

Utjecaj tehničkih i bioloških zahvata na tlo i dinamiku erozije na istraživačkom poligonu Abrami

Nikola Pernar, Danko Holjević, Darko Bakšić, Josip Petraš, Ivan Perković

Nacrtač – Abstract

Vodna erozija tla jedan je od najrazornijih procesa degradacije zemljišta. U gospodarenju šumskim zemljištem moguća opasnost od erozije uvelike se povećava s povećanjem aridnosti klime. Vodnoj eroziji osobito pogoduju slabo vodopropusni supstrati i tlo koje iz njih nastaje, kao što je fliš. Flišna erodirana zemljišta dosta su rasprostranjena u Istri, gdje smo i proveli ovo istraživanje. Na poligonu za istraživanje erozije Abrami (kod Buzeta) na 6 pokusnih ploha istražili smo svojstva tla i tijekom 3 godine (2005., 2006. i 2007.) mjerili količinu oborine i produkciju erozijskoga nanosa. Na dojema plohama prije 50 godina provedena je biološko-tehnička sanacija erozije, na jednoj su provedene biološke mjere, dvije su bile kontrolne (jedna na blagom nagibu i s autohtonom degradiranim šumskom vegetacijom, a druga, jako erodirana, na strmom nagibu). Jedna ploha na blagom nagibu uspostavljena je 2004. godine – iskrčena je sva drvenasta vegetacija. Godišnja je količina oborine bila između 908 mm u 2005. godini, preko 979 mm u 2006. godini do 1 167 mm u 2007. Više od polovice erozijske produkcije odvija se u 3. kvartalu godine. Istraživanja su pokazala da se biološko-tehničkom sanacijom povećava vodopropusnost tla i sadržaj organske tvari u tlu, to više što je strmije zemljište. Pokazalo se da je na zemljištu saniranom biološko-tehničkim mjerama vrlo niska erozijska produkcija, bez obzira na raspored i intenzitet oborine, a sama biološka sanacija, bez tehničkih mjera, rezultira značajno slabijim utjecajem na suzbijanje erozije.

Ključne riječi: erozija, erodibilnost tla, vodopropusnost tla, erozijska produkcija

1. Uvod – Introduction

Vodna erozija tla jedan je od najrazornijih procesa degradacije zemljišta. U umjerenim klimatskim područjima rjeđe poprima ekscresne razmjere, a razlog tomu je obično dobro razvijen vegetacijski pokrivač i rjeđa pojava ekstremnih vremenskih uvjeta koji pogoduju ubrzanju vodnoj eroziji. Pojavnost i razornost erozije u takvim uvjetima određena je u prvom redu reljefom, svojstvima tla, antropogenim utjecajima te regionalnim klimatskim specifičnostima.

U gospodarenju šumskim zemljištem moguća opasnost od erozije uvelike se povećava s povećanjem opasnosti od požara. Na opožarenom zemljištu tlo je, bez vegetacijske zaštite, izloženo izravnom utjecaju oborine (i vjetrova). Takvo tlo ima stabilnije strukturne agregate (Andreu i dr. 2001, Fox i dr. 2007), ali je osiromašeno sadržajem organske tvari, povećana je hidrofobnost (hidrorepelentnost) čes-

tica tla, pa mu je stoga smanjen kapacitet infiltracije vode (Fox i dr. 2007, Tessler i dr. 2008). Općenito, tlo je nakon šumskoga požara erodibilnije i nerijetko biva zahvaćeno ekscresnom vodnom erozijom. Mediteransko i submediteransko krško područje obilježeno je velikom opasnošću od požara i čestim šumskim požarima, pa je izloženo i mogućnosti razvoja razornih erozijskih procesa. Takvi su erozijski procesi ostavili duboke tragove na krajolik, naseljenosti, gospodarenju šumom na ovom području (Matić 1986, Matić i dr. 1997), ali i potakli sustavne protuerozijske mjere i istraživanja erozije. Prve takve mjere datiraju u drugu polovicu 19. st. (Ivančević 1995, 2003, 2005), a sustavna istraživanja erozije uspostavljaju se 50-ih i 60-ih godina 20. st. (Gračanin 1962, Petraš i dr. 2008, Topić 1996, 2003). Novije spoznaje o vodnoj eroziji i mogućnostima protuerozijskih mjera na mediteranskom i submediteranskom području temelje se većinom na istraživanjima Petraša (2001, 2004, 2008) i

Topića (1996, 2000, 2001, 2003, 2005, 2006, 2008, 2009) te njihovih suradnika. Istraživanja su usmjerena na sanaciju erodiranoga zemljišta, prevenciju erozijskih procesa i na prirodu erozijskih procesa (istraživanje intenziteta i razmjera erozijskih procesa). U ovom se radu bavimo utjecajem protuerozijskih tretmana zemljišta na prirodu erozijskih procesa i na svojstva tla.

2. Problematika istraživanja – *Issues of research*

Vodnoj eroziji osobito pogoduju slabo vodopropusni supstrati i tlo koje iz njih nastaje. Na mediteranskom i submediteranskom području Hrvatske to su u prvom redu fliš, lapor i verfenski škriljavci. To su supstrati koji se dobro fizički troše, tako da su izdašan izvor erozijskoga materijala. Tlo koje se razvija iz ovakva supstrata uglavnom je praškasto-glinaste do glinaste teksture te je relativno niskoga infiltracijskoga kapaciteta. U uvjetima kad je nezaštićeno vegetacijom (požarišta) na takvu zemljištu vodna erozija očituje se u vrlo razornim oblicima.

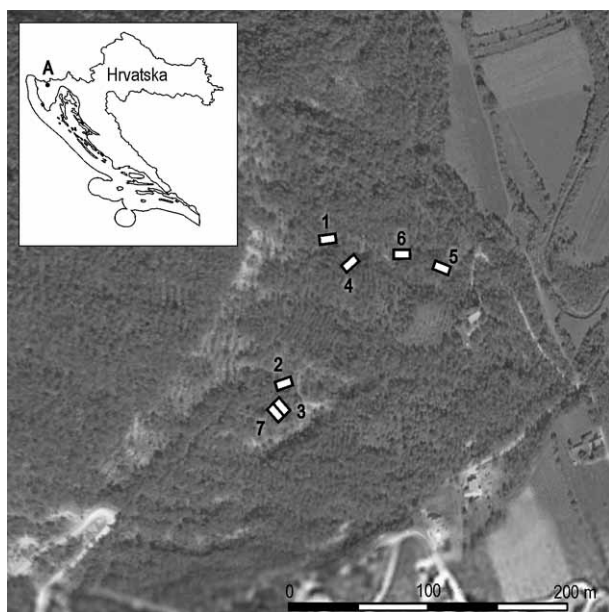
Na flišnim terenima središnje Istre u proteklih 50 godina poduzeto je niz tehničkih, bioloških i biološko-tehničkih mjera na prevenciji vodne erozije i sanaciji erodiranoga zemljišta (Gračan i dr. 2005, Komlenović i dr. 1992, Petraš i dr. 2004). Riječ je o izgradnji različitih tehničkih objekata (ustave, gradoni, terase, potporni zidovi i sl.), pošumljavanju, zatravljanju te o kombiniranim, biološko-tehničkim mjerama na vodozaštitnim područjima, erodiranim površinama

itd. Na lokalitetu Abrami kod Buzeta uspostavljen je pokus (istraživački poligon) za praćenje erozijskih procesa te sanacijskih učinaka različitih biološko-tehničkih i bioloških metoda sanacije erodiranih površina. Na tom se poligonu mogu prepoznati i učinci sanacije na svojstva tla u obliku progresijskih pedogenetskih procesa. Sinergiju učinka sanacijskih metoda i različitih prirodnih uvjeta (reljef, vegetacija) na pokusnom poligonu vrlo dobro odražavaju erozijski pokazatelji, kao što je produkcija erozijskoga nanosa (erozijska produkcija) te u manjoj mjeri i indeks površinskoga tečenja. Stoga su u ovom radu istraživanja i usmjerena ponajprije na svojstva tla i dinamiku erozijske produkcije.

3. Područje istraživanja – *Research area*

Terenska su istraživanja provedena na poligonu za istraživanje erozije Abrami u Istri. Poligon se nalazi 3,5 km (zračne linije) SZ od Buzeta (slika 1), a naziv je dobio prema naselju (Abrami) u neposrednoj blizini.

Istraživački poligon Abrami tipičan je flišni lokalitet. U geološko-litološkom smislu riječ je o eocenskom flišu u obliku naizmjeničnih slojeva svijetlo sivoga lapora i tamnoga vapnenoga pješčenjaka, odnosno tanjih ili debljih proslojaka pjeskovitoga vapnenca. Klima je submediteranska, umjereno topla kišna, s dugim, vrućim i sušnim ljetom te blagom i vjetrovitom (bura) zimom. Srednja je godišnja temperatura 12 °C, a godišnji je oborinski srednjak 975 mm. Pri-



Slika 1. Položaj istraživanoga lokaliteta
Fig. 1 Location of the investigation site



Slika 2. Erodirano zemljište prije početka istraživanja
Fig. 2 Eroded soil before beginning the research

Tablica 1. Osnovne značajke ploha pri osnivanju pokusa (djelomično prilagođeno prema Petrašu i dr. 2004)**Table 1** The main characteristics of plots at the time of test design (partially adapted according to Petraš et al. 2004).

Oznaka plohe <i>Plot designation</i>	Tlo <i>Soil</i>	Tlocrtna ploština <i>Ground plan area (m²)</i>	Nagib <i>Inclination (%)</i>	Tretman pri osnivanju (pred 50 god.) <i>Treatment at time of design (50 yrs ago)</i>	Sadašnje stanje vegetacije <i>Actual condition of vegetation</i>
2	Regosol <i>Regosol</i>	84,75	62	Netretirano (ogoljela površina s rijetkim busenima trave) <i>Untreated (bare surface with sporadic tufts of grass)</i>	Bor slaba uzrasta i prekinuta sklopa <i>Pine, poor growth and broken canopy</i>
3	Eutrični kambisol <i>Eutric Cambisol</i>	93,25	44	Netretirano (degradirana šikara crnoga i bijeloga graba s progalama) <i>Untreated (degraded scrub of hop hornbeam and oriental hornbeam with gaps)</i>	Šikara crnoga i bijeloga graba, s meduncem i borovicom, mjestimice prekinuta sklopa <i>Scrub of hop hornbeam and oriental hornbeam, with downy oak and juniper, with sporadically broken canopy</i>
4	Izlužena rendzina <i>Rendzic Leptosol</i>	102,4	59	Gradoni s krunom od suhozida i sadnja crnoga bora s podsijavanjem brnistre i travne smjese <i>Bench terraces with drywall crowns and planting of black pine with undersowing of Spanish broom and a grass mixture</i>	Sklopljena sastojina crnoga bora <i>Fully canopied stand of black pine</i>
5	Erodirani eutrični kambisol <i>Eroded Eutric Cambisol</i>	98,57	30	Klasična sadnja borova u jame <i>Conventional planting of pine trees in pits</i>	Borova kultura slaba uzrasta; okolo je prisutno i starijih borovih stabala <i>Pine culture of poor growth; there are some older pine trees in the surroundings</i>
6	Izlužena rendzina <i>Rendzic Leptosol</i>	122,7	27	Gradoni i sadnja crnoga bora <i>Bench terraces and planting of black pine</i>	Sklopljena sastojina crnoga bora <i>Fully canopied stand of black pine</i>
7	Eutrični kambisol <i>Eutric Cambisol</i>	93,25	44	Iskrčena šikara crnoga i bijeloga graba <i>Cleared scrub of hop hornbeam and oriental hornbeam</i>	Površina prekrivena pretežno travom <i>Area predominantly covered with grass</i>

rodna je potencijalna vegetacija na tim lokalitetima zajednica crnoga graba s jesenskom šašikom – u termofilnijoj varijanti kao subasocijacija s bijelim grabom (*Seslerio-Ostryetum carpinetosum orientalis* Horv.), a u mezofilnijoj (na dubljem tlu) s običnim grabom (*Seslerio-Ostryetum carpinetosum betuli* Horv.). U hidrološkom smislu taj se lokalitet nalazi u gornjem dijelu sliva rijeke Mirne, preciznije u slivu bujice Bračana, desnoga pritoka Mirne.

Istraživački poligon Abrami osnovan je 1956. godine (Seletković 1997, Pentek 2001, Petraš i dr. 2008) na jako erodiranom zemljištu (slika 2) pored zaseoka Abrami, pretežno istočne do sjeveroistočne ekspozicije, na površini od 23,46 ha.

Tada provedena pedološka istraživanja (Gračanin 1962) pokazala su da je riječ o nekoliko tipova tala, različito zahvaćenih erozijom: eutrični kambisol, izlužena i karbonatna rendzina, sirozem, erodirana rendzina i erodirani eutrični kambisol te koluvij (Gračanin 1962, Pernar i dr. 2004, 2010). Između 1956. i 1963. na poligonu je provedeno više mjera tehničke i biološke sanacije erozije radi istraživanja njihove praktične pri-

mjenjivosti. Od tehničkih radova građene su stepenaste terase, infiltracijski banketi tipa »gradoni«, te konturni rustikalni zidovi. Na vrlo strmim padinama i bokovima erozijskih jaruga provedena je i kordonska sadnja sadnica (pretežno ruj i pucalina) te sjetva sjemena brnistre, u zasjecima širine 0,5 m, usporednim sa slojnicama, s razmakom zasjeka 2 – 3 m. U tako pripremljene zasjeke sadile su se sadnice u »kordonima«, do 20 kom m⁻¹. Na gradonima je obavljena sadnja sadnica u razmaku od 0,5 m. Sađene su u prvom redu sadnice crnoga bora, a u manjoj mjeri i običnoga bora, atlaskoga cedra, zelene duglazije, španjolske jele, crnoga jasena, žir hrasta medunca itd. Iza rustikalnih suhozidova sijana je travna smjesa, sađen je ruj, pucalina, brnistra i vrisak. Na stepenastim terasama sađene su kruške, višnje, lijeska i badem. Između gradona, suhozidova i terasa provedeno je zatravljivanje s primjesom leguminoza (autohtone travne i leguminozne vrste). Na dijelovima poligona uspostavljene su i kontrolne površine, na kojima nije proveden nikakav zahvat, ili je izvedena samo klasična sadnja sadnica u jame.

Istraživanje kvantitativnih pokazatelja erozije započelo je 1970. godine nakon što je 1969. godine



Slika 3. Današnje stanje ploha: ploha II (lijevo), plohe VII i III (u sredini) i ploha IV (desno)

Fig. 3 The actual plots: plot II (left), plots VII and III (center) and plot IV (right)

uspostavljeno 6 ploha za mjerenje produkcije erozijskoga nanosa. Plohe su ploštine oko 100 m², različitih su nagiba i tretmana (tablica 1). Prvo je razdoblje mjerenja na tim plohamo trajalo do 1977. godine (Petraš i dr. 2004, 2008). Nakon toga plohe su zapuštene, a na poticaj Građevinskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu ponovno su obnovljene tijekom 1997. i 1998. godine (dvije plohe) te 1999. (tri plohe). Od 2000. godine nastavlja se mjerenje pokazatelja erozije, s tim da se na plohi 1 (zbog specifičnosti plohe 1 u ovom istraživanju ona je ispuštena) mjerenje provodi metodom terestrične fotogrametrije (Jurak i dr. 2002, Petraš i dr. 2001, 2008). Sedma je ploha uspostavljena 2004. godine i na njoj se mjerenja provode od 2005. godine. Zbog financijskih poteškoća na kraju 2007. godine mjerenja erozijskih parametara ponovno su prekinuta. U ovom smo radu obradili istraživanja provedena tijekom 2005., 2006. i 2007. godine.

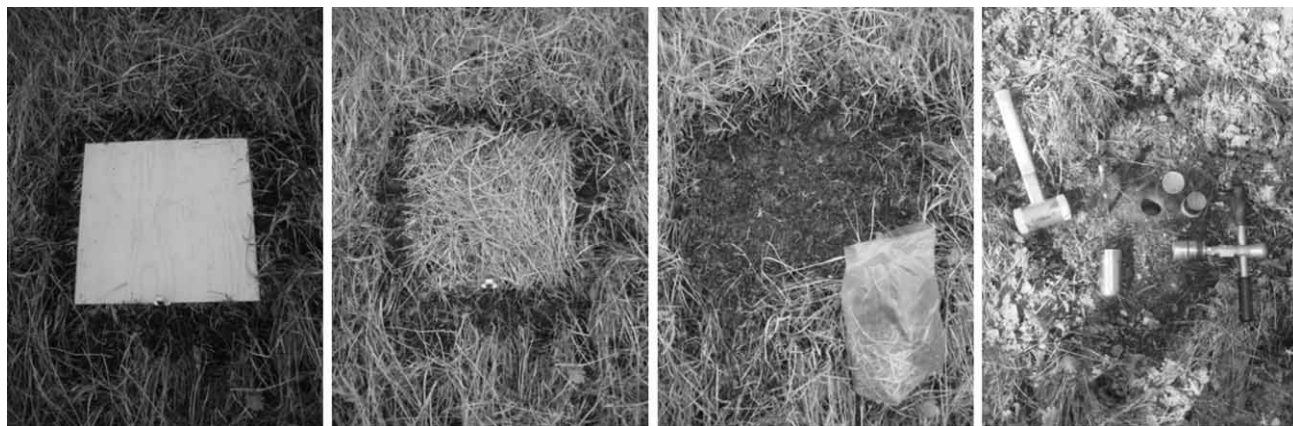
Danas je površina istraživačkoga poligona potpuno sanirana (slika 3), osim na mjestima gdje se za

potrebe istraživanja prati ubrzana erozija (npr. na kontrolnim površinama, na površini s uklonjenom vegetacijom i sl.).

4. Materijal i metode istraživanja *Material and methods of research*

Pedološkim istraživanjem u Abramima obuhvatili smo plohe II, III, IV, V, VI i VII. Uzorkovanje tla i organskih ostataka obavili smo u neposrednom okolišu ploha za mjerenje erozije. Pored plohe II otvoren je pedološki profil, na kojem su uzeti uzorci u poremećenom stanju samo iz C-horizonta. Na 3 mjesta pored plohe (pri vrhu, na sredini nagiba i pri dnu) uzorkovali smo šumsku prostirku na plohicama dimenzija 50 × 50 cm (slika 4).

Na istim plohicama uzorkovali smo cilindrima neporemećeno tlo iz dubine 0–5 cm. Pored ploha III i V također smo otvorili profile, na kojima smo uzorkovali tlo po horizontima u poremećenom i neporeme-



Slika 4. Uzorkovanje organske prostirke i tla na plohicama 50 × 50 cm

Fig. 4 Sampling of organic floor and soil in 50 × 50 cm plots

ćenom stanju. Na trima plohama, identično plohi II, uzorkovali smo šumsku prostirku i neporemećeno tlo iz dubine 0 – 5 cm. Kako se u slučaju ploha IV i VI radi o plohama na kojima su protuerozijski zahvati provedeni izgradnjom gradona, pored njih nismo otvarali pedološke profile. Uzorkovanje šumske prostirke obavili smo na plohama dimenzija 50 × 50 cm, posebno na kosinama gradona, odnosno na terasama (tjemenima) gradona – u središnjem dijelu donje, odnosno gornje polovice plohe. Na istim plohama, nakon uklanjanja prostirke, uzorkovali smo tlo sondom (poremećeno tlo) do dubine od 10 cm te cilindrom (neporemećeno tlo) do dubine od 5 cm.

Granulometrijski je sastav tla određen prema HRN ISO 11277:2004, pH prema HRN ISO 10390:2005, sadržaj CaCO₃ prema HRN ISO 10693:2004, organski ugljik (TOC) prema HRN ISO 10694:2004, poroznost prema HRN ISO 11508 i 11272:2004, retencijski vodni kapacitet prema HRN ISO 11461:2001, zračni kapacitet prema HRN ISO 11580 i 11272:2004, vodopropusnost tla prema HRN ISO 17312:2005.

Mjerenje erozijskih parametara temeljilo se na kumulativnom mjerenju otjecanja vode i erozijskoga nanosa sa svake pokusne plohe. To znači da se za svaki kišni događaj prikupljao cjelokupan dotok vode s erozijskim nanosom s plohe (događalo se doduše da se više kišnih događaja izmjeri kumulativno, odnosno da se za više kiša koje su se dogodile u kratkom vremenskom razmaku /nekoliko dana/ izmjeri ukupna količina otjecanja i erozijskoga nanosa). Voda se prikupljala u bazene i/ili bačve preko limenoga oluka smještena u jarak pri baznoj stranici plohe. Dotekla se voda s nanosom mjerila tako da se na terenu mjerila razine vode u prikupnim bazenima i/ili bačvama. Ukupna količina erozijskoga nanosa u prikupljenoj vodi određivana je prema normi HRN ISO 4365 tako što se nakon potpune sedimentacije nanosa u sabirnim bazenima (bačvama) odstrani bistra voda, a preostali se sadržaj filtrira i suši u laboratoriju (105 °C) te se ukupna masa nanosa određuje vaganjem. Kišni su događaji registrirani ombrografom koji je postavljen u sklopu meteorološke postaje Abrami, na samom poligonu, osnovane 1961. godine. Pri preračunavanju mase erozijske proizvodnje u ubujam uzeli smo da je prosječna gustoća erozijskoga nanosa 1,2 Mg m⁻³ (Petraš i dr. 2008). Statističke analize (deskriptivna statistika, korelacije, *t*-test) provedene su u statističkom paketu STATISTICA 7.1.

5. Rezultati istraživanja i rasprava *Research results and discussion*

Istraživanje fiziografije tla na poligonu pokazalo je da između uzoraka, bez obzira na dubinu uzorko-

vanja, nema značajne razlike (pH u vodenoj suspenziji je između 7,7 i 7,9), što upućuje na dugotrajan utjecaj erozije. Prema sadržaju humusa (organskoga ugljika – TOC) uzorci unutar profila, ali i između tretmana međusobno se značajno razlikuju.

Na plohi II tlo je bez razvijenoga humusno-akumulativnoga horizonta. Riječ je o jako skeletnom (70 – 90 % skeleta) eutričnom regosolu s diskontinuiranim slojem šumske prostirke (u tom je sloju akumuliran 1531 kg ha⁻¹ suhe organske tvari) i o sporadično prisutnim humusno-akumulativnim horizontom. U površinskih 18 cm tlo je skeletoidno i praškaste teksture, a u površinskih 0 – 5 cm tlo je osrednje porozno (48,4 %), osrednjega kapaciteta za vodu (37 %) i male vodopropusnosti (tablica 2).

Na plohama III i VII (nalaze se neposredno jedna pored druge) tlo je eutrični kambisol, a trošina je lapora tek na približno 90 cm dubine. Na plohi III potpuno je prekriveno listincem i travom, a većim je dijelom obraslo šikarom medunca, crnoga i bijeloga graba. Na plohi VII prevladava gusti travni pokrivač. Na tim je plohama tlo homogena, praškasto-illovaste teksture. Debljina humusno-akumulativnoga horizonta od samo 2 – 4 cm može se pripisati u prvom redu erozijskomu utjecaju u prošlosti. Tlo je malo do osrednje porozno i relativno male vodopropusnosti (tablica 2).

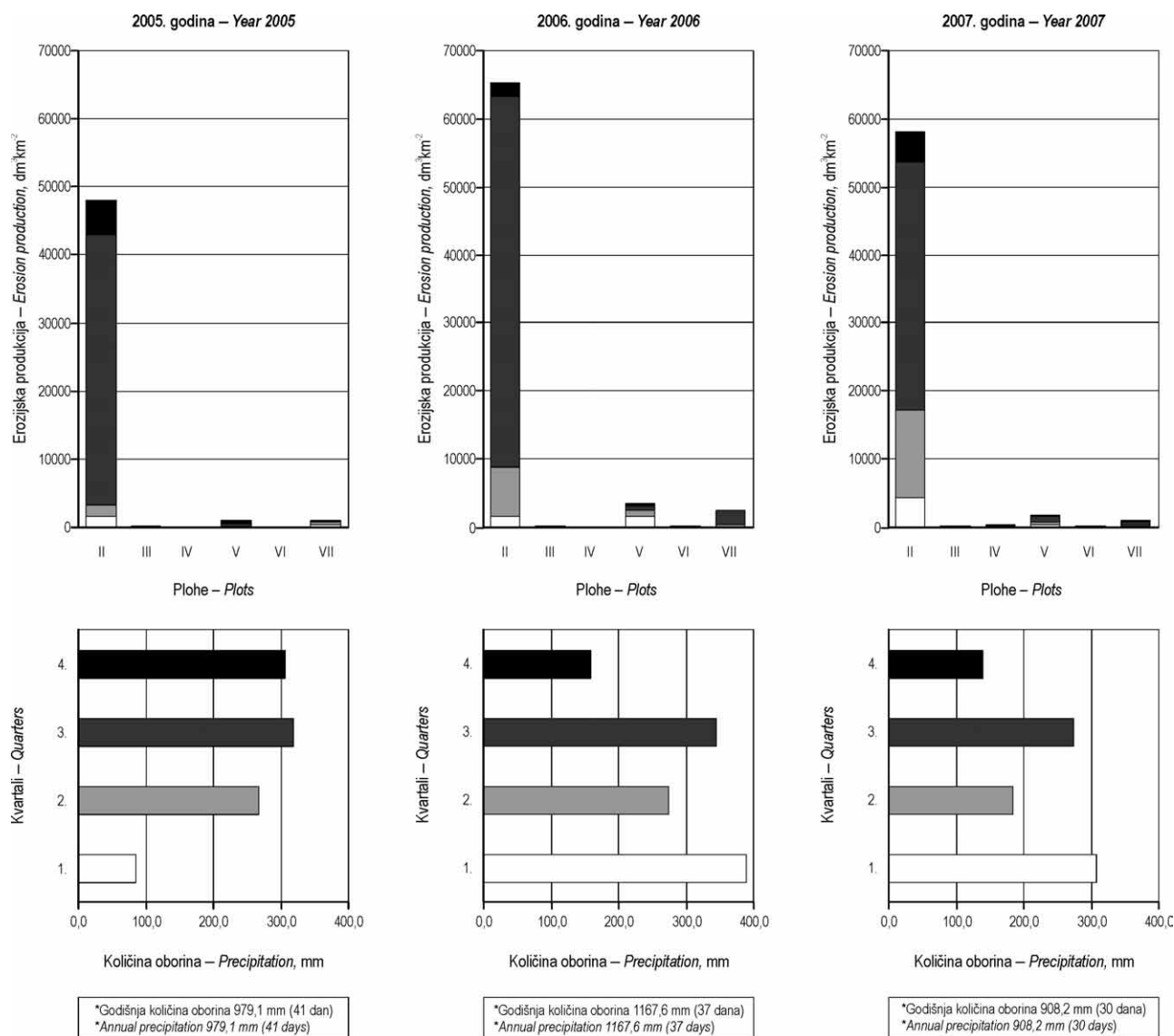
Na plohi V tlo je erodirani eutrični kambisol s diskontinuiranim A-horizontom. To je pliće i teksturno lakše tlo od onoga na plohama III i VII. Tlo je prema granulometrijskomu sastavu praškasta ilovača, srednje porozno u površinskom dijelu, a malo porozno dublje od 30 cm. U površinskih 5 cm vodopropusnost je vrlo brza.

Na plohama IV i VI provedena je tehnička sanacija izgradnjom gradona. U površinskih 10 cm tlo je praškasto-illovaste teksture, kako na kosinama ta-

Tablica 2. Vodopropusnost tla 0–5 cm

Table 2 Water permeability of 0–5 cm soil

Lokalitet <i>Locality</i>	k (cm/s* 10 ⁻⁵)	k (m/dan) <i>k (m/day)</i>	Razred propusnosti <i>Permeability class</i>
Abrami II	4,5	0,04	mala - <i>small</i>
Abrami III	4,5	0,04	mala - <i>small</i>
Abrami IV (terasa - <i>terrace</i>)	13,5	0,12	mala - <i>small</i>
Abrami IV (kosina - <i>slope</i>)	586,3	5,06	brza - <i>fast</i>
Abrami V	1 002,1	8,66	vrlo brza - <i>very fast</i>
Abrami VI (terasa - <i>terrace</i>)	228,5	1,98	umjereno brza <i>moderately fast</i>
Abrami VI (kosina - <i>slope</i>)	1 361,3	11,76	vrlo brza - <i>very fast</i>



Slika 5. Količina oborine i erozijska produkcija tijekom trogodišnjega mjerenja (po kvartalima)
Fig. 5 Precipitation and erosion produced during the three-year measurement (by quarters)

ko i na terasama. Na terasama je tih ploha tlo zbijenije i veća je akumulacija šumske prostirke, ali je manje vodopropusnosti nego na kosinama gradona.

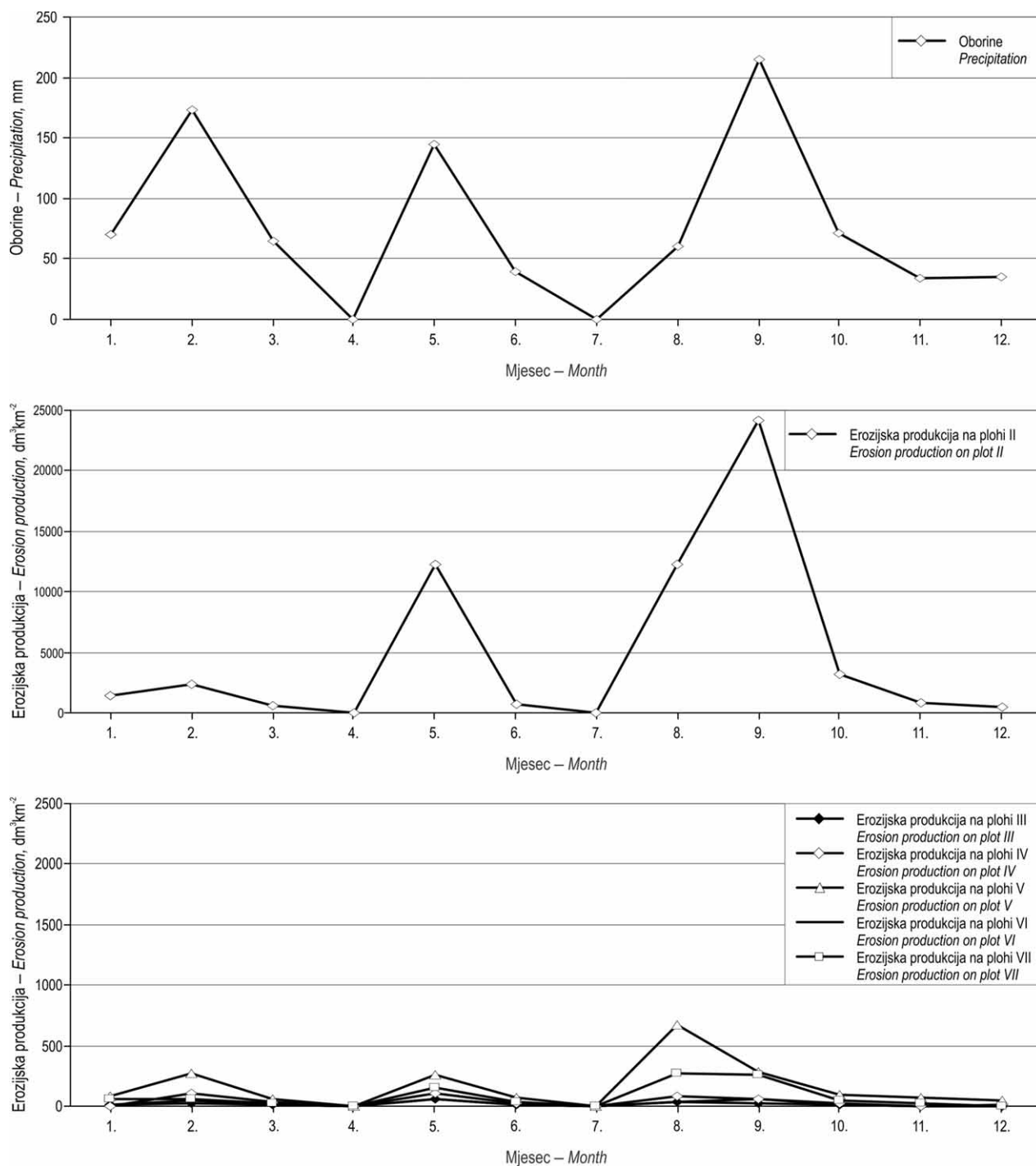
Godišnja količina oborina bila je između 908 mm u 2007. godini, preko 979 mm u 2005. godini, do 1 167 mm u 2006. godini. Tijekom 2005. godine najmanje je oborine palo u prvom godišnjem kvartalu (< 100 mm), a u ostala 3 kvartala pale su podjednake količine. Pri tome treba istaknuti da je u trećem kvartalu bilo dvostruko manje kišnih događaja nego u ostalim kvartalima, ali je u rujnu bio kišni događaj visoka intenziteta. To se značajno odrazilo u obliku visoke erozijske produkcije na plohi II upravo u rujnu (slika 5). Tijekom 2006. i 2007. godine međusobni je odnos oborine po kvartalima bio gotovo identičan: najviše

je oborine palo u 1. zatim u 3., a najmanje u 4. kvartalu (slika 5).

Mjerenje površinskoga otjecanja i erozijske produkcije jasno pokazuje da je najizraženija erozija na plohi II (slika 5). Godišnja erozijska produkcija na toj plohi početkom sedamdesetih godina iznosila je preko $500 \text{ m}^3 \text{ km}^{-2}$, a tijekom trogodišnjega mjerenja između $47,9$ i $65,3 \text{ m}^3 \text{ km}^{-2}$. Pri tome više od polovice erozijske produkcije odvija se u 3. kvartalu, znači tijekom srpnja, kolovoza i rujna (i tijekom 70-ih godina najviša je erozija bila u 3. kvartalu). Kako nismo mjerili intenzitet oborine, a koeficijent korelacije između količine oborine i erozijske produkcije po pojedinom kišnom događaju izrazito varira, možemo samo pretpostaviti da je tijekom 3. kvartala oborina visokoga,

odnosno erozijskoga intenziteta. Zanimljivo je da su tijekom 2006. i 2007. godine na gotovo svim plohamu vrlo dobro korelirali (r pretežno $> 0,8$) količina oborine i površinsko otjecanje vode. U 2005. godini korelacija je tih parametara vrlo slaba, a samo je za plohu II $r > 0,5$ (2006. na toj plohi $r = 0,85$, a 2007. $0,96$).

U 2005. godini, nakon 3. kvartala, erozijska je produkcija na plohi II najveća u 4. kvartalu, a u 2006. i 2007. godini u 2. kvartalu. Što se tiče ostalih ploha, po produkciji se ističu ploha V i ploha VII (slika 5 i 6). Na ostale tri plohe godišnja je erozijska produkcija značajno niža i ne prelazi $0,5 \text{ m}^3 \text{ km}^{-2}$. U dinamici



Slika 6. Dinamika oborina i erozijske produkcije tijekom 2007. godine
 Fig. 6 Dynamics of precipitation and erosion production in 2007

godišnje produkcije između njih nema značajne razlike, samo se na plohi IV u 2007. godini ističu erozijski ekstremi, koji se poklapaju s ekstremima na plohamama II i V.

Koeficijent površinskoga otjecanja vrlo je varijabilan kako prema plohamama, tako i prema pojedinim kišnim događajima. Najniži je koeficijent površinskoga otjecanja na plohi III (njegove minimalne vrijednosti za pojedine kišne događaje na godišnjoj razini kreću se između 0,000 i 0,006, a maksimalne između 0,105 i 0,359). Zanimljivo je da su srednje godišnje vrijednosti koeficijenta otjecanja najviše na plohi V (riječ je o plohi koja nije tehnički tretirana). Usprkos tomu ta ploha ima neusporedivo nižu erozijsku produkciju od plohe II, pa se ta pojava može objasniti jedino niskim infiltracijskim kapacitetom na pojedinim dijelovima plohe; zbog toga vjerojatno dolazi do jačega površinskoga tečenja, pri čemu je erozija relativno slaba zbog prožetosti površinskoga dijela tla sitnim korijenjem. Srednji godišnji koeficijent otjecanja na plohi II kreće se između 0,052 i 0,076. Koliko je značajna uloga matičnoga supstrata i tla u nastanku površinskoga otjecanja, može se vidjeti usporede li se maksimalni koeficijenti površinskoga tečenja na plohi II (nagib 31,8°) s onim na skeletnom koluviju (nagib 30°) kod Splita tri godine nakon šumskoga požara (maksimalni je koeficijent 0,1165; Butorac i dr. 2009). Iako je na plohi II razvoj vegetacije krenuo prije četrdesetak godine, maksimalni koeficijent površinskoga otjecanja doseže čak 0,397 (6. srpnja 2005. godine), što je 3,5 puta više od onoga na koluviju. U 2006. godini njegov je maksimum 0,26, a 2007. godine 0,11. Tako visoki koeficijenti površinskoga otjecanja na plohi 2 upućuju na relativno niski kapacitet infiltracije oborinske vode za vrijeme intenzivnih pljuskova. Na toj je plohi tlo plitki regosol. Pri tome je vrlo bitno istaknuti njegovu teksturu – riječ je o praškastom materijalu (72 % praha) vrlo male propusnosti ($k = 0,04$ m/dan).

Odnos koeficijenta površinskoga otjecanja i erozijske produkcije, zbog visoke varijabilnosti, ne pokazuje značajne razlike među plohamama. Taj odnos u velikoj je ovisnosti o početnoj vlažnosti tla, stabilnosti agregata, kapacitetu infiltracije i armiranosti tla korijenjem. Za vrijeme ljeta tlo je obično suše nego u ostalim razdobljima. Kako je kod suhih čestica tla izraženija hidrofobnost (Fox i dr. 2007), kod intenzivnih pljuskova na praškastom, slabo propusnom materijalu vrlo brzo se stvore površinski tokovi.

Pri uspoređivanju erozije i svojstava tla među pojedinim plohamama važno je istaknuti da plohe II, III, V i VII nisu bile tehnički tretirane, dok su plohe IV i VI terasirane gradonima. Upravo na tim dvjema plohamama retencijski karakter terasa i visoka vodopropusnost tla na kosinama prepoznaju se kao čim-

benici koji predisponiraju slabo izraženo površinsko otjecanje i vrlo nisku erozijsku produkciju (slika 5). Na plohi IV evidentirano je 47 stabala crnoga bora (Seletković 1997), a ima i grmova borovice te brnistre. Na plohi VI veći je broj borovih stabala, ali su slabijega uzrasta i rjeđih krošanja. Očito je da blagim terasiranjem nije bitno povećana dubina tla, što se odrazilo i na opću produkciju biomase na toj plohi – tako je i zaliha šumske prostirke podjednaka onoj na plohi 2. S druge strane, na plohi IV bolje uzrasla stable crnoga bora i vrlo gust sloj prizemnoga rašća upućuju na izdašniju produkciju biomase. Tako je zaliha listinca na kosinama gradona 3 312 kg ha⁻¹, a na terasama 4 144 kg ha⁻¹. Na plohamama s većim sadržajem organske tvari (u šumskoj prostirci i mineralnom dijelu tla) niža je erozijska produkcija. Sve to istodobno dokazuje postojanje uzajamnih utjecaja koji sinergijski određuju razmjer i intenzitet erozije na tim plohamama. To najbolje pokazuje usporedba produkcije erozijskoga nanosa na plohi IV u odnosu na plohe V i VI, iako je kod plohe IV riječ o mnogo većem nagibu terena. S druge strane, očito je da su i tehničke mjere sanacije dosta ranije rezultirale smanjenjem intenziteta erozije na plohamama IV i VI u odnosu na plohu V na kojoj je provedena samo klasična sadnja bora u jamice.

6. Zaključci – Conclusions

Istraživanja su pokazala da su protuerozijski tehnički i biološki zahvati odlučujući za suzbijanje erozije na flišu i za progresiju erozijom oštećenoga tla.

1. Biološko-tehničkim mjerama sanacije povećava se vodopropusnost tla i sadržaj organske tvari, kako šumske prostirke, tako i humusa.

2. Utjecaj je sanacije veći na strmijem zemljištu.

3. Na strmijem zemljištu terasiranje rezultira i većom raznolikošću u fiziografiji tla – zonalno se povećava dubina tla, a novoformirani mikroreljef izravno se odražava na vodopropusnosti tla, akumulaciji šumske prostirke i sadržaju humusa u tlu.

4. Na istraživanom području erozija je najizraženija u 3. godišnjem kvartalu (srpanj – rujan).

5. Na zemljištu saniranom biološko-tehničkim mjerama vrlo je niska erozijska produkcija, bez obzira na raspored i intenzitet oborine.

6. Sama biološka sanacija, bez tehničkih mjera, rezultira značajno slabijim utjecajem na suzbijanje erozije.

Zahvala – Acknowledgement

Ovaj se rad temelji na istraživanjima u okviru znanstvenoistraživačke suradnje »Hrvatskih šuma«

d.o.o. i Šumarskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu u razdoblju 1996 – 2010, te u okviru projekta »Bujična erozija tala na flišu Istre«, koji su financirali Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske i poduzeće »Hrvatske vode«.

7. Literatura – References

Andreu, V., A. C. Imeson, J. L. Rubio, 2001: Temporal changes in soil aggregates and water erosion after a wild-fire in a Mediterranean pine forest. *Catena*, 44: 69–84.

Butorac, L., V. Topić, G. Jelić, 2009: Površinsko otjecanje oborina i gubici tla u opožarenim kulturama alepskog bora (*Pinus halepensis* Mill.) na koluviju (*Suface Runoff and Soil Loss in Burnt Stands of Aleppo Pine /Pinus halepensis Mill. / Growing on Colluvial Soils*). *Šumarski list*, 133 (3–4): 121–134.

Fox, D. M., F. Darboux, P. Carrega, 2007: Effects of fire-induced water repellency on soil aggregate stability, splash erosion, and saturated hydraulic conductivity for different size fractions. *Hydrological Processes*, 21: 2377–2384.

Gračan, J., S. Perić, M. Ivanković, H. Marjanović, 2005: Biološka sanacija erozije na području Like i Istre (*Biological Erosion Control in the Western Part of Croatia*). *Šumarski list* 129, Supplement: 107–120.

Gračanin, Z., 1962: Verbreitung und wirkung der bodenerosion in Kroatien. Giessener Abhandlungen zur Agrara und Wirtschaftsforschung des Europäischen Ostens. Band 21. Im Kommissionverlag Wilhelm Schmitz Giessen, str. 335. + 120 slika i 16 karata.

Ivančević, V., 1995: Šume i šumarstvo dijela hrvatskog primorskog krša tijekom XIX. i XX. vijeka (*Forests and Forestry of the Croatian coastal Krast during the XIX and XX century*). Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 179 str.

Ivančević, V., 2003: 125-a obljetnica osnutka »Kraljevskog nadzornitva za posumljenje krasa krajiškog područja – Inspektorata za pošumljavanje krševa, goleti i uređenje bujica« u Senju, naše najstarije šumarske krške organizacije, 1878 – 2003. godine (*The 125th Anniversary of the Foundation »Royal Inspectorate for the Afforestation of Krast in the Krajina Border Region – the Inspectorate for the Afforestation of Krast, Bare Areas and Torrent Control« in Senj, the Oldest Croatian Forest Karst Organisation, 1878 – 2003*). *Šumarski list* 127, Supplement: 3–22.

Ivančević, V., 2005: Biološko-tehnički radovi na sanaciji Senjske bujice »Torrente« i povećanje vodnog kapaciteta (*Biological and technical regulation of the Senj torrent »Torrente« and increase in water capacity*). *Šumarski list* 129, Supplement, 91–109.

Jurak, V., J. Petraš, D. Gajski, 2002: Istraživanje ekscesivne erozije na ogoljelim flišnim padinama u Istri primjenom terestrične fotogrametrije (*Research of excessive erosion on flysch slopes in Istria using the terrestrial photogrammetry*). *Hrvatske vode*, Časopis za vodno gospodarstvo, 38 (10): 49–58.

Komlenović, N., P. Rastovski, B. Mayer, 1992: Suzbijanje erozije na flišu Istre uzgojem alepskog bora (*Pinus halepensis* Mill.) i brnistre (*Spartium junceum* L.) (*Moderation of erosion on the flyschs in Istrian cultivation with aleppo pine /Pinus halepensis Mill. / and Spanish broom /Spartium junceum L. /*). *Radovi Šumarskoga instituta Jastrebarsko*, 27(1): 5–14.

Matić, S., 1986: Šumske kulture alepskog bora i njihova uloga u šumarstvu Mediterana (*The aleppo pine forest plantations and their role in the Mediterranean forestry*). *Glas. šum. pokuse*, pos. izd., 2: 125–145.

Matić, S., I. Anić, M. Oršanić, 1997: Podizanje, njega i obnova šuma kao temeljni preduvjeti ekološkog, društvenog i gospodarskog napretka Mediterana (*Afforestation, Tending and Regeneration as the Basic Prerequisites for an Ecological, Social and Economic Development of the Mediterranean*). *Šumarski list*, 121 (9–10): 463–472.

Pentek, Z., 2001: Pokusna ploha »Abrami« – biološke i tehničke metode sanacije, postignuti rezultati i smjernice daljnjih istraživanja (*The reasrch site of »Abrami« – biological and technical methods regulation, the achieved results and instruction for further research*). *Diplomski rad*, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 39 str.

Pernar, N., D. Bakšić, I. Perković, D. Holjević, 2010: Odras sanacije erodiranog terena na svojstva tla na flišu – slučajevi Abrami i Butoniga u Istri. *Šumarski list*, 134 (5–6): 229–240.

Pernar, N., D. Holjević, J. Petraš, D. Bakšić, 2004: Pedofiziografski odnosi na poligonu za istraživanje erozije u Abramima (*Anti-erosive and water-protective role of the forest and methods of its preservation and improvement*). U: S. Matić (ur.), Protuerozijska i vododzaštitna uloga šume i postupci njezina očuvanja i unapređenja, Akademija šumarskih znanosti, Zagreb (međunarodna recenzija, sažetak sa znanstvenoga skupa), str. 12–12.

Petraš, J., D. Holjević, V. Patrčević, 2008: Mjerenje produkcije erozijskog nanosa na istraživačkom poligonu »Abrami« u Istri (*Measuring the production of sediment erosion on the research site of »Abrami« in Istria*). U: N. Ožanić (ur.), Hidrološka mjerenja i obrada podataka, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci i Hrvatsko hidrološko društvo, Rijeka, str. 190–206.

Petraš, J., D. Holjević, I. Plišić, 2004: Soil Erosion Investigations and Measurements on Flysch in Forested Areas of Central Istria, Croatia. U: Cheng Liu (ur.), Proceedings of 9th International Symposium on River Sedimentation, Central Theme: Interactions between Fluvial Systems and Hydraulic Projects Pertinent Environmental Impacts, Volume IV. Tsinghua University Press, Yichang (Kina), str. 2260–2267.

Petraš, J., G. Mičetić, D. Holjević, 2001: Prvi rezultati istraživanja erozije tla na obnovljenom istraživačkom objektu »Abrami« (*The first research results of soil erosion on the research site of »Abrami«*). IX. kongres Hrvatskoga tloznanstvenoga društva, Brijuni, 3–7. 7. 2001, Sažeci, str. 111–112.

Seletković, I., 1997: Način saniranja erozije na pokusnim plohama »Abrami« (*Methods of regulation erosion on the research site of »Abrami«*). *Diplomski rad*, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 41 str.

Tessler, N., L. Wittenberg, D. Malkinson, N. Greenbaum, 2008: Fire effects and short-term changes in soil water repellency – Mt. Carmel, Israel. *Catena*, 74: 185–191.

Topić, V., 1996: Utjecaj različitog biljnog pokrova na zaštitu tla od erozije (*The impact of different vegetation on the protection of soil from erosion*). U: B. Mayer (ur.), Unapređenje proizvodnje biomase šumskih ekosustava, Hrvatsko šumarsko društvo, Zagreb, str. 361–365.

Topić, V., 2000: Utjecaj kultura crnog bora (*Pinus nigra* Arn.) na zaštitu tla od erozije (*The impact of cultures of black pine / Pinus nigra Arn. / on the protection of soil from erosion*). U: P. Maleš, M. Maceljki (ur.), Unapređenje poljoprivrede i šumarstva (sažeci znanstvenoga skupa s međunarodnim sudjelovanjem), Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb, str. 71–73.

Topić, V., 2001: Utjecaj kultura crnog bora (*Pinus nigra* Arn.) na zaštitu tla od erozije prouzročene kišom (*The impact of cultures of black pine / Pinus nigra Arn. / on the protection of soil from erosion caused by rain*). U: S. Matić, A. P. B. Krpan, J. Gračan (ur.), Znanost u potrajnom gospodarenju hrvatskim šumama, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Šumarski institut Jastrebarsko, Zagreb, str. 636–645.

Topić, V., 2003: Šumska vegetacija na kršu kao značajan čimbenik zaštite tla od erozije (*Forest vegetation on Krast as an Important factor of Soil protection from Erosion*). Šumarski list 127, Supplement: 51–64.

Topić, V., 2005: Utjecaj šikare bijelog graba (*Carpinus orientalis* Mill.) na zaštitu tla od erozije u Hrvatskoj (*The Impact*

of Scrub Vegetation of Oriental Hornbeam / Carpinus orientalis Mill. / on Soil Protection Against Erosion in Croatia). Šumarski list 129, Supplement: 40–50.

Topić, V., L. Butorac, 2006a: Protuerozijska i hidrološka uloga šumskih ekosustava na kršu (*Antierosion and hydrological role of forest ecosystems on karst*). U: M. Matas (ur.), Akademik Josip Roglić i njegovo djelo, Hrvatsko geografsko društvo, Zagreb, str. 193–213.

Topić, V., L. Butorac, 2006b: Uloga i značaj šumske vegetacije u zaštiti tla od erozije (*The role and importance of forest vegetation in protecting soil from erosion*). U: I. Kisić (ur.), Uloge tla u okolišu, X. kongres Hrvatskoga tloznanstvenoga društva (sažeci), Šibenik, str. 97–97.

Topić, V., L. Butorac, G. Jelić, 2006: Površinsko otjecanje padalina i erozija tla u šumskim ekosustavima alepskog bora (*Surface drains of precipitation and soil erosion in aleppo pine forest ecosystems*). Radovi Šumarskoga instituta Jastrebarsko, 9: 127–137.

Topić, V., I. Anić, L. Butorac, 2008: Effects of stands of black pine (*Pinus nigra* Arn.) and aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) on the protection of soil from erosion. *Ekologia*, 27(3): 287–299.

Topić, V., L. Butorac, G. Jelić, 2009: Role of vegetation on karst on protection of soil from erosion. U: O. Bonacci, Ž. Župan (ur.), Sustainability of the karst environment – Dinaric karst and other karst regions (Abstract Book), Gospić, str. 134–134.

Abstract

The Impact of Technical and Biological Measures on Soil and Erosion Dynamics in the Research Site of Abrami

Soil erosion is one of the most devastating soil degradation processes. In temperate climate regions, soil erosion rarely assumes excessive proportions. In the management of forest soil, the potential erosion threat drastically increases with an increase in climate aridity.

Water erosion is particularly favored by parent materials of low water permeability and by soils derived from such materials. In the Mediterranean and sub-Mediterranean area of Croatia, these are primarily flysch, marl and Werfen schists. These materials show good physical weathering properties, thus providing a rich source of erosion material. As a rule, the soil formed from such parent material is of silty-clayey to clayey texture, and has a relatively low infiltration capacity. The soil unprotected by vegetation (burned sites) manifests particularly devastating forms of water-induced erosion.

In the past 50 years, flysch terrains of Istria have been subjected to a series of technical, biological and biological-technical treatments aimed at preventing water erosion and recovering the eroded soils. An experimental (research) site was set up in Abrami near Buzet for the purpose of monitoring erosion processes and rehabilitation effects of different biological-technical and biological methods of eroded area recovery. The effects of the treatments on soil properties in the research site are in the form of progressive pedogenetic processes. A synergy of the effects of recovery methods and different natural conditions (relief, vegetation) in the experimental site is particularly well reflected in erosion indicators, such as the production of erosion sediment (erosion production), and to a lesser extent, the surface flow index. For this reason, research in this work focuses primarily on soil properties and erosion production dynamics.

From the geological-lithological aspect, the research site of Abrami is made up of Eocene flysch composed of alternate layers of light grey marl and dark lime sandstone, i.e. thinner or thicker interbeds of sandy limestone. The climate is sub-Mediterranean. The mean annual temperature is 12 °C and the mean annual precipitation is 975 mm. The natural potential vegetation in the localities is represented by the community of hop hornbeam and autumn moor grass. Established in 1956 on the slope exposed to highly pronounced erosion processes, the research site has an area of 23.46 ha. A series of technical and biological erosion recovery measures had been undertaken in the site by 1963 for the purpose of investigating their applicability in practice. Technical activities included the construction of step-like terraces, of the bench terrace type (»gradoni«), and contour rustic walls. A variety of plant material was planted and seeds of different plant species were sown in the area (Table 1). Several control plots were also established in parts of the Abrami site, where either no treatment was applied or the seedlings were planted into the planting holes.

Six plots intended for the measurement of erosion sediment production were established in 1969, followed by research into the quantitative erosion indicators, which started in 1970 (Table 1). After an interruption in 1977, measurements were resumed in 1997 and 1998 (two plots) and in 1999 (three plots). Erosion indicators have continuously been measured since 2000; however, measurements in plot I (plot I was omitted from this research due to its specific features) have been performed by means of terrestrial photogrammetry. The seventh plot was established in 2004, and has been the subject of measurements since 2005. This work encompasses measurement data from 2005, 2006 and 2007.

The research includes plots II, III, IV, V, as well as VI and VII. The soil and organic residues were sampled in the immediate surroundings of the erosion-measuring plots. Next to the plots in which no technical recovery measures were undertaken, a pedological profile was opened and the soil was sampled by horizons. Some smaller plots of 50 x 50 cm were used to sample the forest floor in 3 points next to the plots (near the top, in the middle of the slope and near the bottom). Undisturbed soil from the depth of 0-5 cm was cylinder-sampled in these smaller plots. The soil profiles next to the terraced plots were not sampled. The forest floor was sampled in small 50 x 50 cm plots, particularly those established on the slopes and on the top of the bench terraces. After the removal of the forest floor, the soil in the small plots was sampled with a probe (disturbed soil) to a 10 cm depth, and with a cylinder (undisturbed soil) to a 5 cm depth.

The granulometric soil composition was determined according to HRN ISO 11277:2004, the pH according to HRN ISO 10390:2005, the CaCO₃ content according to HRN ISO 10693:2004, organic carbon (TOC) according to HRN ISO 10694:2004, porosity according to HRN ISO 11508 and 11272:2004, water retention capacity according to HRN ISO 11461:2001, air capacity according to HRN ISO 11580 and 11272:2004, and soil water permeability according to HRN ISO 17312:2005.

Measurements of erosion parameters were based on the cumulative measurement of runoff and erosion sediment for each particular rain event (in some cases several rain events were measured cumulatively). Water with eroded particles was determined in the field by measuring water levels in retention basins and/or tubs. The total quantity of erosion sediment in the collected water was determined according to the HRN ISO 4365 standard. Rain events were registered in the site itself with a pluviograph within the meteorological station of Abrami. In converting the erosion production mass into volume, the average erosion sediment density was assumed to be 1.2 Mg m⁻³. Statistical analyses (descriptive statistics, correlations, t-test) were performed with STATISTICA 7.1 software.

Research into soil physiography in the site did not show any significant differences between the samples, regardless of sampling depths (the pH in water suspension is between 7.7 and 7.9), which indicates long-term erosion impacts, that is, the homogeneity of the material. The soil in plot II does not have a developed humus-accumulative horizon. It is a strongly skeletal eutric regosol with a discontinued layer of the forest floor (the layer contains 1,531 kg ha⁻¹ of dry organic matter). The soil in the surface 0.5 cm is moderately porous (48.4%), with moderate water capacity (37%) and low water permeability (Table 2). In plots II and III (one immediately next to the other) the soil is eutric cambisol, with a depth of ~90 cm. The depth of the humus-accumulative horizon is only 2–4 cm, which reflects the erosion impact in the past. The slightly-to-moderately porous soil has relatively low water permeability (Table 2). In plot V the soil is eroded eutric cambisol with a discontinued A-horizon. This is shallower and texturally lighter soil than the soil in plots III and VII. In terms of granulometric composition, the soil is silty loam. Water permeability is very fast in the surface 5 cm. In plots IV and VI, the soil in the surface 10 cm is of silty-clayey texture, both on the slopes and the terraces. On the terraces of these plots the soil is more compacted and the forest floor accumulation is higher, but water permeability is lower than on the slopes of the bench terraces.

The annual precipitation amount ranged from 908 mm in 2005, over 979 mm in 2006, to 1.167 mm in 2007. During 2005, the least precipitation occurred in the first annual quarter (<100 mm), while in the other 3 quarters the amount of precipitation was very similar. During 2006 and 2007, precipitation amounts by quarters were almost identical: most rainfall occurred in the 1st, followed by the 3rd quarter, and the least occurred in the 4th quarter (Fig. 5).

Measurements of surface runoff and erosion production show that the most severe erosion occurred in plot II (Fig. 5). In the early 1970s, the annual erosion production in this plot amounted to over $500 \text{ m}^3 \text{ km}^{-2}$, while during the three-year measurement period it came to between 47.9 and $65.3 \text{ m}^3 \text{ km}^{-2}$. More than half of the erosion production took place in the 3rd annual quarter. Of other plots, distinct production is manifested by plot V and plot VII (Fig. 5 and 6). In the three remaining plots, the annual erosion production is considerably lower and does not exceed $0.5 \text{ m}^3 \text{ km}^{-2}$. There is no significant difference in the dynamics of annual production, except that erosion extremes occurred in plot IV in 2007, which coincides with the extremes in plots II and V.

The lowest surface runoff coefficient was identified in plot III and the highest in plot II. The mean annual runoff coefficient in plot II ranges between 0.052 and 0.076, and the maximal comes to as much as 0.397. This suggests a very low infiltration capacity of precipitation water. Namely, in this plot the soil is shallow regosol of silty texture (72% of silt) and of very poor water permeability capacity ($k=0.04 \text{ m/day}$). Erosion production in plots IV and VI is very low (Fig. 5). Overall biomass production in plot VI is lower than in plot IV, while the quantity of forest floor is similar to that in plot II. On the other hand, better developed trees of black pine and a very dense layer of ground vegetation in plot IV are responsible for higher leaf litter quantities: $3,312 \text{ kg ha}^{-1}$ on the slopes of the bench terraces and $4,144 \text{ kg ha}^{-1}$ on the terraces. It was found that erosion production was lower in the plots with higher organic matter content (in the forest floor and the mineral part of the soil). All these point to a series of mutual impacts, which synergistically determine the rate and intensity of erosion in these plots. This is explained by lower erosion sediment production in Plot IV in comparison with plots V and VI, although the terrain in plot IV has a much steeper slope. On the other hand, it is evident that, compared to plot V in which only biological recovery measures were applied, the application of technical recovery measures in plots IV and VI resulted in a much earlier reduction of erosion intensities.

According to the results of research, the application of biological-technical recovery measures increases soil permeability and the soil organic matter content in proportion to the steepness of the terrain. The steeper the terrain, the higher the content is. In this climatic region, the most erodible period occurs in the 3rd quarter of the year. Erosion production in the terrain recovered with biological-technical measures is very low, regardless of the distribution and intensity of precipitation; on the other hand, biological recovery itself, without any technical measures, results in much weaker erosion control.

Keywords: erosion, soil erodibility, soil water permeability, erosion production

Adresa autorâ – Authors' address:

Prof. dr. sc. Nikola Pernar
e-pošta: npernar@sumfak.hr
Doc. dr. sc. Darko Bakšić
e-pošta: baksic@sumfak.hr
Ivan Perković, dipl. inž. šum.
e-pošta: perkovic@sumfak.hr
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Zavod za uzgajanje i ekologiju šuma
Svetošimunska 25
p. p. 422, 10002 Zagreb
HRVATSKA

mr. sc. Danko Holjević
e-pošta: dholjev@voda.hr
Hrvatske vode
Prof. dr. sc. Josip Petraš
e-pošta: jpetras@grad.hr
Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Fra Andrije Kačića Miošića 26
10000 Zagreb
HRVATSKA