

Poročilo C1.1, Zvezek 6:

Potenciali za zmanjšanje emisij do leta 2050 in
srednjeročni izzivi

Zmanjšanje emisij in povečanje ponorov v sektorju LULUCF

Končno poročilo

LIFE ClimatePath2050 (LIFE16 GIC/SI/000043)

Poročilo *Potenciali za zmanjšanje emisij do leta 2050 in srednjeročni izzivi*, Zvezek 8: **Zmanjšanje emisij in povečanje ponorov v sektorju raba tal, sprememba rabe tal in gozdarstvo (LULUCF)**, pripravljeno v okviru projekta *LIFE Podnebna pot 2050, Slovenska podnebna pot do sredine stoletja* (LIFE ClimatePath2050 »*Slovenian Path Towards the Mid-Century Climate Target*«, LIFE16 GIC/SI/000043). Projekt izvaja konzorcij, ki ga vodi Institut »Jožef Stefan« (IJS), s partnerji: ELEK, načrtovanje, projektiranje in inženiring, d. o. o., Gradbeni Inštitut ZRMK (GI ZRMK), d. o. o., Inštitut za ekonomska raziskovanja (IER), Kmetijski inštitut Slovenije (KIS), PNZ svetovanje projektiranje, d. o. o., Gozdarski inštitut Slovenije (GIS) in zunanji izvajalci.

ŠT. POROČILA/REPORT N.:

Poročilo C1.1, Zvezek 6

DATUM/DATE:

31. maj 2018

AVTORJI/AUTHORS:

Boštjan Mali

Gal Kušar

Anže Japelj

Špela Planinšek, vsi GIS

REPORT TITLE/NASLOV POROČILA:

Deliverable C1.1 Mitigation potentials for reducing GHG emissions until 2050 and mid-term challenges, Part 6: Reduction of emissions and enhancement of removals in the sector land-use, land-use change (LULUCF)

Končno poročilo C1.1 Potenciali za zmanjšanje emisij do leta 2050 in srednjeročni izzivi, Zvezek 6: zmanjšanje emisij in povečanje ponorov v sektorju raba tal, sprememba rabe tal in gozdarstvo (LULUCF)

Vsebina

Povzetek	4
Summary	7
1 Izhodišča za vrednotenje potencialov	11
1.1 Stanje in trendi emisij LULUCF v emisijski bilanci Slovenije	11
1.2 Ukrepi za zmanjšanje emisij TGP in povečanje ponorov	13
1.2.1 Gozdna zemljišča	13
1.2.2 Njivske površine	15
1.2.3 Travinje	17
1.2.4 Mokrišča	19
1.2.5 Naselja	19
1.2.6 Druga zemljišča	19
1.2.7 Pridobljeni lesni proizvodi	20
2 Ocena tehničnega potenciala za zmanjšanje emisij TGP in povečanje ponorov	21
2.1 Tehnični potencial ukrepov na gozdnih zemljiščih	21
2.2 Tehnični potencial ukrepov na kmetijskih zemljiščih	23
2.3 Tehnični potencial ukrepov na drugih zemljiščih	23
3 Stroškovna učinkovitost ukrepov	24
4 Sezname	25
4.1 Seznam oznak in kratic	25
4.2 Seznam slik	25
4.3 Seznam tabel	25
4.4 Viri in literatura	25

Povzetek

V okviru projekta LIFE Podnebna pot 2050¹ je bilo pripravljeno *Poročilo C1.1, Potenciali za zmanjšanje emisij do leta 2050 in srednjeročni izzivi*, v katerem so predstavljene glavne ugotovitve analize potencialov za zmanjšanje emisij TGP, pripravljene v okviru projekta v obdobju med 2017 in 2021. Rezultati analiz so bili s pomočjo modelov, razvitih ali nadgrajenih v projektu, uporabljeni za modeliranje ukrepov, scenarijev in njihovih učinkov², kar je bilo ključna strokovna podlaga za *Dolgoročno podnebno strategijo Slovenije do leta 2050 (DPSS)*, *Nacionalnega energetskega podnebnega načrta Republike Slovenije (NEPN)*³; *Dolgoročne strategije energetske prenovе stavb do leta 2050*, *Operativnega programa nadzora nad onesnaževanjem zraka (OP NOZ)* in drugih strateških dokumentov.

Dokumentacijo analize potencialov oz. *Poročilo C1.1, Potenciali za zmanjšanje emisij do leta 2050 in srednjeročni izzivi* sestavlja več zvezkov:

- **Zvezek 0, Povzetek za odločanje**, kjer so izpostavljeni glavni rezultati analize potencialov;
- **Zvezek 1, Vloga novih tehnologij in goriv ter njihova perspektiva po sektorjih**, vključuje pregled tehnologij za katere se na podlagi inženirske ocene predvideva, da bi lahko v nekoliko daljši prihodnosti pomembno prispevale k zmanjšanju emisij toplogrednih plinov. Obravnavane so naslednje tehnologije: shranjevanje energije – toplotne in električne, vpliv shranjevanja energije na razvoj drugih tehnologij, gorivne celice, toplotne črpalke in odvečna toplota, vozila na električen in alternativne pogone (vodikove, plinske in druge), rešitve na področjih pametnih omrežij in snovne učinkovitosti ter prihodnje tehnologije v kmetijstvu;
- **Zvezek 2, Stavbe**, v katerem so celovito prikazani potenciali na področju zmanjševanja emisij TGP v sektorju stavb. Podan je pregled tehnologij in rešitev za zmanjšanje emisij TGP na ovoju stavbe, v sistemih v stavbah, prezračevanju, gospodinjskih aparatih in povzetek analize za razsvetljavo (celotna analiza je v Zvezku 7)⁴. Vključuje tudi dve posebni analizi: potencialov za zmanjšanje emisij TGP v stavbah kulturne dediščine in povzetek analize finančnih zmožnosti gospodinjstev za izvedbo ukrepov (celotna analiza je v Zvezku 2a). Predstavljena je tudi tipologija stavb, ki je osnova nadaljnjih analiz ter rezultati z oceno tehničnega in ekonomskega potenciala;
- **Zvezek 3, Promet**, v katerem je celovito prikazano potencialov na področju zmanjševanja emisij TGP v sektorju promet. Vključuje poglavja o ukrepih za zmanjšanje emisij TGP v prometu, dejavnikih, ki vplivajo na prometno delo, analizo novih tehnologij in storitev ter osnove za ocenjevanje vpliva na prometno delo, zmanjšanje emisij ter

¹ LIFE ClimatePath2050 (*Slovenian Path Towards the Mid-Century Climate Target*)

² Poročilo C3.2. Povzetek analize scenarijev za odločanje o Dolgoročni podnebni strategiji Slovenije do leta, Poročilo projekta LIFE Podnebna pot 2050.

³ Obveznost pogodbenic za pripravo dolgoročne strategije razvoja, usmerjenega v družbo z nizkimi emisijami toplogrednih plinov, je opredeljena v 4. členu 19. odstavku *Pariškega sporazuma*.

⁴ Horizontalna analiza tehnologij za področje razsvetljave za več sektorjev je podana v *Poročilu C1.1, Zvezku 7*.

druge koristi in vplive, obširno poglavje o e-mobilnost ter o alternativnih gorivih v prometu;

- **Zvezek 4, Industrija**, ki vključuje celovit prikaz potencialov na področju zmanjševanja emisij TGP v sektorju industrija. Zvezek povzema pregled tehnologij po panogah, tehnologije na področjih izkoriščanja odvečne toplote in obnovljivih virov energije ter drugih horizontalnih tehnologij. Podani so rezultati ankete o porabi energije v industriji, ocena tehničnega potenciala za zmanjšanje emisij TGP v energetske intenzivnih dejavnostih in horizontalnih tehnologij ter izhodišča za analizo potenciala za zmanjšanje emisij z ukrepi na področju snovne učinkovitosti v industriji;
- **Zvezek 5, Transformacije**, ki vključuje celovit prikaz potencialov na področju zmanjševanja emisij TGP v sektorju transformacij. Zvezek obravnava tehnične in ekonomske potenciale za hidroelektrarne, sončne elektrarne, jedrske elektrarne tehnološki in gorivni prehod (*technology switch*), zajem in shranjevanje ogljika, soproizvodnjo toplote in električne energije, male hidroelektrarne, fleksibilne tehnologije (*smart flex technology*), vetrne elektrarne na kopnem, napredna (pametna) omrežja, geotermalne elektrarne in koncentratorske sončne elektrarne. Shranjevanje električne energije, je v celoti, vključno s potenciali za prodor zrelih tehnologij, obravnavano v Zvezku 1;
 - **Zvezek 5a, Analiza potenciala plitve geotermalne energije v Sloveniji do leta 2050**, ki vključuje ekonomske vidike izkoriščanja geotermalne energije, dejavnike in omejitve njenega izkoriščanja, pripravo koncepta in modela za izračun potenciala, izračun na primeru Maribora in analizo potenciala za gosto poseljena območja za celotno Slovenijo;
 - **Zvezek 5b, Potencial sončnih elektrarn na strehah objektov v Sloveniji do leta 2050**, celovit prikaz potencialov na področju zmanjševanja emisij TGP s pridobivanjem električne energije v Sloveniji iz strešnih elektrarn in samostojnih elektrarn na degradiranih območjih. Analiza vključuje podatke o osončenju, površinah, klimatskih pogojih, degradaciji tehnologije z leti, razvoj tehnologij, možnih izkoristkih površin, ovirah, glede omrežja in povpraševanja oz. možnosti shranjevanja energije, ekonomske parametre za ocen potenciala, ter oceno tehničnega in ekonomskega potenciala.
 - **Zvezek 5c, Študija orientacij streh obstoječega stavbnega fonda v Sloveniji**, ki pomeni nadgradnjo analize potenciala sončnih elektrarn z natančnejšo analizo orientacije streh v Sloveniji na podlagi katastra stavb in aerolaserskega skeniranja, izračune ter rezultate izračunanih segmentov po razredih nagibov in orientacije streh;
- **Zvezek 6, Ostali sektorji - LULUCF**, kjer je celovito prikazano stanje na področju zmanjševanja emisij TGP in povečevanja ponorov v sektorju rabe zemljišč, spremembe rabe zemljišč in gozdarstvo (LULUCF), kjer so podani ukrepi in tehnični potencial na gozdnih, kmetijskih in drugih zemljiščih. Podana so tudi izhodišča za; vrednotneje ekonomskega potenciala;
- **Zvezek 7, Analiza - razsvetljava v Sloveniji do leta 2050**, v kateri so predstavljene perspektive na področju razvoja tehnologij in njihove uporabe v gospodinjstvih, industriji

in stavbah storitvenega sektorja ter zunanje razsvetljave, vključno z novimi tehnologijami;

- **Zvezek 8, Analiza dejavnikov, povezanih s finančnimi sposobnostmi gospodinjstev, ki vplivajo na odločanje o investicijah za učinkovito rabo energije**, ki podaja in dokumentira analizo v celoti. Predstavljeni rezultati vključujejo: značilnosti gospodinjstev, ki so izvedla posamezne investicije za učinkovito rabo energije, ki so uporabila spodbude Eko sklada, glede njihove opremljenosti in glede na sposobnosti za financiranje potrebnega obsega investicij;
- **Part 9. Financiranje prehoda v nizkoogljično družbo v Sloveniji – ključni izzivi in strateške usmeritve**, naslavlja naslednje vsebine in izzive: trenutno strukturo javnega financiranja, ki je pomembna za podnebje, naložbe v nizkoogljične možnosti, institucionalna ureditev, povezana z upravljanjem javnih podnebnih financ, ureditev finančnega sektorja, vprašanja distribucije in sprejemljivosti;
- **Zvezek 10: Metodologija**, v katerem so podana izbrana poglavja o metodologijah za ocene potencialov: okvir za oceno tehničnega in ekonomskega potenciala za izkoriščanje plitve geotermalne energije, ocena potenciala sončne energije, analiza dejavnikov povezanih s finančnimi sposobnostmi gospodinjstev za izvedbo ukrepov URE in OVE ter ocena potenciala za izkoriščanje odvečne toplote v industriji. V tem poročilu so izpostavljene izbrane metodologije, opisi ostalih uporabljenih metodologij so podani v posameznem zvezku;
- **Dodatek 1: Povzetek rezultatov in gradiva tehničnih delavnic**, obsega Poročilo o delavnici, program delavnice in predstavitev z delavnic: *Izkoriščanje trde biomase v energetske namene in potenciali do leta 2050, poroči in Prihodnost zemeljskega plina in razvoj niskoogljičnih nadomestnih goriv* obsega. Za gradiva z ostalih delavnic na področjih analize potencialov glej spletno stran projekta (*Poročilo 5.3. Gradiva objavljena na spletni strani projekta - sinteza delavnic analize scenarijev*).

Summary

The *Deliverable C1.1, A composite report: Climate Mitigation 2050 Potentials and Mid-term Challenges* presents the main findings of the analysis GHG emissions reduction potential prepared in the frame of the project LIFE ClimatePath2050⁵ in the period between 2017 and 2021. The results of the analyses of potentials were used in the models, developed or upgraded in the project for the assessment of several scenarios of measures as regards GHG emission reduction, air emission reduction, socio-economic impacts and impacts on sectorial development targets. The analyses were key expert basis for *Slovenian climate long-term strategy 2050 (LTS)*, final version of the *Integrated national energy and climate plan of the Republic of Slovenia (NECP)*, *National air pollution control programme* and *Long-term energy renovation strategy for 2050 (DSEPS 2050)* and other strategic documents.

The *Deliverable C1.1, A composite report: Climate Mitigation 2050 Potentials and Mid-term Challenges* consists of the following parts:

- **Part 0, Summary for decision-makers**, highlights the key results of the analysis of potentials;
- **Part 1, Role of new technologies and fuels and their perspectives by sector**, includes an overview of the GHG reduction potential of the following new technologies and fuels: electrical and thermal storage (short- and long-term), the impact of storage system on the deployment of the other technologies, fuel cells, waste heat and heat pumps, alternative fuels and electric mobility for transport of passengers and goods, smart grids, new technologies in agriculture and also potential for energy efficiency through material efficiency was presented;
- **Part 2, Deep renovation of buildings**, in this part, a comprehensive presentation of potentials for GHG reduction in building sector is given, including an overview of technologies and solutions on building envelope, heating and cooling systems in the buildings, household appliances and lighting (a summary⁶). Two specific analyses are included: analysis of GHG reduction potential at cultural heritage buildings and a summary of the analysis on financial capabilities of households to implement renewable energy (RES) and energy efficiency (EE) measures⁷. In this part, also includes a new typology of buildings, being a basis of the further analyses, and presents the final the results of the assessment of technical and economic potential for GHG emissions reduction in buildings.

⁵ LIFE ClimatePath2050 (*Slovenian Path Towards the Mid-Century Climate Target*)

⁶ In *Part 2*, summary on lighting in buildings is included, the entire analysis on prospect of lighting until 2050, is presented in *Deliverable C1.1, Part 7*, was carried out by external assistance of Fakulteta za elektrotehniko/Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana.

⁷ *Deliverable C1.1, Part 2a, Analysis of factors related to the financial capacity of households influencing energy efficiency investment decisions*, includes the entire analysis, carried out by external assistance of Center poslovne odličnosti Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, CPOEF, Centre of Business Excellence of the School of Economics and Business, University of Ljubljana,.

- **Part 3, Transport**, includes overview of potentials for GHG reduction in the transport sector. Includes chapters on GHG reduction measures in transport, factors influencing transport load, analysis of new technologies and services and basis for estimation of the impacts on transport load, emission reduction, other benefits and impacts, e-mobility and alternative fuels in transport;
- **Part 4, Industry**, includes overview of potentials for GHG reduction in the industrial sector. The overview of technologies includes technologies used in energy intensive branches by branch, waste heat use and horizontal technologies including energy efficient electric motors, compressed air, lighting, renewable energy technologies and cogeneration. The report presents also results of the pool among industrial companies and is concluded by the results of the assessment of technical potential for GHG emissions reduction in energy intensive industrial branches and by horizontal technologies;
- **Part 5, Transformation**, includes results of the analysis of GHG emission reduction potentials in the transformation sector. The analysis comprise overview of technical and economic potentials for hydroelectric power plants, solar power plants (summary), nuclear power plants, technology and fuel switching, carbon capture and storage, cogeneration of heat and electricity, small hydropower plants, smart flex technology, onshore wind farms, advanced (smart) networks, geothermal power plants and concentrator solar power plants. The energy storage is entirety, including the potential for penetration of mature technologies, discussed in Part 1 on new technologies;
 - **Part 5a, The analysis of shallow geothermal energy potential in Slovenia until 2050**, consists of overviews of economic aspects of geothermal energy exploitation, the other factors and limitations, preparation of concept and model for potential calculation, results for the case study Maribor and results of the analysis of potential for densely populated areas Slovenia;
 - **Part 5b, The analysis of the Photovoltaic Rooftop Potential in Slovenia by 2050**, provides a comprehensive presentation of potentials for reducing GHG emissions in Slovenia by electricity from rooftop PV systems and stand-alone systems in degraded areas Analysis includes data on insolation, surfaces, climatic conditions, technology degradation over the years, technology development, possible surface utilization, barriers, electricity grid, demand, energy storage options, economic parameters for potential assessments, and the results of the assessment of technical and economic potential;
 - **Part 5c, Study of roof orientations of the existing building stock in Slovenia**, presents results of an upgrade of the analysis photovoltaic rooftop potential, including a more detailed analysis of roofs orientation. The analysis includes data on cadastre and airborne laser scanning, calculations and results of the calculated segments by classes of slopes and roof orientation;
- **Part 6, Other Sectors - LULUCF**, which presents the situation in the field of reducing GHG emissions and increasing sinks in the sector of land use, land use change and forestry (LULUCF), and gives overview of measures and analysis technical potential in forest, land and other land categories.

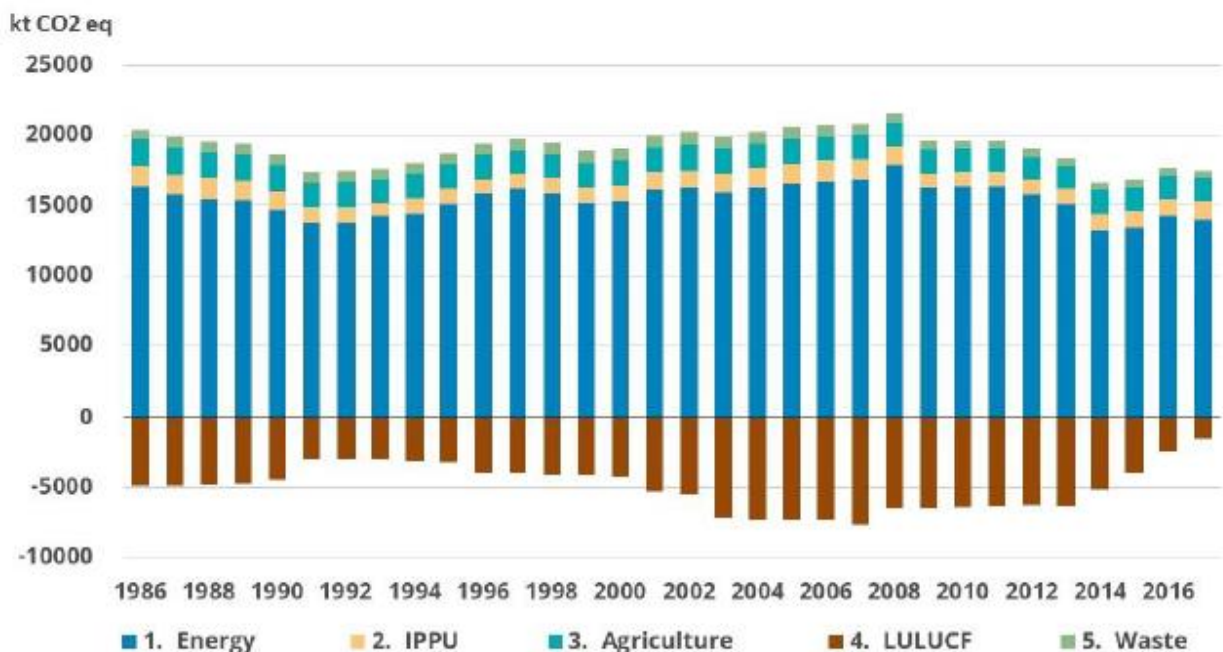
- **Part 7, Analysis lighting in Slovenia until 2050**, which presents perspectives in the field of lighting technology development and their use in households, industry and buildings of the service sector and outdoor lighting, including new technologies.
- **Part 8, The Analysis of financial capacity factors influencing investment choices of end users**, includes analyses of characteristics of households that have made individual investments for energy efficiency, which have used the incentives of the Eco fund, characteristics of households and their equipment, and in terms of ability to finance the required volume of investments;
- **Part 9, Financing transition to low-carbon society in Slovenia - Key challenges and guidance towards policy strategies**, is addressing the following topics and challenges: current structure of public financing with climate relevance, investments in low-carbon options, institutional set up related to the governance of public climate finances, financial sector's set-up and distributional issues and acceptance;
- **Part 10, Methodology**, which provides selected chapters on methodologies for potential assessments: framework for assessing technical and economic potential for shallow geothermal energy, assessment of solar energy potential, analysis of factors related to household financial capacity to implement EEU and RES measures and assessment of the potential for exploitation of excess heat in industry. Selected methodologies are highlighted in this report, while the other methodologies are described in parts 1-7 of this composite report;
- **Supplement 1, Summary of results and materials of technical workshops**, includes summaries of the outcomes, agendas and presentations of workshops: *Exploitation of solid biomass for energy purposes and potentials until 2050, reports* and *The future of natural gas and development of carbon-free alternative fuels includes*. Material of the other workshops on the analysis of potentials, see the project website (and *Deliverable C5.3, Documentation published on the project web page: A Synthesis of Outcomes and Documentation of Workshops on Scenario Analysis*).



1 Izhodišča za vrednotenje potencialov

1.1 Stanje in trendi emisij LULUCF v emisijski bilanci Slovenije

Neto emisije v sektorju Raba zemljišč, spremembe rabe zemljišč in gozdarstvo (LULUCF) so leta 2017 znašale -1524 Gg CO₂ ekv, kar je razvidno iz nacionalnega poročila NIR 2019. Neto emisije tega sektorja so bile v baznem letu (1986) -4850 Gg CO₂ ekv, največje pa leta 2007, in sicer -7662 Gg CO₂. Tega leta so bile skupne emisije Slovenije brez sektorja LULUCF 20847 Gg CO₂ ekv oz. s sektorjem LULUCF 13185 Gg CO₂ ekv, pri čemer so neto emisije iz sektorja LULUCF takrat predstavljala slabih 37 % skupnih emisij. Po letu 2013 so neto emisije v sektorju LULUCF precej upadle in so leta 2017 predstavljale slabih 9 % skupnih emisij (slika 1).



Slika 1: Emisije TGP v Sloveniji po sektorjih (NIR 2019)

Sektor LULUCF sestavlja šest kategorij zemljišč in kategorija pridobljeni lesni proizvodi (HWP), v skladu z določbami UNFCCC in navodili dobre prakse (IPCC, 2006). K skupnim emisijam sektorja največ prispeva kategorija gozdna zemljišča, ki je v letu 2017 predstavljala približno 76 %, v baznem letu pa kar 93 % teh emisij (preglednica 1). Vendar je treba poudariti, da je za obdobje 1986-2000 na voljo manj kakovostnih podatkov, ki so nacionalno specifični, zato so tudi ocene emisij za posamezne kategorije lahko manj zanesljive.

V obdobju 2014-2017 so bili gozdovi precej podvrženi naravnim motnjam (žledolom, gradacije podlubnikov, vetrolomi), zaradi česar se je posek v gozdovih precej povečal (za dobrih 50 %). Posledično se je akumulacija lesne zaloge v gozdovih postopno zmanjševala, rezultat tega pa je bil manjši ponor v gozdovih. Ta se je zmanjšal za 74,5 %, v sektorju LULUCF pa za 68,6 % glede na višino emisij v baznem letu.

Preglednica 1: Emisije TGP v sektorju LULUCF (Gg CO₂ ekv)

Kategorija	1986	2017	Sprememba, %
Gozdna zemljišča	-4535,2	-1154,8	-74,5
<ul style="list-style-type: none"> Gozdna zemljišča, ki ostanejo gozdna zemljišča Zemljišča, spremenjena v gozdna zemljišča Druge emisije 	-4577,1 23,9 18,0	-657,4 -511,0 13,6	-85,6 -2238,1 -24,4
Njivske površine	-110,3	-151,6	37,5
<ul style="list-style-type: none"> Njivske površine, ki ostanejo njivske površine Zemljišča, spremenjena v njivske površine Druge emisije 	-238,7 128,4 /	-176,3 24,7 /	-26,1 -80,8 /
Travinje	-215,0	-343,5	59,7
<ul style="list-style-type: none"> Travinje, ki ostane travinje Zemljišča, spremenjena v travinje Druge emisije 	130,5 -346,6 1,1	-332,3 -12,4 1,2	-354,6 -96,4 9,1
Mokrišča	2,4	1,7	-28,6
<ul style="list-style-type: none"> Mokrišča, ki ostanejo mokrišča Zemljišča, spremenjena v mokrišča Druge emisije 	/ 2,4 /	/ 1,7 /	/ -28,6 /
Naselja	441,0	199,5	-54,8
<ul style="list-style-type: none"> Naselja, ki ostanejo naselja Zemljišča, spremenjena v naselja Druge emisije 	-56,5 457,8 39,7	-110,1 288,7 20,9	94,9 -36,9 -47,4
Druga zemljišča	15,0	5,3	-64,3
<ul style="list-style-type: none"> Druga zemljišča, ki ostanejo druga zemljišča Zemljišča, spremenjena v druga Druge emisije 	/ 14,4 0,6	/ 5,0 0,3	/ -65,3 -50,0
Pridobljeni lesni proizvodi	-457,0	-85,7	-81,2
<ul style="list-style-type: none"> Papir Lesne plošče Žagan les 	-22,1 -82,1 -352,8	4,2 -39,3 -50,6	-119,0 -52,1 -85,7
LULUCF	-4849,8	-1524,3	-68,6
Skupne emisije brez LULUCF	20414,5	17453,5	-14,5
Skupne emisije z LULUCF	15564,7	15929,2	2,3

Ostale kategorije v sektorju LULUCF, kot so njivske površine, travinje itd., v primerjavi z gozdnimi zemljišči prispevajo precej manj neto emisij TGP. Trend oz. sprememba emisij glede

na bazno leto kaže, da so neto emisije relativno stabilne na njivskih površinah in na mokriščih, nekoliko se povečujejo ponori na travinju, medtem ko se neto emisije zmanjšujejo v naseljih, na drugih zemljiščih in kot posledica proizvodnje pridobljenih lesnih proizvodov. Največje relativne razlike med baznim letom in letom 2017 so v kategorijah zamljišča, spremenjena v gozdna zemljišča, kar je posledica zaraščanja na opuščeni kmetijskih površinah oz. prehajanja v gozdove.

Od toplogrednih plinov je v sektorju LULUCF najpomembnejši CO₂, prispevek drugih plinov, ki so vključeni v druge emisije (preglednica 1) je praktično zanemarljiv. Te emisije so v glavnem posledica gozdnih požarov (N₂O, CH₄), neposrednih emisij N₂O zaradi mineralizacije oz. imobilizacije dušika v povezavi z izgubo organske snovi v tleh (sprememba rabe zemljišč) in posrednih emisij N₂O zaradi spiranja in odtoka dušika.

1.2 Ukrepi za zmanjšanje emisij TGP in povečanje ponorov

1.2.1 Gozdna zemljišča

Ukrepi na gozdnih zemljiščih se zdijo ključni za potek neto emisij v sektorju LULUCF do leta 2050. Tehnični potencial za zmanjšanje emisij TGP in povečanje ponorov je na enoto površine največji na gozdnih zemljiščih in vključuje povečanje oz. ohranjanje površine gozdov, povečanje zaloge ogljika v gozdovih ter varstvo in obnovo gozdov, s katerim se gospodari. Med varstvenimi ukrepi je zagotovno pomembno tudi preprečevanje negativnih vplivov naravnih ujm in biotskih dejavnikov, kot so gradacije lubadarjev, vendar je ta potencial težko oceniti. Med takimi ukrepi so tudi gozdnogojitveni, kot je uravnavanje drevesne sestave, npr. premene smrekovih gozdov v mešane sestoje ali zmanjšanje deleža smreke v kolinskem (nižinskem) vegetacijskem pasu. Med ukrepi, katerim smo ocenili potencial, so še preprečevanje gozdnih požarov in obnova gozdov, ki se nanaša na sanacijo poškodovanih gozdov s sadnjo in setvijo (preglednica 2).

1.2.1.1 Povečanje površine gozdov

Povečanje površine gozdov pomeni širjenje gozda na zemljišča, ki niso gozdna. Spreminjanje negozdnih zemljišč v gozdna lahko poteka s pogozdovanjem in/ali naravnim zaraščanjem. Površina gozdnih zemljišč v Sloveniji je okoli 1,2 mio ha, kar predstavlja gozdnatost cca. 60 %. Zaradi sorazmerno velike gozdnatosti večanje površine gozdov ne poteka s pogozdovanjem (tj. sadnja in setev gozdnih drevesnih vrst), ampak preko naravnega zaraščanja. To je predvsem posledica opuščanja dejavnosti na kmetijskih zemljiščih, kar je sicer značilno za celo Evropo. Trenutno je v zaraščanju okoli 27.000 ha kmetijskih zemljišč (razred 1410). Poleg tega je 12.000 ha kmetijskih zemljišč, poraslih z gozdnim drevjem (razred 1800) in malo manj kot 33.000 ha zemljišč z drevesi in grmičevjem (razred 1500). Skupna površina, ki lahko srednjeročno preide v gozd, je torej 72.000 ha. Vendar je treba omeniti, da imajo lastniki zemljišč (v roku 20 let od začetka zaraščanja) pravico, da na teh zemljiščih kadarkoli vzpostavijo prvotno rabo, kar je v skladu z varovanjem kmetijskih zemljišč. Veliko teh zemljišč tudi nima potenciala, ki ustreza minimalnim kriterijem za definicijo gozda (tj. minimalna površina, pokrovnost in višina dreves). Pričakovati je, da se bo zaraščanje nadaljevalo zlasti tam, kjer so pogoji za kmetijsko dejavnost neugodni (tj. območja z večjo nadmorsko višino, strmimi legami in

plitvimi tlemi) in na območjih, kjer je že sedaj gozdnatost nadpovprečna (npr. Kočevsko) Prostorska analiza sprememb rabe zemljišč v obdobju 2012-2018 je pokazala, da je iz teh kmetijskih zemljišč prešlo v gozd 3000 ha, ali v povprečju 500 ha letno. Do leta 2050 bi lahko preko zaraščanja prešlo v gozd okoli 15.000 ha kmetijskih zemljišč, vendar pa se površina gozdov ne bo bistveno povečala, če bo obseg krčitev v prihodnje ostal podoben kot je danes (tj. cca. 350 ha letno).

Preglednica 2: Ukrepi na gozdnih zemljiščih

Ukrepi	Tehnični potencial (t CO ₂ ekv ha ⁻¹ leto ⁻¹)	Enostavnost izvajanja	Stroški izvajanja
Povečanje/ohranjanje površine gozdov			
• naravno zaraščanje	51,5	+	+
• preprečevanje krčitev	235 – 263 ¹	++	+
Povečanje zaloge ogljika v gozdovih			
• živa biomasa	4,66	++	+++
• odmrli les	0,30	+	+
• opad	0,51 ²	+	+
• organski ogljik v tleh	1,28 – 1,50 ^{3, 4, 5}	+	+
Varstvo gozdov			
• preprečevanje gozdnih požarov	67	++	+++
Obnova gozdov			
• umetna obnova s sadnjo in setvijo	6,50 ⁵	+++	+++

Viri: ^{1, 4}Paquel et al., 2017; ²Walter et al, 2014; ³Grüneberg et al., 2014; ⁴Wellbrock et al., 2017; ⁵Jonard et al., 2017

1.2.1.2 Povečanje zaloge ogljika v gozdovih

Zaloga ogljika v gozdovih je vsota zaloge ogljika v živi biomasi (podzemna in nadzemna), odmrlem lesu, opadu in organskem ogljiku v mineralnem delu tal. Povečanje zaloge ogljika v nadzemni biomasi je rezultat letne akumulacije lesne zaloge gozdov, ki je razlika med letnim prirastkom in izgubami (mortaliteta in posek). Lesna zaloga slovenskih gozdov je bila v letu 2018 slabih 329 m³ ha⁻¹. Ocenjuje se, da bi lesno zalogo lahko stabilizirali pri okoli 400 m³ ha⁻¹ do leta 2040. Zaloga odmrlega lesa je bila leta 2018 okoli 24 m³ ha⁻¹ in se je v zadnjih šestih letih povečala za cca. 20 %, predvsem na račun sušic in povečane sečnje. Pričakovati je, da bo trend rasti zaloge ogljika v odmrlem lesu do leta 2050 precej počasnejši kot v preteklih letih. Relativno dober potencial za ponore v gozdovih imata tudi opad in tla, vendar nacionalnih podatkov trenutno ni na voljo.

Podatki iz monitoringa gozdnih tal na nacionalni ravni v Franciji in Nemčiji kažejo, da se je zaloga organskega ogljika v mineralnem delu tal v preteklem obdobju povečala od 0,35 do 0,41 t C ha⁻¹ leto⁻¹, kar pomeni, da tla delujejo kot dober ponor emisij. Glede na to, da je gospodarjenje v Sloveniji sonaravno in da je golosečni sistem gospodarjenja, z gozdovi

prepovedan že od leta 1947, lahko sklepamo, da se zaloga v obeh skladiščih (opad, tla) povečuje. Zato bi morali monitoring gozdnih tal obravnavati prednostno in pridobiti podatke na nacionalni ravni čimprej.

1.2.1.3 Varstvo gozdov

Preprečevanje gozdnih požarov vključuje preventivne ukrepe, kot so gradnja protipožarne infrastrukture (gozdne ceste, poti, zidovi, izogibališča, vstopne ploščadi, namensko urejeni vodni viri) in aktivne ukrepe ob pojavu gozdnega požara, kot je gašenje. Protipožarni ukrepi se okvirno določijo v gozdnogospodarskih načrtih, podrobno pa v načrtih varstva gozdov pred požari, kar določa 14. člen Pravilnika o varstvu gozdov. V zadnjih dvajsetih letih je skupaj pogorelo več kot 5.000 ha gozdnih površin oz. v povprečju okoli 250 ha letno. Približno na vsakih 5 let se v Sloveniji zgodi večji požar, in sicer na površini vsaj 600 ha. Večina gozdnih požarov se pojavi na gozdnogospodarskem območju Sežana.

1.2.1.4 Obnova gozdov

Ukrep obnova gozdov se nanaša na umetno obnavljanje gozdov s sadnjo in setvijo na območjih poškodovanih gozdov, kjer je le-te treba sanirati in na območjih, kjer je naravno pomlajevanje gozdov težavno oz. neuspešno. Ob predpostavki, da je površina gozdov okoli 1,2 mio ha in če upoštevamo obhodnjo okoli 120 let, bi morali v urejenih razmerah letno pomladiti 10.000 ha gozdov (Perko, 2018). V obdobju 2008-2017 je bila umetna obnova s sadnjo izvedena le na okoli 300 ha letno. To je daleč od realnih potreb, ki narekujejo umetno obnovo gozdov na najmanj 1500 ha letno. Po navedbah Zavoda za gozdove Slovenije je umetna obnova na 500 ha letno dolgo veljala za najmanjšo površino take obnove, pri kateri lahko še vedno govorimo o aktivnem usmerjanju razvoja gozdov (Westergren et al., 2016). Pričakujemo lahko, da se bo vpliv podnebnih sprememb, kot so naravne ujme, gradacije podlubnikov, gozdni požari itd. na gozdove v prihodnje še stopnjeval. Čeprav je obnova gozdov s sadnjo in setvijo najdražji gozdnogojitveni ukrep, bi morali njen delež precej povečati, to pa zahteva systemske rešitve na področju financiranja umetne obnove in oživitve drevesnic z gozdnim sadilnim materialom.

1.2.2 Njivske površine

Kmetijski ukrepi v okviru sektorja LULUCF so vezani na rabo kmetijskih tal oz. zemljišč. Ti vključujejo obdelavo tal, gojenje oz. pridelavo metuljnic, ozelenitev njiv, diverzifikacijo in širitev kolobarja ter bilančni presežek dušika (preglednica 3). Ker nacionalnih podatkov ni na razpolago, smo tehnični potencial na enoto površine povzeli iz tuje literature.

1.2.2.1 Obdelava tal

V primerjavi s konvencionalno obdelavo tal dva ukrepa obdelave tal kažeta potencial za zmanjšanje emisij, in sicer neposredna setev ter t.i. konzervirajoča obdelava tal. Konvencionalna obdelava tal prevladuje v Evropi in tudi v Sloveniji, kjer prevladujejo talni tipi z večjo vsebnostjo gline (t.i. težka tla). Pri konvencionalni obdelavi tal gre za vsakoletno srednje globoko in globoko oranje s plugom, kateremu običajno sledi dopolnilna (predsetvena) obdelava s stroji, da se poravna površina in zdrobijo grude. Zaradi tega pri konvencionalni obdelavi tal v primerjavi z ostalima dvema porabimo največ delovnih ur in operacij z delovnimi agregati (Ljubec, 2014). Pri konzervirajoči obdelavi se tla ne obračajo, ampak le premeša in zrahlja, za kar je potreben rahljalik ali poseben kultivator. Neposredna setev je setev v strnišče ali v

neobdelana tla, za kar potrebujemo posebne stroje. V primerjavi s konvencionalno obdelavo tal tako konzervirajoča obdelava tal, kot tudi neposredna setev povečujeta organsko snov v tleh, saj je mineralizacija počasnejša. Poleg tega je po konzervirajoči obdelavi vsaj 30 % površine pokrito z rastlinskimi ostanki, pri neposredni setvi pa okoli 90 % zemljišča, zato oba načina zmanjšujeta vetrno in vodno erozijo. Nedavne raziskave so pokazale, da je razlika v akumulaciji organske snovi med tema dvema načinoma in konvencionalnim manjša, kot so kazale starejše študije (Powlson, 2014). Zato je pri njihovi uporabi treba upoštevati talni tip in značilnosti podnebja, ukrep pa kombinirati z drugimi kmetijskimi praksami, kot so pokrivni posevki in dolgo kolobarjenje. V Sloveniji sta konzervirajoča obdelava tal in neposredna setev v porastu in se danes uporabljata na 15 % njivskih površin ali na približno 27.000 ha. Cilj je povečati delež površin z zmanjšano obdelavo tal na 30 %.

1.2.2.2 Gojenje/pridelava metuljnic

Metuljnice lahko shranjujejo atmosferski dušik s pomočjo simbiotskih bakterij v vozliščih koreninskega sistema. Setev metuljnic na njive izboljša plodovitost kmetijskega sistema. Pri žitnih posevkih se to lahko opravi s samostojnim sejanjem beljakovinskih posevkov/metuljnic ali z vmesnimi kulturami (pomešano z drugimi vrstami). Na začasnih traviščih se lahko krmne metuljnice posejejo samostojno ali v kombinaciji s travnimi vrstami. Beljakovinski posevki/metuljnice (grah, volčji bob, bob, soja, leča, čičerika,...) danes rastejo le na 1,8 % njivskih površin v EU. V Sloveniji je cilj pridelava metuljnic na okoli 10 % obdelovalnih površin in 40 % začasnih travišč, kar je skupaj okoli 19.000 ha.

1.2.2.3 Ozelenitev njiv

Pokrivni posevki so posevki, posajeni za obnavljanje rodovitnosti in kakovosti tal ter hkrati prispevajo k boljši vodni bilanci, zatiranju plevela, škodljivcev, boleznim in k biotski raznovrstnosti ter k prostoživeče živali v agro-ekosistemih (vključuje naknadne posevke, pokrivne posevke, zeleno gnojenje in divjo vegetacijo). Cilj ukrepa je preprečiti izpiranje dušika, fiksiranje atmosferskega dušika v tleh z uporabo metuljnic, izboljšanje stanja tal, izogibanje eroziji itd. Na splošno vse opisane vrste pokravnih rastlin izboljšajo kakovost tal v kratkem do srednjeročnem obdobju, zmanjšujejo potrebe po uporabi dušikovih gnojil, ki vodijo do emisij N_2O . Ta ukrep je še posebej primeren za drevesne pridelke v vseh evropskih tipih podnebja z vzporedno koristjo zmanjšanja škropljenja s herbicidi, kar spet povzroči zmanjšanje emisij CO_2 (upoštevati je treba, da te predpostavke ni mogoče razširiti na orne površine - njive). Poleg tega je medoranje agronomska praksa, ki vključuje uporabo naknadnih posevkov (kot npr. fižol, detelja ali grah), ki pokrivajo golo zemljo po drugih posevkih. Tehnika medoranja, kadar vključuje metuljnice, zaradi fiksacije atmosferskega dušika, nadomesti veliko količino sintetičnih gnojil dušika. Nazadnje vsi ukrepi dolgoročno prispevajo k povečanju skladiščenja ogljika v tleh. Zato je cilj tega ukrepa zagotoviti 100 % pokritost kmetijskih površin s pokravnimi posevki. V letu 2018 se je ozelenitev, kot vsota vseh ukrepov za ozelenitve, izvajala na 32 % njiv (cca. 58.000 ha). Pričakovati je, da se bo ta ukrep, kot tudi trend teh praks, nadaljeval v prihodnje.

Preglednica 3: Ukrepi na njivskih površinah

Ukrepi	Tehnični potencial (t CO ₂ ekv ha ⁻¹ leto ⁻¹)	Enostavnost izvajanja	Stroški izvajanja
Obdelava tal <ul style="list-style-type: none"> neposredna setev konzervirajoča obdelava tal 	0 – 0,80 ^{1,2}	++	++
Gojenje/pridelava metuljnic <ul style="list-style-type: none"> posevki metuljnic (detelja, lucerna) 	0,55 ¹	+	+
Ozelenitev njiv <ul style="list-style-type: none"> pokrivni posevki 	0,88 – 1,47 ³	+	+++
Diverzifikacija in širitev kolobarja <ul style="list-style-type: none"> menjavanje kultur 	5,36 ⁴	++	+
Bilančni presežek dušika <ul style="list-style-type: none"> neto bilanca dušika 	0,34 ¹	+++	++

Viri: ¹Domingo et al., 2014; ²Powlsen et al., 2014; ³Poeplau and Don, 2015; ⁴Smith et al., 2008

1.2.2.4 Diverzifikacija in širitev kolobarja

Kolobar je sistem vrstenja različnih poljščin in zelenjadnic na nekem prostoru v določenem času. Kolobar predstavlja kompromisno rešitev, pri kateri vrstenje prilagodimo upoštevanju osnovnih bioloških zakonitosti. Posamezne kmetijske rastline v kolobarju imenujemo kolobarni členi, ki jih lahko vsako leto na njivskih površinah sejemo, bodisi kot glavne posevke, naknadne neprezimne posevke in naknadne prezimne posevke. Kolobar ima v primerjavi z ostalimi kmetijskimi ukrepi relativno velik tehnični potencial za zmanjšanje emisij na enoto površine, poleg tega pa tudi vrsto drugih koristi. Med te spadajo npr. izboljšanje strukture in rodovitnosti tal, izboljšanje pridelkov in kakovosti gojenih rastlin, ohranjanje in izboljšanje biotske raznovrstnosti, preprečevanje erozije in izboljšanje upravljanja s tlemi itd. V letu 2018 se je petletni kolobar izvajal na 37 % njiv (cca. 67.0000 ha), ta delež pa bi lahko v prihodnje še povečali.

1.2.2.5 Bilančni presežek dušika

Ta pristop poudarja možnosti za napredek na ravni kmetije. Metoda zahteva letne podatke na ravni kmetije o vnosu dušika na kategorijo (količino mineralnih gnojil, gnoja in dušika, povezanega s pašo, količine dušika, shranjenega v tleh zaradi pridelava metuljnic,...). Za izračun letne proizvodnje dušika na ravni kmetije potrebujemo podatke o donosih in površinah za vsako kulturo (žita, sadje, travinje itd.). Letni presežek dušika se izračuna na podlagi razlike med vhodi in izhodi dušika na ravni kmetije. Gnojenje na podlagi analiz N_{min} trenutno poteka na cca. 37 % njiv oz. 67.000 ha.

1.2.3 Travinje

Ukrepi na trajnem travinju, za katere smo pridobili podatke o tehničnem potencialu iz tujih virov, so gnojenje travnikov, setev metuljnic, sprememba rabe zemljišč ter pašništvo. Med temi ukrepi

ima zanimivo največji tehnični potencial na enoto površine setev metuljnic, kateremu sledi gnojenje travnikov. Ukrepi na trajnem travinju imajo v povprečju večji tehnični potencial na enoto površine, kot tisti na njivskih površinah. Kljub temu je treba biti pri uporabi teh podatkov previden, saj niso bili pridobljeni v okviru domačih raziskav.

1.2.3.1 Gnojenje travnikov

Za trajno travinje velja, da ga iz različnih vzrokov ne moremo in/ali ne želimo spremeniti v drugo kulturo. Takšen travnati svet lahko z gnojenjem in rabo tako rekoč poljubno spreminjamo v skladu s potrebami kmetije po količini in kakovosti travniškega pridelka. Natančnejše smernice za strokovno utemeljeno gnojenje v Sloveniji so podali Mihelič et al. (2010). Smernice opredeljujejo gnojenje na dvo-, tro- in štirikosnih travnikih ter posebej za planinske pašnike in pašno-kosno rabo travnikov. Podatki SURS za leto 2016 kažejo, da je bil glavni del rastlinskih makrohranil iz mineralnih gnojil uporabljen za gnojenje poljščin (72 %) in manjši del za gnojenje trajnih travnikov in pašnikov (23 %). Poraba mineralnih gnojil na kmetijskih zemljiščih je sicer dokaj stabilna. V letu 2018 je bilo v kmetijstvu porabljenih okoli 129.000 ton mineralnih gnojil.

1.2.3.2 Setev metuljnic

Setev metuljnic je ukrep, ki se lahko uporablja za obnovo travinja. Ocenjuje se, da je optimalna prisotnost metuljnic na trajnem travinju med 10 in 30 %, ostalo zavzemajo trave in zeli. Obnova travinja za dvig konkurenčne pridelave vključuje npr. uporabo črne in švedske detelje (vsejevanje za kosno rabo) ter vsejevanje bele detelje, ki bolj uporabna za pašno rabo.

Preglednica 4: Ukrepi na trajnem travinju

Ukrepi	Tehnični potencial (t CO ₂ ekv ha ⁻¹ leto ⁻¹)	Enostavnost izvajanja	Stroški izvajanja
Gnojenje travnikov			
• organska in sintetična gnojila	2,09 ¹	+	++
Setev metuljnic	2,42 ¹	+	+
• setev metuljnic na travinju			
Sprememba rabe zemljišč			
• njivske površine v travinje	1,71	+	+
Pašništvo	1,03 ¹	++	++
• optimiranje paše			

Vir: ¹Conant et al., 2017

1.2.3.3 Sprememba rabe zemljišč

Eden od najučinkovitejših načinov za zmanjšanje emisij je omogočiti ali spodbuditi preusmeritev kmetijskih površin v drugo kategorijo površin, navadno takšno, ki je podobna naravni vegetaciji. Preoblikovanje se lahko zgodi na celotni površini (primer »prahe«) ali le na posameznih mestih, kot so npr. zatravljene poplavne površine, omejki in zavetišča. Takšna sprememba rabe tal pogosto poveča skladiščenje C; na primer, pretvorba njivskih površin v travnike običajno

povzroči akumulacijo C zaradi manjših motenj v tleh in zmanjšane odstranitve C v spravljenih pridelkih. V primerjavi z obdelovalnimi zemljišči lahko travinja zmanjšajo tudi emisije N₂O zaradi nižjih vnosov N in višjih stopenj oksidacije CH₄, čeprav je obnovitev sposobnosti oksidacije lahko počasna. Podobno lahko pretvorba izsušenih zemljišč nazaj v mokrišča povzroči hitro kopičenje ogljika v tleh (odstranjanje atmosferekega CO₂), po drugi strani pa lahko ta pretvorba spodbudi emisije CH₄, ker poplavljenost ustvarja anaerobne pogoje. Tudi s sadnjo dreves lahko zmanjšamo emisije, vendar te prakse veljajo za pogozdovanja v okviru kmetijsko-gozdarskega sistema. Ker pretvorba zemljiškega pokrova (ali rabe tal) nastane na račun izgubljene kmetijske površine, je ta ukrep smiselno izvajati le tam, kjer je presežek kmetijskih površin ali na slabše produktivnih zemljiščih (npr. razred 1600 - neobdelano kmetijsko zemljišče). Nacionalni podatki kažejo, da je sekvestracija ogljika zaradi spremembe njivskih površin v travinje okoli 0,47 t C ha⁻¹ leto⁻¹, medtem ko ta potencial v Evropi variira od 0,4 do 0,8 t C t C ha⁻¹ leto⁻¹ (Lugato et al., 2015).

1.2.4 Mokrišča

Ukrepi za zmanjšanje emisij CO₂ na mokriščih vključujejo obnovo oz. ponovno vzpostavitev mokrišč, ki so bila v preteklosti izsušena, predvsem zaradi agromelioracij. Tehnični ukrepi za ponovno ožvitev mokrišč so običajno relativno dragi in obsegajo zelo različne prakse, kot so preureditev dotoka vode, različni sistemi jarkov, različni zadrževalniki vode in vodne zapornice, dovoz/odvoz zemljine itd. Za te ukrepe mora biti opravljena strateška presoja, tudi z vidika drugih koristi, kot je npr. zmanjšanje ogroženosti zaradi poplav, izboljšanje biotske pestrosti, zmanjšanje erozije itd. Z vidika emisij je znano, da se emisije CO₂ po obnovi zmanjšajo, saj se mineralizacija organske snovi upočasnjuje. Po drugi strani pa ob dolgotrajnih anaerobnih pogojih iz teh površin izhajajo emisije CH₄, ki ima relativno precej večji toplogredni učinek v atmosferi kot CO₂. V Sloveniji je Ljubljansko barje praktično edini tak primer, ki ima potencial revitalizacije oz. obnove nekdanjih mokrišč, vendar pa je zaenkrat na voljo premalo podatkov, da bi se ocenilo, kakšen je tehnični potencial ukrepa.

1.2.5 Naselja

V naseljih so možnosti za zmanjšanje emisij dokaj omejene. V mestnih jedrih parkovna drevnina sicer blaži temperaturna nihanja, vendar pa se le-ta zaradi varnosti prebivalcev pogosto obrezuje oz. odstranjuje, zato se zaloge ogljika povečujejo počasi ali sploh ne. V smislu zmanjšanja emisij so potenciali večji pri omejevanju širitve naselij na kmetijska in gozdna zemljišča, gradnji objektov na degradiranih zemljiščih, nadomestnih gradnjah in pametnem prostorskem načrtovanju. Dolgoročno ni pričakovati, da bi se naselja še naprej širila, saj demografske projekcije kažejo, da se vsaj do leta 2050 število prebivalcev v Sloveniji praktično ne bo spremenilo.

1.2.6 Druga zemljišča

Druga zemljišča obsegajo večinoma gorskih svet in ostala nerodovitna območja, kot je npr. obala, brežine rek, prodišča, kjer so potenciali neznatni ali jih sploh ni. V prihodnje bi morali preprečevati sečnjo gozdov na zgornji gozdni meji, erozijo na strmih pobočjih in degradacijo tal na teh zemljiščih.

1.2.7 Pridobljeni lesni proizvodi

Proizvodnja lesnih izdelkov in raba lesa lahko prispevajo k shranjevanju ogljika, s čimer pride do zamika emisij v času. Najdaljšo razpolovno dobo (35 let) ima žagan les, kateremu sledijo lesne plošče (25 let) in papir (2 leti). Povečanje zalog ogljika v pridobljenih lesnih proizvodih (HWP) je odvisno predvsem od velikosti sečnje. Nacionalna bilanca proizvodnje teh proizvodov je odvisna tudi od uvoza in izvoza, na kar najbolj vplivajo svetovne cene lesa. V obdobju 2014-2018 se je količina posekanega domačega lesa povečala za več kot 50 %, zlasti na račun sanitarne sečnje, ki je bila izvedena kot posledica naravnih ujm. Vendar pa se v zadnjih letih zaloge ogljika v HWP niso povečale, kot bi sicer pričakovali. Veliko okroglega lesa je bilo namreč izvoženega v sosednjo Avstrijo, zato bi morali v prihodnje povečati investicije v žagarsko industrijo in lesno proizvodnjo. Na osnovi večjih kapacitet lesnopredelovalne industrije bi lahko proizvedli več lesnih izdelkov in povečali zalogo ogljika v tem skladišču.

Preglednica 5: Pridobljeni lesni proizvodi

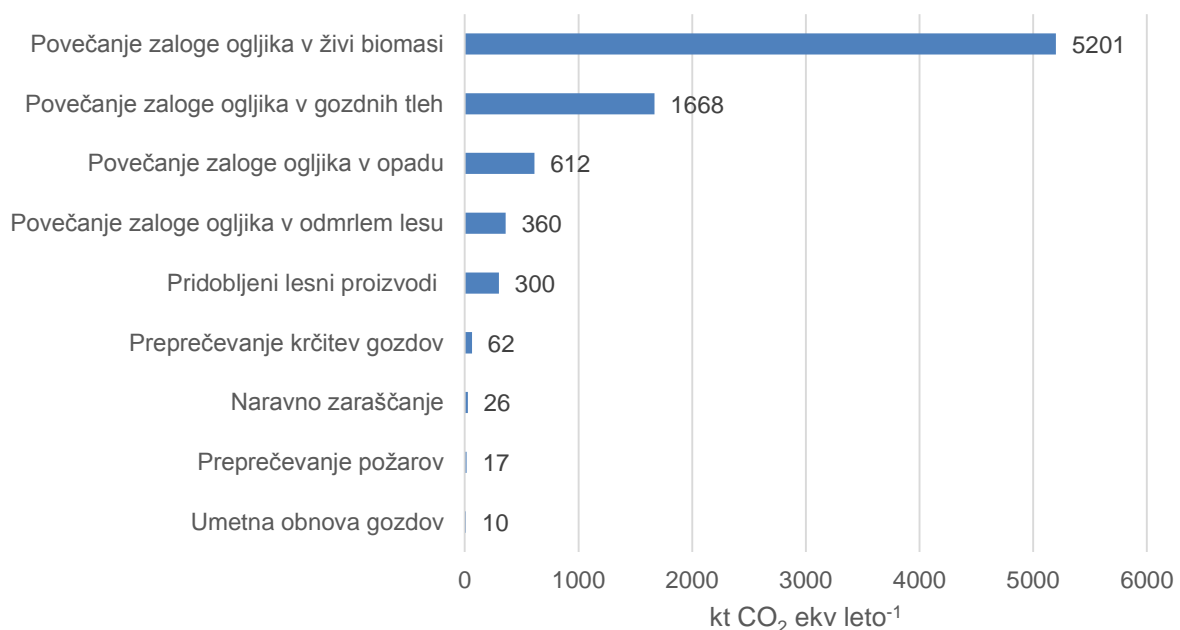
Ukrepi	Tehnični potencial (kt CO ₂ ekv leto ⁻¹)	Enostavnost izvajanja	Stroški izvajanja
Pridobljeni lesni proizvodi (HWP) <ul style="list-style-type: none"> povečanje zalog ogljika (papir, lesne plošče, žagan les) 	300	+++	+++

2 Ocena tehničnega potenciala za zmanjšanje emisij TGP in povečanje ponorov

Tehnični potencial za zmanjšanje emisij TGP in povečanje ponorov v sektorju LULUCF je bil ocenjen za 18 ukrepov, in sicer 9 gozdarskih in 9 kmetijskih ukrepov. Tehnični potencial vseh ukrepov je 9.059 kt CO₂ ekv letno. Absolutni tehnični potencial gozdarskih ukrepov je izrazito večji v primerjavi s kmetijskimi. Že Evropska komisija je svoji oceni učinka (Impact Assessment, 2016) ocenila, da je potencial kmetijskih ukrepov za zmanjšanje emisij v sektorju LULUCF omejen. Podobno je z ukrepi na ostalih kategorijah zemljišč, z izjemo ukrepov za izboljšanje načinov gospodarjenja na organskih tleh.

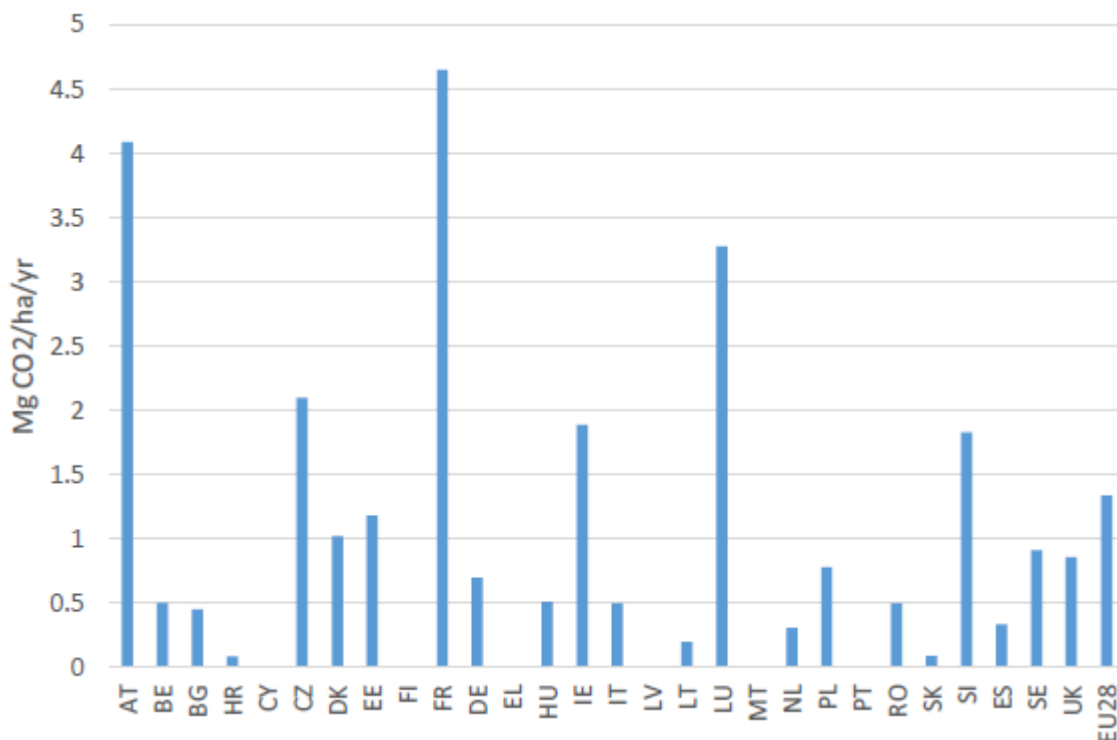
2.1 Tehnični potencial ukrepov na gozdnih zemljiščih

Tehnični potencial gozdarskih ukrepov znaša 8.256 kt CO₂ ekv letno. Največji tehnični potencial na gozdnih zemljiščih predstavlja povečanje zaloge ogljika v živi biomasi, ki predstavlja kar 57 % potenciala vseh ukrepov v sektorju LULUCF. Povečanje zaloge ogljika v tleh predstavlja 20 % tehničnega potenciala gozdarskih ukrepov. Če temu prištejemo še povečanje zaloge ogljika v odmrlem lesu in opadu, potem skupaj predstavljajo 32 % gozdarskih ukrepov. Povečanje zaloge ogljika v pridobljenih lesnih proizvodih prispeva 3,6 % k potencialu gozdarskih ukrepov, medtem ko je tehnični potencial ostalih ukrepov na gozdnih zemljiščih manj pomemben (slika 2).



Slika 2: Tehnični potencial ukrepov na gozdnih zemljiščih

Poudariti je treba, da povečanje zaloge ogljika v živi biomasi lahko dosežemo le z znatnim omejevanjem sečnje v gozdovih. Teoretično gledano bi bil tehnični potencial povečanja zalog ogljika v živi biomasi lahko enak prirastku ob odsotnosti sečnje. Tak primer so pravzaprav pragozdovi, vendar pa tak način gospodarjenja z gozdovi dolgoročno ni trajnosten, saj ne izpolnjuje ciljev vseh funkcij oz. ekosistemskih storitev gozdov. Pri ocenjevanju tehničnega potenciala tega ukrepa smo zato predpostavili, da je spodnji prag jakosti sečnje 43 % in 51 % prirastka v obdobju 2020-2030 oz. 2030-2050. Na tej predpostavki smo izračunali, da je tehnični potencial 4,66 t CO₂ ekv ha⁻¹ leto⁻¹ (preglednica 2), kar precej odstopa od potenciala, ki je bil izračunan za Slovenijo na osnovi referenčnega scenarija (slika 3). V tem primeru lahko govorimo o dosegljivem potencialu, ki na ravni EU znaša 1,33 CO₂ ekv ha⁻¹ leto⁻¹.



Slika 3: Blažitveni potencial na enoto površine zaradi optimiranja zalog ogljika v gozdovih (Paquel et al., 2017)

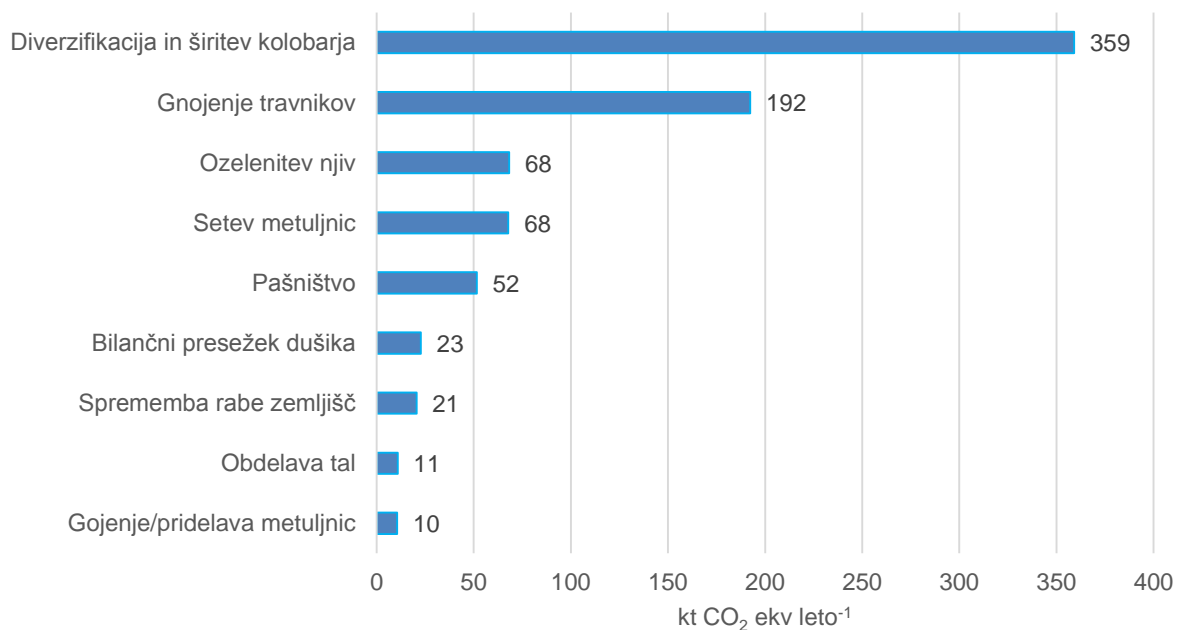
Potencial za povečanje ponorov zaradi povečanja zalog ogljika v opadu in organskem ogljiku v mineralnem delu gozdnih tal smo ocenili izključno na predpostavkah podatkov o potencialu oz. sekvestraciji na enoto površine iz tujine. Glede na te podatke se zdi, da je potencial gozdnih tal za povečanje ponorov približno 3,5-krat večji v primerjavi s potencialom kmetijskih tal. Če poleg mineralnega dela upoštevamo še organski del gozdnih tal (opad), potem je ta potencial v povprečju kar 5-krat večji. Tudi sicer je absolutni letni potencial gozdnih tal velik, in sicer približno 2-krat večji od absolutnega potenciala vseh kmetijskih ukrepov skupaj, ki smo jih ocenjevali.

Za tehnični potencial pridobljenih lesnih proizvodov velja poudariti, da se le-ta nanaša izključno na povečevanje zaloge ogljika, in sicer v kategorijah kot so papir, lesne plošče in žagan les. Ves ostali les, ki je namenjen energetski rabi se v tem sektorju ne upošteva, zato zanj potenciala

nismo ocenjevali. Poleg tega nismo ocenjevali niti potenciala rabe lesa v smislu zamenjave drugih energetsko intenzivnih materialov.

2.2 Tehnični potencial ukrepov na kmetijskih zemljiščih

Skupni tehnični potencial ukrepov na njivskih površinah in travinju je 803 kt CO₂ ekv letno, kar predstavlja slabih 9 % vseh sektorskih ukrepov. Daleč največji tehnični potencial ima ukrep diverzifikacija in širitev kolobarja (slika 4), ki skupaj z gnojenjem travnikov predstavlja večino potenciala (69 %) za zmanjšanje emisij na kmetijskih zemljiščih. Ostali kmetijski ukrepi skupaj predstavljajo torej slabo tretjino potenciala na kmetijskem delu tega sektorja. Pri ocenjevanju potenciala na kmetijskih zemljiščih smo uporabili podatke iz tuje literature, pri čemer smo dali prednost tistim, ki so bili pridobljeni v evropskih državah. V primeru intervalne ocene potenciala, smo izračunali povprečno vrednost. Absolutni tehnični potencial na kmetijskih zemljiščih je možno povečati s povečanjem površin, na katerih se izvajajo ukrepi. Čeprav je potencial ukrepov za zmanjšanje emisij na kmetijskih zemljiščih omejen, je nanje treba gledati celostno, kar poleg prehranske varnosti prinaša še druge dodatne koristi. Poudariti moramo, da smo za ukrepe na kmetijskih zemljiščih ocenjevali potencial za zmanjšanje emisij, ki je v neposredni povezavi z rabo zemljišč. Pri tem torej nismo upoštevali zmanjšanja emisij zaradi same metode obdelave tal. Npr. ukrep neposredna setev prispeva k zmanjšanju porabe goriva mehanizacije, saj je zanj potrebno manjše število operacij.



Slika 4: Tehnični potencial ukrepov na kmetijskih zemljiščih

2.3 Tehnični potencial ukrepov na drugih zemljiščih

Tehnični potencial ukrepov na drugih zemljiščih, kot so npr. naselja in mokrišča, je relativno majhen in ga zato nismo posebej ocenjevali. To lahko podkrepimo z nekaterimi dejstvi, ki veljajo

za ta zemljišča. Naselja in mokrišča skupaj zavzemata le okoli 6 % površine ozemlja Slovenije. Na mokriščih je potencial za zmanjšanje emisij na enoto površine dober na organskih tleh, vendar je teh okoli 7.000 ha oz. le 2.500 ha, če upoštevamo tista zemljišča, na katerih se tla obdelujejo (njive in intenzivni sadovnjaki). Z uravnavanjem višine podtalnice na Ljubljanskem barju bi lahko vplivali na zmanjšanje emisij CO₂, vendar pa je iz tujih raziskav znano, da se pri tem lahko povečajo emisije CH₄. Poleg tega je revitalizacija mokrišč, ki pomeni opustitev kmetijske dejavnosti verjetna na zelo omejenem območju. V naseljih so možnosti za zmanjšanje emisij v sektorju LULUCF zelo omejene, zato so ukrepi v drugih sektorjih (npr. energetska prenova stavb) pomembnejši.

3 Stroškovna učinkovitost ukrepov

V nadaljevanju je opisana stroškovna učinkovitost nekaterih pomembnejših ukrepov v sektorju LULUCF. Pregled stroškovne učinkovitosti ukrepov na globalni za ta sektor so opravili Nabuurs et al. (2007) in Smith et al. (2007). Analiza jasno kaže, da je v gozdarstvu možno zmanjšati emisije oz. povečati ponore z manjšimi stroški v primerjavi s kmetijstvom. Študija pregledov ukrepov za vse države članice EU pa na splošno kaže na to, da je ena izmed cenejših poti za zmanjšanje emisij v sektorju LULUCF izboljšanje gospodarjenja z ogljikom v tleh (Paquel et al., 2017).

Starejše raziskave poročajo, da je prag ekonomske učinkovitosti gozdarskih ukrepov 50 eur t CO₂ ekv⁻¹ (Povellato et al., 2007), vendar pa novejša analiza, npr. na Nizozemskem kažejo, da je aktivno gospodarjenje z gozdovi lahko stroškovno nevtralnno, tj. 0 eur t CO₂ ekv⁻¹ (Daniëls et al., 2016, cit. po Paquel, 2017). Pogozdovanja v tujih evropskih državah so običajno povezana z visokimi stroški (več kot 400 eur t CO₂ ekv⁻¹), ne le zaradi stroškov sadilnega materiala ter gojitvenih in varstvenih del, temveč tudi z odkupom zemljišča. Po podatkih Eurostata za leto 2014 cene zemljišč (v tem primeru trajnega travinja) izredno variirajo, in sicer od 3.000 eur ha⁻¹ v nekaterih državah Vzhodne Evrope do 57.000 eur ha⁻¹ na Nizozemskem (Paquel et al., 2017).

Raziskave v Franciji kažejo, da uporaba metuljnic na zemljiščih, s katerimi se kolobari, pomeni učinkovitost ukrepa v povprečju okoli 43 eur t CO₂ ekv⁻¹, odvisno od regije in predpostavk (Dequiedt in Moran, 2015). Na splošno so sicer pokrivni posevki, kot ukrep za ozelenitev njiv, povezani z znatnimi stroški. Glavni dejavnik nihanja stroškovne učinkovitosti so verjetno stroški gojenja in vključevanje pokravnih posevkov, ki so odvisni od učinkovitosti pridelave. Ta ukrep stroškovno ne bo učinkovit na območjih, kjer so stroški pridelave visoki ali kjer obstaja tveganje za zmanjšanje pridelka z uporabo pokravnih posevkov (MacLeod et al., 2015). Raziskave v Franciji kažejo, da je stroškovna učinkovitost ukrepa okoli 160 eur t CO₂ ekv⁻¹ (Pellerin et al., 2013), v Veliki Britaniji pa so ocenili, da so stroški ukrepa 178 eur ha⁻¹ leto⁻¹ (Posthumus et al., 2013).

Direktna setev, pri kateri je oranje izključeno, se zdi stroškovno bolj učinkovito v primerjavi z drugimi kmetijskimi praksami, vendar je tehnični potencial (na enoto površine) za zmanjšanje

emisij manjši. Stroškovna učinkovitost ukrepa je v razponu od -3 do 12 eur t CO₂ ekv⁻¹ (Pellerin et al., 2013).

4 Sezname

4.1 Seznam oznak in kratic

TGP	<i>toplogredni plini</i>
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LULUCF	Land Use, Land-Use Change and Forestry, raba tal, spremembe rabe tal in gozdarstvo
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
HWP	harvested wood products
NIR	National Inventory Report

4.2 Seznam slik

Slika 1: Emisije TGP v Sloveniji po sektorjih (NIR 2019)	11
Slika 2: Tehnični potencial ukrepov na gozdnih zemljiščih	21
Slika 3: Blažiteni potencial na enoto površine zaradi optimiranja zaloga ogljika v gozdovih (Paquel et al., 2017).....	22
Slika 4: Tehnični potencial ukrepov na kmetijskih zemljiščih	23

4.3 Seznam tabel

Preglednica 1: Emisije TGP v sektorju LULUCF (Gg CO ₂ ekv)	12
Preglednica 2: Ukrepi na gozdnih zemljiščih	14
Preglednica 3: Ukrepi na njivskih površinah	17
Preglednica 4: Ukrepi na trajnem travinju	18
Preglednica 5: Pridobljeni lesni proizvodi	20

4.4 Viri in literatura

Domingo J., De Miguel E., Hurtado Solargo B., Métayer N., Bochu J.-L., Pointereau P. 2014. Measures at farm level to reduce greenhouse gas emissions from EU agriculture. DG Internal Policies, DG Agriculture, Brussels, Belgium.

Jonard M., Nicolas M., Coomes D.A., Caignet I., Saenger A., Ponette. 2017. Forest soils in France are sequestering substantial amounts of carbon. *Science of the Total Environment*, 574: 616-628.

Powlson D.S., Stirling C.M., Jat M.L., Gerard B.G., Palm C.A., Sanchez P.A., Cassman K.G. 2014. Limited potential of no-till agriculture for climate change mitigation. *Nature Climate Change*, 4: 678-683.

Conant R.T., Cerri C.E.P., Osborne B.B., Paustian K. 2017. Grassland management impacts on soil carbon stocks: a new synthesis. *Ecological Applications*, 27: 662-668.

Grüneberg E., Ziche D., Wellbrock N. 2014. Organic carbon stocks and sequestration rates of forest soils in Germany. *Global Change Biology*, 20: 2644-2662.

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., Howden M., McAllister, Genxing P., Romanenkov V., Schneider U., Towprayoon S., Wattenbach M., Smith J. 2008. Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 363: 789-813.

Poeplau C., Don A. 2014. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops – A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 200: 33-41.

Paquel K., Bowyer C., Allen B., Nesbit M., Martineau H., Lesschen J.P., Arets E. 2017. Analysis of LULUCF actions in EU Member States as reported under Art. 10 of the LULUCF Decision, a report for DG CLIMA of the European Commission.

Wellbrock N., Grüneberg E., Riedel T., Polley H. 2017. Carbon stocks in tree biomass and soils of German forests. *Central European Forestry Journal*, 63: 105.112.

M. Westergren, Božič G., Kraigher H. 2016. Gozdno semenarstvo in drevesničarstvo v Sloveniji v luči prilagajanja spremembam v okolju: trenutno stanje in pogled v prihodnost. V: Železnik P. (ur.). *Sistemski problemi obnove gozdov: povzetki referatov 3. znanstvenega srečanja Gozd in les*, Ljubljana, 24. novembra 2016. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije, Založba Silva Slovenica: 17-18.

NIR 2019. Slovenia's national inventory report 2019: GHG emissions inventories 1986 - 2017: submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change. Ljubljana: Ministry of the Environment and Spatial Planning, Slovenian Environment Agency.

IPCC 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H. S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Hayama, Kanagawa, IGES.

Impact Assessment 2016. Commission Staff Working Document, SWD(2016) 249 final. Accompanying document, Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on the inclusion of greenhouse gas emissions and removals from land use, land use change and forestry into the 2030 climate and energy framework and amending Regulation No 525/2013 of the European Parliament and the Council on a mechanism for monitoring and reporting greenhouse gas emissions and other information relevant to climate change.

Ljubec K. 2014. *Okoljski odtis različnih načinov pridelave koruze na posestvu Perutnine Ptuj d.d.* Dipl. delo. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede, 28 str.

Lugato E., Bampa F., Panagos P., Montanarella L., Jones A. 2015. Potential carbon sequestration of European arable soils estimated by modelling a comprehensive set of management practices. *Global Change Biology*, 20: 3557-3567.

Posthumus H., Deeks L.K., Rickson R.J., Quinton N. 2013. Costs and benefits of erosion control measures in the UK. *Soil Use and Management*, 31: 16-33.

Pellerin S., Bamière L., Angers D., Béline F., Benoît M., Butault J.P., Chenu C., Colnenne-David C., De Cara S., Delame N., Doreau M., Dupraz P., Faverdin P., Garcia-Launay F., Hassouna M., Hénault C., Jeuffroy M.H., Klumpp K., Metay A., Moran D., Recous S., Samson E., Savini I., Pardon L. 2013. How can French agriculture contribute to reducing greenhouse gas emissions? Abatement potential and cost of ten technical measures. Synopsis of the study report, INRA (France), 92 str.

Macleod M., Eory V., Gruère G., Lankoski J. 2015. Cost-Effectiveness of Greenhouse Gas Mitigation Measures for Agriculture A Literature Review. OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers, No. 89, OECD Publishing, Paris.

Nabuurs G. J., Masera O., Andrasko K., Benitez-Ponce P., Boer R., Dutschke M., Elsiddig E., Ford-Robertson J., Frumhoff P., Karjalainen T., Krankina O., Kurz W. A., Matsumoto M., Oyhantcabal W., Ravindranath N. H., Sanchez M. J. S., Zhang X. 2007. Forestry. In: *Climate Change 2007: Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Metz B., Davidson O. R., Bosch P. R., Dave R., Meyer L. A., (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA, pp. 541-584.

Smith P., Martino D., Cai Z., Gwary D., Janzen H. H., Kumar P., McCarl B., Ogle S., O'Mara F., Rice C., Scholes R. J., Sirotenko O., Howden M., McAllister T., Pan G., Romanenkov V., Rose S., Schneider U., Towprayoon S. 2007. Agriculture. In: *Chapter 8 of Climate change 2007: Mitigation. Contribution of Working group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Metz B., Davidson O. R., Bosch P. R., Dave R., Meyer L. A., (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA, pp. 497 – 540.

Dequiedt B., Moran D. 2015. The cost of emission mitigation by legume crops in French agriculture. *Ecological Economics*, 110: 51-60.

Povellato A., Bosello F., Giupponi C. 2007. Cost-effectiveness of greenhouse gases mitigation measures in the European agro-forestry sector: a literature survey. *Environmental Science and Policy*, 10: 474-490.