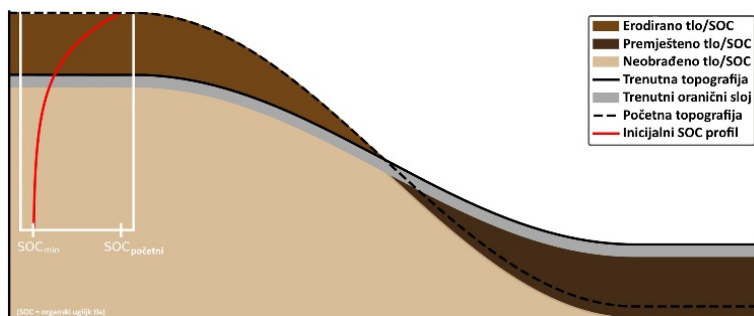


## Erozija uzrokovana obradom tla

Prof. dr. sc. Vladimir Vukadinović

Erozija tla općenito se smatra najproblematičnijim, najraširenijim i najvidljivijim oblikom globalne degradacije tla jer negativno utječe na njegova različita svojstva, najviše na smanjivanje gornjeg humusno-akumulativnog sloja (A-horizont) ili čak njegovo potpuno odnošenje te pad sadržaja i zaliha organskog ugljika u tlu drastično smanjuje njegovu plodnost. Pod erozijom se najčešće smatra degradacija tla nastala vodom ili vjetrom, ali suvremena istraživanja pokazuju kako obrada tla može biti vrlo značajan, često i glavni faktor vrlo brze degradacije velikih poljoprivrednih površina, čak i većim od onih izloženih isključivo eroziji vodom. Me-



đutim učinak erozije vodom dobro je poznat i istražen, dok se erozija obradom tla mnogo manje promatrala i do danas je slabo dokumentirana, premda može često nadmašiti eroziju izazvanu vodom.

Erozija se može definirati kao trošenje površine tla fizičkim silama kao što su oborine, tekuća voda, vjetar, led, promjena temperature, gravitacija ili drugi prirodni, ali i antropogeni faktori koji „ostružu“, odvajaju i uklanjaju tlo ili geološki materijal s jedne točke na zemljinoj površini i talože ga negdje drugdje (Slika 1.).

Slika 1. Redistribucija organskog C obradom tla na nagibima

Kada se koristi u kontekstu pritiska na tlo, izraz erozija se odnosi na ubrzani gubitak tla kao rezultat antropogenih (poljoprivrednih) aktivnosti koji premašuje prihvaćene vremenske stope prirodne tvorbe tla.

Šteta od erozije u EU se procjenjuje na 1,25 milijardi eura godišnjeg gubitka poljoprivredne produktivnosti i 155 milijuna eura gubitka bruto domaćeg proizvoda (BDP). Glavne posljedice erozije tla su gubitak plodnog tla te posljedično poremećenih ciklusa hranjivih tvari, gubitak organskog ugljika (Slika 2.) i bioraznolikosti, uništavanje infrastrukture (ceste, brane, vodoopskrbne mreže, željeznice itd.) zbog prekomjernog opterećenja sedimentom, njegovog kretanja i klizanja, difuzno onečišćenje površinske vode, negativni učinci na vodene ekosustave i biološku raznolikost, ograničenja korištenja zemljišta, deprecijacija vrijednosti zemljišta, rizik od poplava i prijenos sedimenata u luke.



Slika 2. Lijevo: Sirozem na Baranjskoj planini i erozivni depozit podno nagiba (Zmajevac, 2005.); Sredina: Sirozem na černozeu Baranjske planine (Zmajevac, 2021.); Lijevo: Kukuruz na istoj parceli (Zmajevac, 13.06.2023.).

*Depozit ispod strmine utvrđivan je 2005. pedološkom sondom i bio je deblji od 7 metara (fotografije: V. Vukadinović)*

Erozija obradom tla rezultira progresivnim kretanjem tla nizbrdo, odnosno tlo se premješta (gubi) s gornjeg dijela padine i nakuplja kao depozit na kraju padine (Slika 1.). Potrebno je naglasiti kako su ranija istraživa-

nja prikazivala efekte ukupne erozije. Budući da se erodirani dijelovi zbog obrade nalaze na konveksnim (izbočenim) položajima gdje je erozija vodom vrlo malo izražena, a taloženje premještenog materijala humusno-akumulativnog horizonta odvija se duž konkavnih (ulegnutih) dijelova ispod padine, jasno se može razlikovati utjecaj vodene erozije koji je vidljiv na nagnutim dijelovima polja, dok su dokazi erozije izazvane obradom tla vidljiviji na vrhovima i padinama neposredno ispod vrha. To se jasno može vidjeti na fotografiji baranjske planine (Slika 2.) gdje se prapor (les) kao matični supstrat pokazuje kao svjetlija područja na površini „ogoljelog“ černoze (tzv. *sirozem*). Razlike u izgledu i veličini biljaka kukuruza jače su izražene u „sušnoj godini“, a u ovoj „vlažnoj“ 2023. god., razlike su još uvijek drastične pa je očit drastičan pad plodnosti na dijelovima parcele bez organske tvari u tlu. Na suncokretu koji je u pozadini kukuruza (Slika 2., desno) razlike su manje, barem u ranim fenofazama dok ima dovoljne vode i hraniva unešenih gnojivom.

Rizik od erozije obradom temelji se na nagibu ( $\Theta$ ) i zakrivljenosti padine ( $\phi$ ) te fizikalnim svojstvima tla. Naime, nagib i zakrivljenost padine utječu na silu gravitacije koja pomjera čestice tla pri obradi (oranju, drljanju, ravnanju i dr.) niz padinu, a svojstva tla koja utječu na njihovo premještanje (translokaciju) su težinu tla (volumna gustoća i vlažnost) i sklonost pomicanju čestica (tekstura, struktura i vlažnost). Na intenzitet erozije izazvane obradom najviše utječe teren s kratkim, strmim i divergentnim padinama, zatim funkcija i dizajn oruđa za obradu, brzina kretanja traktora i dubina obrade. Tipično, velika i agresivna oruđa za obradu tla koja prodiru duboko u tlo, a primjenjuju se velikom brzinom, niz padinu i uz više prolaza, rezultiraju intenzivnijom erozijom koja se rapidno povećava nakon gubitka humusno-akumulativnog horizonta tla.

Stopa erozije dramatično se povećala s intenzivnom mehaniziranom obradom te se procjenjuje kako je trenutno u EU 45 % - 50 % površina pod usjevima ugroženo erozijom zbog neadekvatne obrade tla, premda se taj učinak rijetko spominje. Simulacije u SAD su pokazale kako bi se prelaskom na obradu tla niskog intenziteta (reducirana obrada i no-till) površinski gubitak organskog ugljika (SOC; Soil Organic Carbon) nakon 100 godina smanio za ~95 % (Slika 3.). Biljna proizvodnja temeljena na oranju veoma je ubrzala stope erozije tla i to za 10 do 100 puta u odnosu na djevičanska, poljoprivredno nekorištena tla, što izravno utječe na visinu prinosa, ali i na prirodni ciklus ugljika. Budući da se primarnom organskom produkcijom globalno osigurava 95 % - 98,8 % hrane, nužno je pouzdano utvrditi, odnosno prognozirati gubitak produktivne sposobnosti tala i promjenu organskog ugljika, ali i hitno donijeti odluke za sigurnu primarnu produkciju hrane u svjetlu rastuće globalne populacije.

Naime, pad prinosa na erodiranim tlima zbog smanjene dubine soluma i plićeg ukorjenjivanja, odnosno manje raspoloživosti hraniva zbog manje zapremine humusno-akumulativnog horizonta. Osim manje zapremine plodnog sloja tla, erozija rezultira lošijim fizikalnim (npr., pad sadržaja gline, manja poroznost, sporija infiltracija vode, retencijski kapacitet za vodu i dr.) i kemijskim svojstvima (npr., snižavanje sadržaja humusa, pad intenziteta N-mineralizacije, niži KIK i dr.). Za razliku od pada plodnosti erodiranih nagiba, povećanje plodnosti na mjestima taloženja manje je proučen. Važno je naglasiti da erodirana područja pokazuju najjači negativni učinak na prinose usjeva tijekom sušnih godina dok je često niži, ili čak može nestati u kišnim godinama.



Slika 3. Lijevo: Strmina između neobrađivane prerije i oranice

Desno: Kinematički sustav globalnog pozicioniranja u stvarnom vremenu (RTK GPS)

Nedavno istraživanje provedeno na američkom Srednjem zapadu, na području autohtonih prerija, pokazalo je neočekivano veliku eroziju obrađivanih tala. Utvrđeno je da gubitak tla zbog obrade od početka biljne proizvodnje do danas iznosi 0,2 - 4,3 mm godišnje što je dovelo do smanjenja debljine tla u rasponu od 0,04 - 0,69 m, a to odgovara stopi erozije prosječno za 1,9 mm godišnje (Slika 3.). Procijenjena prosječna

Nedavno istraživanje provedeno na američkom Srednjem zapadu, na području autohtonih prerija, pokazalo je neočekivano veliku eroziju obrađivanih tala. Utvrđeno je da gubitak tla zbog obrade od početka biljne proizvodnje do danas iznosi 0,2 - 4,3 mm godišnje što je dovelo do smanjenja debljine tla u rasponu od 0,04 - 0,69 m, a to odgovara stopi erozije prosječno za 1,9 mm godišnje (Slika 3.). Procijenjena prosječna

povijesna stopa erozije od  $1,8 \pm 1,2$  mm godišnje gotovo je dvostruko više od stope koju Ministarstvo poljoprivrede SAD-a (USDA) smatra prihvatljivom te je preporučena daljnja provedba prakse očuvanja tla kako bi se smanjila intenzivna erozija na prihvatljivu razinu.

Obrada tla može utjecati na velik broj indikatora plodnosti tla kao što su njegova zapreminska gustoća, porozitet, retencijski kapacitet za vodu, infiltraciju i perkolaciju vode, promjenu sadržaja organskog ugljika zbog bolje aeracije i promjene oksidno redukcijskog potencijala tla te utjecati na raznovrsnost i brojnost korisnih organizama u tlu. Naravno, uvođenjem mehanizirane obrade tla naglo su porasli prinosi jer su brže i kvalitetnije riješeni mnogi problemi, npr. prozračivanje tla, uklanjanje korova, zaoravanje stajnjaka, mineralnih gnojiva, pesticida, žetvenih ostataka i pokrovnih usjeva, priprema tla za sjetvu itd., pri čemu se obrada često i nepotrebno prakticirala. Budući da obrada „lomi“ tlo, remeti njegovu strukturu, uklanja biljne ostatke i omogućuje brže kretanje vode te povećava gubitak tla erozijom, dugoročno predstavlja problem.

Nedostatak hraniva, kad dubina korijena nije ograničena (npr. matični supstrat baranjskog černoze sa slike 2. omogućuje rast korijena vinove loze, drugih nasada i usjeva), lako se rješava gnojidbom i tako nadoknađuje gubitak inherentne plodnosti. Međutim, produktivnost erodiranih tala može se obnoviti samo kada je prisutan dovoljno dubok i povoljan podoranični sloj, a kad to nije slučaj (npr. ograničena dubina ukorjenjivanja, grubi pijesak, šljunak, skelet, les ili velika gustoća tla i dr.), tada postoji mala ili nikakva mogućnost povrata gubitka prinosa te je degradacija tla erozijom nepopravljiva, odnosno konačna. Također, retencijski kapacitet za vodu „ogoljelog“ tla može biti vrlo mali što u sušnim uvjetima predstavlja nepremostivo ograničenje za rast, razvitak i tvorbu prinosa. U ekstremnim slučajevima, erozija obradom tla remeti i ograničava biotu (živi organizmi) tla, a materijal ispod humusno-akumulativnog sloja kada je u pokretu može „zakopati“ plodni površinski sloj na kraju strmine i ograničiti njegovu plodnost (Slika 1.).

Tlo, iako je vrlo dinamičan, kompleksan i vrlo dragocjen resurs, istovremeno je i vrlo krhko te se mora smatrati neobnovljivim i ograničenim resursom s obzirom na to koliko je vremena potrebno prirodi za proces formiranja tla (~1.000 godina za 1 cm površinskog sloja tla). Dakako, mjere za sprečavanje i smanjivanje erozije obradom tla su mnogobrojne i treba ih neizostavno i odmah početi primjenjivati. U tome pomaže praksa konzervacijske obrade tla (minimalna ili bez površinske obrade tla) koja štiti njegovu površinu jer je površina tla kompaktna bez pokretnih čestica, a vodi se obradom omogućuje prodor u tlo umjesto da otječe njegovom površinom. Tri su osnovna pristupa u zaustavljanju erozije obradom:

No-till: sjetva u tlo bez oranja (prevrtanja tla), a sjeme je najčešće zaštićeno *detritusom* (poluraspadnutim organskim materijalom, prvenstveno žetvenim ostacima) prethodnih usjeva koji pokriva i štiti sjeme (Slika 4.),

Ridge-till: obrada tla uz prethodnu tvorbu grebena (uzvišenih sjetvenih redova) je poželjna za hladna i vlažna tla jer podignuti redovi (grebeni ili kreveti) uglavnom su naslijeđeni od prethodnog usjeva, odnosno tlo se ne obrađuje svake godine, a omogućena je dobra drenaža i površinska odvodnja iznad neusitnjenog i pokrivenog tla *detritusom* te topliji uvjeti za biljke i



Slika 4. Uzgoj kukuruza bez obrade tla (ostaci prethodnog usjeva pokrivaju tlo)

Mulch-till: obrada tla koja koristi *dlijetaste i čizel plugove* (tzv., *rovila*), diskove i strojeve za čišćenje tla prije sadnje koji ne preokreće tlo ostavljajući zemlju grubom i grudastom, a na površini zaostaje veći dio žetvenih ostataka od prethodnog usjeva.

Niti jedan sustav konzervacijske ili konturne obrade ne eliminira posve eroziju, kao uostalom niti višegodišnji, široki plodored, ali ju obje prakse mogu znatno usporiti. Najbolji rezultati se postižu kombinacijom pristupa, ali u ekstremnim slučajevima kada dolazi do koncentriranog površinskog sapiranja tla (tzv. *runoff*) važ-

no je uključiti strukturne kontrole kao što su *konturna obrada, vodeni i sedimentni bazeni, sjetva pokrovnih i međusjeka, terasiranje terena* i dr.

Rizik od gubitka tla, uzimajući u obzir samo prirodne čimbenike, označava se kao potencijalni rizik gubitka tla, ali je očito kako je gubitak tla erozijom vrlo mali ili čak neznatan kada je tlo pod cjelogodišnjim biljnim pokrovom kao u prirodnim biljnim zajednicama. Otuda su degradacija i gubitak tla, osobito plodnog, rezultat ljudskih (*antropogenih*) aktivnosti, uglavnom zbog proizvodnje hrane, ali i krčenja šuma, uklanjanja prirodne vegetacije zbog prenamjene zemljišta i dr.

Unazad nekoliko desetljeća intenzivno se istražuje mehanika erozije vodom, a u manjoj mjeri erozija obradom i odnošenjem tla urodom (gomo-ljastih i korijenskih usjeva), kao i prostorna distribucija nastalih sedimenata. Pri tome su temeljem brojnih terenskih istraživanja razvijeni alati i modeli predviđanja te je erozija prepoznata kao jedan od glavnih procesa degradacije zemljišta i glavna prijetnja produktivnosti poljoprivrednog tla koja se može i intenzivirati zbog ubrzanih klimatskih promjena i sve većim intenziviranjem poljoprivrede zbog ubrzanog globalnog rasta stanovništva. Razmjere erozije unutar EU prikazani su tablično (Tablica 1.).

Tablica 1. Studije o procesima erozije tla na kontinentalnoj razini (EU).

Erozija vodom	pločasta	2,46 (2,7 na oranicama)
	grebenasta	1,2 (3,6 na oranicama)
	jaružna	Nepoznato
Erozija vjetrom		0,53 (na oranicama)
Erozija obradom tla		3,3
Klizanje tla		Kvalitativna procjena

Unazad nekoliko desetljeća intenzivno se istražuje mehanika erozije vodom, a u manjoj mjeri erozija obradom i odnošenjem tla urodom (gomo-ljastih i korijenskih usjeva), kao i prostorna distribucija nastalih sedimenata. Pri tome su temeljem brojnih terenskih istraživanja razvijeni alati i modeli predviđanja te je erozija prepoznata kao jedan od glavnih procesa degradacije zemljišta i glavna prijetnja produktivnosti poljoprivrednog tla koja se može i intenzivirati zbog ubrzanih klimatskih promjena i sve većim intenziviranjem poljoprivrede zbog ubrzanog globalnog rasta stanovništva. Razmjere erozije unutar EU prikazani su tablično (Tablica 1.).

Također, postalo je kristalno jasno kako na intenzitet erozije značajno utječe poljoprivredna praksa obrade tla te su mnoge članice EU odredila pravila za primjenu konturne obrade primjerene nagibu tla. U tu svrhu uveden je *P-faktor* u modele proračuna/procjene intenziteta erozije koji uzima u obzir i poljoprivrednu praksu. Npr., konturni uzgoja podrazumijeva obradu nagnutog zemljišta duž iste nadmorske visine (*izohipse*) što se postiže oranjem, redovima/trakama usjeva i stalnim tragovima kotača okomito na padinu, čime se pored smanjenja erozije postiže i bolje i ravnomjernije zadržavanje vode. Konturni uzgoj još je učinkovitiji kada se provodi uzgojem u trakama, na terasama i uz preusmjeravanje vode, ali tek mali broj zemalja EU ima razrađene pravilnike za provođenje konturnog uzgoja, a podrazumijeva još i utjecaj kamenih zidova (uglavnom suhozidovi tipičnih za mediteransko, brdovito podneblje) i zatravnjenih rubova parcele, pri čemu oni imaju više utjecaja na smanjenje opasnosti u odnosu na kamene zidove. Kako mogu biti pogubne posljedice erozije vodom i pogrešnom obradom tla na istoku Slavonije prikazuju Slika 5. Slika 6.



Slika 5. Lijevo: Ilok 2007. (rill erozije zbog obrade niz padinu)

Slika 6. Desno: Baranjska planina 2005. (depozicija erodiranog materijala na kraju nagiba)  
(fotografije: V. Vukadinović)

U našoj zemlji primjena konturnog uzgoja je izuzetno rijetka, osim izgradnje suhozidova u Jadranskoj Hrvatskoj i to uglavnom zbog ograđivanja vlasništva i uklanjanja skeleta, premda ima primjera terasiranja nagnutih terena u voćarstvu i vinogradarstvu (Slika 7.).



Slika 7. Lijevo: Terasa na Požeškoj gori (2011.)  
Desno: Vinogradske terase iznad Iloka (2007.) (fotografije: V. Vukadinović)

Na području slavonskih vinogorja mogu se pažljivi promatranjem (i uz pomoć *Google Earth-a*) zapaziti i lokaliteti s vrlo starim i napuštenim terasama (Slika 8.).



Slika 8. Stare vinogradske terase na 375 n.v. na Papuku (moguće iz rimskog doba)

[U RH Ministarstvo poljoprivrede je novim Pravilnikom o uvjetovanosti unijelo dvije važne odredbe unutar poglavlja GAEC](#) (Dobri poljoprivredni i okolišni uvjeti, područje: klima i okoliš; GAEC5 i GAEC6) [za korisnike IAKS mjera ruralnog razvoja](#) kojima se propisuje:

1. Upravljanje obradom tla radi smanjenja rizika od propadanja i erozije tla, uključujući uzimanje u obzir nagiba tla radi sprečavanja erozije kojim se propisuje da se na površinama s nagibom  $\geq 13\%$  površinska obrada mora provoditi samo okomito na pad terena, a na postojećim trajnim nasadima s većim nagibom od  $13\%$  međuredni prostor mora biti prekriven biljnim pokrovom;
2. Minimalni zemljišni pokrov kako bi se izbjeglo golo tlo u najosjetljivijim razdobljima;
  - a) Tijekom vegetacijskog razdoblja sve oranične poljoprivredne površine moraju biti pokrivene poljoprivrednim kulturama ili žetvenim ostacima (nadzemni dio biljke s korijenom), ili ciljano prekrivene biljnim ostacima (malč) koji umanjuju eroziju tla, osim u slučaju obavljene pripreme za sljedeću sjetvu i prije nicanja;
  - b) Od 15. studenoga do 15. veljače, u cilju prikupljanja vlage, sprečavanja erozije i očuvanja zalihe ugljika u tlu, poljoprivredne površine moraju biti pokrivene glavnim usjevom ili zelenim pokrovom ili se mora primjenjivati jedna od sljedećih mjera:
    - ostavljanje strništa na poljoprivrednim površinama;
    - prekrivanje poljoprivrednih površina žetvenim ostacima (malč);

- obrada tla za sjetvu, pri čemu najmanje 25 % poljoprivrednih površina poljoprivrednog gospodarstva s nagibom većim od 9 % mora biti pokriveno glavnim usjevom ili zelenim pokrovom ili žetvenim ostacima (malč) ili ostavljanjem strništa na poljoprivrednim površinama.

Simulacija potencijala erozije u SAD za narednih 500 godina predviđaju da će ukupna erozija biti istog reda kao intenzitet erozije koja se dogodila u proteklih 160 godina, odnosno od 2,3 - 3,1 kg · m<sup>-2</sup>, a „zakopavanje“ SOC-a (organskog ugljika) pod oranični sloj (Slika 1.) u rasponu od 3,1 - 4,4 kg · m<sup>-2</sup>, odnosno 45 % - 52 % erozije SOC-a i 40 % - 47 % zakopavanja SOC-a već se dogodilo između 1860.-2020. godine. Rezultati ovog istraživanja ukazuju da brže usvajanje no-till prakse ima potencijal uveliko smanjiti eroziju tla i gubitak organske tvari, jer povećanjem intenziteta obrade tla smanjuje se vrijeme pod biljnim pokrivačem pa je veći rizik i od erozije vodom. Također, neovisno od koristi za *sekvestraciju CO<sub>2</sub>* (fiksacija i dugotrajno zadržavanje atmosferskog ugljičnog dioksida u tlu biološkim, uglavnom fotosintetskim, ali i drugim industrijskim procesima), smanjenje stope redistribucije SOC-a usporit će padove prinosa usjeva uzrokovane erozijom i smanjiti ekonomske i ekološke troškove povezane s erozijom tla i upotrebom većeg korištenja sintetskih gnojiva zbog smanjenja plodnosti degradiranih tala. Budući da se najbrže stope redistribucije tla zbog obrade tla događaju trenutno, a koncentracije SOC-a u erodirajućem tlu sada su veće nego što će biti u budućnosti, poljoprivreda bez obrade imat će nesrazmjerno veći utjecaj na održivost tla ako se usvoji prije, a ne kasnije.

Međutim, mnoga istraživanja su pokazala da konzervacijska obrada ima malu prednost samo u suhim klimatskim uvjetima, ali u vlažnijim uvjetima prinos je često osjetno niži, najvjerojatnije zbog zbijanja površinskog sloja, osobito na težim glinastim, pa i praškastim, bestrukturnim tlima te spriječene brze *infiltracije* (upijanje) i *perkolacije* (procjeđivanje) vode do njene podzemne razine (tzv. *freatička zona*) vode i aeracije dubljih slojeva. Stoga novu perspektivu mnogi biljni proizvođači vide u tzv. bio-obradi tla pomoću sjetve pos-trnih i zimskih pokrovnih usjeva koji ostavljaju iza sebe tzv. bio-pore koje omogućuju infiltraciju i drenažu vode i prodor zraka, ali i poboljšavaju strukturu tla.

Potencijalni rizik od gubitka tla erozijom najčešće se do sada izračunavao korištenjem postojećih empirijskih modela kao što je univerzalna jednadžba gubitka tla (USLE; Universal Soil Loss Equation) ili revidirani USLE (Modified Universal Soil Loss), ali suvremenim istraživanjima razvijaju se i modeli utjecaja obrade. Koncept se temelji na transportnom koeficijentu obrade tla koji se mora ustanoviti mjerenjem na terenu, odnosno odnosu između srednje udaljenosti pomaka čestica tla i nagiba izvedenog mjerenjima na terenu. Suvremenim daljinskim istraživanjem erozije satelitskim snimanjem, kad je prostorna rezolucija <10 m, ili dronovima (UAV; *Unmanned Aerial Vehicle; bespilotne letjelice, dronovi*) čija je rezolucija znatno bolja te detektiranje biomase spektralnim mjerenjem pokazala su se veoma korisna za procjenu razlike u prinosu kao posljedice okolišnih uvjeta. Naime, razlike u EVI (poboljšanog vegetacijskog indeksa NDVI) između erozijskih i taložnih mjesta bile su izraženije u analiziranoj „normalnoj godini“ (15 % varijacije biomase) u usporedbi s „vlažnom godinom“ (6 % varijacije biomase). Također, varijacije u biomasi povezane s erozijom mogu biti puno veće za pojedina polja i za određene usjeve.

Daljinska istraživanja pomoću dronova omogućuju visoku prostornu razlučivost fotografija, vremensku fleksibilnost i dobivanje multispektralnih podataka što omogućuje praćenje vremenske dinamike fitomase, ali i heterogenost organskog ugljika tla, njegovu dinamiku promjene i njegov utjecaj na promjene u prinosu. Također, daljinskim istraživanjima brzo i točno se mogu odrediti lokacije osjetljive na degradaciju svim vrstama erozije prije provedbe najbolje konzervacijske mjere.

Osijek, 15. lipnja 2023.