

EROZIJA PRSTI NA KMETIJSKIH ZEMLJIŠČIH V SLOVENIJI

Soil Erosion on Agricultural Land in Slovenia

Matija Zorn*, Blaž Komac** UDK 551.3.053(497.4)

Povzetek Abstract

O eroziji prsti v Sloveniji je malo konkretnih podatkov. To je posledica majhnega zavedanja o tem pojavu zaradi redkih meritev in razdrobljenosti zemljišč. Opravili smo meritve erozije prsti na njivi v porečju Besnice severozahodno od Kranja. Pokazalo se je, da je erozija prsti zelo intenzivna, saj znaša kar 36 t/ha/leto. Nič ne more nadomestiti prsti, ki jo izgubimo zaradi erozije. Za varovanje pred erozijo prsti se uporabljajo različne preventivne metode, kot so terasiranje, mulčenje ali oranje vzporedno s plastnicami. V Sloveniji letno izgubimo približno 4 t/ha.

The little data on soil erosion in Slovenia is a result of low awareness of the problem of soil erosion because of rare measurements and because of fragmented land-use. Measurements of soil erosion were taken in order to enhance knowledge about this phenomenon. We measured soil erosion on a measurement plot in the Besnica river basin NW of the town of Kranj, NW Slovenia. Soil erosion is very intensive and amounts to 36 t/ha/year. Nothing can substitute soil that is lost by erosion. Different methods are used for erosion protection, such as terracing, mulching or contour tillage. About 4 t/ha of soil are lost every year in Slovenia.

Uvod

V članku predstavljamo erozijo prsti v Sloveniji, posebej pa meritve erozije, opravljene na njivi v porečju Besnice severozahodno od Kranja.

Izraz erozija prsti je primeren za oznako procesa, ki prizadene prst, to je do nekaj deset centimetrov debel del litosfere, za katerega je značilna rodovitnost, lastnost, da v njej lahko rastejo rastline. Kadar voda teče po površini in ne pronica v prst, lahko povzroča erozijo [Lovrenčak, 1994].

Denudacija je razgaljanje površja, ki je posledica prepevrenja in odnašanja gradiva. Učinkuje ploskovno v nasprotju z erozijo, ki deluje linijsko z dolbenjem, razjedanjem in odnašanjem delcev kamnine ali preperelne s tekočo vodo, snegom ter z ledeniki in vetrom. Erozijo povzročajo tudi človek in živali. Denudacija poteka na območjih z naklonom nad 2–3° [Penck, 1924], erozija oziroma močnejše linijsko odnašanje gradiva pa je značilno predvsem za naklone nad 6° [Natek, 1983].

Erozija lahko nastopi, ko intenzivnost padavin preseže infiltracijsko sposobnost prsti in nastane površinski odtok. Odvisna je zlasti od erozivne sile padavin in vodnega toka

ter odpornosti podlage. Običajno poteka v treh stopnjah. Najprej se delci prsti ločijo od podlage, nato jih voda ali drugi agensi prenesejo v drugotno lego, kjer se nazadnje odložijo [Lovrenčak, 1994].

Na erozijo so občutljiva zlasti območja z velikimi nakloni na manj sprijetih in manj odpornih kamninah.

Erozija prsti v Sloveniji

O eroziji prsti v preteklosti je malo konkretnih podatkov, kar je posledica majhnega zavedanja o tem procesu in razdrobljenosti zemljišč. Poleg tega je v Sloveniji v drugi polovici 20. stoletja do leta 1989 [Jesenovec, 1995] delovala le ena postaja za merjenje erozije, in sicer v vasi Smast pri Kobaridu. Posredne podatke o eroziji so dali meritve suspenzije in prodonosnosti v akumulacijskih jezerih hidroelektrarn na Soči, Savi in Dravi ter izračuni z različnimi modeli. Domnevamo, da je imela erozija nekaj pomembnejšo vlogo kot danes, saj je bil delež njivskih površin nekoč bistveno večji, delež gozda pa manjši. Njive so leta 1896 obsegale 18,1 % vseh površin, leta 2000 pa le še 10,3 %, gozd je leta 1896 obsegal 41,6 %, leta 2000 pa 60,3 % površin [Gabrovec in Kladnik, 1997; Petek, 2004].

Z opuščanjem kmetijske rabe zaradi naravnih, družbenih in ekonomskih dejavnikov se je tako v zadnjih desetletjih ustrezno zmanjšala količina erodiranega gradiva.

* Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU, Gosposka ulica 13, Ljubljana, matija.zorn@zrc-sazu.si

** Mag., Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU, Gosposka ulica 13, Ljubljana, blaz.komac@zrc-sazu.si

Agens	Vrsta procesa		Delovanje
voda	rečna (fluvialna) erozija	Linijsko dolbenje površja in odnašanje gradiva s tekočo vodo.	1. <i>Globinska erozija</i> deluje pretežno navpično. 2. <i>Bočna erozija</i> deluje pretežno bočno.
sneg	snežna (nivalna) erozija	Odnašanje gradiva zaradi erozijskega delovanja snega.	
led	ledeniška (glacialna) erozija	Odnašanje gradiva zaradi erozijskega delovanja ledenikov.	
veter	vetrna (eolska) erozija	Odnašanje gradiva zaradi erozijskega delovanja vetra.	
morje/jezera	morska/jezerska erozija ali abrazija	Odnašanje gradiva zaradi erozijskega delovanja valov.	
omenjeni naravni dejavniki in človek ter živali	erozija prsti	Vsako odstranjevanje delcev prsti in prepereline z naravnimi agensi, marsikje pospešeno zaradi delovanja človeka (goloseki, čezmerna paša, poti) in živali, ki je intenzivnejše od nastajanja prsti.	<p>1. <i>Površinsko spiranje</i> je posledica dežne erozije in ploskovne erozije površinskega vodnega toka, ki poteka, preden se voda združi v curke in deluje globinsko. Čeprav gre procesno še za denudacijo, ga že štejememo k eroziji prsti. Proces brez stalnega merjenja težko opazimo in kvantificiramo, zato njegove učinke pogosto podcenjujemo.</p> <p>2. <i>Žlebična erozija</i> je globinska erozija, pri kateri voda, združena v curke, vrezuje erozijske žlebiče, majhne, največ do 30 cm globoke in več metrov dolge vdolbine v pobočju.</p> <p>3. <i>Jarkovna erozija</i> je globinska erozija, pri kateri z združevanjem erozijskih žlebičev nastajajo več metrov globoki in več deset metrov dolgi erozijski jarki.</p> <p>4. <i>Cevčenje</i> nastane zaradi tokov vode v preperelini, ki so vzporedni s pobočjem. Pri tem voda odnaša delce, v preperelini nastajajo vedno večji kanali oziroma "cevi". Po navadi nastajajo v manj odpornem spodnjem sloju prepereline pod stabilnejšim zgornjim slojem.</p>

Preglednica 1. Vrste erozije (Komac in Zorn 2005)

Table 1. Types of erosion (Komac and Zorn 2005)

Zakon o kmetijskih zemljiščih (1996), ki določa ukrepe za varovanje kmetijskih zemljišč, omenja le agromelioracije, hidromelioracije in komasacije. Čeprav v državnem proračunu niso predvidena sredstva za varovanje pred erozijo, morajo lastniki zemljišč kmetijsko proizvodnjo prilagajati krajevnim razmeram ter uporabljati primerne metode za preprečevanje erozije. Zakon ne predpisuje protierozijskih metod, ki jih kmetje sicer že uporabljajo. Med starimi metodami so na primer izbira ustreznih poljščin, kolobarjenje in zasajanje vmesnih posevkov. Erodibilnost prsti v Sloveniji zmanjšujejo še z zmanjšano obdelavo tal in zatavljanjem, mulčenjem in takojšnjo setvijo po žetvi. V obalnem gričevju zatavljajo pasove med posameznimi vrstami poljščin, v vzhodni Sloveniji kopljejo odtočne jarke za preusmerjanje vode. Zaradi razdrobljenosti zemljišč so

pogosti omejki in vmesni pasovi iz travinja ali grmovja, ki zmanjšujejo hitrost površinsko otekajoče vode. V sadjarstvu in vinogradništvu sta v navadi terasiranje in obdelovanje vzporedno s plastnicami, s čimer se erozija zmanjša za več kot tretjino. Ponekod so zgradili vodne zadrževalnike, ki so namenjeni tudi usedanju erodiranega gradiva. Erodibilnost zmanjšujejo tudi s pravilno uporabo ustrezne mehanizacije (Lovrenčak, 1994; Zupanc in Mikoš, 2000; Zupanc s sod., 2000).

Na nagnjenih površinah nastajajo zaradi močnega površinskega spiranja in orne erozije na spodnjih robovih njiv do 4 m visoki omejki, kjer se odlaga erodirano gradivo (Natek, 1989a). Kmetje v hribovitih pokrajinah so izprano prst pogosto nosili v koših nazaj na njive, kar je Prežihov

Voranc (1893–1950) slikovito opisal v povesti Ljubezen na odoru (1969).

Podobno so morali na slemenih in zgornjih delih pobočij v Gabrovškem hribovju in v Šentjanškem hribovju v Mirnski dolini prst zaradi močne erozije na njivah občasno dovažati (Topole, 1998) ali v koših prenašati s spodnjih delov njiv.

Po Vrišerjevem (1953) mnenju so zaradi erozije prsti najbolj prizadeta območja, ki jih sestavljajo mladi in slabo sprijeti lapornati in peščeni sedimenti v panonskih gričevjih in fliš v sredozemskih gričevjih. Prepričan je, da je bila v preteklih stoletjih zaradi erozije prsti opuščena marsikatera kmetija, ki je bila poseljena ob višku srednjeveške kolonizacije v 14. in 15. stoletju.

Bračič (1967) je v Halozah ugotovil, da močna erozija na pobočnih vinogradih odnaša v doline že tako skromno prst. Da bi jo kar se da dobro zaščitili, so med vinskimi trtami gojili različne podsevke, drugod pa so prst zastrli s pokošeno travo. Menil je, da bi erozijo bistveno zmanjšala uvedba vinogradniških teras.

Gradnja kulturnih teras v Koprskem primorju je prinesla več pozitivnih posledic. Voda, ki se ob deževju preliva po pobočjih, se na terasah umirja in ne odnaša več rodovitne prsti (Titl, 1965). Poznamo tudi primere, ko so bile zaradi erozije opuščene njive na terasah (Valenčič, 1970).

Svojevrstna je erozija prsti na kraških območjih, kjer se intenzivnega spiranja v podzemlje zavedajo le redki kmetje, čeprav večina ve, da kamenje na kraških tleh "raste". Na strminah deluje še površinsko spiranje ob nalivih, zato so opuščeni vinogradi ponekod prave kamnite puščave. Erozijo prsti na krasu ugotavljamo posredno. Na številnih skalah, ki molijo na površje, se še pozna, da so bile na vrhu odbite. Če so bile odbite na travniku, pomeni višina skale nad zemljo obseg erozije prsti, če pa je bilo kamenje odbito na njivi, je treba pridati še toliko centimetrov, kolikor globoko je bil kamen odbit pod površjem. Poleg tega ima kompakten apnenec zaradi subkutane korozije na stiku s prstjo gladko površino, od nekdanj ven štrleče kamenje pa je špranjasto z robato površino. Vešče oko razpozna, ali je površina kamna nastala v prsti ali nad njo, četudi je od znižanja prsti preteklo že več desetletij. Na ravnih travnikih moli kamenje običajno 20 do 30 cm iz zemlje, tolikšen je torej učinek erozije. V vinogradih je erozija običajno mnogo večja (Hrvat in sod., 2006). Gams (1974) domneva, da je bila erozija prsti po poseku gozda in po prvem oranju hitra, pozneje pa se je postopoma upočasnila.

Kako hitro poteka erozija prsti, je sporno vprašanje. Hrvat (1953), ki je podrobno opisoval erozijo na njivah in vinogradih jugovzhodne Slovenije, je ugotovil, da se prst znižuje v povprečju za 1 cm na leto. Hrvatova ocena intenzivnosti erozije prsti je močno pretirana in verjetno drži le za erozijsko najbolj občutljivejša območja.

Ocene sproščanja gradiva za celo Slovenijo so med 5.000.000 m³ in 6.000.000 m³ letno (Rainer in Pintar,

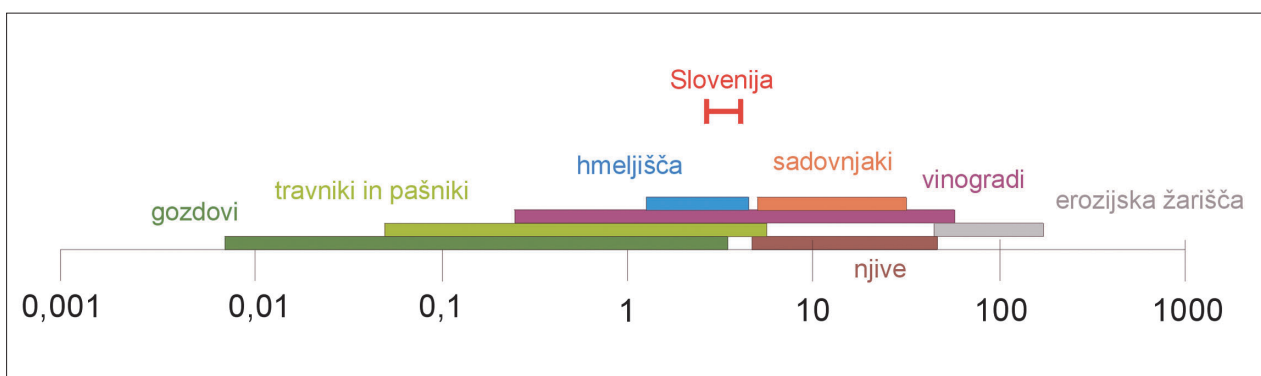
1972; Kolbezen, 1979) oziroma med 5.200.000 do 5.300.000 m³ letno (Zemljič, 1972; Rainer in Zemljič, 1975; Horvat, 1987; Horvat, 2002). Specifično sproščanje je povprečno okrog 4,2 t/ha letno. Nekateri navajajo tudi nižje ocene sproščanja gradiva, na primer Lazarevič (1981) s 3.960.200 m³ letno oziroma približno 3,1 t/ha letno. Na podlagi enostavnega modela, ki temelji na objavljenih merjenih in modeliranih podatkih o eroziji po kategorijah rabe tal, ugotavljava, da je količina sproščenega gradiva v Sloveniji med 3.924.002–5.722.895 m³ letno (preglednica 3; Komac in Zorn, 2005). Za primerjavo navedimo podatek, da je na Zemlji povprečno erodiranih 5 t/ha prsti letno (Myers, 1991).

Polovica do tri petine sproščenega gradiva zastaja na pobočjih, meliščih in vršajih ter v erozijskih in hudourniških grapah. Preostalo gradivo pride v vodotoke, vendar se ga približno četrtnina zaustavlja že v povirjih. Zaradi zastajanja gradiva se dna strug stalno dvigajo, prodišča se širijo na račun drugih zemljišč, povečuje se nevarnost poplav (Zemljič, 1972; Horvat, 1987; Natek, 1989b). Podatki o odlaganju gradiva po porečjih kažejo, da se v Posočju v vodotokih odlaga približno 15,2 t/ha gradiva letno, v Posavju približno 6,3 t/ha letno, v Podravju približno 5,6 t/ha letno in v Pokolpju približno 2,6 t/ha letno. Na obalnem gričevju se v vodotokih odlaga približno 6,4 t/ha gradiva letno (Zemljič s sod., 1970).

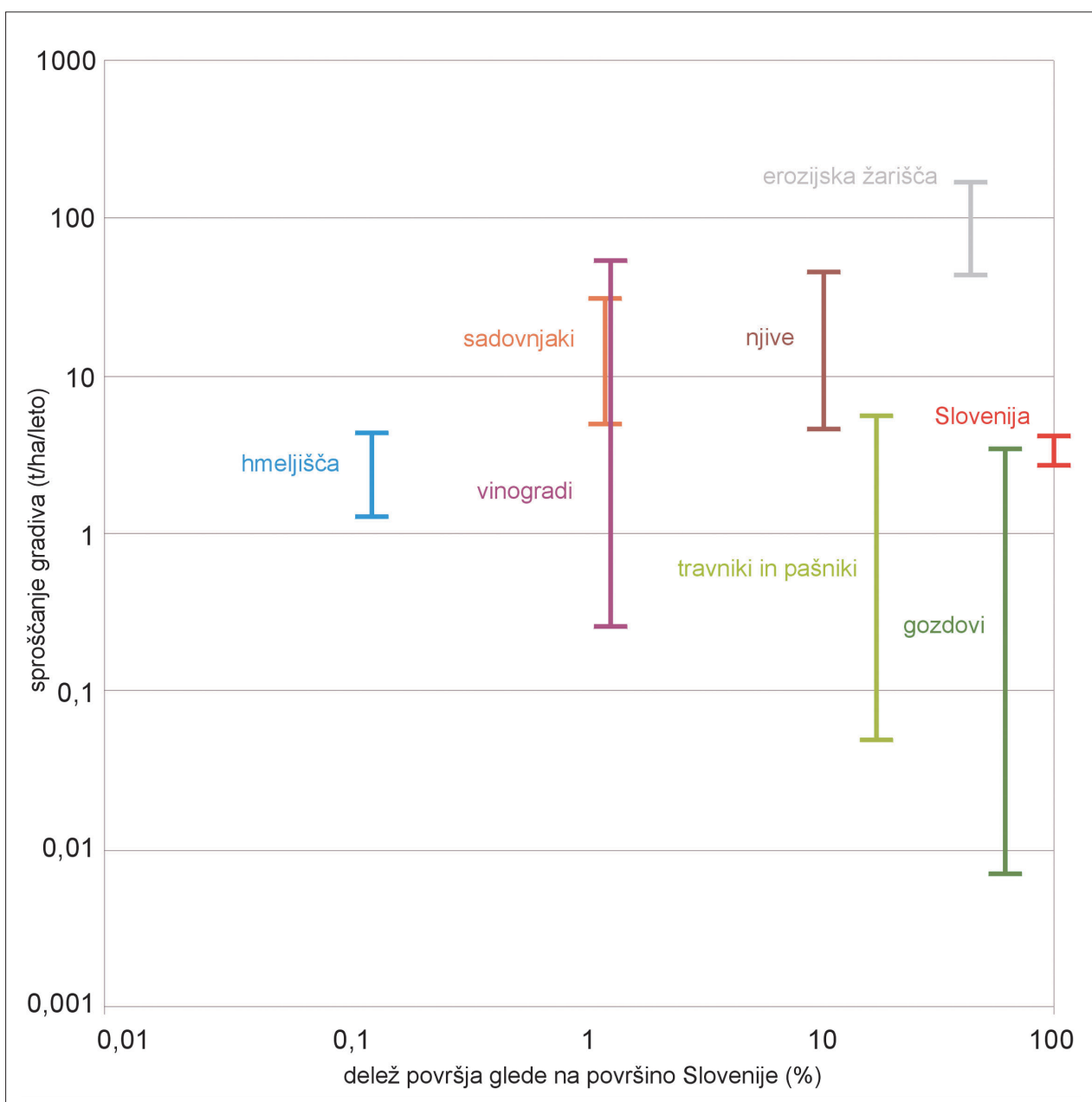
Meritve erozije prsti v Sloveniji

Dolgotrajnejše meritve erozije prsti na kmetijskih zemljiščih so izvajali le na merilnem polju v Smasteh pri Kobaridu, drugje (Straža ob Krki, Limbuš pri Mariboru) pa so potekala le krajša opazovanja in izračunavanja ter modeliranje na podlagi empiričnih enačb (Latkova vas v Savinjski dolini, dolina Dragonje, Mirnska dolina).

Vir	Specifično sproščanje gradiva (t/ha/leto)	Erozijsko zniževanje površja (mm)
Lazarevič, 1981	3,13	0,20
Zemljič, 1972; Rainer in Zemljič, 1975; Horvat, 1987; Horvat, 2002	4,18	0,26
Preglednica 3; Komac in Zorn, 2005	3,70–4,52	0,23–0,28
Preglednica 2.	Specifično sproščanje gradiva in erozijsko zniževanje površja v Sloveniji (Komac in Zorn, 2005)	
Table 2.	Erosion and erosion lowering of the surface in Slovenia (Komac and Zorn, 2005)	



Slika 1. Sproščanje gradiva po kategorijah rabe tal v Sloveniji v t/ha/leto [Komac in Zorn, 2005]
 Figure 1. Erosion according to land use categories in Slovenia in t/ha/year [Komac and Zorn, 2005]



Slika 2. Sproščanje gradiva po kategorijah rabe tal v Sloveniji glede na delež njihove površine v primerjavi s površino Slovenije [Komac in Zorn, 2005]
 Figure 2. Erosion according to land use categories in Slovenia relative to the proportion of their surface area in comparison with the total surface area of Slovenia [Komac and Zorn, 2005]

Kategorije rabe tal	Sproščanje gradiva (t/leto)	Specifično sproščanje gradiva (t/ha/leto)	Erozijsko zniževanje površja (mm)	Sproščanje gradiva (t/leto)	Specifično sproščanje gradiva (t/ha/leto)	Erozijsko zniževanje površja (mm)
	naklon nad 2°			naklon nad 0°		
njive	1.464.156,86	0,86	0,05	3.918.386,92	1,93	0,12
neporasla in visokogorska območja	2.211.748,99	1,30	0,08	2.232.884,86	1,010	0,07
travinje	1.343.734,42	0,79	0,05	1.642.895,78	0,81	0,05
vinogradi	437.215,59	0,62	0,02	462.838,74	0,23	0,01
gozd in površine v zaraščanju	537.825,96	0,32	0,02	573.335,72	0,28	0,02
sadovnjaki	283.234,28	0,17	0,01	319.561,62	0,16	0,01
hmeljišča	487,06	0,0003	0,00002	6728,19	0,003	0,0002
skupaj	6.278.403,16	3,70	0,23	9.156.631,84	4,52	0,28
povprečno	784.800,40	0,46	0,03	1.144.578,98	0,56	0,04

Preglednica 3. Sproščanje in specifično sproščanje gradiva ter erozijsko zniževanje površja po kategorijah rabe tal v Sloveniji (Komac in Zorn, 2005)

Table 3. Erosion, specific erosion and erosion lowering of surface according to land use categories in Slovenia (Komac and Zorn, 2005)

Pri vasi Smast je bila izmerjena erozija pri naklonu površja 29° v mešanem gozdu komaj 6,3 kg/ha letno, na travniku 39 kg/ha letno, na krompirjevi njivi 3,5 t/ha letno, na zorani njivi pa 22,4 t/ha letno (Horvat in Zemljič, 1998).

Izračuni z matematičnim modelom GLEAMS 2.1 v Latkovi vasi kažejo, da je erozija na hmeljišču pri naklonu 0,18° do 5 t/ha/leto (Zupanc s sod., 2000).

Ravbar (1975) je izvedel dve meritvi erozije na kraški ilovici v bližini Straže pri Novem mestu. Naklon površja je bil 16–18°. Opazoval je odnašanje prsti ob padavinskem dogodku, ko je padlo 36 mm padavin, in ob padavinskem dogodku, ko je padlo 107 mm padavin. Ob prvem dogodku se je sprostilo 290 g gradiva (0,56 t/ha), ob drugem pa 1160 g gradiva (2,5 t/ha). Na podlagi teh podatkov je povprečna letna erozija prsti 22 t/ha (Komac in Zorn, 2005).

Erozijo so modelirali tudi v porečju Dragonje oziroma Rokave. Po Gavrilovičevi metodi so v vinogradih izračunali erozijo 22 t/ha in na njivah 11 t/ha letno, po metodi RUSLE pa v vinogradih 51 t/ha letno in na njivah 22 t/ha letno (Petkovšek, 2002).

Kolbezen (1979) je na podlagi podatkov o letnem transportu gradiva na potokih vzhodnega in jugovzhodnega Pohorja ugotovil, da je povprečna erozija 2,4 t/ha.

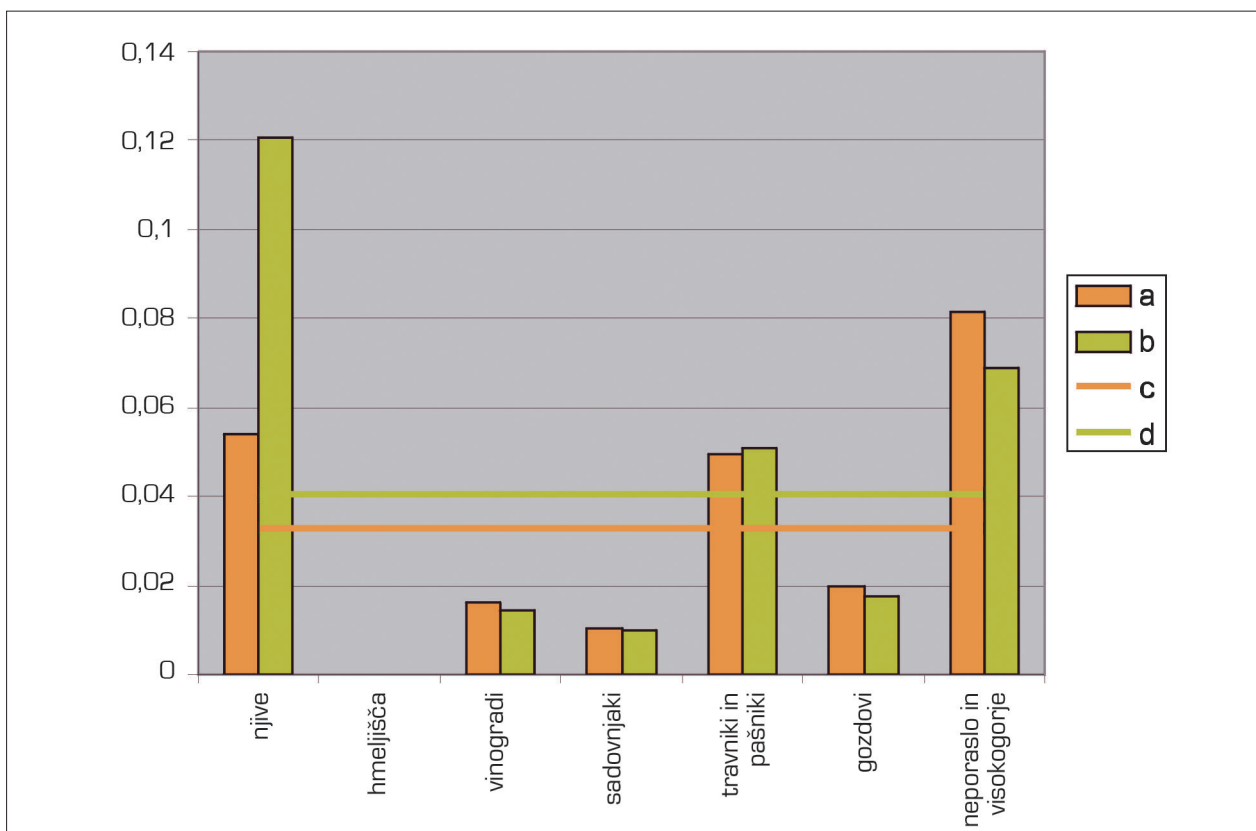
Izračuni z metodo USLE za Mirnsko dolino kažejo, da je bila erozija na več kot polovici obravnavanega ozemlja nižja od 35 t/ha letno, na slabi petini pa močnejša kot 75 t/ha letno. Povprečna erozija v porečju Mirne je

približno 6,4 t/ha/leto. Zaradi manj odpornih kamnin je gričevje v Mirnski dolini kljub manjšim višinskim razlikam za erozijo občutljivejše kot hribovje (Topole, 1998).

Mikoš in Zupanc (2000) sta ugotovila, da v Sloveniji zaradi erozije izgubimo povprečno 5–10 mm "plodnih tal" na "kmetijskih površinah" letno, kar pomeni izgubo prsti 80–100 t/ha/leto.

Podatki meritev in izračuni z modeli kažejo, da erozija v Sloveniji najbolj ogroža njive, s katerih letno odnese oziroma premesti v nižjo lego 0,92–2,45 milijona m³ prsti. Na gozdnih območjih se sprošča približno po 0,34–0,36 milijona m³ gradiva, v vinogradih približno po 0,27–0,29 milijona m³ gradiva, na travnikih in pašnikih pa 0,84–1,03 milijona m³ gradiva. Erozijski prsti v sadovnjakih obsega približno 0,18–0,20 milijona m³ letno, na neporaslih in visokogorskih območjih pa se letno sprošča približno 1,38–1,40 milijona m³. Skupaj se v Sloveniji sprošča približno 3.924.002–5.722.895 m³ gradiva (preračunano iz podatkov preglednice 3 ob pretvornem količniku 1,6).

Domnevamo, da je erozija prsti na njivah ob večjem upoštevanju naklonov bližje nižji vrednosti v preglednici 3, saj dobra polovica (54 %) njiv leži na površju z naklonom, manjšim od 2°, kjer je po Nateku (1983) relativno šibko odnašanje gradiva, in le slaba tretjina (29 %) njiv leži na površju z naklonom, večjim od 6°, kjer je močno odnašanje gradiva. Pomen erozije prsti v gozdovih je verjetno bližje višji oceni iz preglednice 3, saj je kar 85 % gozdov na površju z naklonom, večjim od 6° (66 % na površju z naklonom, večjim od 12°), le 6 % gozdov pa je na površju



Slika 3. Erozija po kategorijah rabe tal v Sloveniji (po podatkih v preglednici 3)

Figure 3. Erosion (mm/year) according to land use categories in Slovenia (according to data in Table 3)

z naklonom, manjšim od 2°. Podobno lahko velja tudi za travnike, saj jih 62 % leži na površju z naklonom, večjim od 6° (36 % na površju z naklonom, večjim od 12°) (Komac in Zorn, 2005).

Erozija prsti v porečju Besnice

Erozijo prsti smo merili na zorani njivi na višini 422,5 m na fluvio-periglacialni terasi. Nad njo je zakrasela 18 m visoka terasa gūnške starosti (Šifrer, 1969) z naseljem Zgornja Besnica. Na konglomeratni terasi, na kateri leži njiva, prevladuje izprana prst ali luvisol (Pedološka, 2002), v nižjih legah ob Besnici pa je na ilovnatih rečnih nanosih oglejena obrečna prst. Prst na njivi je po mednarodni teksturni klasifikaciji (Lovrenčak, 1994) glinasta ilovica. V njej je 5,5 % CaCO₃ in 12,7 % organske snovi, njen pH pa je 6,2. Grobega peska je v prsti 17,3 %, drobnega peska 20,1 %, melja 27,2 % in gline 17,4 % (Komac in Zorn, 2005). Na njivi v zadnjih letih pridelujejo koruzo in ozimno pšenico. V zgornjem delu njive so pred našimi meritvami koruzo že poželi, v prsti pa so ostali spodnji deli koruznih stebel in koreninice (slika 4). Spodnji del njive so na novo preoral in posejali ozimno pšenico (slika 5).

Ob padavinah oktobra 2004 je prišlo zaradi različne odpornosti podlage do erozije. Voda je iz kotanje nad njivo najprej dotekala na koruzno strnišče, kjer je ustvarila plitvo in komaj vidno strugo. Na stiku z na novo preorano površino je prišlo do močne erozije. Struga se je zožila in poglobila.

Potem ko je kmetovalec zemljo očistil prejšnjega rasti in vsejal nove rastline, sta se namreč močno zmanjšali njena odpornost in infiltracijska sposobnost. Vodni odtok je narasel, erozivnost vode se je povečala, tako da je na spodnjem delu njive z novo posajeno pšenico ustvarila erozijski žlebič. Vrezovanje je potekalo razmeroma hitro predvsem zaradi spodjedanja zatrepa erozijskega žlebiča, kjer je bila delovanju vode izpostavljena spodnja, manj odporna plast prsti (Ritter s sod., 1995).

Na kmetijskih zemljiščih, na katerih vrezovanje poteka do globine kmetijskega obdelovanja (30 cm), se z obdelovanjem še dajo odstraniti nastale posledice erozije, zato se je zanj uveljavil izraz občasne žlebične erozije. Takšna erozija je pogostejša na konkavnih pobočjih, na katerih prihaja do stekanja vode. Njeni učinki so najprej vidni v obliki niza skoraj vzporednih erozijskih žlebičev, ki potekajo v smeri padnice pobočja. Ugotovili so, da so v peščenih prsteh med seboj oddaljeni približno za en meter. Na površju med njimi poteka površinsko spiranje. Erozijski žlebiči nastanejo zaradi majhnih začetnih razlik v odpornosti in oblikovanosti površja ter vodnega odtoka, kar povzroči, da se voda usmeri le na nekatera območja. Zaradi združevanja vodnih tokov se poveča erozivna moč vode, pride do pospešene erozije. Ta pozitivno-povraten proces vodo usmerja v vedno globlje erozijske žlebiče. Končno lahko na pobočju nastane žlebičje – omrežje erozijskih žlebičev, ki v ugodnih okoliščinah preraste v erozijski jarek (Ritter s sod., 1995; Auerswald, 1998).



Slika 4. V zgornjem delu njive, ki ni bil preoran in so v prsti ostali spodnji deli koruznih stebel in koreninice, je vodni tok ustvaril komaj opazno strugo (foto: M. Zorn, 17. 10. 2004).

Figure 4. In the upper part of the field, which was not ploughed and where the corn stubble and roots remained in the soil, the flow of water created a barely visible rill (photo: M. Zorn, October 17, 2004)



Slika 5. V spodnjem preoranem delu njive je vodni tok vrezal 7,6 m dolgo, od 15 centimetrov do meter široko in od 1,7–26 cm globoko strugo (foto: M. Zorn, 17. 10. 2004).

Figure 5. In the lower, ploughed part of the field, the flow of water carved a rill 7.6 meters long, 15 centimeters to one meter wide, and 1.7 to 26 centimeters deep (photo: M. Zorn, October 17, 2004)

Meritve erozije običajno temeljijo na ocenah z erozijskih polj, ki ne upoštevajo izgub zaradi občasne žlebične (jarkovne) erozije. Te niso zanemarljive in obsegajo 44–80 % skupne izgube prsti (Martínez-Casanovas s sod., 2002).

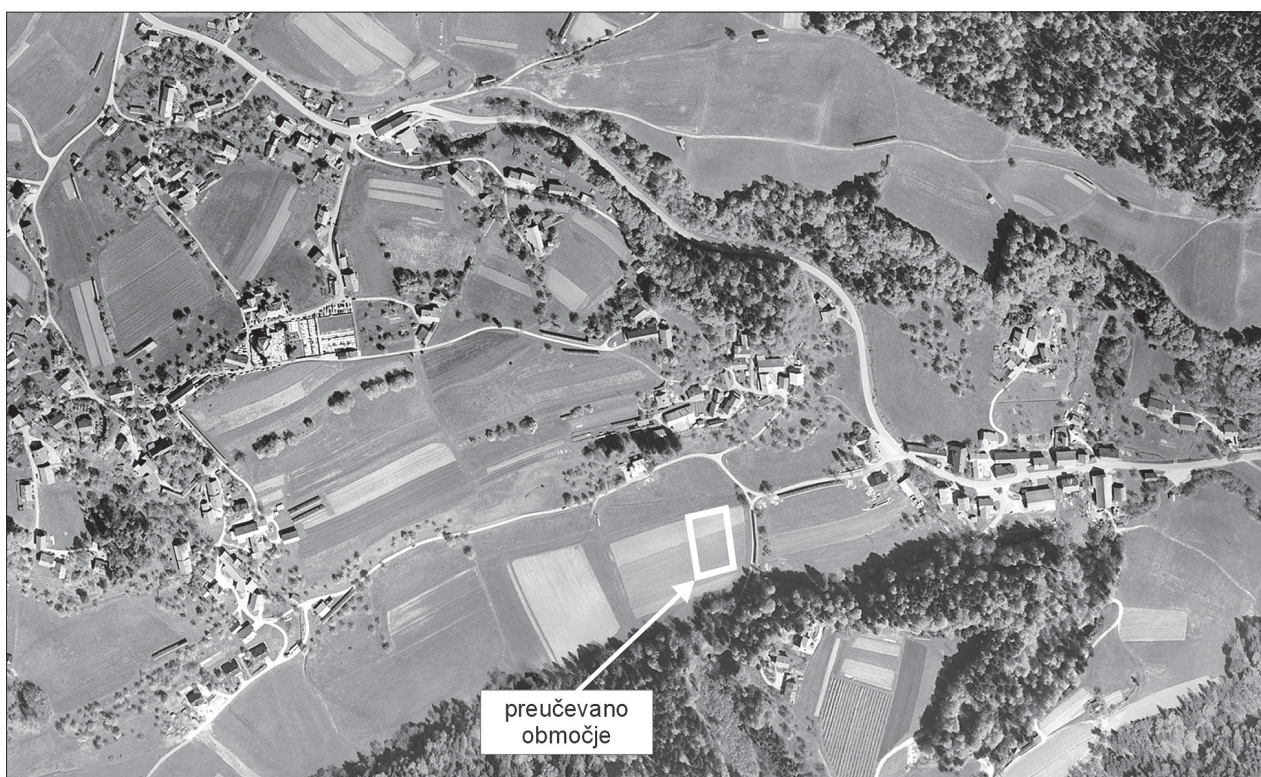
Obseg erozije na njivi smo določili posredno, z morfometričnimi meritvami. Najprej smo izmerili naklone površja v okolici erozijskega žlebiča, nato pa še natančno dolžino, širino in globino erozijskega žlebiča.

Naklone smo merili s pantometrom dolžine 1,5 m in izdelali mrežo velikosti 16 x 36 polj (24 x 54 m). Iz izmerjenih naklonov smo izračunali relativne višinske razlike med posameznimi točkami in izdelali digitalni model višin, ki je zaradi velikosti osnovne celice 1,5 m x 1,5 m omogočil kvantitativno analizo površja. Podobno metodo so uporabili pri meritvah erozije prsti po ekstremnih padavinah v vinogradu v Kataloniji (Martínez-Casanovas s sod., 2002).

Povprečni naklon izmerjenega površja je 2,6° in je na strnišču oziroma v zgornjem delu (3°) večji kot na zorani njivi spodaj (1°).

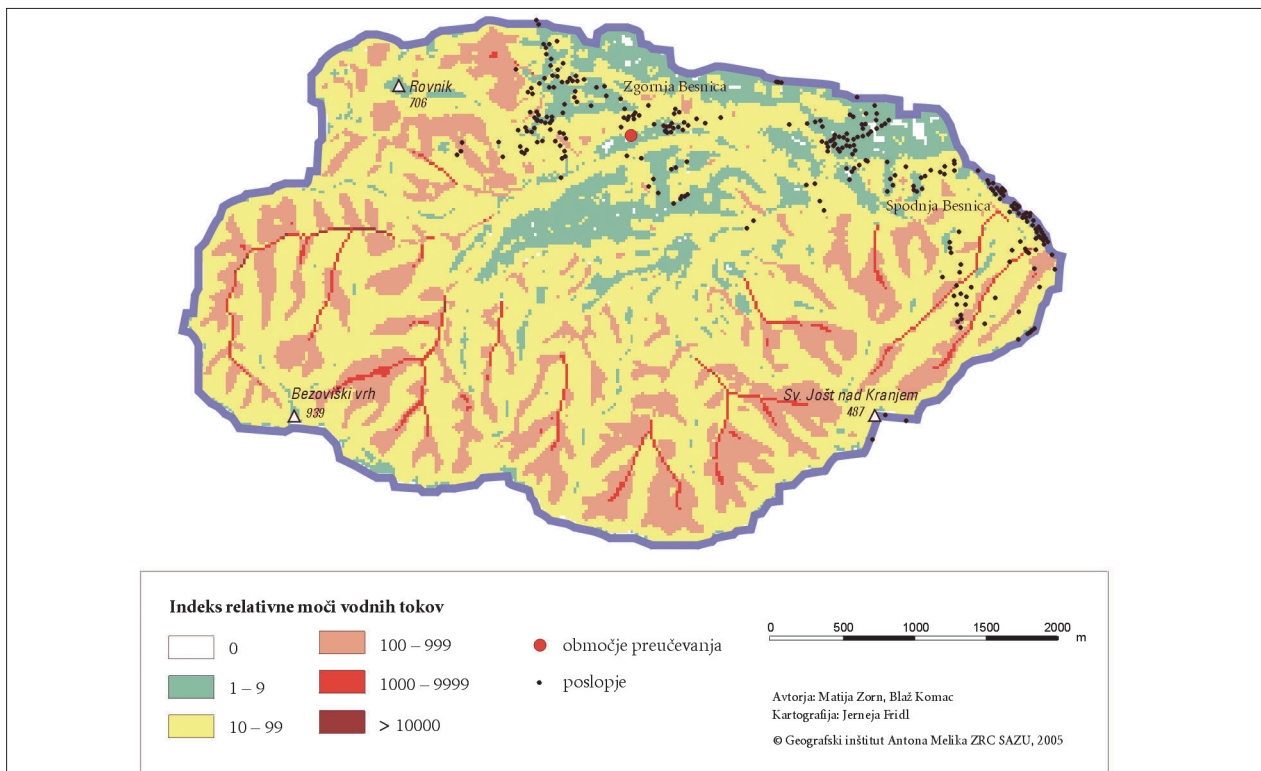
Ob oktobrskih padavinah je na njivi nastal 7,6 m dolg, 0,15–1 m širok in 2–26 cm globok erozijski žlebič. Njegova povprečna širina je 55 cm, povprečna globina pa 9 cm. Erozijski žlebič je usmerjen proti jugovzhodu (130°), njegovi posamezni deli pa so usmerjeni od severovzhoda (65°) do jugojugozahoda (205°). Skupna prostornina erozijskega žlebiča je 1,7 m³. Izdelava digitalnega modela višin je pokazala, da je erozijski žlebič nastal v večji vdolbini.

Pomembno je vprašanje, koliko erozivnih padavinskih dogodkov lahko pričakujemo v enem letu. Po literaturi (Auerswald, 1998) je v srednji Evropi približno 15 padavinskih dogodkov letno, ki omogočajo nastanek erozijskih oblik. K temu moramo prišteti še obdobje taljenja snega, ki prav tako povzroča erozijo. Poleg tega povprečno manj



Slika 6. Letalski posnetek Zgornje Besnice s preučevanim območjem (vir: Ortofoto, © Geodetska uprava Republike Slovenije 2000)

Figure 6. Aerial photograph of the Zgornja Besnica village with the area studied (Source: Ortofoto, © Geodetska uprava republike Slovenije 2000)



Slika 7. Porečje Besnice z naselji in mestom meritev ter erozijska moč površinskih voda, izračunana z indeksom relativne moči vodnih tokov na podlagi digitalnega modela višin 20 x 20 m. Slika prikazuje, kje v porečju lahko pričakujemo največjo vodno erozijo.

Figure 7. Watershed of the Besnica River with settlements, measurement point and the erosive power of surface waters calculated using the relative stream power index on the basis of a 20 x 20 meter digital elevation model. The figure illustrates where the greatest water erosion can be expected in the watershed.

Padavine mm	Število padavinskih dni		
	minimalno	povprečno	maksimalno
30	2,7	12,6	31,8
40	0,8	7,0	23,7
50	0,3	4,05	18,6
70	0,0	1,30	10,2

Preglednica 4. Minimalno, povprečno in maksimalno število dni s padavinami nad 30 mm, nad 40 mm, nad 50 mm in nad 70 mm v obdobju 1961–2002 za 177 slovenskih meteoroloških postaj (Buh, 2004)

Table 4. Minimum, average, and maximum number of days with precipitation above 30 mm, above 40 mm, above 50 mm, and above 70 mm in the 1961–2002 period for 177 Slovene meteorological stations (Buh, 2004)

kot enkrat letno pride do še večjih padavinskih dogodkov, ki povzročijo erozijo večjih razsežnosti. Ti običajno kljub redkosti veliko prispevajo k eroziji.

V Zgornji Besnici je povprečno 1588 mm padavin letno, oktobra pa 138 mm. Najvišje izmerjene oktobrske padavine so bile 448 mm (Klimatografija, 1995). Izračunane maksimalne 24-urne padavine s stoletno povratno dobo so na tem območju 150–200 mm (Maksimalne, 1995).

V Zgornji Besnici so oktobra 2004 izmerili 311,4 mm padavin, kar je 2,4-krat več od dolgoletnega mesečnega povprečja. Povprečna dnevna intenzivnost oktobrskih padavin je bila 26 mm. Ugotovljeno je, da lahko padavine z intenzivnostjo nad 25 mm na površju povzročajo vidne erozijske učinke (Kolbezen, 1979).

Za nastanek erozijskega žlebiča, ki smo ga izmerili, sta pomembni dve padavinski obdobji, v katerih je skupaj padlo 195,6 mm padavin. V prvih dveh padavinskih dneh (10.–11. oktober 2004) je padlo 118,2 mm padavin s povprečno dnevno intenzivnostjo 59 mm. Nato pa je v petih dneh (14.–18. oktober 2004) padlo še 77,4 mm padavin s povprečno dnevno intenzivnostjo 19,35 mm, povprečna 24-urna intenzivnost padavin dveh najbolj namočenih dni pa je bila 34,1 mm.

Enajstega oktobra 2004 so v Zgornji Besnici izmerili dnevni padavinski višek, ko je padlo 63,1 mm padavin. Tako intenzivne dnevne padavine imajo enoletno povratno dobo (Povratne, 2004).

Erozijski žlebič na zorani njivi v dolini Besnice je nastal 10. ali 11. oktobra 2004. Do močne erozije namreč lahko pride ob intenzivnosti padavin nad 40 mm/dan (Kolbezen, 1979).

Večja vdolbina, v kateri je nastal erozijski žlebič, obsega 31,5 m³ in je nastala s številnimi ponovitvami dogodkov, v katerih je prišlo do erozije na podoben način kot oktobra

Pogostost erozije (povratna doba v letih)mm	Specifično sproščanje (t/ha/ leto)	Erozijsko zniževanje površja (mm/leto)
1,0	77,9	5,6
2,2*	36,0	2,6
3,0	25,7	1,8
5,0	15,0	1,1

Preglednica 5. Število erozivnih padavin na leto v Zgornji Besnici, specifično sproščanje, ki ga povzročajo padavine (t/ha/leto), in erozijsko zniževanje površja (mm/leto)

* Privzeli smo, da imajo erozivne padavine približno dvoletno povratno dobo. Ker obstaja možnost, da pride do erozivnih padavin redkeje, preglednica prikazuje tudi izračune erozije prsti za padavine za tri- in petletno povratno dobo (Komac in Zorn, 2005).

Table 5. Number of erosive precipitation events annually in Zgornja Besnica, specific erosion caused by precipitation (t/ha/year), and the lowering of the surface by erosion (mm/year).

* We assumed that erosive precipitation has an approximately two-year return period, but it is possible that erosive precipitation occurs less frequently. The table also shows the calculated soil erosion for precipitation with three- and five-year return periods (Komac and Zorn, 2005)

2004. Leži namreč na tistem delu njive, na katerega prek travnika ob nalivih doteka voda izpod 60 m oddaljene gūnske terase (Šifrer, 1969). Vdolbina je za približno devetnajstkrat večja od erozijskega žlebiča, torej bi bilo za njen nastanek potrebnih približno 19 dogodkov, ki so v neznanem času premestili v nižje lege približno 0,09 m³/m² gradiva.

Njiva je bila jeseni 2004 izpostavljena eroziji le oktobra, saj le v tem obdobju na njej ni bilo vegetacije oziroma njenih ostankov. Oktobra so njivo na novo preorali in posejali pšenico, ki je bila novembra že dovolj visoka, da je ščitila podlago in preprečevala nastajanje novih erozijskih žlebičev.

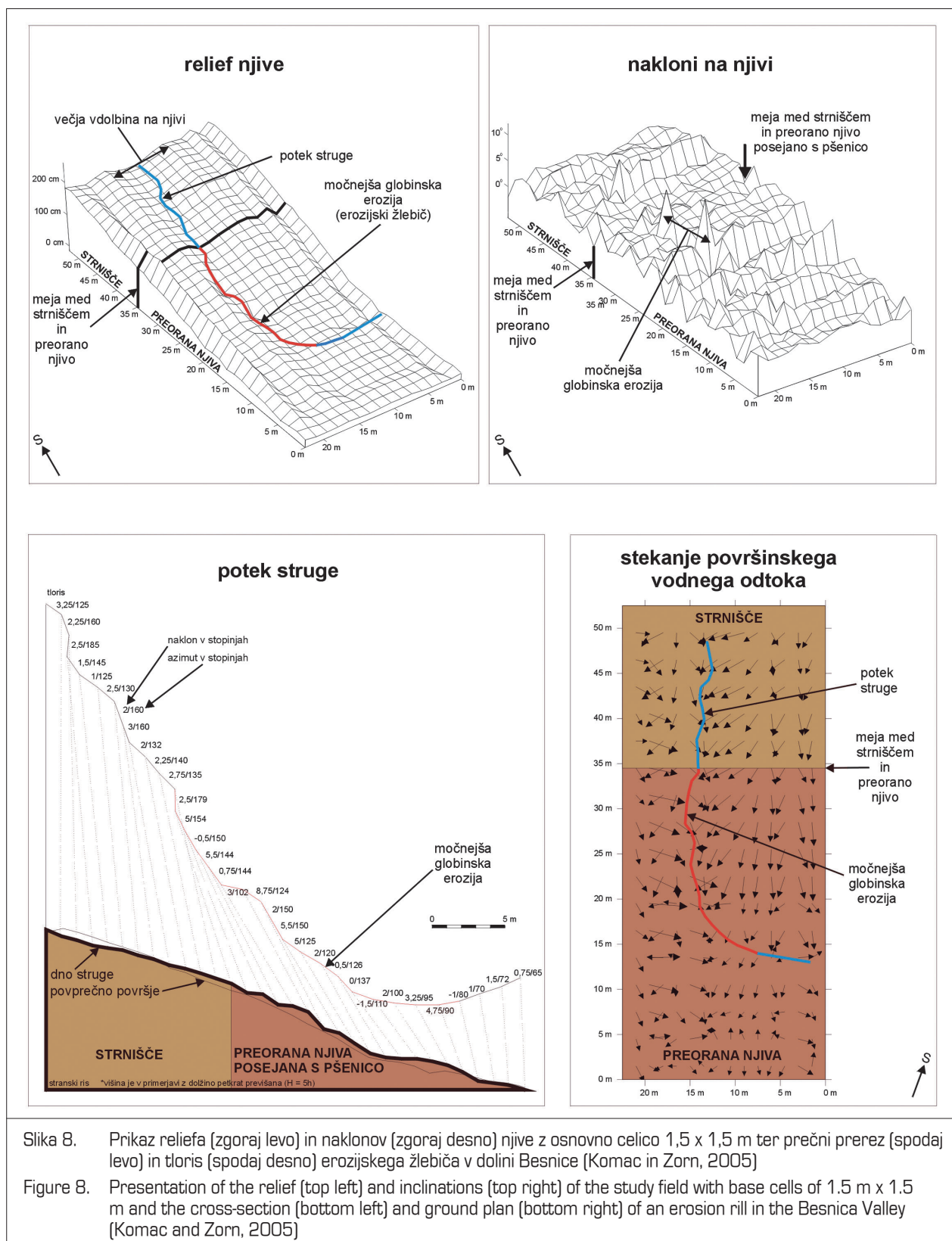
Močno erozivne padavine, kot so bile 11. in 12. 10. 2004, se v dolini Besnice pojavijo z enoletno povratno dobo. Ker je obdobje, ko je prst izpostavljena eroziji, običajno skrajšano zaradi poraslosti in zasneženosti, lahko pričakujemo približno en erozivni dogodek na dve leti. Pogostost pojavljanja erozije je mogoče tudi manjša, saj se včasih pojavlja leto za letom ali celo v enem letu večkrat, včasih pa se intenzivne padavine pojavljajo šele po daljšem časovnem obdobju (Kolbezen, 1979).

Ob teh predpostavkah znaša specifično sproščanje na njivi v porečju Besnice približno 36 t/ha/leto oziroma se površje erozijsko znižuje s hitrostjo 2,6 mm/leto

(preglednica 4). Za primerjavo navedimo podatek, da je na Zemlji povprečno erodiranih 5 t/ha prsti letno (Myers, 1991).

Izračunane vrednosti so visoke, ker so bile meritve opravljene ob velikem erozijskem dogodku. Iz literature je znan vpliv dolžine opazovanja na rezultate. Zaradi večje razpršenosti velikih pojavov je erozija prsti, izračunana na podlagi

kratkotrajnih meritev ob velikih dogodkih, skladno s podaljševanjem časa opazovanja vedno nižja. Geomorfne spremembe so namreč predvsem posledica občasnih dogodkov, daljši časovni nizi meritev pa vsebujejo dolga obdobja, v katerih geomorfni procesi še zdaleč niso tako intenzivni (Phillips, 2003).



Slika 8. Prikaz reliefa (zgoraj levo) in naklonov (zgoraj desno) njive z osnovno celico 1,5 x 1,5 m ter prečni prerez (spodaj levo) in tloris (spodaj desno) erozijskega žlebiča v dolini Besnice (Komac in Zorn, 2005)
Figure 8. Presentation of the relief (top left) and inclinations (top right) of the study field with base cells of 1.5 m x 1.5 m and the cross-section (bottom left) and ground plan (bottom right) of an erosion rill in the Besnica Valley (Komac and Zorn, 2005)

Sklepne misli

Opravljene meritve dajejo vpogled v intenzivnost erozije na kmetijskih zemljiščih v Sloveniji. Do zdaj zbrani podatki še ne zadoščajo za statistično analizo, vendar pa lahko dobimo vpogled v prevladujoče procese in razmerja med njimi.

Erozija je močnejša na obdelanih površinah z večjim naklonom površja in tam, kjer zasajene kulture prsti ne pokrivajo sklenjeno. Na erodibilnost prsti vplivajo zlasti vrsta prsti, naklon površja in padavine, pomembna dejavnika pa sta tudi vrsta zasajene kulture in način obdelovanja zemljišč.

Kmetje se na preučevanem območju proti eroziji borijo predvsem z oranjem oziroma sejanjem vzporedno s pobočjem in zgodnjim jesenskim sejanjem. Čeprav erozijske žlebiče z oranjem sproti zasipajo, se vdolbina na njivi pogloblja zaradi vsakoletnega odnašanja gradiva.

Za Slovenijo je erozija na kmetijskih zemljiščih z narodno-gospodarskega vidika manj pomembna od hudourniške erozije, ki pogosteje prizadene drago cestno infrastrukturo kot kmetijska zemljišča, na katerih več škode kot erozija povzročajo suše in poplave.

V nasprotju z nekaterimi evropskimi državami vlagamo le v varstvo pred erozijo na erozijskih območjih, močno erozijo na njivskih in drugih obdelovalnih površinah pa zanemarjamo. Vzrok je morda ekonomski, verjetno pa tudi posledica razdrobljenosti parcel, ki omogoča kmetom sprotno uravnavanje površja.

Meritve dokazujejo, da erozija na kmetijskih zemljiščih nikakor ni zanemarljiva in je najintenzivnejša na njivah. Zaradi prostorske razširjenosti in kljub nizki intenzivnosti je zelo pomembna erozija prsti oziroma prepereline v gozdovih, kjer je še posebej značilna za območja, ki jih je z goloseki ali izdelavo poti prizadel človek. Pomembno je, da je povprečen naklon gozdnih površin višji kot naklon njivskih površin.

Rodovitna prst je dobrina, ki nastaja zelo počasi z zapletenimi procesi pedogeneze (Lovrenčak, 1994), ki so glede na debelino in starost prepereline na pleistocenskih terasah (Šifrer, 1997) počasnejši od pospešene erozije in potekajo s hitrostjo 0,01–0,1 mm/leto (Čeh, 1999; Mikoš in Zupanc, 2000).

Varovanje pred erozijo zahteva načrtna in dolgoročna vlaganja, ki bi se glede na izkušnje iz tujine in glede na visoko intenzivnost procesov kmalu povrnila. Nič namreč ne more nadomestiti nekaj milijonov ton prsti, ki jo letno izgubimo v Sloveniji.

Viri in literatura

1. Auerswald, K., 1998. Bodenerosion durch Wasser. V: Bodenerosion: Analyse und Bilanz eines Umweltproblems. Darmstadt Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 33–42.
2. Bračič, V., 1967. Vinorodne Haloze. Socialnogeografski problemi s posebnim ozirom na viničarstvo. Maribor, Obzorja.
3. Buh, Š., 2004. Eskremne padavine v Sloveniji med obdobjema 1961–1990 in 1991–2002. Diplomsko delo. Ljubljana, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo.
4. Čeh, B., 1999. Izgubljammo rodovitne površine. Kmetovalac, 67/8, 5–6.
5. Gabrovec, M., Kladnik, D., 1997. Some new aspects of land use in Slovenia. Geografski zbornik, 37, 7–64.
6. Gams, I., 1974. Kras: zgodovinski, naravoslovni in geografski oris. Ljubljana, Slovenska matica.
7. Horvat, A., 1987. Hudourniške vode na Slovenskem. Ujma, 1, 35–38.
8. Horvat, A., 2002. Erozija. V: Naravne nesreče in varstvo pred njimi, Ljubljana, Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje, 267–274.
9. Horvat, A., Zemlič, M., 1998. Protierozijska vloga gorskega gozda. V: Gorski gozd. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 411–424.
10. Hrovat, A., 1953. Kraška ilovica: njene značilnosti in vpliv na zgradbe. Ljubljana, Državna založba Slovenije.
11. Hrvatin, M., Komac, B., Perko, D., Zorn, M., 2006. Slovenia. V: Soil Erosion in Europe. Wiley. New York. V tisku.
12. Jesenovec, S. (ur.), 1995. Pogubna razigranost: 110 let organiziranega hudourničarstva na Slovenskem: 1884–1994. Ljubljana, Podjetje za urejanje hudournikov.
13. Klimatografija Slovenije. 1995. Padavine 1961–1990. Ljubljana, Hidrometeorološki zavod.
14. Klimatografija Slovenije. 2000. Število dni s snežno odejo 1961–1990. Ljubljana, Hidrometeorološki zavod.
15. Kolbezen, M., 1979. Transport hribinskega materiala na potokih vzhodnega in jugovzhodnega Pohorja kot posledica erozije tal. Geografski vestnik, 51, 73–83.
16. Komac, B., Zorn, M., 2005. Soil erosion on agricultural land in Slovenia – Measurements of rill erosion in the Besnica valley. Acta geographica Slovenica, 45/1.
17. Lazarević, R., 1981. Erozija zemljišta u Jugoslaviji. Geographica Iugoslavica, 3, 7–17.
18. Lovrenčak, F., 1994. Pedogeografija. Ljubljana, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo.
19. Maksimalne 24-urne padavine za 100-letno povratno dobo: merilo 1 : 250.000. 1995. Ljubljana, Hidrometeorološki zavod Slovenije, Oddelek za klimatologijo.
20. Martínez-Casanovas, J. A., Ramos, M. C., Ribes-Dasi, M., 2002. Soil erosion caused by extreme rainfall

- events: mapping and quantification in agricultural plots from very detailed digital elevation models. *Geoderma*, 105, 125–140.
21. Mikoš, M., Zupanc, V., 2000. Erozija tal na kmetijskih površinah. *Sodobno kmetijstvo*, 33/10, 419–423.
 22. Myers, N. (ur.), 1991. Gaia, modri planet: atlas za današnje upravljace jutrišnjega sveta. Ljubljana, Mladinska knjiga.
 23. Natek, K., 1983: Metoda izdelave in uporabnost splošne geomorfološke karte. Magistrska naloga. Ljubljana, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo.
 24. Natek, K., 1989a. Vloga usadov pri geomorfološkem preučevanju Voglanjskega gričevja. *Geografski zbornik*, 29, 37–77.
 25. Natek, K., 1989b. Erozija. Enciklopedija Slovenije, 3. knjiga. Ljubljana, Mladinska knjiga, 57–58.
 26. Pedološka karta Slovenije 1 : 25.000. 2002. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Center za pedologijo in varstvo okolja.
 27. Penck, W., 1924. Die Morphologische Analyse: ein Kapitel der physikalischen Geologie. Stuttgart, Engelhorn.
 28. Petek, F., 2004. Land use in Slovenia. V: Slovenia: a Geographical Overview. Ljubljana, Zveza geografskih društev Slovenije, 105–108.
 29. Petkovšek, G., 2002. Kvantifikacija in modeliranje erozije tal z aplikacijo na povodju Dragonje. Doktorska disertacija. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
 30. Phillips, J. D., 2003. Sources of nonlinearity and complexity in geomorphic systems. *Progress in Physical Geography*, 27/1, 1–23.
 31. Povratne dobe za ekstremne padavine. 2004. Ljubljana, Agencija RS za okolje, Urad za meteorologijo.
 32. Rainer, F., Pintar, J., 1972. Ogrožanje tal zaradi erozije, hudournikov in plazov. V: Zelena knjiga o ogroženosti okolja v Sloveniji, Ljubljana, Prirodoslovno društvo Slovenije, Zavod za spomeniško varstvo Socialistične republike Slovenije, 21–25.
 33. Rainer, F., Zemljič, M., 1975. Vpliv gozdov na vodni režim in erozijske procese. V: Gozdovi na Slovenskem, Ljubljana, Borec, 97–100.
 34. Ravbar, M., 1975. Kraška erozija v okolici Straže pri Novem mestu. *Geografski obzornik*, 22/1-2, 12–18.
 35. Ritter, D. F., Kochel, R. C., Miller, J. R., 1995. *Process Geomorphology*. Dubuque, Wm. C. Brown Publishers.
 36. Šifrer, M., 1969. Kvartarni razvoj Dobrav na Gorenjskem. *Geografski zbornik*, 11, 99–221.
 37. Šifrer, M., 1997. Površje v Sloveniji. Elaborat. Ljubljana, Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU.
 38. Titl, J., 1965. Socialnogeografski problemi na koprskem podeželju. Koper, Lipa.
 39. Topole, M., 1998. Mirnska dolina: regionalna geografija porečja Mirne na Dolenjskem. Ljubljana, Založba ZRC.
 40. Valenčič, V., 1970. Vrste zemljišč. V: Gospodarska in družbena zgodovina Slovencev: Zgodovina agrarnih panog, 1. zvezek. Ljubljana, Državna založba Slovenije, 131–146.
 41. Voranc, P., 1969. Ljubezen na odoru. Izbrano delo, III. Ljubljana, Mladinska knjiga, 95–96.
 42. Vrišer, I., 1953. Erozija prsti. *Proteus*, 16/4-5, 100–105.
 43. Zemljič, M., 1972. Erozijski pojavi v Sloveniji. *Gozdarski vestnik*, 30/8, 233–238.
 44. Zemljič, M., Blažič, J., Pinnat, M. 1970: Stanje, problemi in suvremene metode za borbu protiv erozije i bujica. Ljubljana, Biotehnična fakulteta, Inštitut za gozdarstvo in lesno gospodarstvo, Oddelek za erozijo tal.
 45. Zupanc, V., Mikoš, M., 2000. Protierozijski ukrepi na kmetijskih površinah. *Sodobno kmetijstvo*, 33/11-12, 489–493.
 46. Zupanc, V., Pintar, M., Mikoš, M., 2000. Simulacija erozije tal s poskusnega polja v Latkovi vasi s pomočjo modela GLEAMS 2.1. V: Novi izzivi v poljedelstvu 2000. Ljubljana, Slovensko agronomsko društvo, 107–111.