



Институт за земљиште  
Београд

# ИНОВАТИВНЕ МЕТОДЕ ОРГАНСКЕ ПРОИЗВОДЊЕ ЗА ВЕЋУ КЛИМАТСКУ НЕУТРАЛНОСТ ПОЉОПРИВРЕДЕ

**МОНОГРАФИЈА**

Владан Угреновић, уредник



Београд 2022.

ИНСТИТУТ ЗА ЗЕМЉИШТЕ, БЕОГРАД

ИНОВАТИВНЕ МЕТОДЕ ОРГАНСКЕ  
ПРОИЗВОДЊЕ ЗА ВЕЋУ КЛИМАТСКУ  
НЕУТРАЛНОСТ ПОЉОПРИВРЕДЕ

- Монографија -

Уредник  
Др Владан Угреновић

Београд, 2022.

ИНОВАТИВНЕ МЕТОДЕ ОРГАНСКЕ ПРОИЗВОДЊЕ  
ЗА ВЕЋУ КЛИМАТСКУ НЕУТРАЛНОСТ ПОЉОПРИВРЕДЕ

**Издавач**

Институт за земљиште  
Теодора Драјзера 7, 11000 Београд, Република Србија

**За издавача**

Др Биљана Сикирић, вд директора

**Уредник**

Др Владан Угреновић

**Рецензенти**

Проф. др Гордана Дражић, ред. проф. Универзитет Сингидунум

Др Ана Марјановић Јеромела, научни саветник,  
Институт за ратарство и повртарство, Нови сад

Др Јордана Нинков, научни саветник,  
Институт за ратарство и повртарство, Нови Сад

**Лектор**

Маја Угреновић

**Технички уредник и дизајн**

Вера Јараковић

**Штампа**

АРТИЈА

**Тираж**

300 примерака

ISBN-978-86-911273-7-4

## ПРЕДГОВОР

Климатске промене услед човекових активности, првенствено повећавањем концентрације гасова са ефектом стаклене баште у атмосфери, данас се недвосмислено могу детектовати и квантификовати кроз измерене промене у многим елементима климатског система. Последице ових промена су потенцијално толико далекосежне и озбиљне да свака земља мора допринети напорима да се клима наше планете стабилизује.

Пољопривреда више од осталих привредних делатности трпи од климатских промена, али она исто тако и доприноси климатским променама, испуштањем гасова са ефектом стаклене баште. Данашња конвенционална пољопривреда обележена је као неодржив систем производње хране, неадаптиран на климатске промене. Са друге стране органска производња се као целовит систем управљања производњом хране, базира на еколошкој пракси, високом степену биодиверзитета и очувању природних ресурса. Нарочито се истиче рационално коришћење: земљишта, вода и органске материје, применом поступака који за њих нису штетни. Тако органска биљна производња треба да допринесе одржавању и повећању природне плодности земљишта, као и спречавању његове ерозије. У том смислу искуства и методе органске производње су драгоцене, јер могу да олакшају ублажавање штетног утицаја пољопривреде на климатске промене генерално, као и на њено адаптирање на нове климатске услове.

Публикација која је пред вама резултат је пројекта „Развој иновативних метода органске ратарске производње у циљу веће климатске неутралности пољопривреде“, финансираног од стране Министарства пољопривреде шумарства и водопривреде Републике Србије. Настала је заједничким радом аутора, сарадника Института за земљиште из Београда, Националне асоцијације за развој органске производње „Србија органика“ и Института за економику пољопривреде из Београда.

Монографију смо наменили вама, ширем кругу научне и стручне јавности: истраживачима, докторантима, студентима, пољопривредним саветодавцима, произвођачима, еколозима, као и заинтересованом грађанству. У том смислу захваљујемо се свима вама, који ћете у овој публикацији можда пронаћи неке одговоре на питања о климатским променама и одрживој пољопривредној производњи хране.

У Београду,  
Јуна 2022. године

УРЕДНИК  
Др Владан Угреновић

*Штампање ове монографије у целости је финансирано  
од стране Министарства пољопривреде, шумарства  
и водопривреде Републике Србије*

## САДРЖАЈ

ПРЕДГОВОР .....	3
КЛИМА И ПОЉОПРИВРЕДА <b>Снежана Ољача, Ивана Симић</b> .....	7
ПОЉОПРИВРЕДА У ПРОМЕНЉИВОЈ КЛИМИ И ЊЕНА УЛОГА У СЕКВЕСТРАЦИЈИ УГЉЕНИКА <b>Елмира Саљников, Владан Угреновић</b> .....	31
АГРОШУМАРСТВО И ЊЕГОВА УЛОГА У ДОСТИЗАЊУ КЛИМАТСКЕ НЕУТРАЛНОСТИ ПОЉОПРИВРЕДЕ <b>Тара Грујић, Радмила Пивић</b> .....	53
МЕТОД БРЗОГ КОМПОСТИРАЊА <b>Владимир Филиповић, Никола Коковић</b> .....	75
КАРБОНСКИ КРЕДИТИ: <i>SAP AND TRADE</i> СИСТЕМ И КАРБОНСКИ КРЕДИТИ У ПОЉОПРИВРЕДИ <b>Јонел Субић, Марко Јелочник</b> .....	95



# ПОЉОПРИВРЕДА У ПРОМЕНЉИВОЈ КЛИМИ И ЊЕНА УЛОГА У СЕКВЕСТРАЦИЈИ УГЉЕНИКА

Елмира Саљников<sup>1</sup>, Владан Угреновић<sup>2</sup>

## Сажетак

Прехрањивање додатних милијарди људи у будућности захтеваће даље повећање пољопривредне производње хране, без преседана. Ово се углавном може постићи даљим интензивирањем пољопривреде и посебно биљне производње. Међутим, интензивна пољопривреда води даљој деградацији земљишта, односно доводи до губитака капацитета земљишта да обавља своје еколошке функције. Штавише, ако се показатељи плодности земљишта толико деградирају, да пређу линију без повратка, ресурс земљишта ће бити изгубљен. Потребни су миленијуми да се формира земљиште погодно за

пољопривреду. Осим тога, интензивна пољопривреда доводи и до интензивирања разградње органске материје земљишта, што подразумева повећање емисије угљен-диоксида из земљишта у атмосферу. Тренутно је уклањање гасова са ефектом стаклене баште путем везивања ограничено на директне промене коришћења земљишта изазване људским фактором.

Међутим, постоји много начина који уз одговарајуће управљање земљиштем, могу значајно смањити емисију гасова са ефектом стаклене баште у атмосферу и допринети одрживом коришћењу

---

<sup>1</sup> Др Елмира Саљников, научни саветник, Институт за земљиште, Теодора Драјзера 7, 11000, Београд, email: soils.saljnikov@gmail.com

<sup>2</sup> Др Владан Угреновић, виши научни сарадник, Институт за земљиште, Теодора Драјзера 7, 11000, Београд, email: soils.ugrenovic@gmail.com

земљишних ресурса. Органска пољопривреда, између осталог, подразумева смањено механичко ремећење земљишта, остављајући велике количине жетвених остатака на лицу места, контролу штеточина и корова плодородом, коришћење зеленишних ђубрива и покровних усева. Све ово доприноси очувању квалитета земљишта, смањењу ерозије земљишта, смањењу емисије угљен-диоксида, односно

секвестрацији угљеника, што директно доприноси ублажавању негативног утицаја климатских промена на животну средину.

**Кључне речи:**

Коришћење земљишта, угљен-диоксид, органска материја, деградација земљишта, земљишни микроорганизми, секвестрација угљеника

## Увод

Светска популација расте, а производња хране и других добара мора да иде у корак са тим, како би се спречило назадовање човечанства и смањење животог стандарда светске популације. Да би се успешно обезбедила храна за додатне милијарде људи у будућности, потребно је даље повећање производње хране без преседана, кроз пољопривреду (FAO, 2018). Откад су се људи почели бавити пољопривредом како би задовољили своје основне потребе за храном и побољшали егзистенцију, настојали су да остваре све веће приносе из земљишта, кроз његово интензивније коришћење. Проблеми еколошког функционисања земљишта за производњу хране потичу још из доба антике. Пад природне плодности земљишта услед пољопривреде и резултирајући пад приноса усева представљао је значајан проблем кроз историју (Montgomery, 2007), а овај проблем је и даље актуелан. Нажалост, еколошка свест људи заостаје за напретком науке и технологије (Kazakov, 2019). Упркос рапидном напретку у разумевању утицаја коришћења земљишта, његова плодност се смањује великом брзином (Eulenstein et al., 2022). Многи истраживачи и све информисанији грађани препознају пресудну важност земљишта као основе људског живота. Међутим, доносиоци одлука и фармери са ниским ресурсима, често занемарују значај земљишних ресурса због недостатка свести, и недостатка доступних информација или алата и ресурса (Packer et al., 2019).

Земљиште има капацитет и отпорност да обезбеди биомасу за храну, сточну храну и друге услуге екосистема за људе и да рециклира отпад (Mueller et al., 2010; Blum, Nortcliff, 2013). Ако статус земљишта неповратно падне испод граница капацитета и отпорности, оно се сматра деградираним (Saljnikov et al. 2022). Функције земљишта су подељене у два главна домена: еколошке функције (производња биомасе, заштита људи и животне средине и резервоар гена) и нееколошке функције (физичка основа људских активности, извор сировина и геогено и културно наслеђе), Blum (2005). Пошто се више од 99% светске хране производи преко земљишта, његова свака еколошка функција је директно или индиректно повезана са мрежом хране, енергије и воде (Hatfield et al., 2017; FAO, 2019), а повезана је и са физичким, хемијским и биолошким процесима који се одвијају у систему земљиште-вода-биљка-организам. Рачуна се да пољопривреда непосредно емитује око 9% од укупне количине GHG, од чега је 5% пореклом из земљишта, а око 4% из сточарства (преживари). Унутар екосистема земљишта, микробиолошки биодиверзитет и његова активност која је везана за конкретне праксе управљања је углавном слабо истражен. Ово захтева основна истраживања како би се побољшало разумевање функционисања земљишта уопште, пошто земљишни микроорганизми значајно утичу на све остале његове функције.

Савремени трендови у коришћењу земљишта и климатске промене довели су

до губитка органског угљеника (ОС) у земљишту, по стопи која је еквивалентна 10% укупних емисија фосилних горива за Европу у целини (Saljnikov et al., 2022). У климатски осетљивијим земљишним екосистемима у великој мери утичу агрономске праксе као што су: начин обраде земљишта (конвенционална, конзервацијска), интензитет производње (орање, плодород, примена агрохемикалија, итд.), управљање остацима усева (већа количина остатака усева помаже да се одржи ниво органске материје у земљишту, као и да га заштити од ерозије водом и ветром), губитак хранљивих материја (жетва, спаљивање, испирање ит.д.), e.g., Parihar et al. (2022). Губитак земљишног угљеника на производним

површинама достиже 27-90% у поређењу са природним травњацима (Loke et al., 2019). Стога, постоји хитна потреба за променом парадигме са интензивне на пољопривреду са ефикасном употребом ресурса, која се заснива на одрживим пољопривредним праксама.

Стратегије Европске комисије „За праведан, здрав и еколошки прихватљив прехранбени систем“ СОМ (2020) 381 (ЕС, 2020а) и „За биоразноликост до 2030. године“ СОМ (2020) 380 (ЕС, 2020b), треба да одговоре на изазове данашњих прехранбених система. Посебно се потенцира одрживо коришћење пољопривредног земљишта, применом пракси које за њега нису штетне. Уводиће се и подстицати

Табела 1. Методе за већу климатску неутралност пољопривредне производње (Извор: Угреновић, 2022)

Очекивани циљеви	Методе
Смањење емисије GHG	<p>Управљање инпутима:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- веће учешће легуминоза у плодороду,</li> <li>- шири плодород са укључивањем зеленишних ђубрива.</li> </ul> <p>Смањење утрошка енергије на фарми:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- примена редуковане, конзервацијске обраде земљишта,</li> </ul> <p>Управљање биљним остацима и органским ђубривима, компостирање</p> <p>Управљање усевима и оптимизација употребе ђубрива</p>
Подстицање секвестрације угљеника у земљишту	<p>Укључивање покровних усева, зеленог малча и зеленог угара у плодореде</p> <p>Увођење метода заштитних појасева</p> <p>Агрошумарство</p>

мере које смањују губитке хранљивих материја у земљишту за најмање 50%, што ће условити смањење употребе ђубрива за најмање 20% до 2030. године. Циљ је да се биљке хране преко еко-система земљишта, а мање применом растворљивих ђубрива која му се додају. Све то треба креирати на начин да не дође до смањивања плодности земљишта и његове продуктивности. Посебно се подстиче органска производња, а очекује се допринос у одржавању и повећању природне плодности земљишта, као и очувању и унапређењу биодиверзитета. За већу климатску неутралност пољопривреде предвиђено је двосмерно деловање: ка смањењу GHG и ка секвестрацији угљеника у земљишту (Табела 1). Нови зелени модел подстиче праксе у пољопривреди за секвестрацију угљеника, које складиште CO<sub>2</sub> у органској материји земљишта (ОМЗ), његовим везивањем у стабилну фракцију хумуса.

Данашња интезивна конвенционална пољопривреда обележена је као неодржив систем производње хране, неадаптиран на климатске промене. Са друге стране органска пољопривреда се у целости базира на очувању природних ресурса, еколошкој пракси и високом степену биодиверзитета (Ugrenović et al., 2020). Стандард органске производње прописује рационално коришћење пољопривредног земљишта, вода и органске материје. У том смислу органска пољопривреда треба да допринесе одржавању и повећању природне плодности земљишта, као и спречавању његове ерозије. Биолошка активност и плодност

земљишта одржава се и повећава практиковањем ширих плодореда, увођењем покровних усева, са већим учешћем махунарки и применом компостираних ђубрива пореклом из сточарства, или различитог отпада са фарме (Ugrenović, Filipović, 2017).

Искуства и методе органске производње могу да олакшају ублажавање штетног утицаја пољопривреде на климатске промене генерално и у конвенционалној производњи, као и на њено адаптирање на нове климатске услове.

### **Негативни ефекти прекомерне експлоатације земљишта**

У потрази за повећањем продуктивности земљишта, оно је изложено трајној прекомерној експлоатацији. То је довело до широког спектра последица као што су: 1. убрзани процеси ерозије земљишта, узроковани крчењем шума и прекомерном испашом, интезивном обрадом земљишта и неправилним наводњавањем, 2. губитак горњег слоја земљишта услед дефлације, 3. одношење горњег плодног слоја водном ерозијом, 4. губитак плодности услед изношења хранљивих материја и испирања, 5. контаминација услед прекомерне употребе пестицида, мелиораната, токсичних елемената у ваздуху, индустријских и урбаних депонија, 6. губитак биодиверзитета услед употребе агрохемикалија и интензивне обраде земљишта, 7. прекомерно збијање услед великих механичких оптерећења и 8. закисељавање услед злоупотребе ђу-

брива и киселих таложења из ваздуха. Даље, ови утицаји могу изазвати ефекте ван локације, као што су седиментација, замуљавање и еутрофикација водених тела или појачане поплаве, смањена функција слива река, промене у природним стаништима које доводе до губитка генетичког фонда и ерозије биодиверзитета. Други индиректан ефекат горе наведених утицаја је негативан утицај на климу, преко повећане емисије угљен-диоксида ( $\text{CO}_2$ ) услед убрзане минерализације органске материје земљишта (ОМЗ) и азотсубоксида ( $\text{N}_2\text{O}$ ), као резултат конверзије земљишта (UNDP, 2019). Све у свему, око половине светског земљишта које се користи за пољопривреду је умерено или јако деградирано (UN, 2015).

Пољопривреда, шумарство и коришћење земљишта директно учествују са 18,4% глобалних емисија гасова са ефектом стаклене баште. Међутим, ове количине не узимају у обзир да се око 20% емисија из пољопривреде, шумарства и коришћења земљишта поново усваја из атмосфере кроз биомасу, биљне остатке и земљиште (Ritchie et al., 2020). Пољопривреда је један од ретких сектора који могу да допринесу ублажавању и секвестрацији емисија угљеника (FAO, 2018; Ogle et al., 2019; Lal, 2020). Око 90% биљних остатака минерализује се на пољу у кратком временском периоду и тако доприноси емисији угљен-диоксида у атмосферу (Berthelin et al., 2022.) У том смислу, хитно су потребне стратегије управљања и прилагођавања у циљу

ублажавања климатских промена како би се осигурале стабилне глобалне жетве и безбедност хране (Ogle et al., 2019).

### Изазови за управљање земљиштем

Довољна производња хране захтева довољну површину обрадивог земљишта, док производња безбедне и квалитетне хране захтева здраво, плодно и биогено земљиште. Међутим како светска популација расте површина плодног земљишта се смањује, док се површина деградираног повећава. Осим тога, значајне површине плодног земљишта су неповратно изгубљене ширењем градова и друге инфраструктуре. Сви ови трендови представљају озбиљне изазове и велику одговорност за пољопривредну политику, да смањи људски утицај на земљиште и покрене одрживо управљање овим ресурсом. Научно-техничке иновације и алати за одлучивање су потребни да подрже овај процес.

Земљштима се још увек не управља одрживо, она нису довољно заштићена и подложна су широкој деградацији (Blum, 2013; Saljnikov et al., 2022). Отприлике једна петина глобалног земљишта је деградирана, а деградација земљишта се наставља по годишњој стопи од 5–10 милијарди хектара (Bateman, Muñoz-Rojas, 2019). Недостатак знања и података доприноси овом проблему. Бројне функције земљишта, као што су: однос између квалитета земљишта и здравља људи и животиња, квалитета животне средине, животног стандарда, утицаја на климатске промене или успоравање

стопе деградације земљишта, још увек нису добро проучене (Saljnikov et al., 2022). Подаци о ефектима деградације земљишта на глобалну продуктивност и друге функције и екосистемске услуге земљишта су у великој мери компатибилни (Sartori et al., 2019), али веома варирају између континената, земаља и региона.

### Улога органске материје земљишта

Резерве и динамика органске материје земљишта (ОМЗ) играју централну улогу за све биолошке циклусе на Земљи (Jensen et al., 2020). Више органског угљеника (ОС) у земљишту обично побољшава биљну приозводњу кроз обезбеђивање извора енергије за кружење микробних хранљивих материја и побољшање физичких и хемијских особина земљишта (Bünemann et al., 2018). Утврђено је да ако се садржај органске материје земљишта повећа за  $1\text{g kg}^{-1}$ , принос усева се повећава за 10~20% (Yang et al., 2015).

Земљиште је медијум за раст, опстанак и развој надземних и подземних организама. Стога су и живи део земљишта и мртва органска супстанца (хумус, органска материја земљишта) важни фактори у одржавању структуре за следеће генерације биота земљишта и корена биљака (Hatfield et al., 2017). Генерално, биомаса копнених организама чини 99,87% укупне биомасе планете (Dobrovolskiy et al., 2012; Var-On et al., 2018). Микроорганизми у земљишту учествују са 1-6% у укупном садржају органског угљеника у земљишту,

у зависности од типа земљишта, начина његовог коришћења и климе (Saljnikov et al., 2013; Ugrenović et al., 2020, Koković et al., 2021; Koković et al., 2022).

Органски угљеник игра главну улогу у глобалном циклусу угљеника и секвестрацији угљеника у земљишту (Karbozova-Saljnikov et al., 2004; Lal, 2020). Пошто је највећи део ОМЗ концентрисан у горњем слоју земљишта и зато што је лакши од минералног дела земљишта, веома је изложен ерозивном деловању воде и ветра, као и антропогеном утицају. Међутим, директна веза између резерви ОМЗ и нивоа промена сродних атрибута екосистема још није утврђена (Thiele-Bruhn et al., 2020). Слично томе, недостатак разумевања функционисања различитих фракција органског угљеника ограничава предвиђање одговора органског угљеника на климатске промене.

У случају деградације земљишне биоте и односа између органске материје и органског угљеника, капацитет земљишних функција се смањује. Ако се земљиште претвара из природног стања у пољопривредно, без предузимања мера за очување органске материје земљишта, брзо разлагање ОМЗ доводи до деградације физичких, хемијских и биолошких особина земљишта (Parihar et al., 2022). Ово је повезано са другим притисцима као што је деградација структуре земљишта (Jensen et al., 2020; Keller et al., 2022), што резултира ослабљеном отпорношћу на ерозију и збијање, губитком азота (Treseder, 2008) и повећањем

емисије гасова са ефектом стаклене баште (GHG) који убрзавају климатске промене.

### **Функција земљишних миркоорганизама**

Микробиота земљишта је најдинамичнији и најреактивнији агенс, резервоар, одговоран за већину биогеохемијских процеса, кружење хранљивих материја и угљеника у екосистемима земљишта (Romanenkov et al., 2021). Микроорганизми земљишта формирају важну везу између аутотрофне производње (фотосинтезе) и разградње, повезујући надземне и подземне подсистеме, на пример, у зони ризосфере (Holz et al., 2017), стога они имају виталну улогу у секвестрацији угљеника.

Велики број животиња, макро и микрофауне, као и микроорганизама који су просторно распоређени у земљишту и слојевима стеље значајно доприносе трансформацији и дистрибуцији (укључујући мешање и биотурбацију) органске материје земљишта, а тиме и кружењу хранљивих материја, угљеника и воде (Briones 2018; Ramesh et al., 2019). Процеси земљишта посредовани биотом могу стога послужити као осетљиви индикатори промена у квалитету земљишта (Rasulić et al., 2021). Антропогени фактори као што су гајење, употреба агрохемикалија, механички поремећаји, уклањање биљне биомасе, крчење шума, наводњавање, примена гашеног креча, дренажа, као и урбанизација и индустријализација,

негативно утичу на разноврсност и бројност земљишне флоре и фауне (Jeffery, Gardi, 2010). Пошто је већина ових организама аеробна, физичке особине земљишта као што су степен порозности, расподела пора по величини, површина и ниво кисеоника су такође од пресудног значаја за њихов животни циклус и активности (Briones, 2018). Сви ови индикатори директно и индиректно зависе од начина коришћења и интензитета обраде земљишта.

Микробна биомаса, активност (нпр. дисање изазвано супстратом, односно респирација земљишта, као и ензиматска активност микроорганизама) или разноврсност (биодиверзитет) сматрају се поузданим показатељима суптилних промена у квалитету земљишта (Karbozova Saljnikov et al., 2004; Bünemann et al., 2018; Ugrenović et al., 2020). У исто време, због своје осетљивости, микробни резервоар је први који је изложен било каквом климатском стресу. У већини пољопривредног земљишта биодиверзитет и структура земљишних микроорганизама су осиромашени као одговор на екосистемске притиске, укључујући измењени таксономски састав и преваленцију патогена (Jeffery, Gardi, 2010). Наведено последично ремети остале функције земљишта, на пример: фиксацију азота и формирање хумуса, као и агрегацију честица земљишта, док се функције као што су разлагање, нитрификација и денитрификација могу убрзати (Selivanovskaya et al., 2014).

Микробне заједнице земљишта и функционални аспекти могу се окарактерисати њиховом величином. Најшире коришћени су процеси минерализације органског угљеника и азота, биолошка фиксација азота, активност појединих ензима земљишта и микробне биомасе у комбинацији са проценом величине њихове популације (Thiele-Bruhn et al., 2020). Ензимска активност, базално дисање (индуковано супстратом), метаболички коефицијент ( $qCO_2$ ), дефинисан као однос дисања према микробној биомаси и микробна (генетичка) разноликост се користе за процену деградације земљишта, не само због њихове осетљивости на промене, већ и због њихове улоге у кружењу хранљивих материја. Осим директног мерења микробног дисања и биомасе, њихов однос као метаболички коефицијент  $qCO_2$ , показао се као универзални показатељ равнотеже екосистема, који одражава способност микробне заједнице да превазиђе спољашње утицаје (Kuhwald et al., 2018).

### Осиромашење органске материје у земљишту

Смањење садржаја органске материје земљишта (ОМЗ), као последица оксидације и минерализације, настаје услед нарушавања земљишног екосистема, промена климатског режима, неадекватног коришћења земљишта, врсте вегетације, хидрологије, текстуре земљишта, структуре земљишта и др. У ужем смислу смањење ОМЗ је губитак органског угљеника у системима усева,

због примене неодрживих пракси управљања, као што су: изостанак ширих плодореда, интензивна конвенционална обрада земљишта, спаљивање и изношење биљних остатака, као и недовољна примена органских ђубрива.

Органска материја земљишта састоји се од многих саставних јединица које се веома разликују по времену синтезе и распадања, по осетљивости на спољашње утицаје, па се поједине фракције ОМЗ могу у великој мери разликовати у степену индикације деградације земљишта. На количину органског угљеника у земљишту утиче функција брзине таложења и разлагања стварне и потенцијалне ОМЗ (Ramesh et al., 2019). Лабилна фракција органске материје земљишта утиче на динамику хранљивих материја у једној вегетационој сезони и секвестрацију угљеника током дужег временског периода. Фракције ОМЗ које чине део његове лабилне фракције: лака фракција органске материје (LFOC), угљеник микробиолошког порекла (MBC), растворљиви угљеник (DOC), потенцијално минерализујући угљеник (PMC) и екстраховани угљеник у топлој води (HWOC) брже реагују на спољашње утицаје, па су тако осетљивији индикатори промена у земљишту (Karbozova-Saljniov et al., 2004; Saljniov et al., 2019; Koković et al., 2021; Шеремешкић et al., 2022). Haynes (2005) је пронашао да су пропорције РОС и LFOC у укупном органском угљенику у пољопривредним земљиштима биле 20~45% и 2~18%, респектабилно. Слично, Коковић et al., (2021) указују је да удео LFOC у

укупном ОС био од 3,08% у неђубреној контроли, до 6,73% у варијанти са примењеном највећом дозом азотног ђубрива. Генерално, количина лабилног органског угљеника у великој мери зависи од фактора везаних за недавна додавања органске материје у облику биљних остатака или стајњака (Karbozova-Saljniov et al., 2004; Vojnov et al., 2020, Koković et al., 2021; Угреновић и сар., 2021)

Интезивирање пољопривредне производње и коришћења пољопривредног земљишта, као и климатске промене довели су до губитка органског угљеника у земљишту по стопи која је еквивалентна 10% укупних емисија гасова са ефектом стаклене баште, насталих сагоревањем фосилних горива, на територији целе Европе (Loke et al., 2019).

### Секвестрација угљеника (везивање угљен диоксида из атмосфере)

Деградација једне трећине светског земљишта већ је допринела ослобађању 78 Gt органског угљеника (ОС) у атмосферу. Дугорочни циљ међународне заједнице зацртан на преговорима о клими у Паризу (UN, COP 21 2015) и потврђен у Глазгову (UN, COP 26, 2021) је да се значајним смањењем емисија гасова

са ефектом стаклене баште, ограничи пораст средње глобалне температуре до 2 °C изнад преиндустријског нивоа. Да би се то постигло потребно је ограничити годишњу емисију гасова са ефектом стаклене баште за 9,8 Gt (9,8×10<sup>15</sup> g), са вероватноћом од 64% (Meinshausen et al., 2009). Истиче се да би годишња стопа раста залиха угљеника у земљишту од 0,4% значајно смањила концентрацију угљен-диоксида (CO<sub>2</sub>) у атмосфери, повезано са људском активношћу.

Гасови са ефектом стаклене баште имају различите потенцијале глобалног загревања, стога научни радници који се баве климом користе еквиваленте угљен-диоксида за израчунавање универзалног мерења емисије гасова са ефектом стаклене баште. Угљен-диоксид улази у атмосферу сагоревањем фосилних горива (угаљ, нафта, природни гас), разлагањем чврстог отпада, дрвећа и других биолошких материјала, кроз процес ензиматских активности земљишних микроорганизама и коренова и као резултат различитих хемијских реакција (нпр. производња цемента). Угљен-диоксид се уклања из атмосфере (или „секвестрира“) када га биљке апсорбују кроз процес фотосинтезе, као део биолошког циклуса угљеника.



Слика 1. „4 per mille“ (2022).

Атмосферски угљен-диоксид и други гасови са ефектом стаклене баште задржавају топлоту која се емитује са површине земље, а акумулација те топлоте може довести до глобалног загревања. Кроз секвестрацију угљеника, ниво атмосферског угљен-диоксида се смањује, а ниво органске материје у земљишту се повећава, тако да органски угљеник као стабилна органска материја, може остати у земљишту дуги низ година. Претварање атмосферског угљеника у биљну биомасу у процесу фотосинтезе и његово дуготрајно складиштење у резервоару органске материје у земљишту, са минималним ризиком од поновног уласка у атмосферу, назива се „секвестрација угљеника у земљишту“.

Земљиште складишти два до три пута више угљеника од атмосфере, тако да би релативно мало повећање залиха могло имати значајну улогу у ублажавању емисија гасова са ефектом стаклене баште. Годишња емисија гасова са ефектом стаклене баште, пореклом из фосилног угљеника процењена је на 8,9 Gt C ( $8,9 \times 10^{15}$  g), а глобална процена залиха C до 2 m дубине земљишта је 2400 Gt ( $2400 \times 10^{15}$  g), Batjes, (1996). Узимајући у обзир однос глобалних антропогених емисија C и укупних залиха OC (8,9/2400), добија се вредност од 0,4% или 4‰ (4 промила), која представља износ повећања залиха C који је потребан да би се надокнадила његова емисија (Слика 1).

Ако узмемо да је копнена површина света 149 милиона km<sup>2</sup>, процена је да

у просеку има 161 t OC по ha, тако да је 4‰ овог износа једнако просечној стопи секвестрације за надокнађивање емисија од 0,6 t C по хектару годишње. Међутим, ова укупна вредност од 4‰ може се само условно применити јер складиштење угљеница у земљиште варира у зависности од различитих услова (пустиње, тресетишта, планине, итд.).

Пољопривредне активности служе и као донори (извори) и акцептори (резервоари) за гасове са ефектом стаклене баште. Највише емитованог угљен-диоксида из површинског слоја земљишта је продукт дисања микроорганизама - разлагача, што представља потенцијални утицај овог процеса на ефекат стаклене баште. Резервоари гасова са ефектом стаклене баште у оквиру пољопривреде су биљке и земљиште, тј. складишта угљеника који је усвојен из атмосфере кроз процес биолошке секвестрације угљеника (фотосинтеза). Међутим, акумулација органског угљеника у земљишту је спор и реверзибилан процес. У том смислу праксе за одрживо управљање земљиштем треба усвојити на дужи рок, а владе треба да пруже подршку корисницима земљишта за њихову дугорочну имплементацију.

Све већи број истраживача указује да пољопривредно земљиште има потенцијал да ублажи повећање атмосферских гасова са ефектом стаклене баште (FAO, 2018; Ogle et al., 2019; Lal 2020). Секвестрација угљеника у пољопривреди односи се на капацитет пољопривредног земљишта да уклони угљен-диоксид из

атмосфере. Дрвеће, биљке и усеви путем фотосинтезе апсорбују угљен-диоксид и складиште га као угљеник у биомаси, у стаблима, гранама, лишћу, корењу и земљишту (ЕРА, 2008). Шуме и травњаци су резервоари угљеника, јер могу да га складиште у великим количинама у својој вегетативној маси и кореновим системима, током дужег временског пе-

риода. Тиме земљишта представљају највећи копнени резервоар угљеника на планети. Способност пољопривредног земљишта да складишти, или секвестрира угљеник зависи од неколико фактора, укључујући: климу, тип земљишта, праксе управљања, и врсту усева или вегетационог покривача.



Слика 2. Конзервацијска обрада и покровни усев (фото: Угреновић 2016).

- Конзервацијска обрада земљишта минимизира губитке угљеника и азота због смањења брзине минерализације.
- Покровни усеви обезбеђују да је вегетација присутна скоро неприкидно, што доприноси већем везивању  $\text{CO}_2$  из атмосфере
- Биљни остаци покривају површину земљишта, формирајући малч и на тај начин регулишу топлотни и водни режим земљишта (смањена евапорација и оптимална температура)
- Агрегатно стање и структура земљишта није нарушено



Слика 3. Конвенционална обрада плугом (фото: Угреновић 2011).

- Повећана аерација
- Нарушена структура и архитектура земљишних честица и пора.
- Убрзана минерализација органског супстрата и повећана емисија  $\text{CO}_2$  у атмосферу.
- Водна и еолска ерозија
- Губитак бројности и диверзитета земљишних биота
- Голо земљиште је изложено негативним утицајима климе (ниске и високе температуре и др.)

Smith et al., (2008) су приказали да пољопривредно земљиште може имати потенцијал да секвестрира угљеника приближно 5500-6000 Mg CO<sub>2</sub>-eq. yr<sup>-1</sup> до 2030. Тренутно, на основу двоструког притиска кризе хране и глобалног загревања, постоји хитна потреба да се повећа секвестрација органског угљеника у пољопривредним земљиштима, и уз све то и обезбеђивање приноса. Секвестрација угљеника, односно смањење емисије угљен-диоксида могу се десити кроз различите пољопривредне праксе. Конзервацијска обрада земљишта, покровни усеви, шири плодореци и органска производња могу значајно повећати количину угљеника ускладиштеног у земљишту (Угреновић и сар., 2021). У истраживањима широм света измерене су стопе секвестрације угљеника у земљишту, а резултати указују да је након усвајања најбољих пракси управљања као што су: смањена обрада земљишта у комбинацији са покровним усевама махунарки, могућа годишња стопа од 0,2 до 0,5 t ускладиштеног C по хектару (Minasny et al., 2017). Увођењем ових пракси могуће је смањити емисију CO<sub>2</sub> за 20%, или више и значајно подстаћи секвестрацију угљеника у земљишту (OECD 2019). У одрживим системима биљне производње као што је органска производња, примењују се шири плодореци са учешћем покровних усева и конзервацијска обрада земљишта, чиме се оно мање ремети, а обезбеђује се дужи период његовог мировања (Ugrenović, Filipović, 2017). При обради земљишта превртање и мешање његових слојева своди се на нај-

мању могућу меру, а уношење биљних остатака је на дубину до 8 cm, где они могу да буду прерађени од стране живих земљишних организама (Молнар, 1999). Део тих остатака (најмање 30%) треба да буду остављени на површини да би се смањила могућност појаве ерозије. У том смислу конзервацијска обрада земљишта је потпуно прихватљива пракса јер омогућава одрживо коришћење земљишта у дужем временском периоду (Делић и сар., 2022).

На количину угљеника ускладиштеног у органској материји земљишта у великој мери утиче његово додавање из мртвог биљног материјала и губици угљеника услед дисања, процеса разлагања, као и природног и антропогеног нарушавања земљишта. Tosti et al. (2012) наводе да се биљни остаци са ужим односом C:N (*Fabaceae*) брже разграђују у земљишту од оних са ширим односом (*Poaceae*). Располагањем овим природним феноменима, процеси у земљишту могу се усмеравати у правцу постављеног циља: да ли је земљишту потребно додати органску материју или обезбедити приступачни азот за наредни усеви (Ugrenović, Filipović, 2017). У том смислу располагање биљним остацима и увођење покровних усева у плодореци утиче повољно на повећање садржаја органске материје у земљишту (Clark, A., 2008; Santos et al., 2011; Ugrenović et al., 2019; Ugrenović et al., 2020). У вишегодишњем огледу Угреновића и сар. (2021) у органском систему гајења, применом здруженог покрвног усева беле слачице (*Sinapis alba* L.) и овса (*Avena sati-*

via L.) остварена је потпуна покривеност земљишта вегетацијом и додата значајна количина органске материје у облику зелене биомасе ( $9.8 \text{ t ha}^{-1}$ ). Након овог покривног усева интензитет респирације земљишта био је статистички значајно већи ( $1090.84 \mu\text{g/g CO}_2\text{-C / недељно}$ ) у поређењу са контролним земљиштем, без покровног усева ( $447,53 \mu\text{g/g CO}_2\text{-C / недељно}$ ). Садржај угљеника у микробној биомаси (МВС) био је такође статистички значајно већи ( $235,91 / 96,78 \mu\text{g/g}$ ). Коришћењем пољопривредних пракси које укључују минимално нарушавање земљишта и подстичу секвестрацију угљеника, фармери могу да успоре или чак преокрену губитак угљеника са својих поља (Слика 2 и 3).

Оптимални ниво органског угљеника у пољопривредним земљиштима може се постићи и у конвенционалној агрономској пракси, правилном применом ђубрива, укључујући и минерална, управљањем стоком и променом намене земљишта. Ђубрење је важна одредница количине органског угљеника у обрадивим земљиштима, јер може утицати на равнотежу између примарног уноса угљеника и његовог распадања. На пример, Xiang et al., (2022) су у двадесетчетворогодишњем експерименту открили да примењена умерена количина минералног ђубрива, заједно са стајњаком подстиче секвестрацију органског угљеника у земљишту, са стопом секвестрације од  $0,19\sim 1,29 \text{ Mg}$  по хектару годишње. У њиховом истраживању, примена већих количина минералног ђубрива довела је до

смањења количине лабилне фракције органског угљеника, док је комбинација умерене количине минералног ђубрива и стајњака резултирала већом секвестрацијом лабилног угљеника у земљишту, по стопи од  $0,04\sim 0,24 \text{ Mg}$  по хектару годишње. Koković et al. (2021) указују да програми ђубрења помажу да се атмосферски  $\text{CO}_2$  депонује (секвестрира) у земљишту, повећањем раста биљака и тиме повећаном акумулацијом органске материје у земљишту. Са друге стране у савременој пољопривреди тежиште се све више пребацује ка активирању и очувању природне плодности земљишта, а мање на непосредној исхрани биљке, како је то случај у интензивној конвенционалној производњи (Ugrenović et al., 2020). Примена стајског ђубрива и различитих компоста је такође једна од пракси управљања која може побољшати статус хранљивих материја у земљишту и повећати нивое органског угљеника у њему.

Утицај ђубрења на залихе органског угљеника је добро документован, али резултати веома варирају због многих фактора, као што су типови земљишта, системи усева, управљање биљним остацима и клима (Karbozova-Saljniov et al., 2004; Yang et al., 2015; Vojnov et al., 2020, Угреновић и сар., 2021). Због свега тога однос између уноса угљеника и секвестрације угљеника под различитим ђубрењем није јасан. Сложени процес секвестрације угљеника у земљишту може се проучавати само у дугорочним експериментима, јер је потребно много

времена да се различите фракције угљеника у земљишту избалансирају.

Постоји потреба за већим бројем студија о ефектима дуготрајног ђубрења на динамику органског угљеника и стопе секвестрације угљеника, које би помогле у разумевању ефикасности секвестрације угљеника у пољопривредним земљиштима.

Подаци о количини и динамици, као и практични модели секвестрације угљеника, још увек су врло оскудни у литератури. Кружење угљеника у пољопривредним системима одвија се углавном између лабилне фракције органске материје и атмосфере. Будући да је квалитет и количина лабилне фракције ОМЗ у великој зависности од сезонске променене биљних и жетвених остатака, динамика секвестрације угљеника је врло индивидуална. Због тога се ниво секвестрације угљеника мора мерити и предвидети на основу карактеристика усева, плодореда, начина гајења, типа земљишта, климатских услова и других специфичних фактора, појединачно.

Дугорочни теренски експерименти и студије праћења земљишта (Romanenko et al., 2021; Körschens, 2021; Koković et al., 2021), једина су права основа валидних и утемељених података о променама у органској материји и процени секвестрације угљеника у конкретном екосистему и начину коришћења земљишта. Резултати мониторинга угљеника у земљишту показују

да циљеви процењене потенцијалне секвестрације угљеника, кроз праксе управљања земљиштем захтевају спецификацију (Körschens, 2021).

## Перспектива

Упркос технолошком напретку у пољопривреди (побољшану сорти, примени биотехнологија и унапређењима у примени наводњавања), као и особинама земљишта и природних заједница, климатски фактори су и даље кључни за пољопривредну продуктивност. Утицај климе на пољопривреду је везан за варијабилност у локалној клими, а не у глобалним климатским сценаријима (Saljnikov, 2012). Трајање циклуса раста гајених биљних врста у усевима је пре свега повезано са температуром ваздуха. Зато ће повећање температуре, због повећања концентрације  $\text{CO}_2$ , убрзати развој биљака. Према прогнози CCWS пројекта (2012), температура ваздуха ће у Србији у наредних 100 година порастати за 3,3-4,1 °C, док ће количина падавина опадати. Предвиђени пораст глобалне температуре, заједно са свим његовим еколошким последицама углавном се приписује повећаном нивоу  $\text{CO}_2$  у атмосфери (Tuba, Kaligarić, 2009).

Повећање залиха угљеника у земљишту које предвиђа концепт „4 per mille“ (2022), за одржавање константне концентрације  $\text{CO}_2$  за период 2030-50. године, пољопривредно земљиште треба да обезбеди везивање од 1,4-1,8 G t угљеника годишње, што је у просеку 0,89 t ha<sup>-1</sup>, или приближно 2 t суве

биомасе. Тренутно је уклањање гасова са ефектом стаклене баште путем везивања, ограничено на директне промене коришћења земљишта изазване људским фактором, а шумске активности су ограничене на пошумљавање и смањење крчења шума. Међутим, постоји много начина на које одговарајуће управљање земљиштем може значајно смањити концентрацију гасова са ефектом стаклене баште у атмосфери. На пример, технике конзервацијске обраде земљишта значајно би смањиле емисију  $\text{CO}_2$ , док би шири плодороди са учешћем већег броја биљних врста, покровни усеви и правилно располагање биљним остацима, допринели већем везивању  $\text{CO}_2$  у земљишту (Угреновић и сар., 2021). Осим тога, све ове мере доприносе оптималном расту и развоју земљишне флоре и фауне, а

на крају побољшању плодности, квалитета и продуктивности земљишта.

Стварање система фарми са снажним подстицајима за „гајење“ угљеника у земљишту могло би бити у центру стабилизације климе. Дакле, нова „врста“ коју би фармери могли у будућности да гаје је угљеник. Као и за било коју другу производњу, пољопривредницима је и за овај производ потребно тржиште и цена која ће га учинити профитабилним за гајење. Из ширег друштвеног контекста, од приватног и јавног значаја су и питања: ко ће откупљивати овај нови усеви и шта је фер цена? Како вредновати угљеник из перспективе индивидуалног фармера, као и друштва у целини, срж је разумевања улоге коју пољопривреда може да игра у секвестрацији угљеника и стабилизацији климе.

## Литература

- Bar-On, Y.M., Phillips, R., Milo, R. (2018). The biomass distribution on Earth. *PNAS*, 115 (25): 6506-6511.
- Bateman, A.M., Muñoz-Rojas, M. (2019). Chapter One - To whom the burden of soil degradation and management concerns. *Environmental Management and Protection*, 4, 1-22.
- Batjes, N.H. (1996). Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *Eurasian Journal of Soil Science* 47, 151-163.
- Berthelin, J., Laba M., Lemaire G., Powlson D., Tessier D., Wander M., Baveye P.C., 2022. Soil carbon sequestration for climate change mitigation: mineralization kinetics of organic inputs as an overlooked limitation. *European Journal of Soil Science*, 73(1): e13221.
- Blum W.E.H., Nortcliff, S. (2013). *Soils and food security, in Soils and human health*, Editors: Brevik, E. C. and Burgess, L. C., Boca Raton, FL, USA, CRC Press, 290-321
- Blum, W.E.H. (2005). Functions of Soil for Society and the Environment. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 4(3): 75-79
- Blum, W.E.H. (2013). Soil and Land Resources for Agricultural Production: General Trends and Future Scenarios-A Worldwide Perspective. *International Soil and Water Conservation Research*, 1(3): 1-14,
- Briones, M.J. (2018). The Serendipitous Value of Soil Fauna in Ecosystem Functioning: The Unexplained Explained. *Frontiers in Environmental Science*, 6(149). <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00149>
- Bünemann, E.K., Bongiorno, G., Bai, Zh., Creamer, R.E., De Deyn, G., de Goede, R., Fleskens, L., Geissen, V., Kuiper, T.W., Mäder, P., Pulleman, M., Sukkel, W., van Groenigen, J.W., Brussaard, L. (2018). Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120, 105-125.
- Vojnov, B., Šeremešić, S., Ćupina, B., Krstić, Đ., Vujić, S., Živanov, M., Pavlović, S. (2020). Sadržaj labilne organske materije černoze u sistemu zaoravanja međuuseva i naknadne setve jarih useva. *Zemljiste i Biljka*, 69(2): 82-94.
- Делић, Д., Угреновић, В., Расулић Н., Бунтић, А., Кнежевић, М., Пивић, Р., Стајковић – Србинић, О. (2022). *Микроорганизми као биоиндикатори деградације земљишта*. У Процена деградације земљишта: методе и модели, уредник Белановић Симић Снежана, Тематски зборник, Шумарски факултет Универзитета у Београду, Српско друштво за проучавање земљишта, Београд, Србија, 478-535.
- Dobrovolskiy, G.V., Kust, G.S., Sanaev, V.G. (eds) (2012). *Soils in biosphere and life of human*. Moscow, Publishing house of the Moscow State Forest University, 584.
- EPA (2008). *Carbon Sequestration in Agriculture and Forestry*. [www.epa.gov/sequestration/index.html](http://www.epa.gov/sequestration/index.html)

Eulenstein F., Saljnikov, E., Lukin, S., Sheudshen, A.K., Rukhovich, O., Schindler U., Saparov, G., Pachikin, K., Thielicke, M., Behrendt, A., Armin, W., Zivotić, Lj., Müller, L. (2022). Climate change as the driving force behind the intensification of agricultural land use. *Zemljiste i Biljka*, 71(1): 24-39.

EC, European Commission (2020a). A farm to fork strategy - for a fair, healthy and environmentally friendly food system: Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European economic and social committee and the committee of the regions. COM(2020), 381 final.

EC, European Commission (2020b). EU Biodiversity Strategy for 2030: Bringing nature back into our lives: Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European economic and social committee and the committee of the regions. COM(2020), 380 final.

Jeffery, S., Gardi, C. (2010). Soil biodiversity under threat – a review. *Acta Soc. Zool. Bohem.*, 74, 7-12.

Jensen, J.L., Schjønning, P., Watts, C.W., Christensen, B.T., Obour, P.B., Munkholm, L.J. (2020). Soil Degradation and recovery – Changes in organic matter fractions and structural stability. *Geoderma*, 364, 114181.

Kazakov, L.K. (2019). Landscape Ecology Culture and Some Principles of Sustainable Nature Use. In: Mueller L., Eulenstein F. (eds) *Current Trends in Landscape Research*. Innovations in Landscape Research. Springer, Cham, Switzerland.

Karbozova-Saljnikov, E., Funakawa, S., Akhmetov, K., Kosaki, T. (2004). Soil organic matter status of Mollisols soil in North Kazakhstan: effects of summer fallow, *Soil Biology and Biochemistry*, 36, 1373-81.

Keller, T., Lamandé, M., Naderi-Boldaji, M., de Lima, R.P. (2022). Soil compaction due to agricultural field traffic: An overview of current knowledge and techniques for compaction quantification and mapping. In *Advances in Understanding Soil Degradation*; Saljnikov, E., Mueller, L., Lavrishchev, A., Eulenstein, F., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 287-312

Koković, N., Saljnikov, E., Eulenstein, F., Čakmak, D., Buntić, A., Sikirić, B., Ugrenović, V. (2021). Changes in Soil Labile Organic Matter as Affected by 50 Years of Fertilization with Increasing Amounts of Nitrogen. *Agronomy*, 11(10): 2026.

Koković, N., Jačimović, G., Sikirić, B., Čirić, V., Ugrenović, V., Zhapparova, A., Saljnikov, E. (2022). Changes in *Eutric Cambisol* due to long-term mineral fertilization: A case study in Serbia. *Italian Journal of Agronomy*, 17, 2029.

Körschens, M. (2021). Long-Term Field Experiments (LTEs) – Importance, Overview, Soil Organic Matter. In: Mueller L, Sychev VG, Dronin NM, Eulenstein F (2020) (eds) *Exploring and Optimizing Agricultural Landscapes*. Innovations in Landscape Research. Springer, Cham, Switzerland, 215-231.

Kuhwald, M., Thomas, C., Becker, J., Berger, A., Duttmann, R. (2018). Chapter I/32: A New Approach for Soil Respiration Measurements in Laboratory In: Sychev VG, Mueller L (Eds) *Novel methods and results of landscape research in Europe, Central Asia and Siberia*. Vol. I Landscapes in the 21st Century: Status Analyses, Basic Processes and Research Concepts. © FSBI “VNII Agrochemistry”, 180-184.

Lal, R. (2020). Soil erosion and gaseous emissions. *Applied Sciences*, 10(8): 2784.

Loke, P.F., Kotze, E., du Preez, C.C., Twigge, L. (2019). Dynamics of Soil Carbon Concentrations and Quality Induced by Agricultural Land Use in Central South Africa. *SSSAJ Soil Chemistry* 83(2): 366-379.

Meinshausen, M., Meinshausen, N., Hare, W., Raper S.C.B., Frieler, F., Knutti, R., Frame, D.J., Allen, M.R. (2009). Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2°C. *Nature*, 458, 1158-1162.

Minasny, B., Malone, B.P., Mcbratney, A.B., Angers, D.A., Arrouays, D., Chambers, A., Chaplot, V., Chen, Z-S., Cheng, K., Das, B.S., (2017). Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*, 292(292); 59-86.

Molnar, I. (1999). *Plodoredi u ratarstvu*. Naučni institute za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad, Srbija, 1-455.

Montgomery, D. (2007). *Soil erosion and agricultural sustainability*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 104.

Mueller, L., Schindler, U., Mirschel, W., Shepherd, T.G., Ball, B., Helming, K., Rogasik, J., Eulenstein, F., Wiggering, H. (2010). Assessing the productivity function of soils: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30(3): 601-614.

Ogle, S.M., Alsaker, C., Baldock, J., Bernoux, M., Breidt, F.J., McConkey, B., Regina, K., Vazquez-Amabile, G.G. (2019). Climate and Soil Characteristics Determine Where No-Till Management Can Store Carbon in Soils and Mitigate Greenhouse Gas Emissions. *Sci. Rep*, 9, 11665.

OECD (2019). <https://doi.org/10.1787/e9a79226-en>

Packer, I.J., Chapman, G.A., Lawrie, J.W. (2019). On-Ground extension of soil information to improve land management. *Soil Use and Management*, 35(1): 75-84.

Parihar, C.M., Meena, B.R., Nayak H.S., Patra K., Sena D.R., Raj Singh, Jat S.L., Sharma D.K., Mahala D.M., Patra S., Rupesh, N.Rathi, Choudhary M., Jat M.L., Abdallah A.M. (2022). Co-implementation of precision nutrient management in long-term conservation agriculture-based systems: A step towards sustainable energy-water-food nexus. *Energy*, 254, Part B, 124243.

Ramesh, T., Bolan, N.S., Kirkham, M.B., Wijesekara, H., Kanchikerimath, M., Rao, C.S., Sandeep, S., Rinklebe, J., Ok, Y.S., Choudhury, B.U., Wang, H., Tang, C., Wang, X., Song, Z., Freeman, O.W. (2019). Soil organic carbon dynamics: Impact of land use changes and management practices: A review. *Advances in Agronomy*, 159.156, -107.

Rasulić N., Delić D., Stajković-Srbinić O., Buntić O., Kuzmanović, Knežević, M., Sikirić, B. (2021). Microbiological and basic agrochemical properties of Eutric Cambisols in western and southwestern Serbia. *Zemljiste i Biljka*, 70(2): 1-9.

Ritchie H., Roser M. Rosado P. (2020). "CO<sub>2</sub> and Greenhouse Gas Emissions". *Published online at OurWorldInData.org*. Retrieved from: 'https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions' [Online Resource]

Romanenkov, V.A., Rukhovich, O.V., Belichenko, M.V. (2021). Chapter 21: Geographical Network of Long-Term Experiments with Fertilizers in the Agroecological Monitoring System of Russia. In: Mueller L, Sychev VG, Dronin NM, Eulenstein F (2021) (eds) *Exploring and Optimizing Agricultural Landscapes*. Innovations in Landscape Research. Springer, Cham, in print ISBN 978-3-030-67448-9

Saljnikov E., Cakmak D., Rahimgalieva S. (2013). Soil organic matter stability as affected by land management in steppe ecosystem. Pp. 269-310. Chapter10. In Soil Processes and Current Trends in Quality Assessment, Ed. Maria C. Hernandez Soriano, Belgium, INTECH Open Access Publisher; ISBN 980-953-307-671-8. P, 434

Saljnikov, E. (2012). *Report on land use in Serbia and two test areas: Beljanica and Stara Planina*. CC-Waters. Transitional Cooperation Program SOUTHEAST EUROPE, 314-335.

Saljnikov, E., Eulenstein, F., Lavrishchev, A., Mirschel, W., Blum, W.E.H., et al. (2022a). Understanding Soils: Their Functions, Use and Degradation. In: Saljnikov E., Mueller L., Lavrishchev A., Eulenstein F. (eds) *Advances in Understanding Soil Degradation*. Innovations in Landscape Research. Springer, Cham, Switzerland, 1-42.

Saljnikov, E., Lavrishchev, A., Römbke, J., Rinklebe, J., Scherber, C., Wilke, B-M., Tóth, T., Blum, W.E.H., Behrendt, U., Eulenstein, F., Mirschel, W., Meyer, B., Schindler, U., Urazaliev, K., Mueller L. (2021). *Understanding and Monitoring Chemical and Biological Soil Degradation*. In: Saljnikov E., Mueller L., Lavrishchev A., Eulenstein F. (eds) *Advances in Understanding Soil Degradation*. Innovations in Landscape Research. Springer, Cham, 75-124.

Santos, N. Z. D., Dieckow, J., Bayer, C., Molin, R., Favaretto, N., Pauletti, V., & Piva, J. T. (2011). Forages, cover crops and related shoot and root additions in no-till rotations to C sequestration in a subtropical Ferralsol. *Soil & Tillage Research*, 111(2): 208-218.

Sartori, M., Philippidis, G., Ferrari, E., Borrelli, P., Lugatod, E., Montanarella, L., Panagos, P. (2019). A linkage between the biophysical and the economic: Assessing the global market impacts of soil erosion. *Land Use Policy*, 86, 299-312.

Selivanovskaya, S.Yu., Galitskaya, P.Yu., Hung, Y.T. (2014). Chapter 12: *The Use of Biological Methods for Toxicity Evaluation of Wastes and Waste-Amended Soils*. Handbook of Environment and Waste Management: Land and Groundwater Pollution Control, 737-779.

Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S., O'Mara, F., Rice, C., Scholes, B., Sirokento, O., Howden, M., McAllister, T., Pan, G.X., Romanenkov, V., Schneider, U., Towprayoon, S., Wattenbach, M., Smith, J. (2008). Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philos. T. R. Soc. B.*, 363, 789-813

Thiele-Bruhn, S., Schloter, M., Wilke, B-M., Beaudette, L.A., Martin-Laurent, F., Cheviron, N., Mougin, C., Römbke, J. (2020). Identification of new microbial functional standards for soil quality assessment. *Soil*, 6, 17-34.

Tosti, G., Benincasa, P., Farneselli, M., Pace, R., Tei, F., Guiducci, M. & Thorup-Kristensen, K. (2012). Green manuring effect of pure and mixed barley-hairy vetch winter cover crops on maize and processing tomato N nutrition. *European Journal of Agronomy*, 43, 136-146.

Treseder, K.K. (2008). Nitrogen additions and microbial biomass: A meta-analysis of ecosystem studies. *Ecol. Lett.*, 11, 1111-1120.

Tuba Z., Kaligarić M. (2009). Grassland ecology in changing climate and land use. *Community Ecology*, 9, 3-12.

The International "4 per 1000" Initiative (2022). <https://4p1000.org/?lang=en>

UN (2015). Agenda 2030: Sustainable Development Goals. 17 Goals to Transform Our World. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/> accessed on May 23, 2022.

UN COP 21 (2015). United Nations Climate Change Conference, COP 21, Paris; <https://www.un.org/sustainabledevelopment/cop21/>

UN COP 26 (2021). United Nations Climate Action, COP 26, Glasgow ; <https://www.un.org/en/climatechange/cop26>

UNDP (2019). Combatting Land Degradation. Securing a Sustainable Future. [https://www.undp.org/content/dam/undp/library/planet/environment/Combatting\\_Land\\_Degradation%E2%80%93Securing\\_A\\_Sustainable\\_Future.pdf](https://www.undp.org/content/dam/undp/library/planet/environment/Combatting_Land_Degradation%E2%80%93Securing_A_Sustainable_Future.pdf), accessed on May 23, 2022.

Ugrenovic, V., Filipovic, V. (2017): *Cover Crops: Achievement of Sustainability in the Ecological Systems of Agriculture*. In: A. Jean-Vasile & D. Nicolò (Eds.), *Sustainable Entrepreneurship and Investments in the Green Economy*, IGI Global, USA, 255-278.

Ugrenović, V., Filipović, V., Delić, D., Popović, V., Stajković Srbinović, O., Buntić, A., Dozet, G. (2020). Maintenance of soil fertility on organic farm by modeling of crop rotation with participation alfalfa. *Matica Srpska J. Nat. Sci. Novi Sad, Srbija*, 138, 71-82.

Ugrenović, V., Filipović, V., Jevremović, S., Marjanović Jeromela, A., Popović, V., Buntić, A., Delić, D. (2019). Kupusnjače u pokrovnim usevima. *Selekcija i semenarstvo*, 15(2): 1-8.

Угреновић, В., Саљников, Е., Филиповић, В., Стајковић Србиновић, О., Угриновић, М., Станковић, С., Симић, Д., Марјановић Јеромела, А. (2021). Технолошки поступак заснивања покровног усева белом слачицом (*Sinapis alba* L.) у органској ратарској производњи. Ново техничко решење на националном нивоу, прихваћено на 50. редовној седници МНО МПНТР РС.

Угреновић, В., Саљников, Е., Пивић, Р., Коковић, Н., Грујућ, Т., Филиповић, В., Ољача, С., Симић, И., Субић, Ј., Јелочник, М. (2022). Климатска неутралност пољопривреде - развој иновативних метода органске ратарске производње. Институт за земљиште, Београд, брошура, 1-16. <https://serbiaorganica.info/wp-content/uploads/2022/03/KLIMATSKA-NEUTRALNOST-POLJOPRIVREDE.pdf>

FAO (2019). *The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture*, J. Belanger and D. Pilling (eds). FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessment. Rome, 572. <http://www.fao.org/3/CA3129EN/CA3129EN.pdf>

FAO (2018). The future of food and agriculture – Alternative pathways to 2050. Rome, 224. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO

Hatfield, J.L., Sauer, T.J., Cruse, R.M. (2017). Soil: The Forgotten Piece of the Water, Food, Energy Nexus. *Advances in Agronomy*, 143, 1-46.

Haynes, R.J. (2005). Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: an overview. *Advances in Agronomy*, 85, 221-268.

Holz, M., Zarebanadkouki, M., Kuzyakov, Ya., Pausch, J., Carminati, A. (2017). Root hairs increase rhizosphere extension and carbon input to soil. *Annals of Botany*, 121(1): 61-69.

Clark, A. (2008): Managing cover crops profitably. DIANE Publishing (3rd ed.): 1-248.

Шеремешкић, С., Ђирић, В., Саљников, Е., Војнов, Б. (2022). Процена деградације земљишта и лабилна фракција угљеника у земљишту. У Процена деградације земљишта: методе и модели, уредник Белановић Симић Снежана, Тематски зборник, Шумарски факултет Универзитета у Београду, Српско друштво за проучавање земљишта, Београд, Србија, 458-477.

Xiang, Y., Cheng, M., Wen, Y., Darboux, F. (2022). Soil Organic Carbon Sequestration under Long-Term Chemical and Manure Fertilization in a Cinnamon Soil, Northern China. *Sustainability*, 14, 5109.

Yang, Z.C., Zhao, N., Huang, F., Lv, Y.Z. (2015). Long-term effects of different organic and inorganic fertilizer treatments on soil organic carbon sequestration and crop yields on the North China Plain. *Soil Tillage Research*, 146, 47-52.