

Zaoravati ili spaljivati žetvene ostatke?

Bilanca ugljika u tlima Osječko-baranjske županije

Prof. dr. sc. Vladimir Vukadinović

Uvod

Najveći rezervoar ugljika naše planete su tla čiji se organski C (OC) procjenjuje se na 1.550 Pg (Pg = petagram = 1.000.000.000.000.000 grama), a anorganski C na 950 Pg, oba do 1 m dubine. Oceani sadrže 38,4 Pg C, fosilna goriva 4.500 Pg, živi organizmi 620 Pg i atmosfera 750 Pg ugljika. Istraživanja pokazuju da je zbog intenzivne proizvodnje hrane i manjeg povrata ugljika žetvenim ostacima i organskim gnojem iz tla izgubljeno 50-75 % od izvorne količine organskog ugljika. Na gubitak ugljika značajno utječe povećana erozija i jače ispiranje C iz tla u odnosu na prirodne ekosustave (krčenje šuma, povećavanje površina pod poljoprivrednim zemljištem, rast urbanih i industrijskih zona, rudnika itd.), tako da je procjena gubitka po jednom hektaru za većinu poljoprivrednih tala 20 do 40 Mg (megagrama = tona) tijekom povijesti poljoprivrednog korištenja zemljišta.

Koncentracija ugljičnog dioksida (CO₂) u atmosferi porasla je od predindustrijskog doba (1850.) s ~280 ppm (*parts per million*) na sadašnjih ~385 ppm, ili čak za 37,5 % i trenutno raste po stopi od ~2 ppm godišnje, odnosno za 1 Gt (1 milijardu tona na godinu) globalno. Povećanje emisije CO₂ neposredna je posljedica sve većeg korištenja fosilnih goriva, krčenja šuma koje ga u procesu asimilacije (fotosinteze) usvajaju i ugrađuju u organsku tvar (*sekvencijacija C*), spaljivanjem biomase, odnosno žetvenih ostataka i regulacijom tresetišta i močvara i dr.

Europska tla u gornjih 30 cm dubine sadrže 73-79 milijardi tona ugljika što je približno 50 puta više od sadržaja CO₂ u atmosferi iznad površine Europe. Prema Eurostatu (2010) poljoprivredne površine EU 27 iznose 166 Mha (milijuna ha) ili 38 % ukupne površine, a šume se prostiru na 177 Mha (41 %).

Rezultati kontrole plodnosti na području istočne Hrvatske na ~25.000 uzoraka tla u posljednjih 10-ak godina, pokazuju da je prosječan sadržaj organskog ugljika u tlu 53,18 t ha⁻¹ (min. 7,24 do max. 214,77 t ha⁻¹), odnosno 91,68 t ha⁻¹ humusa (humus sadrži približno 58 % ugljika i 5 % dušika). Preračunato u ukupni dušik (N_u) to iznosi ~4.584 kg ha⁻¹ te se uz prosječnu stopu mineralizacije humusa od 1 % može prosječno očekivati 46 kg N ha⁻¹ god⁻¹. Proračun potencijala mineralizacije (pN_{min}) pokazuje da je iznos raspoloživog dušika na području Osječko-baranjske županije iz organski rezervi tla nešto viši (67,48 kg N ha⁻¹ god⁻¹), odnosno godišnja rata N-mineralizacije iznosi 1,467 % uz izrazitu varijabilnost (Kv % = 83,4) jer taj proces najviše ovisi o mikrobiološkoj aktivnosti tla i uvjetima u kojima se odvija (vlaga, toplina, pH, sadržaj OC i dr.) te ne treba taj dio očekivanog dušika iz organskih rezervi tla u cijelosti odbijati od N-potrebe gnojidbe. Npr., ako je potreba N za pšenicu 175 kg, treba primijeniti više od 107,5 kg N ha⁻¹, premda je vegetacijski period pšenice dug ~250 dana, ali najvećim dijelom tijekom jeseni, zime i proljeća kada je N-mineralizacija niskog intenziteta, ili pak potpuno zaustavljena.

Sadržaj organske tvari u tlu je vrlo promjenjiv i općenito, u pjeskovitim i tlima grube strukture, manje je organske tvari u odnosu na „teža“ tla, a ozbiljne razlike nastaju i zbog različitog načina korištenja zemljišta. Naime, organske tvari je znatno manje pod obrađenim površinama u odnosu na šumska te livadna tla, kao i ona pod prirodnom vegetacijom zbog obrade i pomjeranja oksidoredukcijske ravnoteže prema procesima oksidacije (razgradnje). Neadekvatno korištenje zemljišta može dovesti do brzog gubitka ugljika, dok je povećanje njenog sadržaja u tlu puno sporiji proces.

Organska tvar tla

Organska tvar u tlu su ostatci živih organizama koji su više ili manje razloženi i zatim najvećim dijelom iznova ugrađeni u organske spojeve tla, ali bitno različite u odnosu na živu tvar. Neobično je važno naglasiti da količina organske tvari u tlu kao i njena kakvoća utječu ne samo na mogućnost rasta biljaka, već i na složene procese formiranja tla (*geneze tla*). U odnosu na mineralni dio tla, količina organske tvari je mala, no od suštinskog je značaja jer prisutnost organske tvari u tlu određuje razliku između tla u smislu prirodnog supstrata biljne ishrane i rastresite mase raspadnutih stijena litosfere u termičkim i kemijskim procesima.

Niz vrlo značajnih fizičkih i kemijskih svojstava tla povezan je s organskom tvari, kao što su struktura, kapacitet za vodu, sorpcija iona, sadržaj neophodnih elemenata (N, P, S itd.) i drugo. Ona je osnovni izvor energije za

mikroorganizme tla pa bi značajnim gubitkom ili nestankom organske tvari tla došlo do katastrofalnih posljedica po čitav život na Zemlji. Naime, od ukupne količine nežive organske tvari tla, na humus otpada ~70 %.

Podjela organske tvari tla prema veličini čestica izvršena je slično kao kod mineralne frakcije. Krupnije čestice organske tvari, koje su sačuvale svoju organiziranu strukturu žive tvari, predstavljaju *inertnu organsku rezervu tla*. Frakcija, čije čestice imaju svojstva koloidnih micela, označavaju se kao *humus* i *humusne kiseline*. Zahvaljujući svojim koloidnim svojstvima, ovaj dio organske tvari u tlu je vrlo aktivan. Dakle, *humus je proizvod žive tvari i njen prirodni izvor, rezerva i stabilizator organskog života na Zemlji*.

Ugljik i dušik organske tvari u tlu podrijetlom su iz atmosfere, odakle su dospjeli u tlo asimilacijskim procesima mikroorganizama i viših biljaka. Sumpor djelomično potječe iz atmosfere jer se može nalaziti i u plinovitom stanju (kao SO₂ i H₂S), dok fosfor vodi isključivo podrijetlo iz materijala od kojeg je nastalo neko tlo (*matičnog supstrata ili matične stijene*). Nabrojani kemijski elementi, koji ulaze u sastav humusa, u procesu razgradnje organske tvari koju obavljaju mikroorganizmi tla, prelaze u mineralne oblike i tako postaju raspoloživi za usvajanje biljkama.

Proces oslobađanja organski vezanih elemenata u pristupačne oblike naziva se *mineralizacija* ili *mobilizacija hraniva*. Pod tim pojmom podrazumijevaju se svi procesi koji dovode do transformacije nepristupačnih organskih rezervi hraniva u pristupačne, što kod humusa podrazumijeva njegovu razgradnju do niskomolekularni organskih spojeva podložnih mineralizaciji ili pak izravno pogodnih za usvajanje korijenom (kad im je molekularna masa manja od 1.000 kDa). Dakle, humus nastaje biokemijskim putem pri čemu aktivnost mikroorganizama koji sudjeluju u tom procesu (gljive, bakterije, aktinomicete, ali i kišne gujavice) ovisi o uvjetima u kojima djeluju. Najznačajniji čimbenici su vodozračni režim tla, pH-reakcija, temperatura, količina i sastav svježe unesene organske tvari u tlo.

U tlima pod prirodnim biocenozama intenzitet nastanka i razgradnje organske tvari je uravnotežen, što rezultira stabilnim sadržajem humusa. Uključivanjem tla u poljoprivrednu proizvodnju neizbježno se intenziviraju procesi razgradnje te otuda sklonost svih poljoprivrednih tala smanjivanju sadržaja organske tvari. Brzina kojom pada sadržaj organske tvari ovisan je o sustavu gospodarenja i korištenja nekog tla. Stoga se kod provođenja svake agrotehničke mjere mora razmatrati kako će se to odraziti na bilancu organske tvari tla. Potrebno je naglasiti kako je pad sadržaja organske tvari u tlu prilično spor proces, ali pod "normalnim" okolnostima korištenja tla.

Humus se kao aktivna koloidno-organska frakcija tla povezuje na različite načine s mineralnim koloidnim česticama i tako nastaju stabilni organomineralni kompleksi koji su temelj agregiranja čestica tla u strukturne agregate. Dakle, stabilnost strukturnih agregata tla neposredno ovisi o količini i kakvoći humusa u tlu, a njegova količina ovisi od unosa organske tvari u tlo i transformacije do humusnih komponenti, s jedne strane, a s druge od brzine razlaganja humusa, odnosno intenziteta mineralizacije. Na poljoprivrednim površinama unos (zaoravanje) svježe organske tvari, kroz složeni proces humifikacije, utječe na tvorbu humusa te spaljivanjem žetvenih ostataka, odsustvom organske gnojidbe i sideracije (zelene gnojidbe), sadržaj humusa pada, a struktura tla je sve lošija.

Na strukturu kiselih tala blagotvorno utječe unošenje kalcija (*kalcizacija*), najbolje uz organsku, ali i uz mineralnu gnojidbu. Poboljšanjem strukture tla raste prinos (uključujući masu korijena) što pridonosi zatim i većoj količini žetvenih ostataka. Pri tome i mikrobiološka aktivnost tla mora biti povećana, jer prosto miješanje tla i organske tvari ne djeluje na poboljšanje strukture.

Stabilna organska tvar, odnosno humus, otporan je na razgradnju, (potrebno je više od 10 godina za ciklus razgradnje), a sinteza iz razloženih organskih ostataka traje 2 do 5 godina. Također, tlo sadrži i manju frakciju inertne organske tvari koju mikroorganizmi ne mogu razložiti. Brzina razlaganja zaoranih žetvenih ostataka može se procijeniti *indeksom dekompozicije*, a masa zemljišnih mikroorganizama čini <5 % organske tvari tla, dok svježi ostatci sudjeluju s <10 % u ukupnoj organskoj tvari tla.

Značaj humusa u tlu može se promatrati s fizičkog, kemijskog i biološkog aspekta. U fizičkom pogledu humus poboljšava vodozračni režim i termička svojstva tla. Tlo s više humusa je tamnije boje te apsorbira veću količinu Sunčeve radijacije uz njegovo brže zagrijavanje. Nezamjenjiva je uloga humusa u nastanku strukturnih agregata tla i nastajanju mrvičaste strukture koja poboljšava aeraciju i drenažu. Strukturna tla vežu više vode, manje su podložna eroziji i ispiranju koloidnih čestica te se znatno lakše obrađuju uz znatno dulje vrijeme u kojem se može obrada odvijati. Humus zadržava vodu u omjeru 1 : 2,6 do 1 : 6 (10-ak puta više od zeolita) pa tla s više humusa općenito podnose bolje sušu.

Veliki broj važnih kemijskih svojstava tla vezan je uz prisutnost humusa. Izrazita moć sorpcije iona i sposobnost različitih reakcija humusa s mineralnom frakcijom tla osigurava organskoj tvari prvorazredan značaj u poboljšanju njegovih kemijskih svojstava. Humus znatno povećava kapacitet tla za sorpciju iona i preko toga poboljšava njegova puferna svojstva regulirajući ravnotežu između iona u vodenj fazi tla i onih koji su izmjenjivo vezani na koloidnim

česticama tla, sprječavajući ispiranje kationa. Naime, veoma je značajna uloga humusa u tvorbi kompleksnih spojeva (*kelati*) koje biljke lako mogu usvajati i tako vezani ioni kovina nisu podložni ispiranju ili različitim mogućnostima imobilizacije (kemijska i biološka fiksacija). Teški metali imaju posebice izraženu sklonost kelatiranju pa se u prisutnosti organske tvari zadržavaju u površinskom sloju tla i ne infiltriraju u podzemne vode.

Pored sprječavanja gubitaka teških metala ispiranjem ili njihovom transformacijom u teško topljive spojeve koje biljke ne mogu usvajati, značajna je uloga organske tvari u sprječavanju kemijskog vezivanja fosforne kiseline nakon gnojidbe fosforom gnojivima (*humat efekt*), posebice u kiseloj sredini gdje lako nastaju netopljivi i nepristupačni fosfati željeza i aluminija. Stoga je humus naročito važan u opskrbi biljaka fosforom, kalcijem i željezom i kao izvor dijela P, S, K, Fe i drugih biogenih elemenata.

Žetveni ostaci

Nerazumno korištenje biomase kao biogoriva može imati nesagledive posljedice na plodnost tla. Iscrpljivanjem fosilnih goriva, posebice nafte i plina, biomasa postaje sve važniji izvor energije. Naime, žetveni ostaci imaju kalorijsku moć $18,6 \times 10^9 \text{ J t}^{-1}$ ($\sim 3 \times 10^6 \text{ kcal t}^{-1}$) što je 50 % vrijednosti ugljena ili 33 % nafte.

Žetveni ostaci najveći su dio ukupne godišnje proizvodnje biomase, njihova suha tvar sadrži 15-60 % celuloze, 10-30 % hemiceluloze, 5-30 % lignina, 2-15 % proteina, do 10 % topljivih tvari kao što su šećeri, amino kiseline, amino šećeri i organske kiseline i 40-50 % ugljika. Predstavljaju veoma važan izvor organske tvari, imaju značajan utjecaj na biološka, kemijska i fizikalna svojstva poljoprivrednih tala i ne treba ih nipošto smatrati otpadom.

Količina žetvenih ostataka može se približno procijeniti uz pomoć žetvenog indeksa (omjera biološkog i merkantilnog prinosa). Uobičajeni žetveni indeks za pšenicu i ječam je 1,5, za kukuruz, soju i zob 1,0, za krumpir i šećernu repu 0,25. Dakle, uz prinos pšenice od 5 t ha^{-1} treba računati sa $7,5 \text{ t ha}^{-1}$ slame, uz prinos kukuruza od 10 t ha^{-1} jednaka je i količina žetvenih ostataka, dok šećerna repa uz prinos korijena od 60 t ha^{-1} ostavlja 15 t ha^{-1} glava i lišća.

Gospodarenje žetvenim ostacima često prati dvojba kako postupiti. Mnoga istraživanja jasno pokazuju da hranjive tvari iz žetvenih ostataka imaju istu hranidbenu vrijednost kao iz stajnjaka. Znanost zastupa obavezno zaoravanje žetvenih ostataka, nikako njihovo spaljivanje, premda to može predstavljati tehnički problem, jer usitnjavanje i zaoravanje velike biološke mase stvara poteškoće (npr. priprema tla za sjetvu pšenice poslije berbe kukuruza). Također, mineralizacija velikih količina svježe organske tvari zahtjeva dodatnu N-gnojidbu za sprječavanje tzv. *dušičnog manjka* (*dušična depresija*) kad je sjetva unutar 6 tjedana od prethodne žetve, odnosno zaoravanja žetvenih ostataka. S druge strane, žetveni ostaci su kao izvor mineralnih hraniva od slabijeg interesa jer sadrže puno celuloze, a malo N, P, K i ostalih biogenih elemenata, a njihovo korištenje za proizvodnju energije proizvođačima znatno popravljiva profit kad je cijena hrane niska.

Premda žetveni ostaci sadržavaju veliku količinu energije, nju je dugoročno profitabilnije iskoristiti zaoravanjem na parceli, jer hranjive tvari koje sadrže, ma kako ih malo bilo, nalaze se na mjestu primjene i nije potreban nikakav transport. Osim toga, zemljišna mikroflora je pretežito heterotrofna i ne može živjeti bez organske tvari. Dakle, transformaciju organske tvari u tlu obavljaju mikroorganizmi, bakterije i gljive pri čemu bakterije preferiraju razgradnju jednostavnijih organskih spojeva, npr. korijenske izlučevine i svježe biljne ostatke, dok gljive radije razlažu lignin i druge kompleksnije spojeve, npr. vlaknaste biljne ostatke, drvo i humus tla.

Žetveni ostaci čiji je C/N omjer vrlo širok (npr. kod pšenične slame približno 100 : 1), kao i primjenom organskih. Budući da mikrobiološka aktivnost u tlu dovodi do postupnog sužavanja tog omjera u procesu oksidacije ugljika, oslobođenu kemijsku energiju koriste mikroorganizmi za svoje potrebe (*kemosinteza*). Sve dok C/N omjer ne padne na određenu vrijednost (<33:1), sav oslobođeni dušik koriste mikroorganizmi za svoje potrebe i tako izazivaju dušični manjak, a mogućnost usvajanja dušika korijenskim sustavom viših biljaka započinje tek kad je C/N < 25:1. Treba naglasiti da je dušik ugradnjom u živu tvar mikroorganizama tek privremeno izgubljen za ishranu bilja (*biološka fiksacija dušika*) koja traje nekoliko tjedana sve do ugibanja mikroorganizama (odnosno do mineralizacije nežive biomase mikroorganizama).

Dinamika organskog ugljika u tlu

Niz matematičkih i kompjutorskih modela je kreirano za utvrđivanje bilance organske tvari, od onih koji na jednostavan način procjenjuju transformaciju organske tvari u tlu, do veoma složenih koji pokušavaju povezati stopu sekvestracije C s agrotehnikom, odnosno obradom tla (konzervacijska i no-till obrada pokazuju znatno veću sekvestraciju CO₂ u odnosu na konvencionalnu obradu), rotacijom usjeva, svojstvima tla, klimom i dr. Modeli za bilanciranje organskog

ugljika u tlu zapravo procjenjuju razliku između procesa *humifikacije* (tvorbe humusa) i *mineralizacije* (razgradnje organske tvari), pri čemu, da bi bili pouzdani, moraju uzeti u obzir niz agroekoloških indikatora, npr. tip tla, klimu (posebice temperaturu i vlagu tla), vrste i način uzgoja, plodored, intenzitet agrotehnike, posebice obrade, unos organske tvari (gnojidba, sideracija, žetveni ostatci, kondicioneri i dr.) itd. Procjena bilance organskog ugljika u tlu uobičajeno se obavlja za višegodišnje razdoblje pri čemu je neobično važan plodored (prostorna i vremenska izmjena usjeva) i plodosmjena (izmjena usjeva na istoj parceli), jer se neki usjevi, kod nas najčešće kukuruz i pšenica, češće pojavljuju na istoj površini. Naime, organski materijal bogat ligninom i širokim omjerom C/N, otporniji je na razgradnju prema žetvenim ostacima s malo lignina i širokim C/N omjerom kao što je to slama strnih žitarica.

Budući da dinamika organske tvari ovisi o više čimbenika čiji učinak nije još potpuno poznat, nerijetko se definira i tzv. *efektivna organska tvar* (EOM) koja je dostupna najmanje godinu dana nakon unosa u tlo svježe organske tvari (žetvenih ostataka, organskog ili zelenog gnoja). Stoga žitarice doprinose između 1,00 i 1,21 t C ha⁻¹, šećerna repa 0,51 t C ha⁻¹, a krumpir tek s 0,40 t C ha⁻¹.

Budući da je kontrola plodnosti Osječko-baranjske županije pokazala prosječan sadržaj od 53 tone C ha⁻¹, uz stopu razgradnje organske tvari od 2 % za naše agroekološko područje godišnji gubitak procijenjen je na 1,064 t C ha⁻¹. Tako izgubljena količina OC ne može biti nadoknađeno niti zaoravanjem ukupne mase žetvenih ostataka pšenice jer je procijenjen gubitak OC -1,261 t ha⁻¹ god⁻¹), ali zaoravanjem žetvenih ostataka soje može, jer je u tom slučaju bilanca C pozitivna. Zbog toga je razumijevanje transformacije žetvenih ostataka u procesu mineralizacije i tvorba humusa ključ u rasvjetljavanju biogeokemijskog ciklusa ugljika jer karakter transformacije organske tvari u tlu utječe na količinu, strukturu i svojstva sintetiziranih humusnih tvari.

Stopa ili *koeficijent mineralizacije* organske tvari u agroekološkom području istočne Hrvatske rijetko dostiže 2 % razgradnje organske tvari. Ovisno o mehaničkom sastavu tla, sadržaju i kakvoći organske tvari, pH reakciji i oksidoredukciji, biogenosti, temperaturi i vlažnosti tla te prisutnosti elemenata ishrane, stopa mineralizacije je između 0,5 i 2,0 % organske tvari godišnje što uz prosječno 2,0 % organske tvari tla iznosi 15-60 kg N ha⁻¹ god⁻¹ mineraliziranog dušika čija je efikasnost u ishrani bilja slična mineralnoj gnojidbi i iznosi 30-70 % u godini primjene.

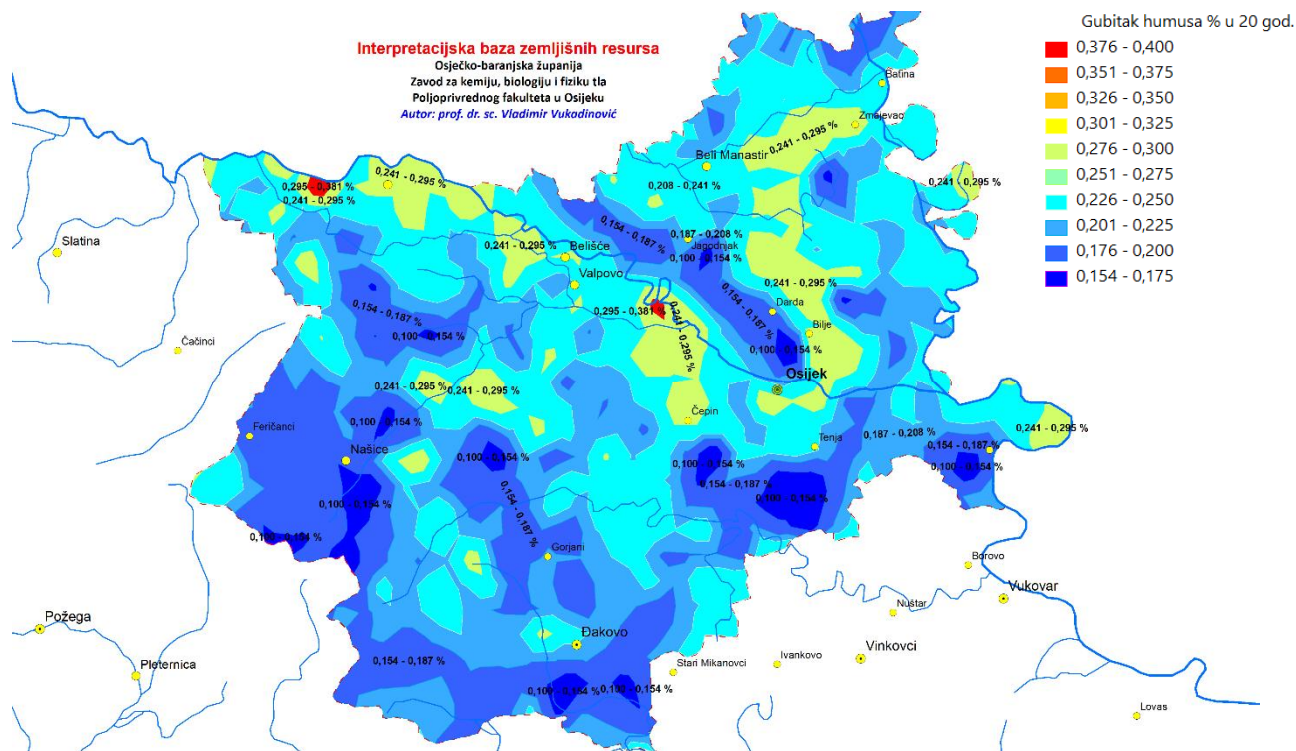
Za pšenicu bilanca organskog dušika uvijek je negativna (što vrijedi i za sva strna žita), zaoravali dio ili cjelokupnu slamu nakon žetve, što uvijek rezultira trendom pada koncentracije humusa u tlu. Simulacija bilance OC za naše agroekološko područje pokazuje pad od prosječno 0,21 % humusa u 20 godišnjem periodu. Taj gubitak je vjerojatno nešto niži jer u plodosmjerni čest je kukuruz (s većom biomasom i većim koeficijentom humifikacije prema strnim žitima), soja i suncokret. Stoga, ako je plodored uzak, a strna žita se pojavljuju u plodoredu svake druge ili treće godine, proizvođači bi trebali razmotriti mogućnost barem povremene organske ili zelene gnojidbe kako bi zaustavili pad organske tvari, a time i produktivnu sposobnost svojih tala. Uz odnošenje žetvenih ostataka, ili njihovo spaljivanje, treba gubitku ugljika pridodati i gubitak dušika koji je procijenjen na 433 kg N ha⁻¹ u 20-godišnjem periodu. U trogodišnjoj plodosmjerni pšenice, ili neke druge strne žitarice, gubitak iznosi ~145 kg N ha⁻¹ 20 god⁻¹, a to je praktično gubitak (trošak) jednogodišnje gnojidbene N potrebe, ne računajući izgubljene i druge biogene elemente.

Zaključci

Uzastopnim korištenjem žetvenih ostataka za energetske potrebe, odnošenjem za druge potrebe (stočarstvo, građevinarstvo, proizvodnja papira itd.), ili njihovim spaljivanjem na parceli uzrokuje negativnu bilancu organskog ugljika u tlu uz snižavanje sadržaja humusa, odnosno pada kakvoće tla uz nepovoljni utjecaj na okoliš.

Zaoravanjem žetvenih ostataka usjeva, posebice leguminoza, smanjuje se rizik od erozije, održava ili čak poboljšava strukturu tla, povećava sadržaj humusa uz porast retencijskog kapaciteta za vodu i zrak te utječe na veći toplinski kapacitet tla. Svježe zaorani žetveni ostatci predstavlja nezamjenjiv izvor energije za mikroorganizme tla.

Biomasa za različite potrebe (sirovina, energent) može se proizvesti uzgojem brzorastućih kopnenih ili morskih biljnih organizama, kao nusproizvod obrade drveta, korištenjem urbanog smeća, plantažnim uzgojem brzorastućih trajnica i siderata te žetvene ostatke treba u primarnoj organskoj produkciji smatrati dragocjenim i ograničenim resursom.



Slika 1. Prostorna procjena gubitka humusa (%) u 20-godišnjem periodu (kriging temeljem 24.699 uzoraka tla) uz izvoženje pšenične slame za područje Osječko-baranjske županije modelom Hénin-Dupuis.

U Osijeku 2014. godine