tlu, čime se povećava otpornost poljoprivrednih sustava na klimatske promjene (Montagnini & Nair, 2004). Digitalne tehnologije i precizna poljoprivreda nude inovativne načine za praćenje i smanjenje emisija stakleničkih plinova u poljoprivredi. Upotreba senzora, satelitskih snimki i dronova omogućava precizno praćenje stanja tla, usjeva i okolišnih uvjeta, što omogućava optimizaciju primjene gnojiva, vode i drugih resursa (Gebbers & Adamchuk, 2010). Ove tehnologije mogu pomoći u smanjenju emisija stakleničkih plinova smanjenjem nepotrebne upotrebe resursa i povećanjem učinkovitosti poljoprivredne proizvodnje. Precizna poljoprivreda koristi podatke prikupljene pomoću senzora i digitalnih alata kako bi se optimizirala primjena gnojiva i vode. Ova praksa može smanjiti gubitke dušika i emisije N₂O, dok istovremeno poboljšava prinose usjeva (Bongiovanni & Lowenberg-DeBoer, 2004).

Poljoprivredne politike i poticaji za smanjenje emisija

Poljoprivredne politike i poticaji igraju ključnu ulogu u oblikovanju načina na koji se emisije stakleničkih plinova mogu smanjiti u poljoprivredi. Kroz međunarodne sporazume, europske i nacionalne politike, te razne poticaje za poljoprivrednike, vlade i institucije mogu usmjeravati poljoprivrednu praksu prema održivijim i klimatski prihvatljivijim rješenjima. Jedan od najvažnijih međunarodnih sporazuma u borbi protiv klimatskih promjena je Pariški sporazum (UNFCCC, 2015). Cilj ovog sporazuma je ograničiti porast globalne temperature na ispod 2°C u odnosu na predindustrijske razine, s nastojanjem da se porast temperature zadrži na 1,5°C. Pariški sporazum prepoznaje važnost poljoprivrede u smanjenju emisija stakleničkih plinova te potiče zemlje na razvoj strategija koje uključuju održive poljoprivredne prakse (FAO, 2016). Kao dio svojih obveza u okviru sporazuma, mnoge zemlje su razvile i implementirale nacionalne strategije za smanjenje emisija GHG iz poljoprivrede, uključujući poboljšanje upravljanja tlom, stokom i gnojivima. Tako nekoliko zemalja u svojim klimatskim planovima aktivno potiče integraciju održivih praksi, poput konzervacijske obrade tla i agrošumarstva (Smith i sur., 2014).

Drugi važni sporazumi i inicijative uključuju Agendu 2030 za održivi razvoj i Ciljeve održivog razvoja (SDGs), posebice cilj 13, koji se odnosi na borbu protiv klimatskih promjena (UN, 2015). Ovi ciljevi naglašavaju potrebu za transformacijom poljoprivrednih praksi kako bi se smanjile emisije stakleničkih plinova i poboljšala otpornost na klimatske promjene. Europska unija (EU) i države članice aktivno provode politike usmjerene na smanjenje emisija stakleničkih plinova u poljoprivredi. Zajednička poljoprivredna politika (CAP) jedan je od ključnih instrumenata EU-a za poticanje održive poljoprivrede i smanjenje emisija stakleničkih plinova (European Commission, 2021). CAP uključuje razne ekološke zahtjeve i poticaje za poljoprivrednike, uključujući potporu za konzervacijsku obradu tla, zaštitu bioraznolikosti, te upotrebu agrošumarstva. Od 2023. godine, nova CAP politika uvodi "eko-scheme" koje su posebno osmišljene za promicanje održivih praksi i smanjenje emisija stakleničkih plinova (European Commission, 2021). Pojedine europske države također provode vlastite inicijative. Njemačka je tako usvojila strategiju za održivu poljoprivredu koja uključuje smanjenje upotrebe sintetičkih gnojiva, promicanje organskog uzgoja i poticanje praksi koje povećavaju sekvencijaciju ugljika u tlu (BMEL, 2020). Francuska je pokrenula inicijativu "4 per 1000" koja promiče povećanje organskog ugljika u tlu za 0,4% godišnje kako bi se smanjile emisije CO₂ i poboljšala produktivnost tla (Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2015).

Poticaji igraju važnu ulogu u poticanju poljoprivrednika na usvajanje održivih praksi i smanjenje emisija stakleničkih plinova. Mnoge zemlje nude subvencije i financijsku podršku poljoprivrednicima koji provode održive prakse. Na primjer, kroz CAP, poljoprivrednici mogu dobiti plaćanja za primjenu metoda koje smanjuju emisije stakleničkih plinova, kao što su konzervacijske obrade tla, sadnje pokrovnih usjeva i korištenja agrošumarstva (European Commission, 2021). Pojedine države nude i poticaje za korištenje tehnologija za preciznu poljoprivredu, koja omogućava učinkovitiju upotrebu gnojiva i vode, čime se znatno smanjuju emisije stakleničkih plinova (Gebbers i Adamchuk, 2010). Osim financijskih poticaja, mnoge zemlje pružaju edukaciju i savjetodavne usluge kako bi poljoprivrednicima pomogle u usvajanju novih tehnologija i održivih praksi. Ovi programi često uključuju savjetovanje o optimizaciji upotrebe gnojiva, upravljanju stokom i uvođenju agrošumarstva (FAO, 2019). Poljoprivrednici koji usvoje održive prakse često imaju pristup premium tržištima i oznakama koje potvrđuju ekološki prihvatljivu proizvodnju. Ove

oznake mogu povećati vrijednost njihovih proizvoda i osigurati bolju cijenu na tržištu (Reganold & Wachter, 2016).

Primjeri dobre prakse

Studije slučaja poljoprivrednih gospodarstava koja su usvojila strategije za smanjenje emisija stakleničkih plinova pružaju vrijedne uvide u učinkovite mjere i tehnike. Ovi primjeri dobre prakse pokazuju kako promjene u poljoprivrednim praksama mogu dovesti do značajnog smanjenja emisija GHG-a. Farma Talaheni u Novom Južnom Walesu, Australija, jedan je od primjera uspješne primjene regenerativne poljoprivrede. Poljoprivrednici su uveli praksu sjetve pokrovnih usjeva, konzervacijsku obradu tla i poboljšano upravljanje pašnjacima. Rezultat ovih praksi bilo je mjerljivo smanjenje emisija CO₂ te povećanje sekvestracije ugljika u tlu (Amundson & Biardeau, 2018). Sekvestracija ugljika pridonijela je smanjenju emisija stakleničkih plinova do 2,5 tona po hektaru godišnje. Nizozemski proizvođači mlijeka su pioniri u korištenju tehnologija precizne poljoprivrede za smanjenje emisija stakleničkih plinova. Oni koriste digitalne alate, senzore i dronove za optimizaciju prehrane stoke, te su mjerljivo smanjili emisije metana iz probave preživača (Gerber i sur., 2013). Ova praksa ne samo da je smanjila emisije GHG-a, već je također povećala učinkovitost proizvodnje mlijeka za 10%. Na farmama diljem Sjedinjenih Američkih Država, poljoprivrednici su uveli agrošumarstvo kao strategiju za smanjenje emisija stakleničkih plinova. Kombinacijom sadnje drveća s tradicionalnim poljoprivrednim kulturama, ove farme uspješno sekvestriraju CO₂ i smanjuju ukupne emisije stakleničkih plinova. Na primjer, studija na farmi u Iowa pokazuje kako su agrošumarski sustavi smanjili emisije CO₂ ekvivalenta za 3,2 tona po hektaru godišnje (Jose, 2009).

Praksa optimizacije prehrane stoke, uključujući upotrebu dodataka prehrani kao što su nitrati i tanini, može smanjiti emisije metana za 20-30% (Hristov i sur., 2013). Ova metoda je posebno učinkovita u proizvodnji mliječnih proizvoda, gdje metan čini značajan dio ukupnih emisija stakleničkih plinova. Istraživanja su pokazala kako su poljoprivrednici koji su prešli na konzervacijsku obradu tla uspjeli smanjiti emisije CO₂ za 30-60% u usporedbi s konvencionalnom obradom (West & Post, 2002). Precizna poljoprivreda, koja koristi tehnologije za optimizaciju upotrebe gnojiva, vode i pesticida, može smanjiti emisije N₂O do 50% (Bongiovanni & Lowenberg-DeBoer, 2004). Poljoprivrednici koji su usvojili ove tehnologije svjedoče o značajnim uštedama u resursima, smanjenju troškova i poboljšanju prinosa, što ih je dovelo do održivije proizvodnje.

Izazovi i prepreke u smanjenju emisija stakleničkih plinova u poljoprivredi

Usprkos potencijalu poljoprivrede za značajnim smanjenjem emisija stakleničkih plinova, postoji niz izazova i prepreka koje otežavaju implementaciju održivih praksi. Razumijevanje ovih izazova ključno je za razvijanje učinkovitih strategija i politika koje će pomoći poljoprivrednicima u prelasku na prakse koje su manje štetne za okoliš. Jedan od glavnih izazova u smanjenju emisija stakleničkih plinova u poljoprivredi su financijski i tehnički zahtjevi koji prate uvođenje novih tehnologija i održivih praksi. Poljoprivrednici se često suočavaju s visokim troškovima prilikom uvođenja tehnologija poput precizne poljoprivrede, anaerobnih digestora za obradu stajskog gnoja, ili praksi poput agrošumarstva. Na primjer, investicije u digitalne senzore, satelitske snimke i opremu za preciznu primjenu gnojiva mogu biti znatno visoke, osobito za male poljoprivrednike

(Gebbers & Adamchuk, 2010). Ovi troškovi predstavljaju prepreku za mnoge poljoprivrednike koji nemaju pristup financijskim sredstvima ili kreditima potrebnim za ulaganje u održive tehnologije (Pretty i sur., 2018). Primjena novih tehnologija zahtijeva tehničko znanje i vještine koje mnogi poljoprivrednici možda nemaju. Upravljanje tehnologijama kao što su dronovi, senzori i softveri za analizu podataka može biti zahtjevno, što otežava njihovo usvajanje (Finger i sur., 2019). Osim toga, održavanje i prilagodba ovih tehnologija specifičnim uvjetima svake farme može biti tehnički izazov. Jedan od ključnih faktora koji ograničava prelazak na održivije prakse je nedostatak edukacije i svijesti među poljoprivrednicima. Mnogi poljoprivrednici nisu u potpunosti informirani o tome kako njihove aktivnosti pridonose emisijama stakleničkih plinova ili kako mogu smanjiti te emisije putem održivih praksi. Prema istraživanju FAO-a (2019), nedostatak pristupa edukativnim programima, savjetodavnim uslugama i tehničkoj podršci ograničava primjenu praksi koje mogu smanjiti emisije. Također, stariji poljoprivrednici često su manje skloni usvajanju novih tehnologija i metoda zbog tradicionalnih pristupa poljoprivredi (Prokopy i sur., 2015). Poljoprivrednici često nisu svjesni dugoročnih koristi održivih praksi, uključujući povećanje prinosa, poboljšanje kvalitete tla i smanjenje troškova gnojiva. Bez jasnog razumijevanja ekonomskih i ekoloških prednosti, teško je očekivati da će poljoprivrednici biti motivirani za promjenu svojih uobičajenih praksi (Pretty i sur., 2018).

Geografska i klimatska raznolikost poljoprivrednih regija predstavlja još jedan izazov u provedbi mjera za smanjenje emisija stakleničkih plinova. Poljoprivredne prakse koje su učinkovite u jednoj klimatskoj zoni možda neće biti prikladne za drugu. Tako npr. metode navodnjavanja ili uzgoja koje smanjuju emisije u sušnim područjima mogu biti neučinkovite u vlažnim područjima. Osim toga, klimatske promjene mogu pogoršati sušu, poplave ili temperaturne ekstreme, što otežava provedbu održivih praksi (Smith i sur., 2014). Različite vrste tla i topografski uvjeti zahtijevaju prilagođene strategije za smanjenje emisija stakleničkih plinova. Naime, mjere za smanjenje emisija N₂O u pjeskovitim tlima možda neće biti učinkovite u glinenim tlima. Slično tome, područja s brdovitim ili planinskom topografijom imaju ograničene mogućnosti za uvođenje konzervacijske obrade tla ili agrošumarstva (Lal, 2015).

Istraživanja i inovacije u smanjenju emisija stakleničkih plinova

Istraživanja i inovacije igraju ključnu ulogu u razvoju novih strategija i tehnologija za smanjenje emisija stakleničkih plinova u poljoprivredi. Zahvaljujući napretku u tehnologiji, biotehnologiji i razumijevanju procesa sekvenciranja ugljika, poljoprivredni sektor može učinkovito smanjiti emisije i poboljšati svoju otpornost na klimatske promjene.

Tehnološke inovacije omogućavaju precizniju i učinkovitiju poljoprivrednu praksu koja može smanjiti emisije stakleničkih plinova. Primjena digitalnih tehnologija, poput senzora, satelitskih snimki, dronova i GPS sustava, omogućuje precizno praćenje usjeva, tla i stoke (Gebbers & Adamchuk, 2010). Precizna poljoprivreda omogućava optimalnu primjenu gnojiva, vode i pesticida, čime se smanjuje gubitak dušika u obliku N₂O i emisija CO₂. Korištenje tehnologije varijabilne stope (VRT od eng. *variable rate technology*) za primjenu gnojiva može smanjiti emisije N₂O za čak 20% (Bongiovanni & Lowenberg-DeBoer, 2004). Inovacije u biotehnologiji, uključujući razvoj biljnih sorti otpornih na sušu, bolesti i štetnike, mogu smanjiti potrebu za kemijskim pesticidima i gnojivima, čime se smanjuju emisije stakleničkih plinova (Godfray i sur., 2010). Nadalje, istraživanja u genetskoj selekciji stoke koja proizvodi manje metana pokazala su potencijal za

smanjenje emisija metana u sektoru stočarstva. Inovativni dodaci prehrani za stoku, poput ulja, tanina i algi, mogu značajno smanjiti emisije metana tijekom probave. Istraživanja su pokazala kako dodavanje morskih algi u prehranu preživača može smanjiti emisije metana za do 80% (Kinley i sur., 2020).

Sekvestracija ugljika u tlu postala je važan predmet istraživanja jer nudi mogućnost ublažavanja emisija stakleničkih plinova i poboljšanja plodnosti tla. Istraživanja pokazuju kako prakse poput konzervacijske obrade tla, upotrebe pokrovnih usjeva, agrošumarstva i dodavanja organske tvari u tlo mogu značajno povećati sposobnost tla za vezanje ugljika (Lal, 2018). Istraživanja u okviru inicijative "4 per 1000" predlažu povećanje organskog ugljika u tlu za 0,4% godišnje, što bi moglo neutralizirati značajan dio globalnih emisija stakleničkih plinova (Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2015). Biougljen dobiven iz biljne biomase, pokazao je velik potencijal u poboljšanju sekvestracije ugljika u tlu. Kada se primjenjuje na poljoprivrednim površinama, biougljen može trajno pohraniti ugljik, smanjujući ukupne emisije stakleničkih plinova (Lehmann i sur., 2006). Osim toga, biougljen poboljšava plodnost tla i kapacitet zadržavanja vode, što dodatno doprinosi održivosti poljoprivrede.

Znanstvena istraživanja igraju ključnu ulogu u razvoju i širenju održivih poljoprivrednih praksi koje smanjuju emisije stakleničkih plinova. Regenerativna poljoprivreda naglašava prakse koje poboljšavaju zdravlje tla, povećavaju sekvestraciju ugljika i smanjuju emisije stakleničkih plinova. Ove prakse uključuju korištenje pokrovnih usjeva, rotaciju usjeva, konzervacijsku obradu tla i agrošumarstvo (Schreefel i sur., 2020). Istraživanja su pokazala da ove prakse mogu povećati organske tvari u tlu i značajno smanjiti emisije GHG-a. Znanstvena istraživanja su dovela do razvoja inovativnih metoda za upravljanje stajskim gnojem, uključujući anaerobnu digestiju i aerobno kompostiranje, koje smanjuju emisije metana i dušikovog oksida (Hristov i sur., 2013). Anaerobna digestija stajskog gnoja ne samo da smanjuje emisije GHG-a, već također proizvodi bioplin koji može poslužiti kao obnovljivi izvor energije.

Uloga obrazovanja i podizanja svijesti

Edukacija i podizanje svijesti imaju ključnu ulogu u promicanju održivih poljoprivrednih praksi i smanjenju emisija stakleničkih plinova. Kroz edukacijske programe i kampanje za podizanje svijesti, poljoprivrednici i šira javnost mogu steći znanje i motivaciju za usvajanje praksi koje smanjuju emisije i doprinose održivijem poljoprivrednom sektoru. Edukacija poljoprivrednika o održivim praksama ključna je za smanjenje emisija stakleničkih plinova u poljoprivredi. Edukacijski programi omogućavaju poljoprivrednicima steći znanja o najnovijim tehnologijama i metodama za smanjenje emisije stakleničkih plinova. Kroz radionice, terenske demonstracije i pristup digitalnim platformama, poljoprivrednici mogu naučiti o preciznoj poljoprivredi, konzervacijskoj obradi tla, učinkovitom korištenju gnojiva i optimalnom upravljanju stokom (FAO, 2019). Istraživanja su pokazala kako poljoprivrednici koji sudjeluju u edukacijskim programima imaju veću vjerojatnost primijeniti održive prakse u svom radu, što rezultira smanjenjem emisija GHG-a (Prokopy i sur., 2015). U Kanadi, program "Farm Environmental Management" omogućio je poljoprivrednicima edukaciju o smanjenju emisija stakleničkih plinova kroz upravljanje stajskim gnojivom i primjenu precizne poljoprivrede. Kao rezultat, mnogi poljoprivrednici su smanjili emisije GHG-a za 10-15% (Warren i sur., 2016). Slično tome, u Australiji je inicijativa "Carbon Farming Initiative" osposobila poljoprivrednike usvojiti prakse sekvestracije ugljika, čime su smanjili emisije i

povećali skladištenje ugljika u tlu.

Podizanje svijesti javnosti o ulozi poljoprivrede u klimatskim promjenama može motivirati društvo za podržavanjem održive prakse i politike koje smanjuju emisije stakleničkih plinova. Kampanje za podizanje svijesti pomažu u informiranju šire javnosti o povezanosti poljoprivrednih praksi i klimatskih promjena, te o tome kako promjene u ponašanju i podrška održivim praksama mogu pridonijeti smanjenju emisija GHG-a (Borges i sur., 2014). Kada su potrošači svjesni utjecaja poljoprivrede na okoliš, skloniji su podržati proizvode iz održivih izvora te poticati promjene u poljoprivrednim praksama. Kampanja "Cool Farm Tool" razvijena je u suradnji s poljoprivrednicima, nevladinim organizacijama i industrijom kako bi pomogla poljoprivrednicima procijeniti svoj utjecaj na klimu i prepoznati prilike za smanjenje emisija stakleničkih plinova. Ova digitalna platforma omogućava poljoprivrednicima izračunavanje svog ugljičnog otiska i dobivanje preporuke za smanjenje emisija (Hillier i sur., 2011). Još jedan primjer je kampanja "Meatless Monday," koja potiče potrošače za smanjenje konzumacije mesa, čime se smanjuje potražnja za proizvodnjom stoke i emisije metana iz stočarstva (Marlow i sur., 2009).

Budućnost poljoprivrede u svjetlu klimatskih promjena

Klimatske promjene predstavljaju jedan od najvećih izazova za budućnost poljoprivrede. Kako se globalna temperatura povećava, a vremenski obrasci postaju sve nepredvidljiviji, poljoprivredni sektor mora se sve više prilagođavati ovim promjenama. Prema izvješću Međuvladinog panela o klimatskim promjenama (IPCC), ako se trenutni trendovi emisija stakleničkih plinova nastave, globalne temperature će porasti za 1,5°C do 2°C do sredine ovog stoljeća (IPCC, 2019). Ovaj porast temperatura može smanjiti prinose usjeva poput pšenice, kukuruza i riže, posebno u sušnim i polusušnim regijama (Lobell i sur., 2011). Više temperature također mogu uzrokovati povećanje isparavanja vode iz tla, što dovodi do suše i što dodatno otežava poljoprivrednu proizvodnju. Klimatske promjene rezultiraju češćim i intenzivnijim ekstremnim vremenskim događajima poput suša, poplava, oluja i toplinskih valova. Ovi događaji mogu uništiti usjeve, smanjiti plodnost tla i prouzročiti gubitke u poljoprivrednoj proizvodnji (FAO, 2018). Poplave mogu isprati hranjive tvari iz tla, dok suše smanjuju dostupnost vode za usjeve i stoku. Kako temperature rastu, distribucija štetnika i bolesti se mijenja, što može uzrokovati dodatne izazove za poljoprivredu. Štetnici poput kukaca, gljivica i bakterija mogu postati otporniji na promjene u okolišu, što zahtijeva nove strategije za zaštitu usjeva (Deutsch i sur., 2018).

Kako bi se prilagodila klimatskim promjenama i smanjila vlastiti utjecaj na okoliš, poljoprivreda mora proći transformaciju prema održivijim modelima. Jedan od ključnih koraka prema održivoj poljoprivredi je uvođenje klimatski otpornih praksi, poput regenerativne poljoprivrede, konzervacijske obrade tla, rotacije usjeva, i integriranih sustava upravljanja štetnicima. Ove prakse ne samo da smanjuju emisije stakleničkih plinova, već također poboljšavaju otpornost poljoprivrednih sustava na klimatske stresove (Schreefel i sur., 2020). Sadnja pokrovnih usjeva može poboljšati plodnost tla, smanjiti eroziju i pomoći u sekvenciranju ugljika. Tehnološke inovacije, poput precizne poljoprivrede, dronova, senzora za mjerenje vlažnosti tla i satelitskog praćenja, omogućavaju učinkovitije korištenje resursa i smanjenje emisija stakleničkih plinova (Gebbers & Adamchuk, 2010). Digitalizacija poljoprivrede može pomoći poljoprivrednicima da donesu informirane odluke o vremenu sjetve, navodnjavanju i primjeni gnojiva, čime se smanjuju troškovi i povećava produktivnost. Agroekologija, koja se temelji na integraciji ekoloških načela u

poljoprivrednu proizvodnju, predstavlja održivi model poljoprivrede prilagođen klimatskim promjenama (Altieri i sur., 2017). Ovakav pristup naglašava diversifikaciju usjeva, recikliranje hranjivih tvari i minimiziranje upotrebe sintetičkih gnojiva i pesticida. Agroekološki modeli ne samo da smanjuju emisije stakleničkih plinova, već također povećavaju otpornost poljoprivrednih ekosustava na klimatske stresove. Agrošumarstvo može znatno povećati sekvestraciju ugljika, smanjiti emisije stakleničkih plinova i poboljšati bioraznolikost (Nair i sur., 2009). Drveće u agrošumarskim sustavima može pomoći u reguliranju mikroklima, zaštititi tla od erozije i pružiti dodatne izvore prihoda poljoprivrednicima kroz proizvodnju voća, drva i drugih proizvoda.

Zaključci

- Poljoprivreda je jedan od ključnih gospodarskih sektora koji doprinose emisijama stakleničkih plinova, ali istovremeno nudi i veliki potencijal za smanjenje tih emisija kroz uvođenje održivih praksi i inovacija. Temeljno razumijevanje emisija stakleničkih plinova u poljoprivredi, izvora, učinaka i načina smanjenja tih emisija, presudno je za oblikovanje održivije budućnosti poljoprivrede i za borbu protiv klimatskih promjena.
- Izvori emisija stakleničkih plinova u poljoprivredi, od kojih su najvažniji metan, dušikov oksid i ugljični dioksid, prvenstveno proizlaze iz procesa probave preživača, upravljanja stajskim gnojivom, primjene sintetičkih i organskih gnojiva te uzgoja riže. Ovi procesi ne samo da pridonose ukupnim emisijama stakleničkih plinova već također imaju značajan utjecaj na klimatske promjene. Stoga je ključno usvojiti poljoprivredne prakse koje mogu smanjiti emisije GHG-a, kao što su konzervacijska obrada tla, optimizacija prehrane stoke, učinkovito upravljanje gnojivom i stajskim gnojem, te uvođenje agrošumarstva.
- Metode smanjenja emisija stakleničkih plinova u poljoprivredi, poput konzervacijske obrade tla, poboljšanja prehrane stoke i korištenja tehnologije u preciznoj poljoprivredi, mogu značajno pridonijeti smanjenju ukupnih emisija. Na primjer, tehnike konzervacijske obrade tla mogu povećati sekvestraciju ugljika, dok optimizacija prehrane stoke može smanjiti emisije metana. Digitalne tehnologije i precizna poljoprivreda omogućavaju učinkovitiju upotrebu resursa, čime se smanjuje nepotrebna potrošnja gnojiva i vode, a time i emisije stakleničkih plinova.
- Poljoprivredne politike i poticaji krucijalan značaj u poticanju održivih praksi. Međunarodni sporazumi, poput Pariškog sporazuma, te europske i nacionalne politike pružaju okvire za promicanje održivih poljoprivrednih praksi. Poticaji, poput subvencija i financijske podrške poljoprivrednicima koji usvajaju održive prakse, omogućavaju tranziciju prema održivijoj poljoprivredi i smanjenje emisija GHG-a.
- Primjeri dobre prakse iz različitih regija pokazuju da je moguće značajno smanjiti emisije stakleničkih plinova usvajanjem inovativnih pristupa. Kroz regenerativnu poljoprivredu, preciznu poljoprivredu i agrošumarstvo, poljoprivrednici su uspjeli smanjiti emisije GHG-a i poboljšati otpornost svojih sustava na klimatske promjene. Ove prakse također pridonose boljem upravljanju prirodnim resursima, povećanju bioraznolikosti i očuvanju tla.
- Izazovi i prepreke u smanjenju emisija stakleničkih plinova u poljoprivredi uključuju financijske i tehničke zahtjeve, nedostatak edukacije i svijesti među poljoprivrednicima, te varijacije u klimatskim i zemljopisnim uvjetima. Rješavanje ovih izazova zahtijeva suradnju

između vlada, institucija, znanstvenih organizacija i samih poljoprivrednika kako bi se osigurala široka primjena održivih praksi.

- Istraživanja i inovacije su od vitalne važnosti za razvoj novih tehnologija i strategija za smanjenje emisija stakleničkih plinova. Inovacije u biotehnologiji, digitalne tehnologije i istraživanja sekvestracije ugljika u tlu nude realne mogućnosti za postizanje održive poljoprivrede. Također, razvoj novih biljnih sorti otpornih na klimatske stresove i uvođenje dodataka prehrani za stoku koji smanjuju emisije metana predstavljaju značajan napredak.
- Edukacija i podizanje svijesti poljoprivrednika i šire javnosti o važnosti smanjenja emisija stakleničkih plinova ključni su za usvajanje održivih praksi. Edukacijski programi i kampanje za podizanje svijesti pomažu poljoprivrednicima u stjecanju znanja o održivim praksama, dok informiranje javnosti potiče podršku za održivu poljoprivrednu proizvodnju.
- Budućnost poljoprivrede u kontekstu klimatskih promjena ovisit će o našoj sposobnosti prilagođavanja poljoprivredne prakse kako bi smanjili emisije stakleničkih plinova i poboljšali otpornost poljoprivrednih sustava. Kroz usvajanje inovativnih tehnologija, primjenu održivih praksi i jačanje edukacije i svijesti, cjelokupan poljoprivredni gospodarski sektor može doprinijeti ublažavanju klimatskih promjena i osigurati održivu proizvodnju hrane za buduće generacije.

Literatura:

1. Abad, C., Romanovskaya, A., Sperling, F., & Tubiello, F. (2014). Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
2. Altieri, M. A., Nicholls, C. I., & Montalba, R. (2017). Technological approaches to sustainable agriculture at a crossroads: an agroecological perspective. *Sustainability*, 9(3), 349. doi:10.3390/su9030349
3. Amon, B., Amon, T., Kryvoruchko, V., Zollitsch, W., Mayer, K., & Gruber, L. (2006). Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 112(2-3), 153-162. doi:10.1016/j.agee.2005.08.030
4. Amundson, R., & Biardeau, L. (2018). Soil carbon sequestration is an elusive climate mitigation tool. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(46), 11652-11656. doi:10.1073/pnas.1815901115
5. Beauchemin, K. A., Kreuzer, M., O'Mara, F., & McAllister, T. A. (2008). Nutritional management for enteric methane abatement: A review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48(2), 21-27. doi:10.1071/EA07199
6. BMEL. (2020). *Sustainable Agriculture Strategy*. Federal Ministry of Food and Agriculture.
7. Bongiovanni, R., & Lowenberg-DeBoer, J. (2004). Precision agriculture and sustainability. *Precision Agriculture*, 5(4), 359-387. doi:10.1023/B:PRAG.0000040806.39604.aa
7. Borges, J. A. R., Oude Lansink, A. G. J. M., & Ribeiro, C. M. (2014). Understanding

farmers' intention to adopt improved natural grassland using the theory of planned behavior. *Livestock Science*, 169, 163-174. doi:10.1016/j.livsci.2014.09.014

8. Butterbach-Bahl, K., Baggs, E. M., Dannenmann, M., Kiese, R., & Zechmeister-Boltenstern, S. (2013). Nitrous oxide emissions from soils: How well do we understand the processes and their controls? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368(1621), 20130122. doi:10.1098/rstb.2013.0122
9. Chataut, G., Bhatta, B., Joshi, D., Subedi, K., & Kafle, K. (2023). Greenhouse gases emission from agricultural soil: A review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 11, 100533. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100533>
10. Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Tigchelaar, M., Battisti, D. S., Merrill, S. C., Huey, R. B., & Naylor, R. L. (2018). Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. *Science*, 361(6405), 916-919. doi:10.1126/science.aat3466
11. European Commission. (2021). *The Common Agricultural Policy: 2023-2027*. https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/cap-overview/cap-2023-27_en
12. FAO. (2013). *Tackling climate change through livestock: A global assessment of emissions and mitigation opportunities*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
13. FAO. (2016). *The Agriculture Sectors in the Intended Nationally Determined Contributions: Analysis*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
14. FAO. (2018). *The 10 Elements of Agroecology: Guiding the Transition to Sustainable Food and Agricultural Systems*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
15. FAO. (2019). *Climate-Smart Agriculture: A Call for Action*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
16. Finger, R., Swinton, S. M., El Benni, N., & Walter, A. (2019). Precision Farming at the Nexus of Agricultural Production and the Environment. *Annual Review of Resource Economics*, 11, 313- 335. doi:10.1146/annurev-resource-100518-093929
17. Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., Mueller, N. D., O'Connell, C., Ray, D. K., West, P. C., Balzer, C., Bennett, E. M., Carpenter, S. R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockström, J., Sheehan, J., Siebert, S., Tilman, D., & Zaks, D. P. M. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478(7369), 337-342. <https://doi.org/10.1038/nature10452>
18. Friedrich, T., Derpsch, R., & Kassam, A. (2012). Overview of the global spread of conservation agriculture. *Field Actions Science Reports*, 6, 1-7.
19. Garnett, T., Appleby, M. C., Balmford, A., Bateman, I. J., Benton, T. G., Bloomer, P., Burlingame, B., Dawkins, M., Dolan, L., Fraser, D., Herrero, M., Hoffman, I., Smith, P., Thornton, P. K., Toulmin, C., Vermeulen, S. J., & Godfray, H. C. J. (2013). Sustainable intensification in agriculture: Premises and policies. *Science*, 341(6141), 33-34. <https://doi.org/10.1126/science.1234485>
20. Gebbers, R., & Adamchuk, V. I. (2010). Precision agriculture and food security. *Science*, 327(5967), 828-831. doi:10.1126/science.1183899
21. Gerber, P. J., Hristov, A. N., Henderson, B., Makkar, H., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes,

- F., Ott, T., Firkins, J., Rotz, A., Oltjen, J., Kebreab, E., Oosting, S., Adesogan, A., Yang, C., Beauchemin, K., McAllister, T., & Waghorn, G. (2013). Technical options for the mitigation of direct methane and nitrous oxide emissions from livestock: A review. *Animal*, 7(s2), 220-234. <https://doi.org/10.1017/S1751731113000876>
22. Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M., & Toulmin, C. (2010). Food security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(5967), 812-818. <https://doi.org/10.1126/science.1185383>
23. Hillier, J., Walter, C., Malin, D., Garcia-Suarez, T., Mila-i-Canals, L., Smith, P. (2011). Cool Farm Tool: A farm-focused calculator for emissions from crop and livestock production. *Environmental Modelling & Software*, 26(9), 1070-1078. doi:10.1016/j.envsoft.2011.03.014
24. Hristov, A. N., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Oosting, S. (2013). Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production: A review of technical options for non-CO₂ emissions. *FAO Animal Production and Health Paper*, 177, 1-206.
25. IPCC. (2014). *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, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C., Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
26. IPCC. (2019). *Climate Change and Land: An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Jose, S. (2009). Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: An overview. *Agroforestry Systems*, 76(1), 1-10. doi:10.1007/s10457-009-9229-7
27. Kinley, R. D., de Nys, R., Vucko, M. J., Machado, L., & Tomkins, N. W. (2020). The red macroalgae *Asparagopsis taxiformis* is a potent natural antimethanogenic that reduces methane production during in vitro fermentation with rumen fluid. *Animal Production Science*, 56(3), 282. doi:10.3390/ani10050817
28. Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304(5677), 1623-1627. doi:10.1126/science.1097396
29. Lal, R. (2015). Sequestering carbon and increasing productivity by conservation agriculture. *Journal of Soil and Water Conservation*, 70(3), 55A-62A. doi:10.2489/jswc.70.3.55A Lehmann, J., Gaunt, J., & Rondon, M. (2006). Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems – A review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11, 403–427. doi:10.1007/s11027-005-9006-5
30. Lobell, D. B., Schlenker, W., & Costa-Roberts, J. (2011). Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, 333(6042), 616-620. doi:10.1126/science.1204531
31. Marlow, H. J., Hayes, W. K., Soret, S., Carter, R. L., Schwab, E. R., & Sabaté, J. (2009). Diet and the environment: Does what you eat matter? *The American Journal of Clinical Nutrition*, 89(5), 1699S-1703S. doi:10.3945/ajcn.2009.26736Z
32. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation. (2015). *4 per 1000 Initiative: Soils for*

33. Montagnini, F., & Nair, P. K. R. (2004). Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 61(1), 281-295. doi:10.1023/B:AGFO.0000029005.92691.79
34. Montes, F., Meinen, R., Dell, C., Rotz, A., Hristov, A. N., Oh, J., Waghorn, G., Gerber, P. J., Henderson, B., Makkar, H. P., & Dijkstra, J. (2013). Special topics--Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: II. A review of manure management mitigation options. *Journal of animal science*, 91(11), 5070–5094. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6584>
35. Nair, P. K. R., Kumar, B. M., & Nair, V. D. (2009). Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172(1), 10-23. doi:10.1002/jpln.200800030
36. Petersen, S. O., Andersen, A. J., & Eriksen, J. (2012). Effects of cattle slurry acidification on ammonia and methane evolution during storage. *Journal of Environmental Quality*, 41(1), 88- 94. doi:10.2134/jeq2011.0184
37. Pretty, J., Benton, T. G., Bharucha, Z. P., Dicks, L. V., Flora, C. B., Godfray, H. C. J., Goulson, D., Hartley, S., Lampkin, N., Morris, C., Pierzynski, G., Tomich, T. P., & Wratten, S. (2018). Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification. *Nature Sustainability*, 1(8), 441-446. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0114-0>
38. Prokopy, L. S., Arbuckle, J. G., Barnes, A. P., Haden, V. R., Hogan, A., Niles, M. T., & Tyndall, J. (2015). Farmers and climate change: A cross-national comparison of beliefs and risk perceptions in high-income countries. *Environmental Management*, 56(2), 492-504. doi:10.1007/s00267-015-0504-2
39. Reganold, J. P., & Wachter, J. M. (2016). Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature Plants*, 2(2), 15221. doi:10.1038/nplants.2015.221
40. Schreefel, L., Schulte, R. P. O., de Boer, I. J. M., Schrijver, A. P., & van Zanten, H. H. E. (2020). Regenerative agriculture – the soil is the base. *Global Food Security*, 26, 100404. doi:10.1016/j.gfs.2020.100404
41. Smith, P., Bustamante, M., Ahammad, H., Clark, H., Dong, H., Elsidig, E. A., Haberl, H., Harper, R., House, J., Jafari, M., Masera, O., Mbow, C., Ravindranath, N. H., Rice, C. W., Robledo
42. Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S., O'Mara, F., Rice, C., Scholes, B., & Sirotenko, O. (2008). Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1492), 789-813. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2184>
43. Snyder, C. S., Bruulsema, T. W., Jensen, T. L., & Fixen, P. E. (2009). Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 133(3-4), 247-266. doi:10.1016/j.agee.2009.04.021
44. Tubiello, F. N., Salvatore, M., Córdor Golec, R. D., Ferrara, A., Rossi, S., Biancalani, R., Federici, S., Jacobs, H., & Flammini, A. (2015). The contribution of agriculture, forestry and

other land use activities to global warming, 1990-2012. *Global Change Biology*, 21(7), 2655-2660. <https://doi.org/10.1111/gcb.12865>

45. UN. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. United Nations.
46. UNFCCC. (2015). *The Paris Agreement*. United Nations Framework Convention on Climate Change. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>
47. Warren, F. J., Lemmen, D. S., & Canada in a Changing Climate: Sector Perspectives on Impacts and Adaptation. (2016). Chapter 4: Food Production, Supply and Distribution. In F. J. Warren & D. S. Lemmen (Eds.), *Canada in a Changing Climate: Sector Perspectives on Impacts and Adaptation* (pp. 99-134). Government of Canada.
48. West, T. O., & Post, W. M. (2002). Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: A global data analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 66(6), 1930-1946. doi:10.2136/sssaj2002.1930
49. Yan, X., Akiyama, H., Yagi, K., & Akimoto, H. (2009). Global estimations of the inventory and mitigation potential of methane emissions from rice cultivation conducted using the 2006 Intergovernmental Panel on Climate Change Guidelines. *Global Biogeochemical Cycles*, 23(2), GB2002. doi:10.1029/2008GB003299

Prof. dr. sc. Branimir K. Hackenberger,

Dr. sc. Tamara Đerđ,

Dr. sc. Domagoj K. Hackenberger,

Izv. Prof. dr. sc. Davorka K. Hackenberger