

**METODE****DOLOČANJE EROZIJE V GRIČEVJIH SEVEROVZHODNE SLOVENIJE Z GAVRILOVIČEVO ENAČBO**

AVTORJI

**dr. Mauro Hrvatin**

Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Geografski inštitut Antona Melika, Gosposka ulica 13, SI-1000 Ljubljana, Slovenija  
mauro@zrc-sazu.si

**dr. Rok Ciglič**

Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Geografski inštitut Antona Melika, Gosposka ulica 13, SI-1000 Ljubljana, Slovenija  
rok.ciglic@zrc-sazu.si

**dr. Dénes Lóczy**

University of Pécs, Faculty of Sciences, Institute of Geography and Earth Sciences, Ifjúság street 6, H-7624 Pécs, Madžarska  
loczyd@gamma.ttk.pte.hu

**dr. Matija Zorn**

Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Geografski inštitut Antona Melika, Gosposka ulica 13, SI-1000 Ljubljana, Slovenija  
matija.zorn@zrc-sazu.si

DOI: 10.3986/GV91206

UDK: 504.121:629.052.9(497.41)

COBISS: 1.01

## IZVLEČEK

**Določanje erozije v gričevjih severovzhodne Slovenije z Gavrilovičeva enačba**

Preučevanje intenzivnosti erozijskih procesov spada med temeljne in pogosto obravnavane geomorfološke dejavnosti ter običajno vključuje tako terenske meritve kot tudi računalniško modeliranje. V Sloveniji so terenske meritve redke, zato prevladuje modeliranje erozijskih procesov. Pri slednjem je zaradi svoje preprostosti kljub pomanjkljivostim zelo priljubljena Gavrilovičeva enačba v več različicah. V prispevku predstavljamo uporabnost geografskih informacijskih sistemov pri izračunu posameznih členov Gavrilovičeve enačbe. Z njeno pomočjo smo za panonska gričevja severovzhodne Slovenije ocenili intenzivnost erozije.

## KLJUČNE BESEDE

erozija, GIS, Gavrilovičeva enačba, gričevje, Goričko, Haloze, Slovenske gorice, Slovenija

## ABSTRACT

**Determination of erosion in low hills of northeast Slovenia with Gavrilović equation**

The study of the intensity of erosion processes is one of the fundamental and often treated geomorphological activities. It usually involves both field measurements, as well as computer modelling. In Slovenia,

*field measurements are rare, so modelling of erosion processes prevail. Due to its simplicity the Gavrilović equation (and its derivatives) is very popular for the calculations of erosion; despite its shortcomings. The paper presents the usefulness of geographic information systems in the calculation of individual parameters of Gavrilović equation. The Gavrilović equation was used to calculate the intensity of erosion in Pannonian low-hills of north-eastern Slovenia.*

**KEY WORDS**

*erosion, GIS, Gavrilović equation, low hills, Goričko, Haloze, Slovenske gorice Hills, Slovenia*

*Uredništvo je prispevek prejelo 20. septembra 2019.*

## 1 Uvod

Preučevanje erozijskih procesov običajno poteka na dva načina: z meritvami ali z modeliranjem (Zorn 2008). Pomanjkljivosti meritev so, da zanje potrebujemo določen čas ter razmeroma visoka materialna sredstva, ne glede na to, ali meritve potekajo v laboratoriju ali na terenu. Njihova prednost je, da potekajo ob »pravih« pokrajinskih spremenljivkah. Pri modelih, predvsem empiričnih, pa je ravno obratno. Njihova prednost je hitrost izračuna, velika pomanjkljivost pa posploševanje ali celo neupoštevanje določenih pokrajinskih spremenljivk.

Pri eroziji moramo ločiti med sproščanjem gradiva po pobočjih (vse preperinsko in kamninsko gradivo, ki se premika po pobočjih) ter odplavljanjem gradiva (vse suspendirano in kamninsko gradivo, ki se premešča v vodotokih). Meritve prvega so bile v Slovenji redke (Zorn 2008), za drugo pa obstaja redni monitoring suspendiranega gradiva, ki ga na nekaterih slovenskih vodotokih izvaja Agencija Republike Slovenije za okolje (Uлага 2005; 2006; Bezjak, Šraj in Mikoš 2013; 2016). Redke so tudi meritve nesuspendiranega gradiva. Povezane so predvsem z meritvami odloženega gradiva za pregradami na vodotokih (Mikoš 2000). Več je bilo modeliranja erozijskih procesov (Zorn 2008) s popolno prevlado empiričnih modelov, predvsem Gavrilovićeve enačbe (Gavrilović 1962; 1970; 1972) in njenih različic (Lazarević 1968; 1985; Pintar, Mikoš in Verbovšek 1986), ki jih kljub pomanjkljivostim (Staut 2004) v Sloveniji in državah bivše Jugoslavije uporabljamo že več desetletij za napovedovanje erozijskih procesov. »... Njena »klasična« uporaba zahteva veliko »ročnega« preračunavanja, z razvojem geografskih informacijskih sistemov in vse natančnejšimi digitalnimi modeli višin pa se je njena uporaba močno poenostavila ...« (Komac in Zorn 2008, 84). Enačba omogoča izračunavanje tako sproščanja kot odplavljanja gradiva. V besedilu večino izračunov povzemamo po prirejeni (»slovenski«) različici Gavrilovićeve enačbe po Pintarju, Mikošu in Verbovšku (1986), v končni preglednici pa za primerjavo navajamo tudi izračune po izvorni Gavrilovićevi enačbi (Gavrilović 1962; 1970; 1972) ter različici po Lazareviću (Lazarević 1968; 1985).

Več del je že obravnavalo uporabnost geografskih informacijskih sistemov (GIS-ov) pri izračunavanju nekaterih koeficientov Gavrilovićeve enačbe, na primer Globevnikova s sodelavci (2003), Staut (2004), Komac in Zorn (2008), Milevski, Blinkov in Trendafilov (2008) ter Hrvatini, Zorn in Perko (2014). Nekateri rezultati kažejo, da z uporabo GIS metod za izračunavanje posameznih koeficientov Gavrilovićeve enačbe dobimo nižje vrednosti sproščanja gradiva (Dragičević, Karleuša in Ožanić 2016).

## 2 Gričevja severovzhodne Slovenije

Na severovzhodu in vzhodu Slovenije se od Goričkega na severu do vzhodnega Gorjancev na jugu menjavajo najbolj prostrane ravnine in gričevja v državi. Ker ležijo na jugozahodnem robu velike Panonske kotline, imenujemo ta del panonska Slovenija (Belec 1998; Ciglič in Nagy 2019).

Za panonski svet je značilna izrazita pokrajinska dvojnost. Na eni strani so ravnine, ki so jih v ledenih dobah s prodrom in peskom nasule večje reke Mura, Drava, Sava in Krka, na drugi strani pa se med njimi vzpenjajo razgibana lapornata, peščena in ilovnata gričevja, ki so jih reke in potoki razčlenili v razpotegnjena slemena z bolj ali manj širokimi vmesnimi zamočvirjenimi dolinami. Kjer je na voljo več ravnega površja, so ga s hidromelioracijami marsikje osušili, struge rek in potokov pa regulirali (Kert 1974).

Podnebje je celinsko s hladnimi zimami in toplimi poletji. Količina padavin se zmanjšuje od jugozahoda proti severovzhodu. V obdobju od 1981 do 2010 so na primer Haloze letno prejele od 1000 do 1200 mm padavin, medtem ko jih je Goričko prejelo manj kot 900 mm (Bertalančič 2018). Razporeditev padavin med letom kaže na celinski padavinski režim s poletnim viškom. Toplotni obrat v dolinah in na ravninah je manj opazen, pač pa je v gričevju zastopan izrazit toplotni pas, kjer so ugodne razmere za rast vinske trte. Osojna pobočja gričev so po večini gozdnata. V gozdovih prevladujejo listavci (Belec 1998).

Panonski svet je najbolj rodovitna kmetijska pokrajina Slovenije. Na ravninah sta v ospredju poljedelstvo in živinoreja, v gričevju pa živinoreja, vinogradništvo in sadjarstvo (Belec 1998).

V okviru raziskave smo obravnavali tri gričevnate pokrajine severovzhodne Slovenije: Goričko, Haloze in Slovenske gorice (preglednica 1).

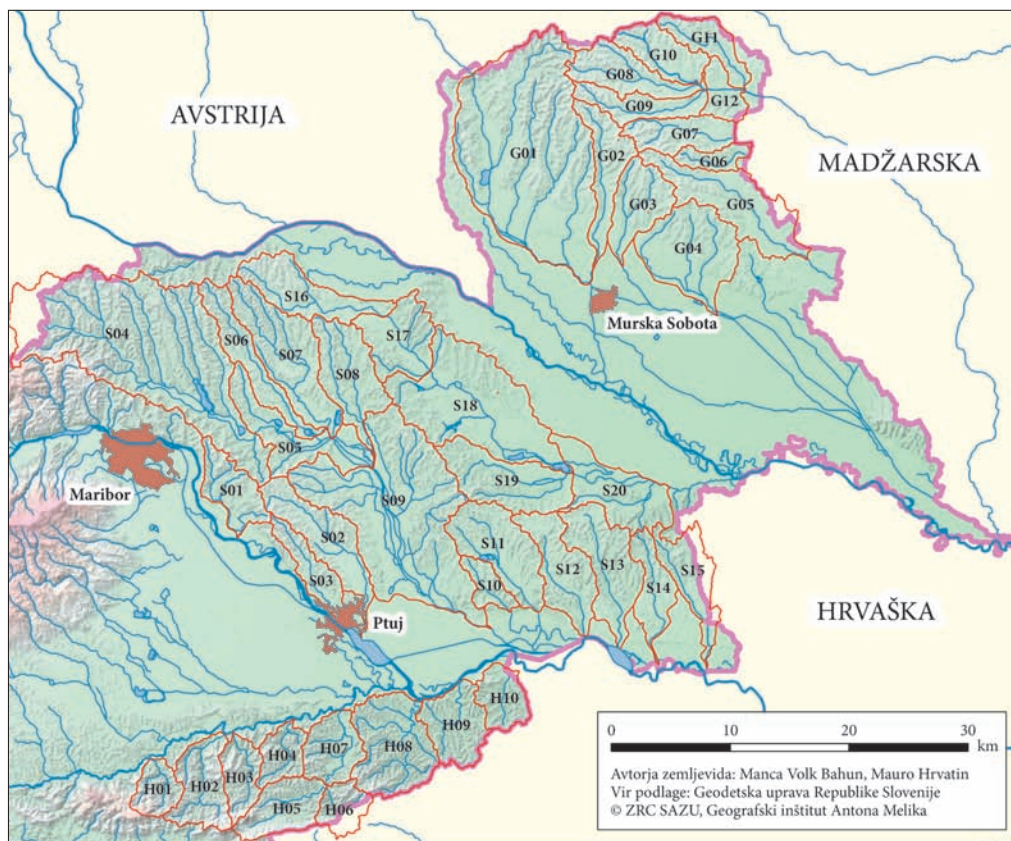
### 3 Gavrilovičeva enačba in njene različice

Enačba je nastala na začetku 60-ih let 20. stoletja v Srbiji. Izdelal jo je Slobodan Gavrilović in tako kot drugi empirični modeli temelji na »... *povezanosti odvisne z vrsto merjenih ali ocenjenih neodvisnih spremenljivk s pomočjo regresijske analize. [...] Prednosti te metode so, da je lahko umljiva, njena aplikacija pa je enostavna, slabost pa, da se končni kvantitativni rezultat jakosti erozije izvaja iz kvalitativnih ocen parametrov (spremenljivk) [koeficientov, opomba avtorjev], zastopanih v enačbi ...*« (Staut 2004, 10–11). Kvalitativne ocene enačbenih koeficientov temeljijo na vnaprej pripravljenih preglednicah, na podlagi katerih subjektivno določamo predvidene vrednosti koeficientov. Podrobneje o samih koeficientih in njihovih vrednostih pišejo Gavrilović (1962; 1970), Lazarević (1968; 1985) in Staut (2004).

Uporaba Gavrilovičeve enačbe praviloma poteka po »hidrogeografskih območjih« oziroma delih porečij. V primeru obravnavanih gričevij severovzhodne Slovenije smo ozemlje razdelili na 42 takšnih območij (slika 1), ki skupaj obsegajo 1686,62 km<sup>2</sup> oziroma 8,32 % države. Posamezna hidrogeografska območja so porečja manjših vodotokov ali pa homogeni deli porečij večjih vodotokov, v našem primeru Pesnice in Ščavnice. Sproščanje in odplavljanje gradiva smo izračunali za vsako hidrogeografsko območje posebej.

Preglednica 1: Osnovne značilnosti obravnavanih gričevij.

gričevje	velikost	kamnine in prst	povprečni naklon (°)	raba tal in kmetijstvo	naselja
Goričko	492 km <sup>2</sup>	kremenov prod in pesek, melj, peščena glina; distrična rjava prst, evtrična rjava prst, psevdoglej	5,7°	po osojah borovi gozdovi; živinoreja, poljedelstvo, sadjarstvo, vinogradništvo	razložena slemenska in dolinska naselja s številnimi zaselki; središča Grad, Gornji Petrovci, Prosenjakovci, Kobilje
Slovenske gorice	1034 km <sup>2</sup>	laporovec, lapor, glina, pesek; evtrična rjava prst, distrična rjava prst, hipoglej, psevdoglej	7,1°	vinogradništvo, sadjarstvo, živinoreja	predvsem slemenska razložena naselja; središči Lenart v Slovenskih goricah, Pesnica pri Mariboru
Haloze	241 km <sup>2</sup>	laporovec, lapor, pesek; rendzina, ranker, rigolana prst, psevdoglej	14,6°	nižji vzhodni del vinogradniški, višji zahodni del gozdat; pomembna živinoreja	razložena slemenska in dolinska naselja s številnimi zaselki; središča Makole, Majšperk, Žetale, Podlehnik, Cirkulane, Zavrč



### Hidrogeografska območja

G01 Ledava	H05 Rogatnica 1	S11 Sejanski potok
G02 Mačkovski potok	H06 Tisovec	S12 Lešnica
G03 Martjanski potok	H07 Rogatnica 2	S13 Pušenski potok
G04 Lipnica	H08 Psičina	S14 Libanja
G05 Kobiljski potok	H09 Bela	S15 Trnava
G06 Ivanjševski potok	H10 Kojuhovski potok	S16 Ščavnica 1
G07 Mala Krka		S17 Ščavnica 2
G08 Velika Krka 1	S01 Mlinski potok	S18 Ščavnica 3
G09 Peskovski potok	S02 Rogoznica	S19 Turja
G10 Merek	S03 Grajena	S20 Ščavnica 4
G11 Dolenski potok	S04 Pesnica 1	
G12 Velika Krka 2	S05 Pesnica 2	
	S06 Globovnica	
H01 Jelovski potok	S07 Velka	
H02 Skrelska	S08 Drvanja	
H03 Jesenica	S09 Pesnica 3	
H04 Peklača	S10 Cvetkovski potok	

Slika 1: Obravnavana hidrogeografska območja v gričevjih severovzhodne Slovenije.

Temeljne razlike med izvirno enačbo in nekaterimi njenimi izpeljankami so naslednje (Hrvatin, Zorn in Perko 2014; Dragičević, Karleuša in Ožanič 2016):

- Lazarevič (1968; 1985) je vrednosti koeficienta erodibilnosti ( $Y$ ) zmanjšal na polovico,
- avtorji slovenske različice enačbe (Pintar, Mikoš in Verbovšek 1986) so dva člena izpustili (temperaturni koeficient in  $\pi$ ), enega pa zamenjali oziroma spremenili (maksimalne 24-urne padavine namesto povprečnih letnih padavin) (preglednica 2),
- Tosič in Dragičević (2012) sta predlagala prirejeno metodologijo za izračunavanje erozijskega koeficienta ( $Z$ ),
- Globevnikova in sodelavci (2003) so predlagali, da se za določanje koeficienta vegetacijske zaščite ( $X_a$ ) uporabi klasifikacija rabe tal CORINE, isti koeficient pa sta priredila tudi Fanettijeva in Vezzolijeva (2007).

Tudi v našem primeru smo zaradi modeliranja v GIS-u izračunavanje nekaterih koeficientov nekoliko priredili (Hrvatin, Zorn in Perko 2014). Koeficient razvitosti erozijskih pojavov smo določili s pomočjo indeksa moči vodnih tokov (angleško *relative stream power index*; Lindsay 2005), koeficient odplavljanja gradiva pri slovenski različici enačbe pa smo določili s pomočjo štirih kazalnikov: velikosti zrn gradiva, naklona pobočij, razpotegnjenosti hidrogeografskih območij in razvejenosti hidrografske mreže oziroma gostote vodnih tokov.

## 4 Priprava podatkov in uporaba GIS-a

Za izračun posameznih členov prirejenih različic Gavrilovičeve enačbe (preglednica 2) smo morali predhodno pripraviti več podatkovnih slojev. Sloj povprečnih letnih temperatur, iz katerih smo izračunali temperaturne koeficiente, in sloj povprečnih letnih količin korigiranih padavin, ki se uporabljata pri Lazarevičevi različici enačbe, smo povzeli iz geoportala Agencije Republike Slovenije za okolje (Spletna ... 2019).

Sloj maksimalne 24-urne količine padavin smo izračunali iz arhivskih meteoroloških podatkov Agencije Republike Slovenije za okolje (Arhiv ... 2019). Na razpolago so bili podatki za postaje Cankova, Cirkulane, Črešnjevce, Fram, Gornja Radgona, Kadrenci, Kančevci, Kobilje, Lendava, Mačkovci, Maribor (Tabor), Martinje, Murska Sobota (Rakičan), Ormož, Podgradje, Polički Vrh, Ptuj, Rogaška Slatina, Sakušak (Zagorci), Srednja Bistrica, Starše, Stojno selo (Sveti Florijan), Šentilj v Slovenskih goricah, Turški Vrh pri Zavrču, Veliki Dolenci, Veržej, Vratji Vrh (Podgorje), Vučja Gomila in Žetale. Iz podatkov smo po Gumbelovi metodi izračunali vrednosti za dveletno povratno dobo ter podatke interpolirali na celotno območje obravnavanih gričevij.

Podatkovni sloj koeficienta erodibilnosti smo pripravili na temelju vektorskega sloja zemljevida tipov kamnin 1 : 250.000 (Zemljevid ... 2016; slika 2) in sicer glede na erozijsko odpornost kamnin (Ribičič, Šinigoj in Komac 2003). Pri tem smo dosledno upoštevali zgolj erozijsko odpornost in ne morebitnih dodatnih dejavnikov, kot je na primer naklon površja. Pri izvorni Gavrilovičevi enačbi očitno ni bilo tako, saj so v izvorni preglednici na primer rečne naplavine ter psevdoglejene in oglejene prsti manj erodibilne od karbonatnih, metamorfnih in flišnih kamnin (Staut 2004). Vrednosti koeficienta erodibilnosti ( $Y$ ) za posamezno vrsto kamnine smo zato le v manjši meri povzeli po Gavriloviću (1962) in Lazareviču (1985) in jih večinoma določili sami (preglednica 3).

Vrednosti koeficientov erodibilnosti so po hidrogeografskih območjih gričevij severovzhodne Slovenije razmeroma visoke, saj povsod prevladujejo erozijsko slabše odporne usedline in kamnine. Povprečni koeficienti erodibilnosti so z 0,86 najvišji na Goričkem, ki je povečini zgrajeno iz sipkih usedlin. Le nekoliko nižji so v Slovenskih goricah, kjer v povprečju dosega 0,82, najnižji koeficienti erodibilnosti pa so v povprečju v Halozah, kjer zaradi prevlade laporovca dosega vrednost 0,65.

Koeficient vegetacijske zaščitenosti združuje koeficient rabe tal in koeficient zaščitenosti površja ter predstavlja številsko oceno zaščitenosti zemljišča pred atmosferskimi vplivi in erozijo (Staut 2004). Podatkovni sloj za geografski informacijski sistem smo pripravili s pomočjo vektorskega sloja rabe tal



Preglednica 2: Parametri izvirne Gavrilovićeve enačbe (Gavrilović 1962; 1970), ki jih je uporabil tudi Lazarević (1968; 1985) ter različica po Pintarju, Mikošu in Verbovšku (1986).

izvirna Gavrilovićeve enačba

različica po Pintarju, Mikošu in Verbovšku

## sproščanje gradiva

$$W_a = T \cdot P_a \cdot \pi \cdot \sqrt{Z^3} \cdot F$$

Legenda:

 $W_a$  = povprečno letno sproščanje gradiva (m<sup>3</sup>/leto) $T$  = temperaturni koeficient $P_a$  = povprečna letna količina padavin (mm) $Z$  = erozijski koeficient območja $F$  = površina hidrogeografske enote (km<sup>2</sup>)

$$T = \sqrt{\frac{t_0}{10} + 0,1}$$

$$Z = Y \cdot Xa \cdot (\varphi + \sqrt{J_a})$$

 $t_0$  = povprečna letna temperatura (°C) $Y$  = koeficient erodibilnosti $Xa$  = koeficient vegetacijske zaščitenosti $\varphi$  = koeficient razvitosti erozijskih pojavov $J_a$  = povprečni naklon območja (%)

$$\overline{M\psi} = 20H_{wd\Delta}^{\downarrow} \cdot K_{\psi}^{1,5} \cdot FW$$

Legenda:

 $\overline{M\psi}$  = povprečno letno sproščanje gradiva (m<sup>3</sup>/leto) $H_{wd\Delta}^{\downarrow}$  = maksimalne dnevne padavine (mm) $K_{\psi}$  = erozijski koeficient območja $FW$  = površina hidrogeografske enote (km<sup>2</sup>)

$$K_{\psi} = K_{\psi E} \cdot K_{\psi Z} \cdot (K_{\psi 0} + \sqrt{J_{FW}})$$

 $K_{\psi E}$  = koeficient erodibilnosti $K_{\psi Z}$  = koeficient vegetacijske zaščitenosti $K_{\psi 0}$  = koeficient razvitosti erozijskih pojavov $J_{FW}$  = povprečni naklon območja

## odplavljanje gradiva

$$G_a = W_a \cdot R_u$$

Legenda:

 $G_a$  = povprečno letno odplavljanje gradiva (m<sup>3</sup>/leto) $R_u$  = koeficient odplavljanja gradiva

$$R_u = \frac{\sqrt{O \cdot D}}{0,2 \cdot (L + 10)}$$

 $O$  = obseg hidrogeografske enote (km) $D$  = povprečna višinska razlika hidrogeografskega območja (km) $L$  = dolžina hidrogeografske enote (km)

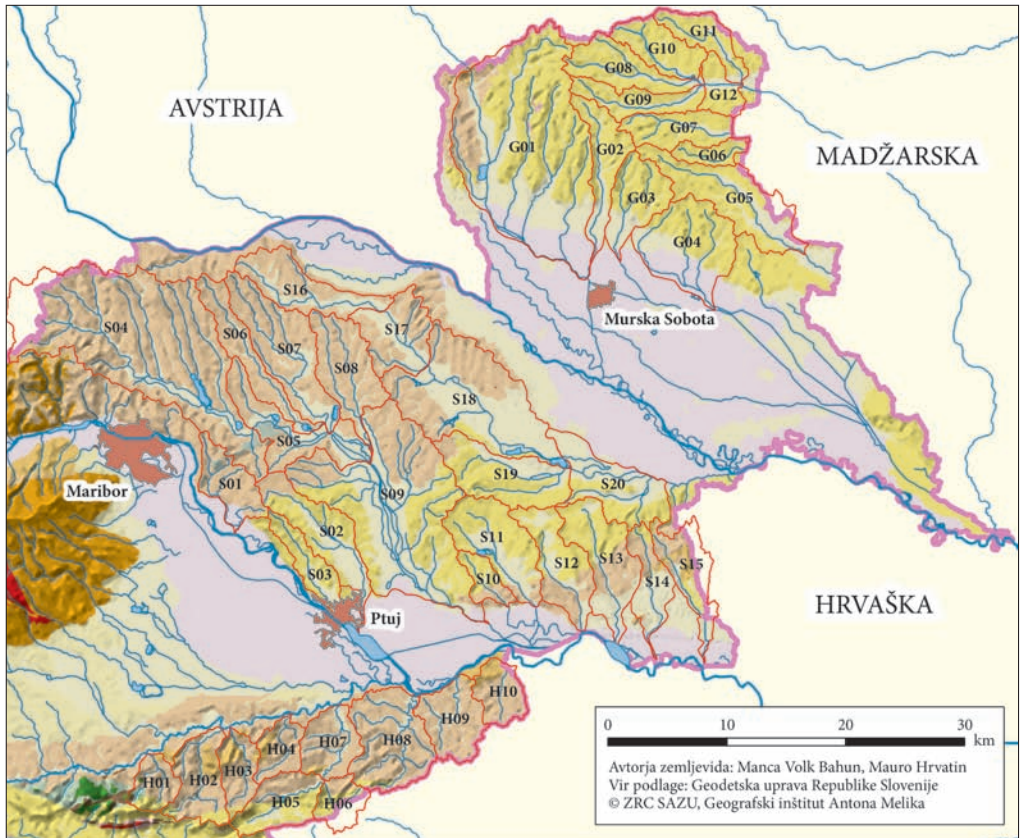
$$\overline{MY} = K_{\psi Y} \cdot \overline{M\psi}$$

Legenda:

 $\overline{MY}$  = povprečno letno odplavljanje gradiva (m<sup>3</sup>/leto) $K_{\psi Y}$  = koeficient odplavljanja gradiva

$$K_{\psi Y} = \frac{G}{\overline{M\psi}}$$

 $G$  = premostitvena zmogljivost voda v hidrografski mreži



#### Kamninska sestava

- kvartarna glina, melj in pesek
- kvartarni silikatni prod
- neogenski in pleistocenski pesek in kremenov prod
- terciarna in pleistocenska glina
- miocenski apnenec
- terciarni peščenjak in konglomerat
- terciarni lapor in laporovec
- paleozojski in mezozojski masivni apnenec
- permski in mezozojski dolomit
- karbonski in permski peščenjak in konglomerat
- mezozojski in terciarni vulkanoklastiti
- permske in terciarne globočnine
- paleozojske nizkometamorfnе kamnine
- paleozojske viskometamorfnе kamnine

Slika 2: Zemljevid kamninske sestave hidrogeografskih območij gričevij severovzhodne Slovenije, na podlagi katere je bil izdelan podatkovni sloj koeficienta erodibilnosti.



(Grafični ... 2019; slika 3) in se pri tem skoraj povsem držali vrednosti, ki jih je uporabil že Gavrilović (1970; preglednica 4).

Vrednosti koeficientov vegetacijske zaščitenosti se po hidrogeografskih območjih gričevij severovzhodne Slovenije precej razlikujejo. Najvišje (0,32) so v povprečju v Slovenskih goricah, kjer je tretjina zemljišč njivskih, tretjino porašča gozd, na petini zemljišč pa so urejeni travniki. Za nekatera hidrogeografska območja je značilen tudi visok delež vinogradov. V porečju Pušenskega potoka jih je 13 %, v porečju Trnave pa kar 17 %.

Nekoliko drugačne so razmere na Goričkem, kjer je povprečna vrednost koeficienta vegetacijske zaščitenosti 0,30. Dobro tretjino zemljišč tudi tu zasedajo njive, precej več je gozdnih zemljišč (44 %). Zaradi tega je manj travnišč (13 %), delež vinogradov pa je v povprečju krepko pod enim odstotkom.

Zaradi manjše intenzivnosti rabe tal v Halozah je tudi povprečni koeficient vegetacijske zaščitenosti ustrezno nižji (0,21). Njivskih zemljišč v Halozah je manj kot 5 %, zato pa je skoraj 60 % gozdov in več kot 25 % travnišč. Med posameznimi hidrogeografskimi območji so velike razlike. V porečju Tisovca v osrednjih Halozah je na primer 1,9 % njiv, 0,5 % vinogradov in kar 79,7 % gozda, v porečju Kojuhovskega potoka v vzhodnih Halozah pa je 7,5 % njiv, 13,4 % vinogradov in le 46,5 % gozda.

*Preglednica 3: Vrednosti koeficienta erodibilnosti (Y) po vrstah kamnin.*

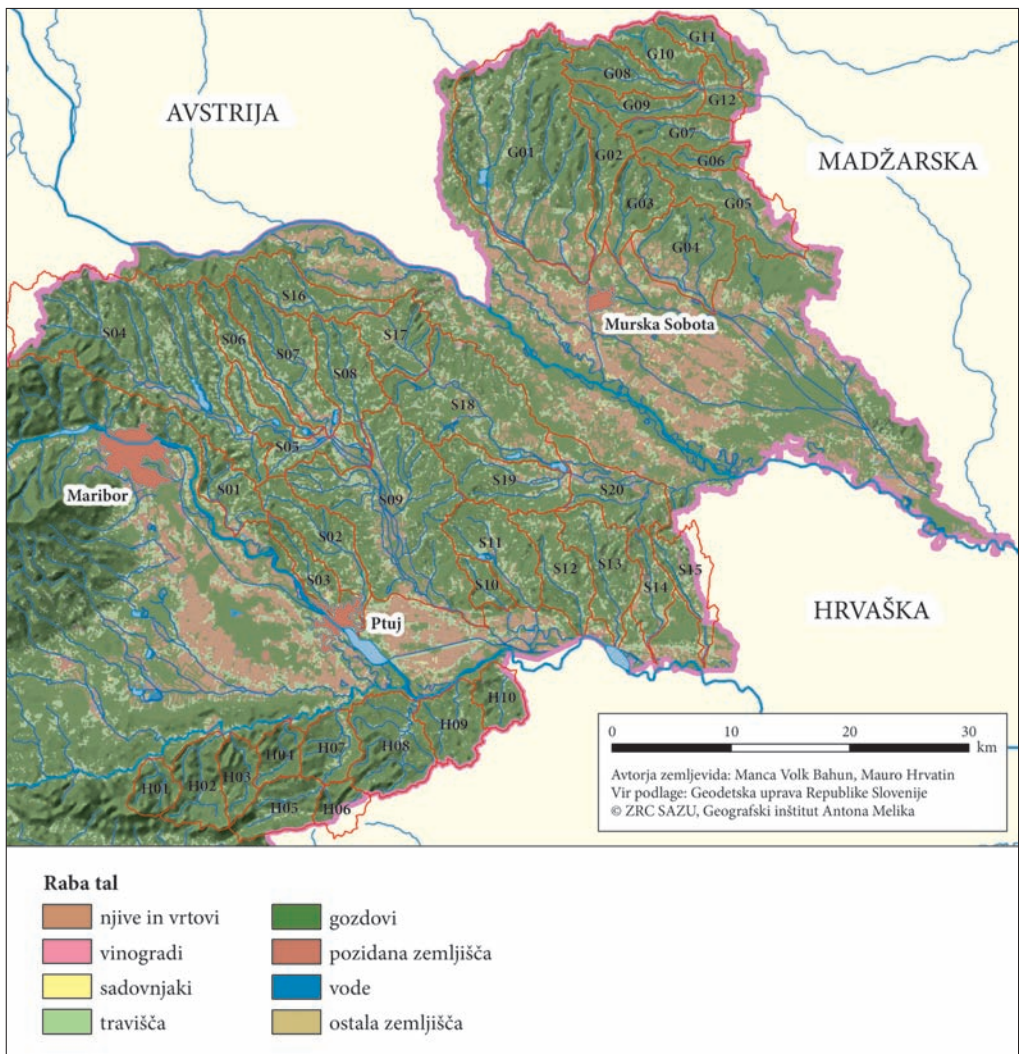
vrsta kamnine	koeficient Y
kvartarna glina, melj in pesek	1,00
kvartarni silikatni prod	1,00
neogenski in pleistocenski pesek in kremenov prod	0,80
terciarna in pleistocenska glina	0,80
miocenski apnenec	0,50
terciarni peščenjak in konglomerat	0,50
terciarni lapor in laporovec	0,60
paleozojski in mezozojski masivni apnenec	0,50
permski in mezozojski dolomit	0,45
karbonski in permski peščenjak in konglomerat	0,55
mezozojski in terciarni vulkanoklastiti	0,20
permske in terciarne globočnine	0,15
paleozojske nizkometamorfne kamnine	0,30
paleozojske visokometamorfne kamnine	0,30

*Preglednica 4: Vrednosti koeficienta vegetacijske zaščite (Xa) po vrstah rabe tal.*

vrsta rabe tal	koeficient Xa
njive in vrtovi	0,600
vinogradi	0,315
sadovnjaki	0,315
travišča	0,400
gozdovi	0,100
pozidana zemljišča	0,001
vode	0,027
ostala zemljišča	0,500

Koeficient razvitosti erozijskih pojavov smo ugotavljali s pomočjo indeksa moči vodnega toka (slika 4; Komac in Zorn 2005). Slednjega smo iz digitalnega modela višin izračunali s programom *Terrain Analysis System* (Lindsay 2005). Indeks moči vodnega toka je mera denudacijsko-erozijskega potenciala vode, ki temelji na predpostavki, da se vodni pretok in denudacijsko-erozijska sposobnost vode večata sorazmerno z večanjem površine specifičnega izseka porečja (Hrvatin, Perko in Petek 2006). Vrednost koeficienta razvitosti erozijskih pojavov posameznega hidrogeografskega območja predstavlja desetino povprečne vrednosti naravnega logaritma indeksa moči vodnega toka.

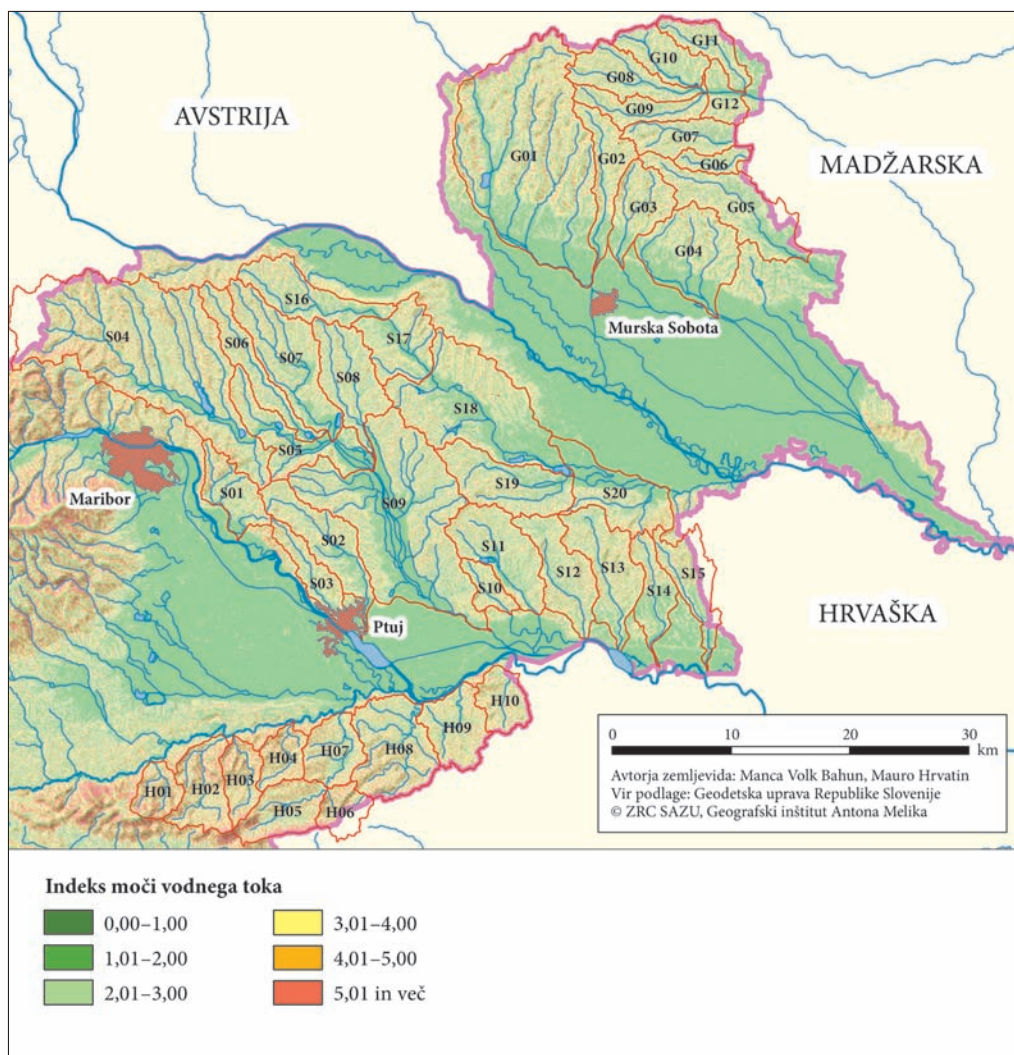
Najvišje povprečne vrednosti koeficienta razvitosti erozijskih pojavov se po pričakovanju pojavljajo na hidrogeografskih območjih v Halozah (0,38), medtem ko so povprečne vrednosti na Goričkem in v Slovenskih goricah precej nižje in skoraj izenačene (0,28).



Slika 3: Zemljevid rabe tal po hidrogeografskih območjih gričevij severovzhodne Slovenije, na podlagi katere je bil izdelan podatkovni sloj koeficienta vegetacijske zaščitenosti.

Na temelju koeficienta erodibilnosti, koeficienta vegetacijske zaštitenosti, koeficienta razvitosti erozijskih pojavov in povprečnega naklona, ki smo ga izračunali iz digitalnega modela višin Slovenije z ločljivostjo 25 m, smo izračunali erozijski koeficient (slika 5), ki je mera, s katero ocenjujemo intenzivnost oziroma gostoto erozijskih procesov (Staut 2004).

Najvišje izračunane erozijske koeficiente, ki presegajo vrednost 1,10, imajo hidrogeografska območja Sejanskega potoka, Lešnice in Turje v Slovenskih goricah. Tudi sedem od osmih hidrogeografskih območij z erozijskimi koeficienti med 1,00 in 1,10 leži v Slovenskih goricah. Povsem očitno je, da so med obravnavanimi gričevji severovzhodne Slovenije zaradi kamninske sestave in intenzivnejše rabe tal najbolj izpostavljene eroziji ravno Slovenske gorice.



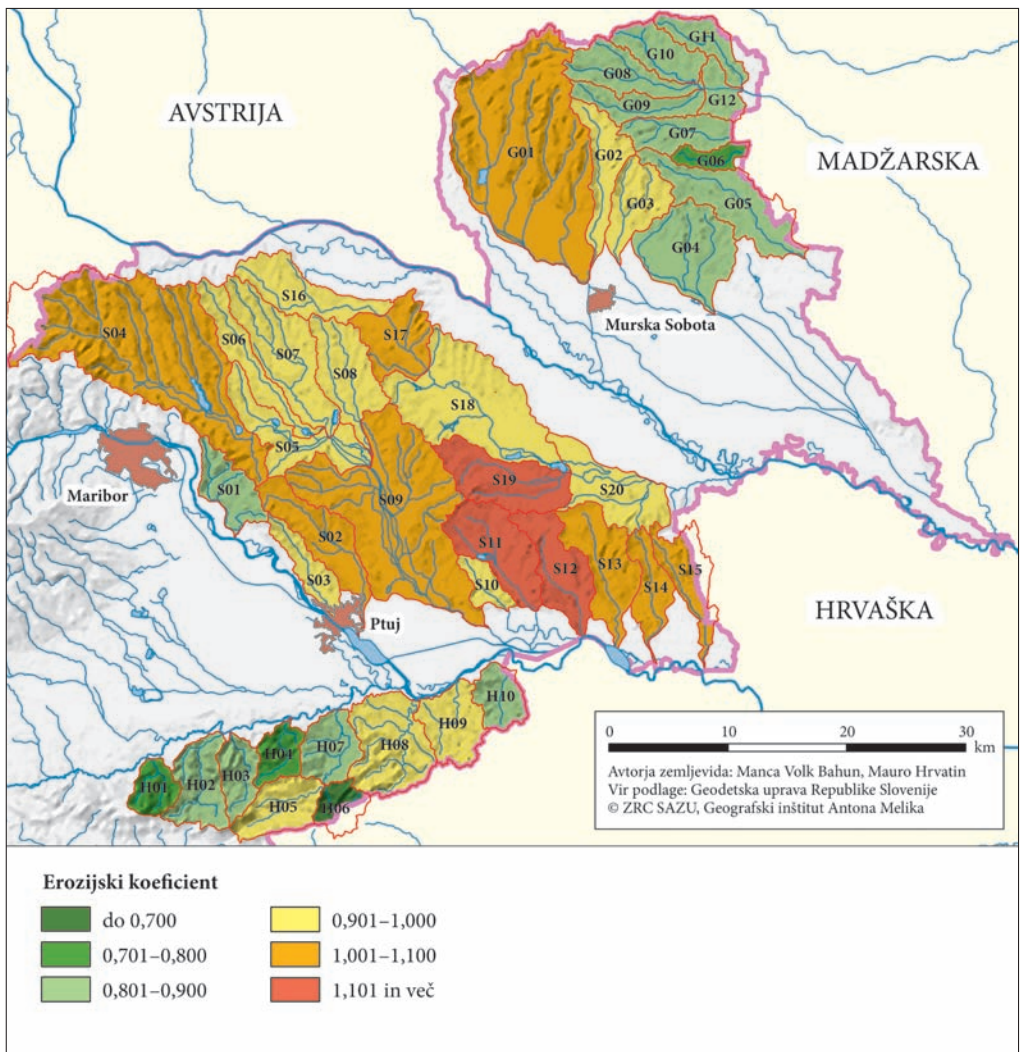
Slika 4: Zemljevid indeksa moči vodnega toka po hidrogeografskih območjih gričevij severovzhodne Slovenije, na podlagi katerega je bil izdelan podatkovni sloj koeficienta razvitosti erozijskih pojavov.



Na Goričkem z visokim erozijskim koeficientom izstopa hidrogeografsko območje Ledave, v vzhodnem delu gričevja pa so vrednosti podpovprečne. Glavni vzrok so v tem primeru nižji koeficienti razvitosti erozijskih pojavov in nekoliko položnejša pobočja. Razmeroma skromni so tudi erozijski koeficienti v Halozah predvsem zaradi erozijsko odpornejše kamninske podlage in manj intenzivne rabe tal.

## 5 Rezultati

Rezultate ocen sproščanja in odplavljanja gradiva v gričevjih severovzhodne Slovenije, ki smo jih dobili po »slovenski«  
različici Gavrilovičeve enačbe (Pintar, Mikoš in Verbovšek 1986), prikazujeta sliki 6

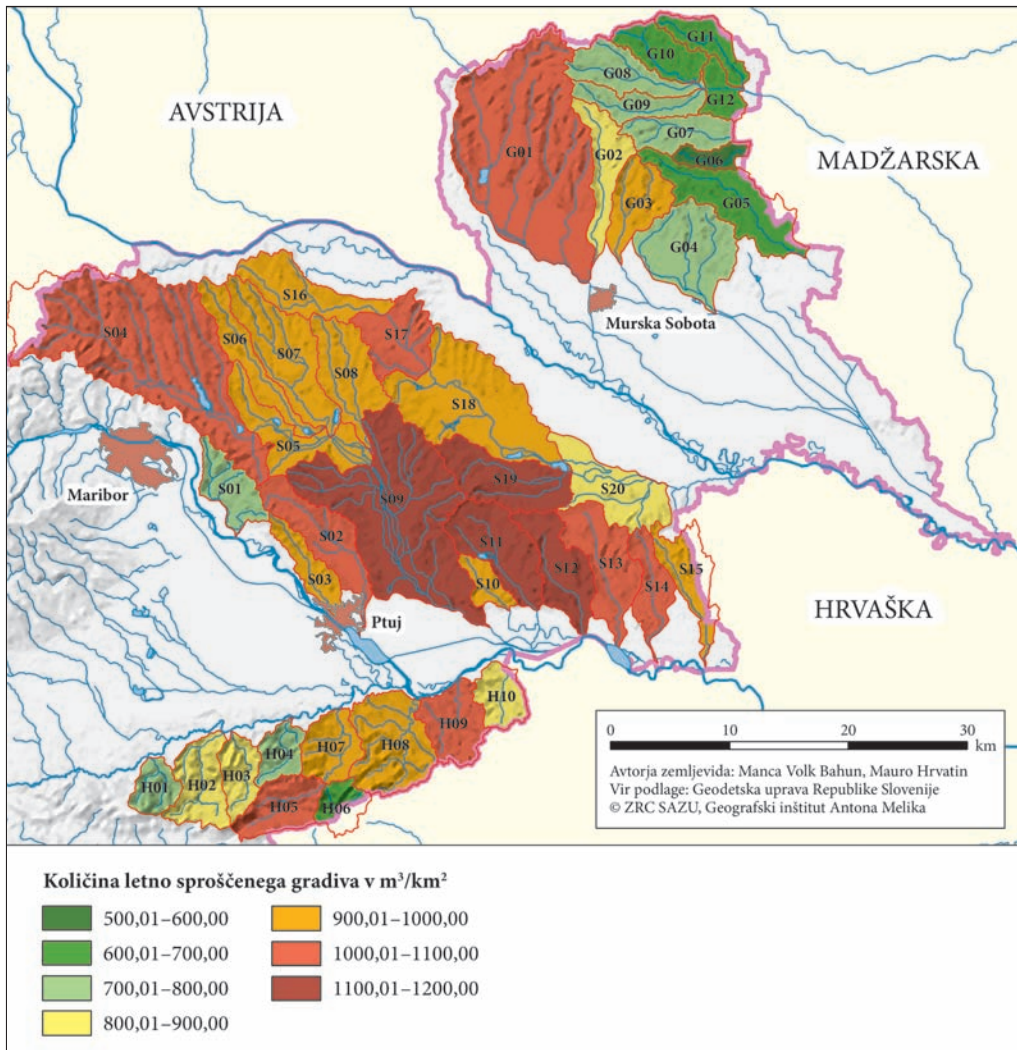


Slika 5: Zemljevid povprečnih erozijskih koeficientov po hidrogeografskih območjih gričevij severovzhodne Slovenije.

in 7, vsi rezultati ocen sproščanja in odplavljanja gradiva, ki smo jih dobili po treh različnih Gavrilovičeve enačbe, pa so prikazani v preglednici 5.

Po naših izračunih je s slovensko različico Gavrilovičeve enačbe letno sproščanje gradiva (slika 6) s  $1031,6 \text{ m}^3/\text{km}^2$  oziroma  $16,5 \text{ t/ha}$  v povprečju najbolj intenzivno v Slovenskih goricah, ki jim z  $904,4 \text{ m}^3/\text{km}^2$  oziroma  $14,5 \text{ t/ha}$  sledijo Haloze in z  $850,6 \text{ m}^3/\text{km}^2$  oziroma  $13,6 \text{ t/ha}$  Goričko.

Med posameznimi hidrogeografskimi območji beležijo najvišje vrednosti sproščanja spodnja Pesnica, Sejanski potok, Lešnica in Turja. Vsa našeta hidrogeografska območja ležijo v Slovenskih goricah, letna količina sproščenega gradiva pa presega  $1100 \text{ m}^3/\text{km}^2$ . Več kot  $1000 \text{ m}^3/\text{km}^2$  gradiva/ $\text{km}^2$  se letno sprosti še v petih hidrogeografskih območjih v Slovenskih goricah, ob Beli in v zgornjem porečju Rogatnice v Halozah ter v zgornjem porečju Ledave na Goričkem.

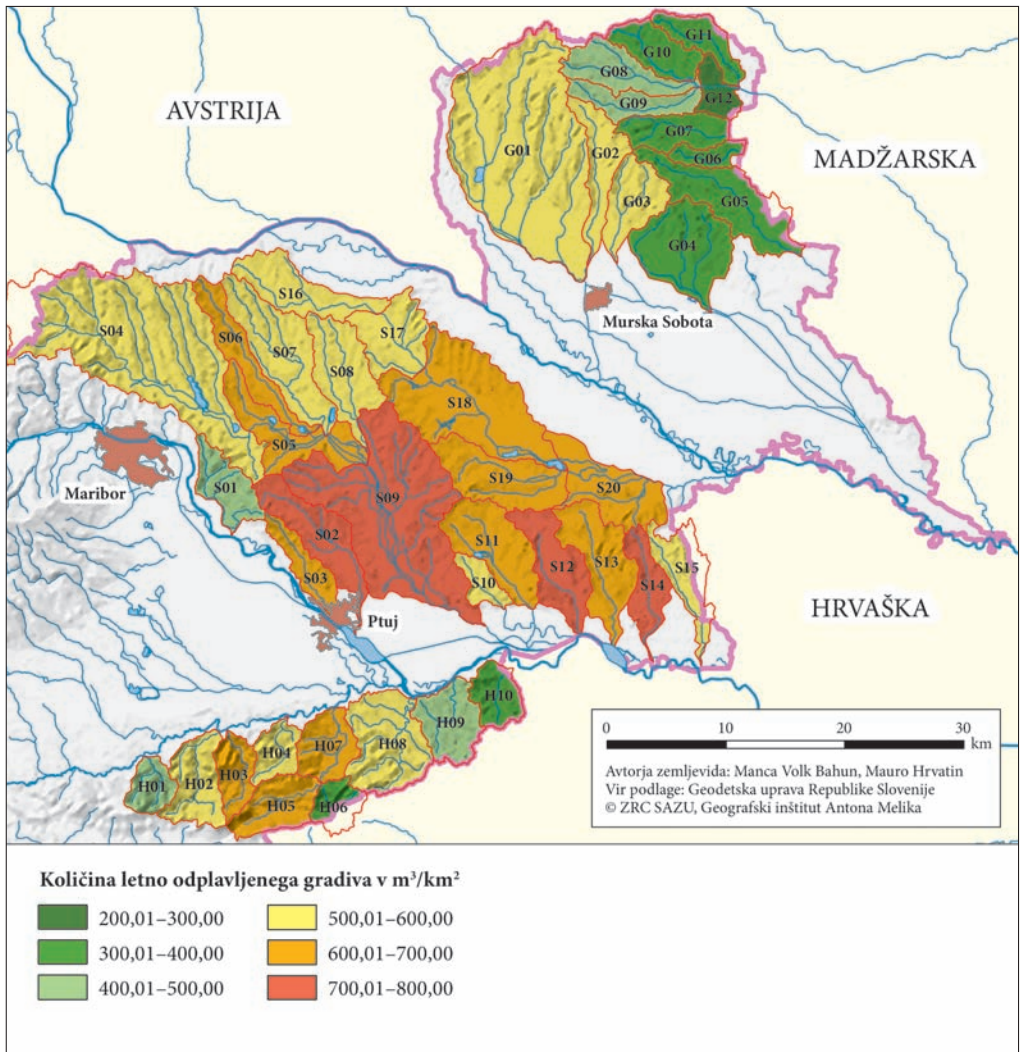


Slika 6: Količina sproščenega gradiva v hidrogeografskih območjih gričevij severovzhodne Slovenije (izračunana po metodologiji Pintarja, Mikoša in Verbovska 1986).



Od 800 do 1000 m<sup>3</sup> gradiva/km<sup>2</sup> se letno sprosti ob zgornji in srednji Ščavnici, ob Globovnici, Velki in Drvanji v porečju Pesnice v Slovenskih goricah, v polovici hidrogeografskih območij v Halozah (Skrelska, Jesenica, spodnja Rogatnica, Psičina in Kojuhovski potok) ter ob Mačkovskem in Martjanskem potoku na Goričkem. Manj kot 800 m<sup>3</sup> gradiva/km<sup>2</sup> pa se letno sprosti ob Mlinskem potoku v Slovenskih goricah, ob Jelovškem potoku, Peklači in Tisovcu v Halozah ter v hidrogeografskih območjih v povirju Velike in Male Krke ter ob Lipnici in Kobiljskem potoku na Goričkem.

Letno odplavljanje gradiva (slika 7) je po naših izračunih s slovensko različico Gavrilovičeve enačbe s 639,7 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> oziroma 10,2 t/ha v povprečju najbolj intenzivno v Slovenskih goricah, s 519,4 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> oziroma 8,3 t/ha jim sledijo Haloze in s 451,9 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> oziroma 7,2 t/ha Goričko.



Slika 7: Količina odplavljenega gradiva v hidrogeografskih območjih gričevij severovzhodne Slovenije (izračunana po metodologiji Pintarja, Mikoša in Verbovska 1986).

*Preglednica 5: Ocene letnega sproščanja in odplavljanja gradiva v gričevjih severovzhodne Slovenije po treh različicah Gavrilovićeve enačbe.*

<b>Goričko</b> (12 hidrogeografskih območij)						
	izračun po Gavriloviću		izračun po Lazareviću		izračun po Pintarju, Mikošu in Verbovšku	
	sproščeno	odplavljeno	sproščeno	odplavljeno	sproščeno	odplavljeno
m <sup>3</sup>	3.254.335,07	1.131.742,22	1.150.581,20	400.131,30	401.068,88	213.088,80
t	5.206.936,11	1.810.787,55	1.840.929,92	640.210,08	641.710,20	340.942,08
m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup>	6.901,50	2.400,10	2.440,05	848,56	850,55	451,90
mm	6,90	2,40	2,44	0,85	0,85	0,45
t/ha	110,42	38,40	39,04	13,58	13,61	7,23
<b>Haloze</b> (10 hidrogeografskih območij)						
	izračun po Gavriloviću		izračun po Lazareviću		izračun po Pintarju, Mikošu in Verbovšku	
	sproščeno	odplavljeno	sproščeno	odplavljeno	sproščeno	odplavljeno
m <sup>3</sup>	1.924.751,97	873.047,17	680.502,58	308.668,79	216.464,00	124.309,70
t	3.079.603,15	1.396.875,47	1.088.804,14	493.870,06	346.342,39	198.895,52
m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup>	8.041,58	3.647,58	2.843,13	1.289,61	904,38	519,36
mm	8,04	3,65	2,84	1,29	0,90	0,52
t/ha	128,67	58,36	45,49	20,63	14,47	8,31
<b>Slovenske gorice</b> (20 hidrogeografskih območij)						
	izračun po Gavriloviću		izračun po Lazareviću		izračun po Pintarju, Mikošu in Verbovšku	
	sproščeno	odplavljeno	sproščeno	odplavljeno	sproščeno	odplavljeno
m <sup>3</sup>	8.867.216,85	2.944.439,16	3.135.034,58	1.041.016,45	1.006.530,48	624.200,84
t	14.187.546,96	4.711.102,66	5.016.055,33	1.665.626,32	1.610.448,78	998.721,35
m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup>	9.087,78	3.017,68	3.213,01	1.066,91	1.031,57	639,73
mm	9,09	3,02	3,21	1,07	1,03	0,64
t/ha	145,40	48,28	51,41	17,07	16,51	10,24
<b>obravnavana gričevja severovzhodne Slovenije</b> (42 hidrogeografskih območij)						
	izračun po Gavriloviću		izračun po Lazareviću		izračun po Pintarju, Mikošu in Verbovšku	
	sproščeno	odplavljeno	sproščeno	odplavljeno	sproščeno	odplavljeno
m <sup>3</sup>	14.046.303,88	4.949.228,55	4.966.118,36	1.749.816,53	1.624.063,36	961.599,34
t	22.474.086,21	7.918.765,68	7.945.789,38	2.799.706,46	2.598.501,37	1.538.558,95
m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup>	8.328,08	2.934,41	2.944,42	1.037,47	962,91	570,13
mm	8,33	2,93	2,94	1,04	0,96	0,57
t/ha	133,25	46,95	47,11	16,60	15,41	9,12

Več kot  $700 \text{ m}^3$  gradiva/ $\text{km}^2$  je letno odplavljenega v hidrogeografskih območjih Lešnice, Rogoznice, spodnje Pesnice in Libanje, od  $610$  do  $700 \text{ m}^3$  gradiva/ $\text{km}^2$  pa v hidrogeografskih območjih srednje Pesnice, Sejanskega potoka, Grajene, spodnje Ščavnice, Pušenskega potoka, srednje Ščavnice, Globovnice in Turje. Vseh 12 naštetih hidrogeografskih območij leži v Slovenskih goricah, s količino odplavljenega gradiva od  $600$  do  $610 \text{ m}^3/\text{km}^2$  pa jim sledita porečji Jesenice in Rogatnice v Halozah.

Od  $500$  do  $600 \text{ m}^3$  gradiva/ $\text{km}^2$  je letno odplavljenega v sedmih hidrogeografskih območjih v Slovenskih goricah (povirna Ščavnica, zgornja Pesnica, Velka, Drvanja, Trnava, Cvetkovski potok in zgornja Ščavnica), v treh hidrogeografskih območjih v Halozah (Psičina, Peklača in Skrelska) ter prav tako v treh hidrogeografskih območjih na Goričkem (Mačkovski potok, Ledava in Martjanski potok), manj kot  $500 \text{ m}^3$  gradiva/ $\text{km}^2$  pa je letno odplavljenega ob Mlinskem potoku v Slovenskih goricah, ob Beli, Jelovškem potoku, Tisovcu in Kojuhovskem potoku v Halozah ter v hidrogeografskih območjih v povirju Velike in Male Krke ter ob Lipnici in Kobiljskem potoku na Goričkem.

## 6 Sklep

Podatki o eroziji prsti v Sloveniji so skopi in se med seboj močno razlikujejo. Dolgotrajne terenske meritve erozije prsti so redke. Omenimo lahko meritve pri vasi Smast pri Kobaridu (Horvat in Zemljič 1998) in v porečju Dragonje (Zorn 2008). V obeh primerih je bil ugotovljen izjemen vpliv rabe tal na erozijo prsti. Pri vasi Smast, ki letno prejme približno  $1700 \text{ mm}$  padavin, je bila na primer pri naklonu površja  $29^\circ$  v mešanem gozdu izmerjena letna erozija komaj  $6,3 \text{ kg/ha}$ , na travniku  $39 \text{ kg/ha}$ , na krompirjevi njivi  $3500 \text{ kg/ha}$  in na zorani njivi kar  $22.400 \text{ kg/ha}$  (Horvat in Zemljič 1998). V dolini Dragonje je Zorn (2008) ugotovil, da se zaradi površinskega spiranja površje vsako leto zniža za  $0,4 \text{ mm}$  v gozdu,  $0,2 \text{ mm}$  na travniku in za kar  $9 \text{ mm}$  na goli prsti.

Drugod po državi so potekala le krajša opazovanja in izračunavanja ter modeliranje na temelju empiričnih enačb, na primer v porečju Pivke (Kranjc 1982), pri Latkovi vasi v Savinjski dolini (Zupanc, Pintar in Mikoš 2000) ter v dolinah Mirne (Topole 1998), Rokave (Petkovšek 2002) in Dragonje (Globevnik s sodelavci 2003; Staut 2004).

Pri uporabi modelov lahko rezultati močno odstopajo od dejanskih naravnih razmer (Favis-Mortlock, Boardman in MacMillan 2001; Zorn 2008; Batista s sodelavci 2019), saj kot pravi Boardman (2006, 77): »Od modelov ne smemo pričakovati, da bodo posnemali naravo. Mišljeni so, da stvarnost poenostavijo ...«. To velja tudi za Gavrilovićevo enačbo, katere uporaba ni bila nikoli na podlagi terenskih meritev prilagojena slovenskim razmeram. Zato se lahko upravičeno sprašujemo o zanesljivosti izračunanih vrednosti.

Najpogostejše so ocene, da se v Sloveniji letno sprosti od  $5$  do  $6$  milijonov  $\text{m}^3$  gradiva na leto (Rainer in Pintar 1972; Kolbezen 1979; Mikoš 1995; Horvat 2002), kar pomeni, da je letno specifično sproščanje okrog  $4,2 \text{ t/ha}$ , letno zniževanje površja pa približno  $0,26 \text{ mm}$ . V primerjavi s temi podatki se zdijo naši izračuni po slovenski različici Gavrilovićeve enačbe pretirani, saj smo v panonskih gričevjih ocenili specifično sproščanje na  $15,4 \text{ t/ha}$ , letno zniževanje površja pa na  $0,96 \text{ mm}$ . Še bolj pretirani pa se zdijo podatki po izvorni in Lazarevičevi različici enačbe (preglednica 5). Po drugi strani sta Mikoš in Zupančeva (2000) ugotovila, da v Sloveniji zaradi erozije vsako leto v povprečju izgubimo od  $5$  do  $10 \text{ mm}$  plodnih tal, v izredno neugodnih razmerah tudi več. Specifično sproščanje, izračunano iz tega podatka, koleba med  $80$  in  $100 \text{ t/ha/leto}$ . Glede na ostale podatke o eroziji prsti je ta vrednost izredno visoka, glede na terenske meritve površinskega spiranja pa ne (Zorn 2008). Podobnega velikostnega reda je tudi podatek Hrovata (1953), ki za Haloze navaja letno zniževanje za  $1 \text{ cm}$ .

Velike razlike v ocenah erozije prsti so morda posledica tega, da so v sedemdesetih letih 20. stoletja računali z veliko bolj grobimi podatki in brez možnosti natančnih GIS analiz ter so zato podcenili intenzivnost erozijskih procesov. Morda pa velja ravno obratno in pri Gavrilovičevem robustnem modelu natančnejši podatki precej intenzivnost geomorfni procesov.

*Zahvala: Raziskava je bila izvedena v okviru mednarodnega raziskovalnega projekta »Primerni ekološki ukrepi na področju poplavne nevarnosti v hribovitem območju Madžarske in Slovenije« (N6-0070), ki ga financirata Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije in madžarska Nacionalna agencija za raziskave, razvoj in inovacije, ter v okviru raziskovalnega programa »Geografija Slovenije« (P6-0101), ki ga financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije.*

## 7 Viri in literatura

- Arhiv meritev. Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana. Medmrežje: <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/archive/> (13. 5. 2019).
- Batista, P. V. G., Davies, J., Silva, M. L. N., Quinton, J. N. 2019: On the evaluation of soil erosion models: Are we doing enough? *Earth-Science Reviews* 197. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.102898>
- Belec, B. 1998: Panonski svet. Slovenija: pokrajine in ljudje. Ljubljana.
- Bertalančič, R. 2018: Padavine v 21. stoletju. Predstavitev rezultatov projekta Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja. Medmrežje: [https://www.gov.si/assets/ministrstva/MOP/Dokumenti/CPVO/Usposabljanje/54011f5b56/12nov18\\_padavine.pdf](https://www.gov.si/assets/ministrstva/MOP/Dokumenti/CPVO/Usposabljanje/54011f5b56/12nov18_padavine.pdf) (13. 5. 2019).
- Bezjak, N., Šraj, M., Mikoš, M. 2013: Pregled meritev vsebnosti suspendiranega materiala v Sloveniji in primer analize podatkov. *Gradbeni vestnik* 62-12.
- Bezjak, N., Šraj, M., Mikoš, M. 2016: Analyses of suspended sediment loads in Slovenian rivers. *Hydrological Sciences Journal* 61-6. DOI: <https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1006230>
- Boardman, J. 2006: Soil erosion science: Reflections on the limitation of current approaches. *Catena* 68, 2-3. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2006.03.007>
- Ciglič, R., Nagy, G. 2019: Naturalness level of land use in a hilly region in north-eastern Slovenia. *Geografski vestnik* 91-1. DOI: <https://doi.org/10.3986/GV91101>
- Dragičević, N., Karleuša, B., Ožanić, N. 2016: A review of Gavrilović method (erosion potential method) application. *Građevinar* 68-9. DOI: <https://doi.org/10.14256/JCE.1602.2016>
- Fanetti, D., Vezzoli, L. 2007: Sediment input and evolution of lacustrine deltas: The Breggia and Greggio rivers case study (Lake Como, Italy). *Quaternary International* 173-174. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2007.02.008>
- Favis-Mortlock, D., Boardman, J., MacMillan, V. 2001: The limits of erosion modeling. *Landscape Erosion and Evolution Modeling*. Boston. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0575-4\\_16](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0575-4_16)
- Gavrilović, S. 1962: Proračun srednje-godišnje količine nanosa prema potencijalu erozije. *Glasnik šumarskog fakulteta* 26.
- Gavrilović, S. 1970: Savremeni načini proračunavanja bujičnih nanosa i izrada karata erozije. *Erozija, bujični tokovi i rečni nanos*. Beograd.
- Gavrilović, S. 1972: Inženjering o bujičnim tokovima i eroziji. Beograd.
- Globevnik, L., Holjević, D., Petkovšek, G., Rubinić, J. 2003: Applicability of the Gavrilović method in erosion calculation using spatial data manipulation techniques. *Erosion Prediction in Ungauged Basins: Integrating Methods and Techniques*. IAHS Publication 279. Wallingford, Oxfordshire.
- Grafični podatki RABA za celo Slovenijo, različica/stanje 31. 3. 2019. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Ljubljana, 2019.
- Horvat, A. 2002: Erozijska. Naravne nesreče in varstvo pred njimi. Ljubljana.
- Horvat, A., Zemljič, M. 1998: Protierozijska vloga gorskega gozda. *Gorski gozd*. Ljubljana.
- Hrovat, A. 1953: Kraška ilovica: njene značilnosti in vpliv na zgradbe. Ljubljana.
- Hrvatina, M., Perko, D., Petek, F. 2006: Land use in selected erosion-risk areas of Tertiary low hills in Slovenia. *Acta geographica Slovenica* 46-1. DOI: <https://doi.org/10.3986/AGS46103>
- Hrvatina, M., Zorn, M., Perko, D. 2014: Gavrilovićeva erozijska enačba in GIS. *Digitalni prostor, GISv Sloveniji* 12. Ljubljana.

- Kert, B. 1974: Prikaz nekaterih družbeno pogojenih učinkov pokrajinske transformacije Pesniške doline. Socialnogeografski aspekti socialnega razlikovanja med slovenskimi pokrajinami. Ljubljana.
- Kolbezen, M. 1979: Transport hribinskega materiala na potokih vzhodnega in jugovzhodnega Pohorja kot posledica erozije tal. Geografski vestnik 51.
- 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. DOI: <https://doi.org/10.3986/AGS45103>
- Komac, B., Zorn, M. 2008: Izračun vpliva sprememb rabe tal na erozijo v Zgornjem Posočju s pomočjo GIS. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007–2008. Ljubljana.
- Kranjc, A. 1982: Erozijska v porečju Pivke. Geografski vestnik 54.
- Lazarevič, R. 1968: Erozijska u slivu Gvozdačke reke – prilog metodici za izradu karte erozije. Glasnik Srpskog geografskog društva 49-2.
- Lazarevič, R. 1985: Novi postopak za određivanje koeficijenta erozije (Z). Erozijska – stručno-informativni bilten 13.
- Lindsay, J. B. 2005: The Terrain Analysis System: a tool for hydro-geomorphic applications. Hydrological Processes 19-5. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.5818>
- Mikoš, M. 1995: Soodvisnost erozijskih pojavov v prostoru. Gozdarski vestnik 53-9.
- Mikoš, M. 2000: Prodna bilanca reke Save od Jesenic do Mokric. Gradbeni vestnik 49-9.
- Mikoš, M., Zupanc, V. 2000: Erozijska tal na kmetijskih površinah. Sodobno kmetijstvo 33-10.
- Milevski, I., Blinkov, I., Trendafilov, A. 2008: Soil erosion processes and modelling in the Upper Bregalnica catchment. 24th Conference of the Danubian Countries: On the Hydrological Forecasting Hydrological Bases of Water Management. Bled.
- Petkovšek, G. 2002: Meritve sproščanja in odplavljanja zemljin na povodju Rokave. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2002: zbornik predavanj. Ljubljana.
- Pintar, J., Mikoš, M., Verbovšek, V. 1986: Elementi okolju prilagojenega urejanja vodotokov: alternativa utesnjevanju živih naravnih procesov v toge objekte. Drugi kongres o vodama Jugoslavije. Beograd.
- Rainer, F., Pintar, J. 1972: Ogrožanje tal zaradi erozije, hudournikov in plazov. Zelena knjiga o ogroženosti okolja v Sloveniji. Ljubljana.
- Ribičič, M., Šinigoj, J., Komac, M. 2003: New general engineering geological map of Slovenia. Geologija 46-2.
- Spletna objektna storitev (WFS) za izdajanje okoljskih prostorskih podatkov. Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana. Medmrežje: [http://gis.arso.gov.si/wfs\\_web/faces/WFSLayersList.jsp](http://gis.arso.gov.si/wfs_web/faces/WFSLayersList.jsp) (8. 5. 2019).
- Staut, M. 2004: Recentni erozijski procesi v porečju Dragonje. Diplomsko delo, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Topole, M. 1998: Mirnska dolina: regionalna geografija porečja Mirne na Dolenjskem. Ljubljana.
- Tošič, R., Dragičević, S. 2012: Methodology update for determination of the erosion coefficient. Glasnik Srpskog geografskog društva 92-1.
- Uлага, F. 2005: Monitoring suspendiranega materiala v slovenskih rekah. Acta Hydrotechnica 23-39.
- Uлага, F. 2006: Transport suspendiranega materiala v slovenskih rekah. Ujma 20.
- Zemljevid tipov kamnin. Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU, različica 13. 4. 2016. Ljubljana, 2016.
- Zorn, M. 2008: Erozijski procesi v slovenski Istri. Geografija Slovenije 18. Ljubljana.
- Zupanc, V., Pintar, M., Mikoš, M. 2000: Simulacija erozije tal s poskusnega polja v Latkovi vasi s pomočjo modela GLEAMS 2.1. Novi izzivi v poljedelstvu 2000 – zbornik simpozija. Ljubljana.



## 8 Summary: Determination of erosion in low hills of northeast Slovenia with Gavrilović equation

(translated by Živa Malovrh)

Studying erosion processes is usually conducted in one of two ways: using measurements or modelling. The main shortcoming of using measurements is that they require a certain amount of time and relatively high material means, regardless of whether the measurements are done in the laboratory or in the field. Their main advantage is that they are done with »real« landscape variables. Modelling, especially empirical, is just the opposite. Its main advantage is the speed of the calculation, but the major drawback is that it requires generalization or even disregarding certain landscape variables.

When examining erosion, it is important to distinguish between sediment production along slopes and sediment yield in watercourses. Measurements of the former have been very scarce in Slovenia, while an ongoing monitoring of suspended sediment has been established for the latter and is measured on certain Slovenian watercourses by the Slovenian Environment Agency. Unsuspended sediment has also rarely been measured. In most cases, it was related to measurements of sediments behind barriers on watercourses. A greater number of the modelling of erosion processes has been done using exclusively empirical models, especially the Gavrilović equation (Gavrilović 1962; 1970; 1972) and various versions of it (e.g., Lazarević 1968; 1985; Pintar, Mikoš and Verbošek 1986). Despite their deficiencies, they have been used in Slovenia and countries of the former Yugoslavia for decades, predominantly for forecasting erosion processes. The equation was generated in the early 1960s in Serbia by Slobodan Gavrilović. Like other empirical models, it is based on the correlation of the dependent variable to a host of measured or estimated independent variables using regression analysis. The equation enables calculations of both sediment production and sediment yield. Its main advantage is that it is straightforward and relatively easy to apply, while its main drawback is that the final quantitative result of erosion is derived from the qualitative estimates of the coefficients that are represented in the equation. The qualitative estimates of the equation coefficients are based on pre-prepared tables that served as the foundation for the subjective determination of the estimates values of the coefficients. In recent years, several authors have used geographical information systems (GIS) to conduct the calculations. For this reason, the calculations of some coefficients have had to be somewhat adjusted. The present study encountered a similar situation.

Sediment production and yield were estimated for three Slovenian Pannonian low hills: Goričko, Haloze and Slovenske gorice. The climate is continental with cold winters and warm summers. The distribution of precipitation throughout the year points to a continental precipitation regime with a summer maximum. The amount of precipitation decreases from the southwest (1200–1000 mm) towards the northeast (900 mm). The low hills are mostly marl with heavily varied reliefs and are interspersed with numerous watercourses.

The Gavrilović equation is generally used for »hydrogeographical areas« or sections of catchments. In the case of the examined low hills of northeast Slovenia, the territory was divided in to 42 such sections (Figure 1), encompassing a total of 1686.62 km<sup>2</sup> or 8.32% of the country.

The values of the soil erodibility coefficients are relatively high in the hydrogeographical areas of the studied low hills, as erodible (less resistant) sediments and rocks are prevalent across the entire area. The average soil erodibility coefficients are the highest in Goričko with 0.86, which is mostly made up of fine sediments. They are only slightly lower in Slovenske gorice, with an average of 0.82, while the lowest soil erodibility coefficients were found to be in Haloze, with an average of 0.65 due to the prevalence of marl.

The values of the soil protection coefficients vary significantly across the hydrogeographical areas of the studied low hills. They are highest (0.32) on average in Slovenske gorice, where a third of the land is fields, a third is covered by forests and a fifth of the area is covered by meadows. The situation is somewhat different in Goričko, where the average soil protection coefficient was found to be 0.30.

Over a third of the surface area is also covered by fields, but there is significantly more forest (44%). This means there are fewer grasslands (13%) and the share of vineyards is on average significantly below one percent. Due to the lesser intensity of land use in Haloze, the average soil protection coefficient is proportionately lower (0.21). There are under 5% fields in Haloze, but almost 60% of forest and over 25% of grasslands.

The highest average values of the coefficient of type and extent of erosion were found to be in the hydrogeographical areas in Haloze (0.38), while the average values in Goričko and Slovenske gorice were significantly lower and almost identical (0.28).

According to the calculations using a version of the Gavrilović equation according to Pintar, Mikoš and Verbovšek (1986), the annual sediment production (Figure 6) with  $1031.6 \text{ m}^3/\text{km}^2$  or  $16.5 \text{ t/ha}$  on average is the most intense in Slovenske gorice, followed by Haloze with  $904.4 \text{ m}^3/\text{km}^2$  or  $14.5 \text{ t/ha}$  and Goričko with  $850.6 \text{ m}^3/\text{km}^2$  or  $13.6 \text{ t/ha}$ . The annual sediment yield (Figure 7) is on average most intense in Slovenske gorice with  $639.7 \text{ m}^3/\text{km}^2$  or  $10.2 \text{ t/ha}$ , followed by Haloze with  $519.4 \text{ m}^3/\text{km}^2$  or  $8.3 \text{ t/ha}$  and Goričko with  $451.9 \text{ m}^3/\text{km}^2$  or  $7.2 \text{ t/ha}$ . Taking into account that most common estimates rank the annual sediment production in Slovenia to be around  $4.2 \text{ t/ha}$  and the annual surface lowering at approximately  $0.26 \text{ mm}$ , our calculations seem excessive.

The significant differences in the erosion estimates could be because past calculations operated with much less precise data and did not have the option of using accurate GIS analyses, which may have led to underestimations of the intensity of erosion processes. Perhaps the inverse is true and using precise, GIS-analysis-based data in Gavrilović's robust model leads to exaggerated estimates of the intensity of geomorphological processes.