

ODRAZ SANACIJE ERODIRANOG TERENA NA SVOJSTVA TLA NA FLIŠU – SLUČAJEVI ABRAMI I BUTONIGA U ISTRI¹

IMPACT OF ERODED TERRAIN RECOVERY ON SOIL PROPERTIES ON
FLYSCH – CASE STUDIES OF ABRAMI AND BUTONIGA IN ISTRIA

Nikola PERNAR*, Darko BAKŠIĆ*, Ivan PERKOVIĆ*, Danko HOLJEVIĆ**

SAŽETAK: Na dva lokaliteta na flišu u Istri istraživali smo utjecaj bioloških i tehničkih mjera zaštite tla te sanacije erodiranog terena na svojstva tla, odnosno na njegovu regeneraciju. Na poligonu za istraživanje erozije u Abramima istraživanje smo proveli na obnovljenim istraživačkim parcelama, a kod naselja Grimalda na zemljištu s umjetno podignutom sastojinom crnog bora.

Pokazalo se da su tehničke mjere sanacije imale ključnu ulogu u smanjenju produkcije erozijskog nanosa, osobito u ranoj fazi trajanja pokusa. Isto tako na strmim padinama vegetacijska progresija je vrlo spora, pa je i regeneracija tla vrlo spora, tako da je usprkos prirodnom naseljavanju crnog bora sklapanje sastojine vrlo sporo, a humusno-akumulativni horizont tla vrlo slabo razvijen i fragmentiran. Na blažim nagibima, koji nisu bili jako erodirani, nesmetano širenje prirodne vegetacije (zaštita od požara) podjednako je učinka na svojstva tla (ujedno na njegovu zaštitu, regeneraciju itd.) kao i biološka sanacija u vidu sadnje crnog bora. Odnos godišnje produkcije erozijskog nanosa i sadržaja organske tvari u tlu upućuje na bržu humizaciju i regeneraciju tla kod primjene učinkovitijih mjera suzbijanja erozije.

Ključne riječi: sanacija erodiranog zemljišta, regeneracija tla, organska tvar tla, šumska prostirka.

UVOD – Introduction

Šumska vegetacija pruža najbolju zaštitu tlu od ubrzane erozije (Gračanin 1962, Prpić et al. 2005, Topić & Butorac 2006 a i b, Topić et al. 2006). Razorni učinci erozije manifestiraju se osobito nakon šumskog požara, koji je relativno česta pojava u toplim i suhim klimatskim područjima, kakvi su hrvatski mediteran i submediteran (Martinović 1997, Andreu et al. 2001). Ova područja tisućljećima su izložena antropogenim pritiscima, koji su rezultirali redukcijom šum-

skih površina, odnosno njihovom fragmentacijom. Posljednjih nekoliko stoljeća, osobito tijekom 19. i 20. st. pristupilo se sustavnim zahvatima u cilju suzbijanja erozije i sanacije erodiranih terena (Ivančević, 1996). Pri sanaciji erodiranih površina i za zaštitu tla od erozije u mediteranskom području najviše se koristi alepski bor (Matić 1986, Chirino et al. 2006, Topić et al. 2008), a u submediteranskom području crni bor (Topić 2000, Rey & Berger 2006). Izbor biljnih vrsta i metode sanacije ovisi o reljefnim, klimatskim i pedološkim značajkama, uznapređivosti erozije te vizualnim odnosima u karajobrazu. U pogledu pedoloških značajki osobito se, po velikoj erodibilnosti, ističe kompleks tala na flišu. Radi se o tlima relativno slabe vodopropusnosti (ovisno o odnosu laporne, pješčenjačke i vapnenačke komponente), zbog čega se na ogoljelom, strmom, terenu za vrijeme pljuskova javlja površinsko tečenje, koje od planarne, preko brazdaste, relativno brzo prera-

¹ Rad je rezultat istraživanja na projektu, "Pedološka istraživanja šuma Istre" koji se realizira na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, a financira ga tvrtka "Hrvatske šume" d.o.o.

* Prof. dr sc. Nikola Pernar [npernar@sumfak.hr],
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

* Doc. dr. sc. Darko Bakšić [baksic@sumfak.hr],
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

* Ivan Perković dipl. ing. šum. [perkovic@sumfak.hr],
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

** Mr. sc. Danko Holjević [dholjev@voda.hr], Hrvatske vode

sta u jaružnu eroziju. Uspjeh sanacije erodiranog terena može se izraziti održivošću vegetacijskog pokriva, stupnjem smanjenja erozijskog nanosa, ali i regeneracijom tla. Tlo pod šumskom vegetacijom koje nije izloženo intenzivnim erozijskim procesima ima cjeloviti sloj šumske prostirke, a ispod nje vrlo porozan, sitnim korijenjem impregniran, humusno-akumulativni horizont. Tek ispod ovog horizonta slijedi manje propusni dio tla. Jasno je da tijekom šumskog požara u pravilu u potpunosti izgori šumska prostirka, tako da preostaje svega nekoliko cm debeo humusno-akumulativni horizont. Zbog izostanka intercepcije, ponekad zbog porasta hidrofobnosti i smanjenja infiltracije vode (Tessler et al.

2008, Úbeda & Mataix-Solera 2008) humusno-akumulativni horizont u slučaju erozijskih pljusкова biva relativno brzo erodiran. Regeneracija fiziografije tla, u kojoj su glavni parametri debljina i cjelovitost humusno-akumulativnog horizonta, debljina i cjelovitost šumske prostirke te vodopropusnost površinskog dijela tla najpouzdaniji je pokazatelj uspješnosti sanacije erodiranog terena. Dakako da sanacija erodiranog terena relativno sporo rezultira progresijom fiziografije tla, pa je ista mjerljiva u pravilu tek nakon desetak i više godina. Ona ovisi o brzini razvoja zaštitnog vegetacijskog pokrivača, količini i kvaliteti odumrlog organskog materijala, klimatskim i reljefnim uvjetima te svojstvima samog tla.

METODE ISTRAŽIVANJA – Methodes of research

Terenska istraživanja provedena su na poligonu za istraživanje erozije “Abrami”² te na lokalitetu “Grimalda”³ u Istri (sl. 1).

malda”³ u Istri (sl. 1).



Slika 1. Položaj istraživanih lokaliteta u Istri.

Figure 1. The position of investigated localities in Istria

“Abrami” i “Grimalda” tipični su flišni lokaliteti. U geološko-litološkom smislu radi se o eocenskom flišu u obliku naizmjeničnih slojeva svijetlo sivog lapora i tamnog vapnenog pješčenjaka, odnosno tanjih ili debljih proslojaka pjeskovitog vapnenca. Na strmijim padinama, osobito na zasjecima ceste uočava se da su slojevi lapora lakše trošivi, što pridonosi još većoj morfološkoj diferencijaciji slojeva. Oba lokaliteta obilježava submediteranska umjereno topla kišna klima sa dugim, vrućim i sušnim ljetom te blagom i vjetrovitom (bura) zimom. Srednja godišnja temperatura je 12 °C, a godišnji oborinski srednjak je 975 mm. Prirodnu potencijalnu vegetaciju na ovim lokalitetima predstavlja zajednica crnoga graba s jesenskom šašikom – u termofilnijoj varijanti kao subsocijacija s bjelograbićem (*Seslerio-Ostryetum carpine-*

tosum orientalis Horv.), a u mezofilnijoj s običnim grabom (*Seslerio-Ostryetum carpinetosum betuli* Horv.).

Poligon za istraživanje erozije “Abrami” nalazi se u neposrednoj blizini naselja Abrami, kraj Buzeta u Istri. U hidrološkom smislu radi se o gornjem toku sliva rijeke Mirne, preciznije, bujice Bračana, desnog pritoka Mirne. Zauzima površinu od 23,46 ha, a pretežito je istočne do sjeveroistočne ekspozicije. Osnovan je 1956 (Seletković 1997, Pentek 2001, Petraš et al. 2008). Tada provedena pedološka istraživanja (Gračanin 1962) pokazala su da se radi o nekoliko tipova tala, različito zahvaćenih erozijom. Radilo se o eutričnim kambisolima, izluženim i karbonatnim rendzinama, sirozemima, erodiranim rendzinama i kambisolima te o koluvijima (Gračanin 1962, Pernar et al. 2004). Između 1956. i 1963. na poligonu je provedeno niz mjera tehničke i biološke sanacije erozije, u cilju istraživanja njihove praktične primjenjivosti.

² Naziv poligona je prema naselju u neposrednoj blizini.

³ Kod naselja Grimalda.

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, paralelnim 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 obavljena je sadnja sadnica u razmaku od 0,5 m.

Sađene su ponajprije sadnice crnog bora, a u manjoj mjeri i obični bora, atlaskog cedra, zelene duglazije, španjolske jele, crnog 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).

Tablica 1. Osnovne značajke erozijskih istraživačkih parcela (djelomično prilagođeno prema Petrašu et al. 2004).
Table 1 The main characteristics of erosion research plots (partially adapted according to Petraš et al. 2004).

Oznaka parcele <i>Plot position</i>	Tlo <i>Soil</i>	Tlocrtna ploština (m ²) <i>Ground plan area (m²)</i>	Nagib <i>Inclination (%)</i>	Tretman <i>Treatment</i>	Stanje vegetacije <i>Condition of vegetation</i>
1	ogoljeli fliš <i>bare flysch</i>	15,08	185	netretirano (ogoljela, erodirana padina) <i>untreated (bare, eroded slopes)</i>	neobraslo <i>unforested</i>
2	regosol regosol	84,75	62	netretirano (ogoljela površina s rijetkim busenima trave) <i>untreated (bare surface with sporadic tufts of grass)</i>	bor, slabog uzrasta i prekinutog sklopa <i>pine, poor growth and broken canopy</i>
3	eutrični kambisol <i>eutric cambisol</i>	93,25	44	netretirano (degradirana šikara crnoga graba i bjelograbića, s progalama) <i>untreated (degraded scrub of hop hornbeam and oriental hornbeam with gaps)</i>	šikara crnoga graba i bjelograbića, s meduncem i borovicom, mjestimice prekinutog 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 (sl. 2) i sadnja crnog bora s podsijavanjem brnistre i travne smjese <i>Bench terraces with drywall crowns (Fig. 2) and planting of black pine with undersowing of Spanish broom and a grass mixture</i>	sklopljena sastojina crnog 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 slabog 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 rendzic leptosol	122,7	27	gradoni i sadnja crnog bora <i>Bench terraces and planting of black pine</i>	sklopljena sastojina crnog bora <i>fully canopied stand of black pine</i>
7	eutrični kambisol <i>eutric cambisol</i>	93,25	44	iskrčena šikara crnoga graba i bjelograbića <i>cleared scrub of hop hornbeam and oriental hornbeam</i>	pretežno travom prekrivena površina <i>area predominantly covered with grass</i>

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. god., nakon što je 1969. god. uspostavljeno 6 parcela za mjerenje produkcije erozijskog nanosa, i trajalo je do 1977. god. (Petraš et al. 2004, 2008). Nakon toga parcele su zapuštene, a na inicijativu Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu ponovno su obnovljene tijekom 1997. i 1998. god. (dvije parcele) te 1999. (tri parcele). Od 2000. god. nastavlja se mjerenje pokazatelja erozije, s tim da se na parceli 1 mjerenje provodi metodom terestrične fotogrametrije (Jurak et al. 2002, Petraš et al. 2001, 2008). Sedma parcela uspostavljena je 2004. god. i na njoj se mjerenja provode od 2005. god. (tab. 1).

Od 2003. do 2007. god. mjerena je produkcija erozijskog nanosa – na parceli VII mjerenja su obavljena nakon njene uspostave, tijekom 2005, 2006 i 2007. god.

Pedološkim istraživanjem u Abramima obuhvatili smo parcele II, III, IV, V i VI – parcelu I izostavili smo,



Slika 2. Gradoni na parceli IV.
Figure 2 Bench terraces in Plot IV

jer se radi o potpuno erodiranom tlu, odnosno golom matičnom supstratu, a parcelu VII zato što još nije bio formiran pojas uz parcelu radi motrenja (uzorkovanja) tla. Uzorkovanje tla i organskih ostataka obavili smo u neposrednom okolišu parcela za mjerenje erozije. Pored parcele II otvoren je pedološki profil, na komu su uzeti uzorci u poremećenom stanju samo iz C- horizonta. Na 3 mjesta pored parcele (pri vrhu, na sredini nagiba i pri dnu) uzorkovali smo šumsku prostirku na pločicama dimenzija 50 x 50 cm (sl. 3).



Slika 3. Uzorkovanje organske prostirke i tla na pločicama 50 x 50 cm.
Figure 3 Sampling of organic floor and soil in 50 x 50 cm plots.

Na istim pločicama uzorkovali smo cilindrima neporemećeno tlo iz dubine 0–5 cm. Kraj parcela III i V također smo otvorili profile, na kojima smo uzorkovali tlo po horizontima u poremećenom i neporemećenom stanju. Na tri pločice, identično parceli II, uzorkovali smo šumsku prostirku i neporemećeno tlo iz dubine 0-5 cm. Kraj parcela IV i VI uzorkovanje smo obavili na istovjetan način. Kako se radi o parcelama na kojima su protuerozijski zahvati provedeni izgradnjom gradona, na njima nismo otvarali pedološke profile. Uzorkova-

nje šumske prostirke obavili smo na pločicama dimenzija 50 x 50 cm, posebno na kosinama gradona, odnosno na terasama (tjemenima) gradona – u središnjem dijelu donje, odnosno gornje polovice parcele. Na istim pločicama, nakon uklanjanja prostirke uzorkovali smo tlo sondom (poremećeno tlo) do dubine od 10 cm, te cilindrom (neporemećeno tlo) do dubine od 5 cm.

Grimalda je naselje u Istri, smješteno 3,5 km istočno od jezera Butoniga. Uz ovo naselje (sl. 1) 1982. god na zapuštenom zemljištu (travnjak s grmljem) zasađena je

kultura s nekoliko provenijencija crnog bora. Čitava površina prije pošumljavanja bila je zahvaćena slabim erozijskim procesima ($<1\text{t/ha/god.}$). U tako podignutoj sastojini otvorili smo pedološki profil, na komu smo obavili uzorkovanje tla po horizontima. Isto tako na tri plovice dimenzija $50 \times 50 \text{ cm}$ uzorkovali smo šumsku prostirku te tlo cilindrom (neporemećeno tlo) do dubine od 5 cm , odnosno sondom do 10 cm dubine. Ovakvo uzorkovanje na plohicama obavili smo i izvan sastojine (kontrola), na površini obrasloj travnom vegetacijom i grmljem. Plovice smo rasporedili u nizu okomitom na slojnice, s međusobnom udaljenošću 15 m .

REZULTATI ISTRAŽIVANJA I RASPRAVA – Results of research and discussion

Svi uzorci tla imaju relativno visok sadržaj karbo-nata ($120\text{--}530 \text{ g kg}^{-1}$), pa im se i pH vrijednost kreće u alkalnom području. Prema pH vrijednosti između uzoraka nema značajne razlike (pH u vodenoj suspenziji je između $7,7$ i $7,9$ – tab. 2), što upućuje na dugoročni utjecaj erozije, ali i na istovjetnost matičnog supstrata na istraživanim lokalitetima. Usprkos različitim tretmanima u biološkoj sanaciji terena evolucija tla beznačajno se odrazila na pH vrijednost tla, dok se prema sadržaju humusa (organskog ugljika – TOC) uzorci unutar profila, ali i između tretmana međusobno značajno razlikuju.

Na parceli II tlo je erodirano, bez razvijenog humusno-akumulativnog horizonta. Radi se o jako skeletnom ($70\text{--}90 \%$ skeleta) eutričnom regosolu (sl. 4), s diskontinuiranim slojem šumske prostirke (u ovom sloju akumulirano je 1531 kg ha^{-1} suhe organske tvari – tab. 3.) i sporadično prisutnim humusno-akumulativnim horizontom (uglavnom oko žilišta stabala crnog bora). U površinskih 18 cm tlo je skeletoidno i praškaste teksture. U svom površinskom dijelu ($0\text{--}5 \text{ cm}$) tlo je osre-

Količina erozijskog nanosa mjerena je vaganjem suhog taloga ($105 \text{ }^\circ\text{C}$) nakon otparavanja periodički prikupljene suspenzije. Granulometrijski sastav tla određen je prema HRN ISO 11277:2004, pH prema HRN ISO 10390:2005, sadržaj CaCO_3 prema HRN ISO 10693:2004, organski ugljik (TOC) prema HRN ISO 10694:2004, poroznost prema HR 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. Statistička obrada provedena je programom Statistica 7.

dnje porozno ($48,4 \%$) i osrednjeg kapaciteta za vodu (37% – tab. 3), ali je ovaj sloj debljine svega $10\text{--}20 \text{ cm}$. Vodopropusnost ovako tankog detritusa fliša je mala ($k=4,5$ – tab. 3). Sve to posljedica je prirode matičnog supstrata i reljefa (nagib je 62%), kao glavnih čimbenika erozije, ali i stanja vegetacije. Ova je parcela postavljena kao kontrola u odnosu na druge tretmane. Pri postavljanju pokusa to je bio ogoljeli fliš, na kojemu su vegetacijska progresija (sl. 3) i regeneracija tla vrlo spori ili potpuno onemogućeni. U diskontinuiranom sloju šumske prostirke nalazi se 1531 kg ha^{-1} suhe organske tvari. Razmjer erozijskih procesa na ovoj parceli najbolje se manifestira u godišnjoj produkciji erozijskog nanosa – početkom sedamdeseth više od 500 , a danas $28\text{--}65 \text{ m}^3/\text{km}^2$ (sl. 5).



Slika 4. a) erodirana površina prije uspostave Poligona; b) detalj vegetacije na parceli II, na kojoj nije bilo nikakvih zahvata; c) profil jako erodiranog tla na parceli II.

Figure 4 a) eroded area before the establishment of the experimental field; b) detail of vegetation in Plot II, where no interventions were made; c) Plot II with severely eroded soil surface

Tablica 2. Granulometrijski sastav i kemijske značajke tla na lokalitetima Abrami i Grimalda.

Table 2 Granulometric composition and chemical characteristics of soil in the Abrami and Grimalda sites.

Oznaka uzorka Mark Sample	Granulometrijski sastav Particle size distribution					Kemijske značajke Chemical characteristics			
	Udjel primarnih čestica The share of primary particles								
	2,0-0,20 mm	0,20 - 0,063 mm	0,063 - 0,020 mm	0,020 - 0,002 mm	<0,002 mm	pH		CaCO ₃	TOC
	(%)					H ₂ O	0,01 M CaCl ₂	g kg ⁻¹	
Abrami II P C (2-18 cm)	3,4	3,7	16,1	72	4,9	7,7	7,6	399,3	13,3
Abrami III P A (0-2-4 cm)	2,8	7,6	26	58,3	5,4	7,7	7,5	118,9	84,4
Abrami III P (B)v (4-35 cm)	5,8	11,2	27,7	52,7	2,5	7,8	7,6	186,9	28,5
Abrami III P (B)v/C (35-82 cm)	2,4	16,2	23	54,7	3,7	7,9	7,7	263,4	19,4
Abrami III P C (82-<93 cm)	1,8	10,9	18,4	60,1	8,8	7,9	7,6	382,3	15,2
Abrami IV terasa 0-10 cm (avg.) Abrami IV terrace 0-10 cm (avg.)	5,4	5,3	26,1	50,2	13	7,8	7,6	310,1	38,1
Abrami IV kosina 0-10 cm (avg.) Abrami IV slope 0-10 cm (avg.)	6	10,2	19,1	50,1	14,8	7,9	7,5	297,3	29,1
Abrami V P (B)v (2-32 cm)	4,4	13,8	19,6	54,6	7,7	7,9	7,6	301,6	16,1
Abrami V P (B)v/C (32-65 cm)	1,3	8,5	10,7	70,3	9,2	7,9	7,5	378,1	22,2
Abrami VI terasa 0-10 cm (avg.) Abrami VI terrace 0-10 cm (avg.)	17,1	13,9	19,6	46,2	3,2	7,7	7,3	250,6	59,9
Abrami VI kosina 0-10 cm (avg.) Abrami VI slope 0-10 cm (avg.)	18,4	21,6	15,1	38,6	6,4	7,9	7,6	356,8	38,3
Grimalda - 0 -10 cm – bor (avg.)	8,9	10,3	18,3	58,4	4,1	7,8	7,6	327,1	40,9
Grimalda - 0 -10 cm – kontrola (avg.) Grimalda - 0 -10 cm – control (avg.)	2,6	12,3	16,2	63,1	5,7	7,8	7,6	257,7	57,3
Grimalda P A (0 -30 cm)	10,1	13,6	17	52,2	7,1	7,9	7,7	331,3	37,3
Grimalda P A/C (30 -40 cm)	4,4	13,5	19,3	59,6	3,3	7,9	7,6	437,5	44,3
Grimalda P C (40-47 (50) cm)	2,7	6,7	10,9	76,9	2,8	7,9	7,5	531	17,2

Tablica 3. Šumska prostirka, fizičke značajke tla i vodopropusnost tla.

Table 3 Forest floor, physical characteristics and water permeability of the soil.

Oznaka uzorka Mark Sample	Masa šumske prostirke Mass of forest floor	Poroznost Porosity	Ret. vodni kapacitet Water retention capacity	Zračni kapacitet Air capacity	Vodopropusnost tla (k) Soil water permeability (k)		Klasa propusnosti Permeability class
	kg ha ⁻¹				(vol %)		
Abrami II (avg.)	1531	48,4	37	11,4	4,5	0,04	mala - small
Abrami III (avg.)	4576	59,7	42,8	17	4,5	0,04	mala - small
Abrami III Bv		47,7	40,7	7			
Abrami III Bv/C		44,5	34,6	9,9			
Abrami IV (avg.-terasa) Abrami IV (avg.-terrace)	4144	44,7	38,2	6,5	13,5	0,12	mala - small
Abrami IV (avg.-kosina) Abrami IV (avg.-slope)	3312	50,8	40,5	10,3	586,3	5,06	brza - fast
Abrami V (avg.) Abrami V (B)	6379	58,7	34,9	23,8	1002,1	8,66	vrlo brza - very fast
Abrami V (B)/C		49,6	37,5	12,1			
Abrami V (B)/C		38,6	34,9	3,7			
Abrami VI (avg.-terasa) Abrami VI (avg.-terrace)	1784	61,8	44,4	17,4	228,5	1,98	umjereno brza moderately fast
Abrami VI (avg.-kosina)							
Abrami VI (avg.-slope)	1280	50,8	40,3	10,5	1361,3	11,76	vrlo brza - very fast
Grimalda - bor (avg.) Grimalda - pine (avg.)	2133	51,7	39	12,8	11892,6	102,8	vrlo brza - very fast
Grimalda - kontrola (avg.) Grimalda - control (avg.)	1808	54,2	39,8	14,4	3643,9	31,48	vrlo brza - very fast

Na parceli III tlo je eutrični kambisol, a trošina latora je tek na oko 90 cm dubine. Potpuno je prekriveno listincem i travom, a većim dijelom obraslo je šikarom medunca, crnoga graba i bjelograbića. Relativno je homogena, praškasto-ilovaste teksture. Sadržaj karbonata i pH vrijednost rastu s dubinom, a sadržaj organskog ugljika opada, što upućuje na prirodnu stratigrafiju erozijom ne značajno utjecanog tla. Ipak, debljina humu-

sno-akumulativnog horizonta od svega 2–4 cm može se pripisati ponajprije erozijskom utjecaju u prošlosti.

Tlo je malo do osrednje porozno, osrednjeg retencijskog kapaciteta za vodu, ali relativno male vodopropusnosti (tab. 3). Godišnja produkcija erozijskog nanosa na ovoj parceli u prosjeku je ispod $1 \text{ m}^3/\text{km}^2$ (povremeno doseže do $2 \text{ m}^3/\text{km}^2$ – sl. 5) i po tomu se nije značajno promijenila unatrag tridesetak godina.

Tablica 4. Vodopropusnost tla 0–5 cm

Table 4 Water permeability of the soil 0–5 cm

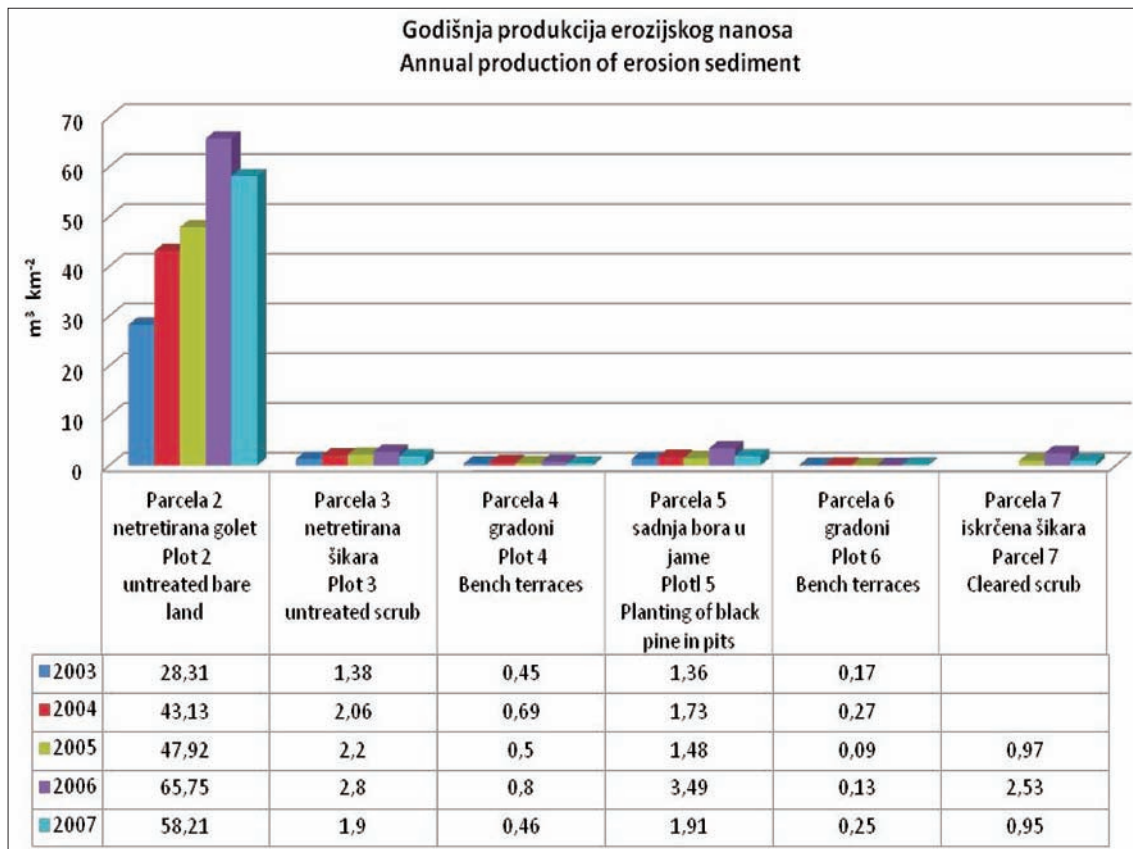
Lokalitet – <i>Locality</i>	$\text{k cm/sek} \cdot 10^{-5}$	$\text{k m/dan} - \text{k m/day}$	Klasa propusnosti – <i>Permeability class</i>
Abrami II	4,5	0,04	mala/ <i>small</i>
Abrami III	4,5	0,04	mala/ <i>small</i>
Abrami IV terasa <i>Abrami IV terrace</i>	13,5	0,12	mala/ <i>small</i>
Abrami IV kosina <i>Abrami IV slope</i>	586,3	5,06	brza/ <i>fast</i>
Abrami V	1002,1	8,66	vrlo brza/ <i>very fast</i>
Abrami VI - terasa <i>Abrami VI - terrace</i>	228,5	1,98	umjereno brza/ <i>moderately fast</i>
Abrami VI - kosina <i>Abrami VI - slope</i>	1361,3	11,76	vrlo brza/ <i>very fast</i>
Grimalda - bor <i>Grimalda - pine tree</i>	11892,6	102,75	vrlo brza/ <i>very fast</i>
Grimalda - kontrola <i>Grimalda - control</i>	3643,9	31,48	vrlo brza/ <i>very fast</i>

Na parcelama IV i VI provedena je tehnička sanacija izgradnjom gradona, pa smo analizirali samo površinskih 10 cm tla. Na parceli IV u, tom površinskom dijelu, tlo je praškasto-ilovaste teksture i osrednje je poroznosti, kako na kosinama, tako i na terasama. Na terasama je kapacitet za zrak malen i značajno je niži od onog na kosini, gdje je osrednji (tab. 3). Takva razlika može se pripisati tehnologiji izvedbe gradona (zbijanje prilikom gradnje), s obzirom da je na parceli 6 obrnut odnos. S tim u vezi, na kosinama parcele je i značajno veća vodopropusnost. Na terasama ove parcele značajno je veća akumulacija šumske prostirke nego na kosinama gradona. Produkcija erozijskog nanosa tijekom sedamdesetih godina, kao i u posljednjem razdoblju mjerenja, ne prelazi $1 \text{ m}^3/\text{km}^2$.

Na parceli V tlo je erodirani eutrični kambisol s diskontinuiranim A- horizontom. Radi se o plicem i teksturno lakšem tlu od onoga na parceli III. Na ovoj parceli nije bilo tehničkih mjera sanacije. Biološka sanacija obavljena je s klasičnom sadnjom bora u jamice. Tlo je prema granulometrijskom sastavu praškasta ilovača, srednje porozno u površinskom dijelu, a malo porozno dublje od 30 cm. Ipak mjerenje vodopropusnosti pokazalo je da je u površinskom dijelu propusnost vrlo brza. Zanimljivo se može istaknuti da je zaliha organske tvari u šumskoj prostirci izuzetno visoka, dok je produkcija erozijskog nanosa veća nego na tehnički sa-

niranim parcelama. Ovo se može objasniti činjenicom da u okolišu ove parcele ima starijih solitera, koji očito značajno utječu na akumulaciju šumske prostirke u njenom okolišu, gdje smo uzorkovali prostirku (ne smije se uzorkovati unutar parcele). Stoga ovaj podatak o šumskoj prostirci ne držimo stvarnim pokazateljem utjecaja tretmana, već kao metodičku pogrešku. Usprkos tomu, ostavili smo ga za ilustraciju varijabilnosti stanja površine tla, koja je predmet analize utjecaja erozijskih procesa na tlo. Važno je istaći da je tijekom sedamdesetih godina godišnja produkcija erozijskog nanosa na ovoj parceli bila čak $160 \text{ m}^3/\text{km}^2$, a u proteklom desetljeću prosječno oko $2 \text{ m}^3/\text{km}^2$.

Na parceli VI u površinskom dijelu tlo je praškasto-ilovaste teksture, osrednje do visoke poroznosti, te umjereno brze i vrlo brze vodopropusnosti (tab. 4). Masa šumske prostirke, kao i na parceli IV, značajno je veća na terasama od one na kosinama gradona (tab. 3). Kako se radi o blažem nagibu, na ovoj parceli je bio i drukčiji tehnički tretman (niski gradoni s blagim kosinama). Ovdje nije bilo podsijavanja brnistre kao na parceli IV, pa je sedamdesetih godina (desetak godina nakon uspostave pokusa) produkcija erozijskog nanosa bila veća, dok je u zadnjem periodu mjerenja značajno manja nego na parceli IV (sl. 5) i u prosjeku godišnje ne prelazi $0,2 \text{ m}^3/\text{km}^2$.



Slika 5. Godišnja produkcija erozijskog nanosa na pokusnim parcelama poligona "Abrami".
Figure 5 Annual production of erosion sediment in the experimental plots of "Abrami" site.

Na lokalitetu Grimalda tlo je rendzina na laporu (sl. 6), s koluvijalnim obilježjima koji odražavaju erozijski utjecaj u prošlosti, odnosno nakupljanje materijala erodiranog iz viših dijelova terena.

Prema granulometrijskom sastavu radi se o praškasto-ilovači (tab. 2), a trošina lapora je praškaste teksture i pojavljuje se na dubini od 40 cm. Prema poroznosti tlo je osrednje porozno i osrednjeg je retencijskog kapaciteta za vodu. U površinskih 5 cm tlo je vrlo brze vodopropusnosti, kako u sastojini crnog bora, tako i na kontrolnoj površini. Između ovih dviju površina nema značajne razlike niti u poroznosti, niti retencijskom kapacitetu za vodu te kapacitetu za zrak. U kulturi crnog bora zaliha šumske prostirke je nešto veća, ali nema statističke razlike u odnosu na organsku tvar (trava) kontrolne površine.

Analizirajući stanje tla na istraživanim lokalitetima s obzirom na provedene mjere sanacije erodiranog terena, odnosno zaštite tla od erozije, može se uočiti da je regeneracija tla vrlo spora i da ovisi, kako o primijenjenim metodama, tako i o početnom stanju površine tla i reljefu. Ovdje izabranim metodama zajedničko je korištenje crnog bora. Radi se o vrsti koja se prema ulozi u suzbijanju erozije u submediteranskom području može usporediti s alepskim borom u mediteranskom području (Chirino et al. 2006, Butorac et al. 2009a i b). U suzbijanju erozije često se koristi brnistra (K o m l e n o -



Slika 6. Profil rendzine na lokalitetu Grimalda.
Figure 6 Rendzina profile in the Grimalda site.

vić et al. 1992, Andreu et al. 1998, Topić 1996, 2009). Tako se i ovdje učinkovitim pokazalo podsijavanje brniste i travne smjese. To najbolje pokazuje usporedba produkcije erozijskog nanosa na parceli IV u odnosu na parcele V i VI, iako se radi o daleko većem nagibu terena. S druge strane, očito je da su i tehničke mjere sanacije daleko ranije pokazale smanjanje intenziteta erozije, što pokazuju trendovi na parcelama IV i VI u odnosu na parcelu V na kojoj je provedena samo klasična sadnja bora u jamice.

Rezultati istraživanja pokazali su da ako tlo nije jako erodirano, zaštita od požara i nesmetana progresija prirodne vegetacije imaju vrlo dobar učinak na zaštitu tla od erozije. Tako na lokalitetu Grimalda, 26 god. nakon

pošumljavanja jedne površine, nema značajne razlike u pedofiziografiji u odnosu na kontrolnu površinu, osim što na plohi s borom tlo ima veću vodopropusnost, pa prema tomu i viši kapacitet (potencijal) ublaživanja erozijskog utjecaja (dakako, ne uzimajući u obzir još i utjecaj intercepcije). Treba istaći da se godišnja produkcija erozijskog nanosa na pokusnom poligonu "Abrami" djelomično podudara sa sadržajem organske tvari u površinskom dijelu tla (TOC), i to kroz obrnuto proporcionalni odnos. To upućuje na bržu humizaciju i regeneraciju tla u slučaju učinkovitijeg suzbijanja njegove erozije, tj. kroz primjenu boljih tehničkih i bioloških mjera sanacije.

ZAKLJUČCI – Conclusions

Istraživanja utjecaj bioloških i tehničkih mjera zaštite tla te sanacije erodiranog terena na svojstva tla, odnosno na njegovu regeneraciju pokazala su da su tehničke mjere sanacije imale ključnu ulogu u smanjenju produkcije erozijskog nanosa, osobito u ranoj fazi trajanja pokusa.

Na strmim padinama na kojima se ne provode nikakve mjere sanacije vegetacijska progresija je vrlo spora pa je i regeneracija tla vrlo spora, tako da je usprkos prirodnom naseljavanju crnog bora sklapanje sastojine vrlo sporo, a humusno-akumulativni horizont tla vrlo slabo razvijen i fragmentiran. Na blažim nagibima, koji nisu jako erodirani, nesmetano širenje prirodne vegetacije podjednakog je učinka na svojstva tla

(ujedno na njegovu zaštitu, regeneraciju itd.) kao i biološka sanacija u vidu sadnje crnog bora.

Na vrlo strmim flišnim padinama erozijski procesi imaju neprekidno razorni učinak, pa se regeneracija tla ne javlja niti nakon 40 godina.

Učinkovitije suzbijanje erozije rezultira intenzivnijom humizacijom i regeneracijom tla. U odnosu na nulto stanje (prije sanacije) najznačajnije promjene fiziografije tla manifestiraju se u vidu povećanja zalihe šumske prostirke, sadržaja humusa u tlu te vodopropusnosti. Najsporije promjene u tlu flišnih padina nakon provedenih mjera zaštite od erozije odnose se na sadržaj karbonata u tlu i na pH vrijednost tla. To su dugoročno visoko karbonatna i alkalna tla.

LITERATURA – References

- Andreu, V., J. L. Rubio, E. Gimeno-Garcia, J. V. Llinares, 1998: Testing three Mediterranean shrub species in runoff reduction and sediment transport. *Soil and Tillage Research*, 45: 441–454.
- Andreu, V., A. C. Imeson, J. L. Rubio, 2001: Temporal changes in soil aggregates and water erosion after a wildfire in a Mediterranean pine forest. *Catena* 44: 69–84.
- Butorac, L., V. Topić, G. Jelić, 2009a: Intensity of soil erosion by water in preserved and burnt stands of Aleppo pine in Croatia. 29th EARSeL Symposium "Imagine Europe", Abstract Book: I. Manakos, C. Kalaitzidis, D. Petraki, N. Psyllakis (ur.). Chania: European Association of Remote Sensing Laboratories (EARSeL) and Mediterranean Agronomic Institut of Chania (MAICh), p. 8–8.
- Butorac, L., V. Topić, G. Jelić, 2009b: Suface Runoff and Soil Loss in Burnt Stands of Aleppo Pine (*Pinus halepensis* Mill.) Growing on Colluvial Soils. *Šumarski list*, Vol. 133 No. 3–4 Tračvanj 2009, 121–134.
- Chirino, E., A. Bonet, J. Bellot, J. R. Sánchez, 2006: Effects of 30-year-old Aleppo pine plantations on runoff, soil erosion, and plant diversity in a semi-arid landscape in south eastern Spain. *Catena*, 65(1): 19–29.
- Gračanin, Z., 1962: Verbreitung und Wirkung der Bodenerosion in Kroatien. *Giessener Abhandlungen zur Agrar- und Wirtschaftsforschung des Europäischen Ostens*. Band 21. Im Kommissionverlag Wilhelm Schmitz Giessen. 335 p. + 120 slika i 16 karata.
- Ivančević, V., 1995: Šume i šumarstvo dijela hrvatskog primorskog krša tijekom XIX. i XX. vijeka. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, p. 1–179.
- Jurak, V., J. Petraš, D. Gajski, 2002: Istraživanje ekscesivne erozije na ogoljelim flišnim padinama u Istri primjenom terestrične fotogrametrije. *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 brnistrice (*Spartium junceum* L.), Radovi, Vol. 27, br. 1, 5–14, Jastrebarsko.
- Martinović, J., 1997: Tloznanstvo u zaštiti okoliša. Državna uprava za zaštitu okoliša, p. 280, Zagreb.
- Matić, S., 1986: Šumske kulture alepskog bora i njihova uloga u šumarstvu Mediterana. Glas. šum. pokuse, posebno izdanje 2: 125–145, Zagreb.
- Pentek, Z., 2001: Pokusna ploha “Abrami” – biološke i tehničke metode sanacije, postignuti rezultati i smjernice daljnjih istraživanja. Diplomski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, p. 39.
- 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: Matić, Slavko (ur.). Zagreb: Akademija šumarskih znanosti (predavanje, međunarodna recenzija, sažetak), 2004: p. 12–12.
- Petraš, J., D. Holjević, V. Patrčević, 2008: Mjerenje produkcije erozijskog nanosa na istraživačkom poligonu “Abrami” u Istri. Savjetovanje: Hidrološka mjerenja i obrada podataka. U: Ožanić, N. (ur.). Rijeka: Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci & Hrvatsko hidrološko društvo, 190–206.
- Petraš, J., D. Holjević, I. Plišić, 2004: Soil Erosion Investigations and Measurements on Flysch in Forested Areas of Central Istria, Croatia. Proceedings of 9th International Symposium on River Sedimentation, Central Theme: Interactions between Fluvial Systems and Hydraulic Projects Pertinent Environmental Impacts, Volume IV. U: Cheng LIU (ur.). Yichang (Kina) : Tsinghua University Press, 2004., p. 2260–2267.
- Petraš, J., G. Mičetić, D. Holjević, 2001: Prvi rezultati istraživanja erozije tla na obnovljenom istraživačkom objektu “Abrami”. IX kongres Hrvatskog tloznanstvenog društva, Brijuni, 03-07. 07. 2001. Sažeci: p. 111–112.
- Prpić, B., P. Jurjević, H. Jakovac, 2005: Procjena vrijednosti protuerozijske, hidrološke i vodozaštitne uloge šume. Međunarodni znanstveni skup: Protuerozijska i vodozaštitna uloga šume i postupci njezina očuvanja i unapređenja. Šumarski list, posebno izdanje, 186–194, Zagreb.
- Rey, F., F. Berger, 2006: Management of Austrian Black Pine on Marly Lands for Sustainable Protection Against Erosion (Southern Alps, France), New Forests, Springer Netherlands, 31(3): 535–543.
- Seletković, I., 1997: Način saniranja erozije na pokusnim ploham “Abrami”. Diplomski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, p. 41.
- 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. Unapređenje proizvodnje biomase šumskih ekosustava, Mayer, Branimir (ur.), Zagreb, Hrvatsko šumarsko društvo, 361–365.
- Topić, V., 2000: Utjecaj kultura crnog bora (*Pinus nigra* Arn.) na zaštitu tla od erozije. Sažeci znanstvenog skupa Unapređenje poljoprivrede i šumarstva s međunarodnim sudjelovanjem. U: P. Maleš, M. Maceljčki, (ur.). Zagreb: Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, 71–73.
- Topić, V., 2001: Utjecaj kultura crnog bora (*Pinus nigra* Arn.) na zaštitu tla od erozije prouzročene kišom. Znanost u potrajnom gospodarenju hrvatskim šumama. U: S. Matić, A. P. B. Krpan, J. Gračan, (ur.). Zagreb: Denona d.o.o., Zagreb, p. 636–645.
- Topić, V., L. Butorac, 2006a: Protuerozijska i hidrološka uloga šumskih ekosustava na kršu. Zbornik radova – akademik Josip Roglić i njegovo djelo, 193–213, Zagreb.
- Topić, V., L. Butorac, 2006b: Uloga i značaj šumske vegetacije u zaštiti tla od erozije. X. Kongres Hrvatskog tloznanstvenog društva “Uloge tla u okolišu”. U: I. Kisić, (ur.) Uloge tla u okolišu (sažeci). Šibenik, p. 97–97.
- Topić, V., L. Butorac, G. Jelić, 2006: Površinsko otjecanje padalina i erozija tla u šumskim ekosustavima alepskog bora. Radovi Šumarskog 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. Sustainability of the karst environment – Dinaric karst and other karst regions, Abstract Book: U: O. Bonacci, Ž. Župan (ur.). Gospić: Sveučilišna tiskara d.o.o., 134–134.
- Úbeda, X., J. Mataix-Solera, 2008: Fire effects on soil properties: A key issue in forest ecosystems. Catena 74: 175–176.

SUMMARY: The impact of biological and technical soil protection measures, as well as the effect of eroded terrain recovery on soil properties, i.e. its regeneration, was investigated in two localities on flysch in Istria. Seven research plots in the erosion research polygon in Abrami were restored for the purpose of measuring annual sediment production by erosion. The condition of soil was investigated in five plots and its regeneration was compared in terms of terrain recovery methods. Two plots were excluded: one because the terrain was completely eroded and turned into bare marl detritus, and another because it was established only recently, therefore, soil properties have not yet been changed by the treatment.

Near the village of Grimalda we analyzed the condition of surface soil in the part of the terrain that was afforested in 1982. We made two separate analyses: one in an established black pine stand and the other on abandoned grassland displaying natural progression of forest vegetation.

According to our research, the soil in all five plots in the Abrami polygon is equally carbonate, while the pH value shows alkaline reaction. These properties are the consequence of past erosion processes, which have led to predominantly bare, homogeneous, detritus of flysch. As a result, the remaining material has similar properties regardless of the applied recovery methods. Soil in the areas that are not severely eroded is eutric cambisol, while severely eroded slopes are characterized by shallow regosol. Several recovery methods were applied. In the plots restored for the purpose of monitoring sediment production by erosion we analyzed the impact of a) high bench terraces with dry-wall crowns, b) low and mildly sloping bench terraces, c) classical planting with black pine into holes, d) planting with black pine into bench terraces and undersowing with a grass mixture and Spanish broom, e) planting with black pine into bench terraces without undersowing, and f) areas with varying initial vegetation condition and varying slope degrees.

It was found that technical recovery measures had a key role in the reduction of sediment production by erosion, especially in the early stage of the experiment. It was also found that very slow vegetation progression on steep slopes results in very slow soil regeneration. Thus, despite natural colonization with black pine, canopy closure is very slow, while the humus-accumulative soil horizon is poorly developed and fragmented. On milder slopes that are not severely eroded, the undisturbed expansion of natural vegetation (fire protection) produces equal effects on soil properties (and its protection, regeneration, and similar) as does biological recovery with planting black pine. This was confirmed by research in the Grimalda locality. The only difference is slightly higher soil water permeability in the pine culture.

The annual sediment production by erosion in the experimental polygon of Abrami partially coincides with the organic matter content. These processes are reversely proportional, which indicates that soil humization and regeneration will be more rapid if erosion prevention is more efficient, or in other words, if better technical and biological recovery measures are applied.

Key words: eroded terrain recovery, soil regeneration, soil organic matter, forest floor