



Nadgradnja ploskovnega erozijskega modela z območji erozije v strugah – primer občine Bohinj

Upgrade of the surface erosion model with the channel erosion areas – the Bohinj municipality case-study

Marko KOMAC¹ & Matevž PAVLIČ²

¹FGG – UL, Jamova 2, Ljubljana, Slovenija; e-mail: m.komac@telemach-net

²Gecko - Geologija, Ekologija in Svetovanje d.o.o., Lilly Novy 3, Ljubljana, Slovenija;
e-mail: matevz@geo-gecko.si

Prejeto / Received 1. 3. 2017; Sprejeto / Accepted 18. 10. 2017; Objavljeno na spletu / Published online 22. 12. 2017

Dedicated to Professor Mihael Ribičič on the occasion of his 70th birthday

Ključne besede: erozija, ploskovna, površinska, struge, model podvrženosti, Bohinj, Slovenija

Key words: erosion, surface, channels, susceptibility model, Bohinj, Slovenia

Izvleček

Erozija predstavlja pomemben eksogeni proces, ki je prisoten na skoraj vsakem delu Zemljinega površja in tudi slovensko ozemlje ni izjema. Stopnja erozije je močno odvisna od dejavnikov, vezanih na lastnosti površine kot so tip rabe tal, tip vegetacijskega pokrova in geomorfologija ter od dejavnikov, vezanih na podnebje kot sta padavinski režim in nihanja temperature. Prispevek obsega modeliranje mehanske erozije in transport delcev po površju s pomočjo vode, cilj pa je bil združiti splošno uveljavljeno metodologijo RUSLE, ki učinkovito modelira ploskovno erozijo z metodo ocene stopnje podvrženosti eroziji v strugah. Združeni metodi uspešno modelirata erozijo v izrazito goratih in kraških območjih. Za testno območje je bilo izbrano območje občine Bohinj, kjer so zaradi geomorfološke razgibanosti terena prisotni številni naravni površinski procesi, idealno za razvoj združenega modela erozijski h območij.

Abstract

Erosion is an important exogene process that can be found on almost all surfaces around the globe and Slovenian territory is no exception to the rule. The extent of the erosion is a result of various factors linked to the surface properties, such as land use type, vegetation type, and geomorphology and of the factors linked to the climate, such as the precipitation regime and the temperature oscillation. The paper focuses on the modelling of the mechanical erosion and the surface transport of particles due to surficial waters. The aim of the research was to combine the RUSLE surface erosion method with a model of gully erosion. The combined approach successfully models the erosion in the mountainous and karst areas. Due to its vivid geomorphology that results in various natural surface processes the area of Bohinj municipality was chosen as an ideal case study for testing the joint methodology.

Uvod

V znanostih, ki se ukvarjajo s procesi na Zemljinem površju, predstavlja erozija površinske procese, pri katerih pride s pomočjo delovanja vode ali vetra do mehanskega prenosa trdnih delcev kamnin ali tal, ali kemičnega prenosa raztopin z ene lokacije na drugo (TOY et al., 2002). Erozijski procesi se glede na vzrok in način transporta delcev delijo na ploskovno, rečno, obalno, kemično, ledeniško, poplavno in vetrno erozijo ter pobočne masne premike (ZACHAR, 1982; TOY et

al., 2002). Prisotnost številnih strug na območju ocene stopnje erozivnosti, predstavlja za kvaliteto oceno le-te z modelom RUSLE precejšnji izziv. ZHANG et al. (2013) navajajo, da je v tem primeru ocena z modelom RUSLE pomanjkljiva in jo je zato treba dopolniti z modelom, ki upošteva tudi vpliv strug in ukrivljenosti terena. FENG et al. (2016) pa ugotavljajo, da je treba za doseg realnih rezultatov v goratih predelih del modela RUSLE, ki opisuje naklon in dolžino pobočja, umeriti. DAI et al (2017) in ZHANG et al. (2017) na-

vajajo, da lahko predstavljajo kraška območja velik izziv pri modeliranju površinskih pojavov kot posledica vode zaradi prisotnosti zaprtih depresij, kot so vrtače in uvale. Kraško oblikovano površje torej predstavlja določen izziv pri izdelavi ocene stopnje erozivnosti, saj je na kraških območjih površinski odtok minimalen in ne sledi pravilom površinskega odvodnjavanja. Odtok površinske vode je na kraških območjih usmerjen v notranjost pojava za razliko od nekraških rečnih sistemov, kjer se vode stekajo po površju in tvorijo »idelano« rečno mrežo. Ne glede na to dejstvo pa je površinska erozija prisotna tudi na kraškem terenu, a v manjšem obsegu (HE et al., 1998; KHEIR et al., 2008).

Na območju slovenskih Alp so stopnjo erozivnosti, oziroma količine erodiranega materiala v preteklosti ocenjevali HRVATIN et al. (2006), KOMAC & ZORN (2005 in 2007), MIKOŠ et al. (2006), PINTAR et al. (1986), KOMAC et al. (2007), ZORN & KOMAC (2009), ZORN (2008) je opravil podrobno študijo erozijskih procesov v slovenski Istri, CIGLIČ et al. (2012) pa so se dotaknili tudi prisotnosti erozije na kraških območjih.

Med številne strokovne podlage za potrebe smotrnega urejanja prostora sodi tudi karta (model) erozijskih območij, ni pa določena metodologija za izdelavo take strokovne podlage. Na podlagi v nadaljevanju predstavljenega pristopa je bil izdelan model v merilu 1 : 25.000, ki se namesto na izračun količine erodiranega materiala osredotoča na določitev območij z večjo verjetnostjo pojavljanja erozije. Kot testno območje za razvoj metodologije, ki obsega združitev modela RUSLE in modela za določitev verjetnosti pojavljanja erozije v strugah, je bilo izbrano območje občine Bohinj.

Namen raziskave je bil modeliranje mehanske oziroma fizične erozije in transporta delcev po površju s pomočjo vode, cilj pa je bil združiti splošno uveljavljeno metodologijo RUSLE (WISCHMEIER & SMITH, 1958, 1965, 1978), ki učinkovito modelira ploskovno erozijo z metodo ocene stopnje podvrženosti eroziji v strugah, ki je značilna za območja z večjimi nakloni površja.

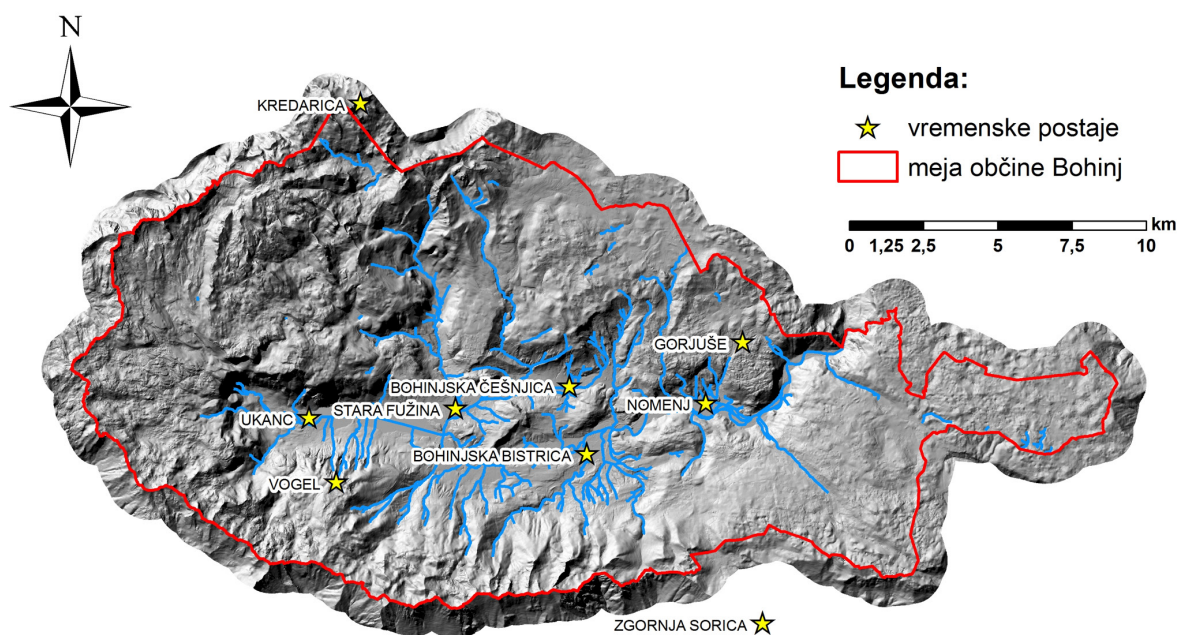
Opis obravnavanega območja

Občina Bohinj leži v severo-zahodnem delu Slovenije v Julijskih Alpah in se razprostira na 333,73 km². Razpon nadmorskih višin v občini sodi med največje v državi, saj se le-te gibljejo

med 462 in 2864 m, kar kaže na izredno geomorfološko razgibanost terena in posledično večjo verjetnost pojavljanja vseh oblik površinskih masnih premikov – zemeljskih plazov, skalnih podorov, drobirskih tokov in erozijskih pojavov, vezanih na naravne površinske procese. V tej raziskavi je bila obravnavana zgolj površinska erozija zaradi delovanja vode, modeliranje ostalih oblik površinskih masnih premikov pa zahteva drugačne pristope in ti niso bili cilj raziskave. Območje je toliko bolj problematično z vidika modeliranja površinskih procesov, ker je večinoma sestavljeno iz karbonatnih kamnin (več kot 96 %) (BUSER, 1986; JURKOVŠEK, 1987). Posledično so prisotne oblike povečanega vertikalnega in podzemnega toka vode ter površinske kraške oblike, ki predstavljajo določen izziv za modeliranje v GIS-ih. Slika 1 prikazuje senčen model reliefa za območje občine Bohinj z dodanim kilometriskim pasom izven občine Bohinj in lokacije vremenskih postaj, s katerih so bili pridobljeni padavinski podatki.

Podnebje na območju Bohinja je tipično alpsko z maksimalno kumulativno količino letnih padavin med 1800 – 2900 mm, maksimalno dnevno količino padavin s povratno dobo desetih let med 232 in 298 mm (upoštevajoč podatke za meteorološke postaje Bohinjska Češnjica – 2002-2012, Stara Fužina – 1982-2002, Ukanc – 1975-1997, Vogel – 1982-2012 in Zgornja Sorica 1970-2016) ter maksimalno 30-minutno količino padavin s povratno dobo desetih let med 33 in 44 mm (upoštevajoč podatke za meteorološke postaje Bohinjska Češnjica – 2002-2012, Stara Fužina – 1982-2002, Ukanc – 1975-1997 in Vogel – 1982-2012) (ARSO, 2016a).

Geološka zgradba testnega območja je opisana v Osnovni geološki karti, List Tolmin in Videm (BUSER, 1986) ter List Beljak in Ponteba (JURKOVŠEK, 1987), na kratko pa jo povzemata GRIMŠIČAR (1961) in BUDKOVIČ (1978). Večina kamnin pripada triasnim plastem (66,3 % površine), med katerimi revladujejo apnenci, apnenci z roženci, dolomitne plasti, prisotne pa so tudi prioklastične kamnine. Triasne plasti tvorijo domala vsa visokogorska območja in obkrožajo dolino reke Save Bohinjke. Kamnine jurske starosti zastopajo apnenci, podrejeno pa so prisotni skrilavi glinovci, jursko-kredni skladi pa so zastopani z biancone apnencem. Skupaj obsegajo triasne plasti 8,7 % ozemlja. Kredne plasti zastopajo plasti fliša in lapornega apnenca z vložki drugih kamnin (0,8 % površine). Terciarnne plasti predstavljajo apnenčaste plasti



Sl. 1. Senčen model reliefa občine Bohinj, katere meja je označena z rdečo linijo. Rečna mreža je prikazana z modrimi linijami. Lokacijami bližnjih vremenskih postaj so prikazane z rumeno zvezdo.

Fig. 1. Shaded terrain model of the Bohinj municipality, delineated with the red line. River network is represented with the blue lines. The near weather stations' locations are marked with yellow stars.

ter gline in peščenjaki (1,7 % površine). Kvartarni starosti pripadajo številne sprijete in nesprijete morene, jezerski sedimenti, melišča, ter deluvialni in aluvialni nanosi (21,7 % površine). Manj kot en odstotek območja pokriva Bohinjsko jezero (0,9 % površine). Območje Alp in tudi bohinjske občine sekajo številni prelomi, predvsem v dinarski in njej prečni smeri, prisotni pa so tudi narivi. Vsi tektonski elementi dodatno negativno vplivajo na trdnost kamnin in posledično tudi nastajanje materiala, primernejšega za površinski transport. Prevladujoče karbonatne kamnine pogojujejo prisotnost kraških pojavov, katerih površinski tipi vplivajo na kakovost modela RUSLE, kot je bilo že omenjeno v uvodnem delu.

Pedološke in z njimi povezane vegetacijske značilnosti so eden izmed dejavnikov območja, ki vplivajo na stopnjo erozije. Na bolj ali manj nagnjenih pobočjih so zastopane rendzine na apnencu in dolomitu, z njimi se prepletajo rjava pokarbonatna tla. Tu se širijo bukovi in smrekovi gozdovi, značilen je tudi macesen; ob gozdni meji, ki sega od 1600 do 1800 m visoko, pa alpsko rušje. Gozd pokriva dna dolin, strma pobočja in visoke planote. V gozdovih so poleg gospodarske funkcije poudarjene varovalna, hidrološka, podnebna, zootopska, rekreacijska, estetska in druge ekološke vloge gozda. V najvišjih predelih, vrhovih, slemenih in strmih pobočjih so se razvili litosoli, na njih pa se razraščajo alpske vrbe, združba čvrstega šaša s triglavskim sviščem,

združba okrogolistnega mošnjaka z julijskim makom (LOVRENČAK, 1987).

Metodologija

Za izdelavo ocene stopnje ploskovne erozivnosti na območju občine Bohinj je bila izbrana metoda RUSLE. V preteklosti so na območju jugovzhodne Evrope nekateri avtorji uporabili Gavrilovičevo metodo oziroma njene variacije (LAZAREVIĆ, 1968, 1985; PINTAR et al., 1986; ZORN & KOMAC, 2009), drugi spet metodo USLE (MIKOŠ et al., 2006). V tem prispevku je bila testirana uporabnost RUSLE metode, ki pa je bila že od začetka ocenjena kot prekonzervativno za oceno stopnje erozivnosti na območjih z ekstenzivnim načinom kmetovanja, kot so pašniki (DABNEY et al., 2014), na območjih z večjimi nakloni ter na kraško oblikovanem površju. Posledično je bil model RUSLE nadgrajen z modelom ocene erozije v strugah.

Za izdelavo modela (karte) erozivnosti je največ v uporabi metoda RUSLE (ang. Revised Universal Soil Loss Equation), ki temelji na njeni predhodnici USLE (ang. Universal Soil Loss Equation), obe pa sta na podlagi obstoječe metode Univerze v mestu Purdue razvila WISCHMEIER & SMITH (1958, 1965, 1978), nadgradili pa so jo FOSTER et al. (2000 in 2001) in LOWN et al. (2000). RUSLE je empirično zasnovan univerzalni model za izračun izgub zemlje, omogoča pa teore-

tični izračun erozije tal (ob kvalitetnih podatkih tudi mesečne ocene, lahko pa tudi oceno erozije ob posameznem nalivu). Tako model USLE, kot tudi model RUSLE definira enačba (1), ki omogoča izračun povprečne izgube tal (v t, kjer je 1 t = 1000 kg) na enoto površine (A):

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1)$$

kjer so: A – povprečna izguba tal na enoto površine ($t \text{ ha}^{-1}$ – tona na hektar); R – erozivnost padavin je dejavnik, ki temelji na vplivu energije padavin in odtoka le-teh ($\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1}$); K – erodibilnost različnih tipov tal je dejavnik, ki je odvisen od njihovih pedoloških lastnosti ($t \text{ MJ}^{-1} \text{ h mm}^{-1}$); L – dolžina pobočja je dejavnik, ki opisuje razmerje med izgubo tal pri dejanski in primerjalni dolžini, ki znaša 22,13 m (dejavnik nima enote); S – naklon pobočja je dejavnik, ki opisuje razmerje med izgubo tal pri dejanskem in primerjalnem 9 % naklonu (dejavnik nima enote); C – dejavnik vrednost erozije tal je odvisen od pokrovnost oziroma tipa rabe tal (dejavnik nima enote; vrednosti se gibljejo med 0 in 1, kjer največje vrednosti pripadajo golim območjem) in podaja razmerje med izgubo tal pri dejanski rabi in primerjalni rabi, ki jo predstavlja neobdelano polje; P – dejavnik kmetijskih zaščitnih ukrepov podaja razmerje med izgubo tal pri dejanski rabi območja za kmetijske/industrijske namene in primerjalni rabi, ki je orano polje (dejavnik nima enote; vrednosti se gibljejo med 0 in 1,3, kjer predstavljajo večjo vrednost območja s slabšimi zaščitnimi ukrepi). Vrednosti dejavnikov L in S se računajo sočasno, saj predstavljata združena dejavnika L in S tako imenovani topografski dejavnik ($LS = L \times S$; v nadaljevanju označen kot LS), nenavadne mere – 22,13 m in 9 % naklon pa izhajajo iz pretvorbe anglo-saksonskega merskega sistema v ISO. Tudi ta dejavnik nima enote. V pristopu, ki je predstavljen v tem prispevku, dejanska vrednost povprečne izgube tal na enoto površine (A) ni bila izračunana, saj so bile vse vhodne spremenljivke nominalno ovrednotene glede na njihove dejanske vrednosti. Pravilna oznaka povprečne izgube tal na enoto površine (A) bi bila torej navidezna in temu primerno označena z »A'«:

$$A' = R' \times K' \times L' \times S' \times C' \times P' \quad (2)$$

kjer vse vhodne spremenljivke predstavljajo enake lastnosti, kot so opisane zgoraj, a so njihove vrednosti poenostavljene na nominalno skalo.

Po metodologiji (R)USLE med erozivne dogodke sodijo vsi deževni dogodki, pri katerih se je v šestih urah akumuliralo vsaj 12 mm padavin oz. v 15 minutah vsaj 6 mm padavin (WISCHMEIER & SMITH, 1978). Ker so natančni časovni podatki o intenzivnih padavinah prostorsko redki ali pa dostopni samo za omejeno časovno obdobje, je bila za potrebe ocene erozivnosti po metodologiji RUSLE uporabljena najboljša trenutno dostopna ocena erozivnosti padavin za Slovenijo (PETAN, 2010).

Metoda RUSLE je splošno uveljavljena metoda ocene izgube tal zaradi erozije (WISCHMEIER & SMITH, 1978; RENARD et al., 1997). V slovenski prostor so metodo RUSLE med drugimi vpeljali ali jo razvijali za lokalne potrebe PETKOVŠEK (2002), MAČEK (2006), ZORN et al. (2007), PETAN et al. (2008a, 2008b), PETAN (2010), PETAN et al. (2010), ŽABOTA (2015).

Pri vsakem od uporabljenih podatkov so bile določene vrednosti spremenljivk po uveljavljenih standardih (vrednosti K , C in P ter nominalne vrednosti K' , C' in P'), vrednost R je bila povzeta iz modela erozivnosti padavin (PETAN, 2010), vrednost LS pa je bila izračunana na podlagi enačbe (3):

$$LS = (1 + m) \times \left(\frac{\lambda}{22,1}\right)^m \times \left(\frac{\sin(0,01745 \times \theta_{stp})}{0,09}\right)^n \quad (3)$$

kjer je λ spremenljivka, odvisna od horizontalne projekcije dolžine pobočja in predstavlja zmnožek vrednosti funkcije »FlowAccumulation« ter osnovne velikosti celice v metrih; m je spremenljivka, odvisna od naklona pobočja, ki vpliva na erodibilnost tal; 22,1 je enota dolžine, ki sta jo določila (WISCHMEIER & SMITH, 1978); θ naklon pobočja v stopinjah (vrednost 0,01745 omogoča pretvorbo stopinj v radiane); 0,09 je konstanta naklona pobočja (nakloni so podani v odstotkih in ne v stopinjah; 9 % = 0,09) in n je spremenljivka, odvisna od erodibilnost tal (OLIVEIRA et al., 2013).

V literaturi je moč najti razpone vrednosti za spremenljivki m in n (MITASOVA et al., 1996; OLIVEIRA et al., 2013). Glede na omenjena vira sta kot najprimernejši ali najbolj značilni vrednosti za obdelane in travniške površine $m = 0,4$ in $n = 1,4$. Spletni vir (INTERNET 1) povzema dognanja več raziskovalcev in priporoča vrednost m med 0,02 – 0,05 za nizke naklone, 0,04 – 0,71 za srednje naklone in 0,07 – 0,83 za velike naklone. Glede na

opazno prevlado večjih naklonov pobočij v občini Bohinj je bila za vrednost spremenljivke m določena vrednost 0,4.

Spremenljivke, uporabljene za izdelavo modela RUSLE, so bile razvrščene v nominalne razrede od 1 do n , kjer je spremenljivka n predstavljala število razredov vhodnega podatka. Vrednosti modela so bile izračunane na osnovi enačbe 2, nato pa razdeljene v pet razredov stopnje erozivnosti, kjer so večje dobljene vrednosti pomenile večjo stopnjo erozivnosti.

Drugi del modela za oceno stopnje erozivnosti je temeljil na oceni stopnje erozivnosti v strugah. Kot osnova za izračun stopnje erozivnosti je bila uporabljena hipotetična rečna mreža, izračunana na osnovi digitalnega modela višin. Mreža poleg strug površinskih tokov obsega še padnice po pobočjih in tako predstavlja območja gradientov (oziroma območja stekanja), po katerih poteka erozija. Vsakemu dobljenemu linijskemu elementu, torej osnovnemu – ravnemu gradniku mreže, je bila po principu SHREVE-ja (1966) pripisana stopnja njegove pomembnosti, določena s številom manjših pritokov. Nadalje je bil vsakemu osnovnemu gradniku izračunan padec. Tako je bilo možno gradnike razvrstiti glede na stopnje podvrženosti erozivnosti po principu večje podvrženosti le-tej ob večjem padcu. Stopnja erozije za vsak gradnik je bila izračunana po enostavni enačbi ZINGGA (1940) (4), ki je tudi podlaga za izračun dejavnika LS v modelu RUSLE (LIU et al., 2001), kar dodatno argumentira združljivost obeh metod:

$$y = a \times x^b \quad (4)$$

kje je y stopnja erozije, a empirično pridobljena konstantna z vrednostjo 0,065, x naklon oziroma padec (gradient) toka vode in b empirično pridobljena konstantna z vrednostjo 1,48. Rezultat enačbe nima enote. Obstajajo tudi seveda številne druge enačbe za izračun stopnje erozije glede na naklon (npr. CHAPLOT & LE BISSONNAIS, 2003; ASSOULINE & BEN-HUR, 2006; ZHAO et al., 2014; ZHANG et al., 2015), ki pa upoštevajo še številne druge parametre, kot so intenziteta in trajanje padavin, usmerjenost brazd, natančen tip vegetacije in njena gostota, ki jih za dano območje ni bilo možno pridobiti ali izmeriti. Enačbe, ki določajo stopnjo erozije in ki so bile dobljene pri navedenih raziskavah so posledično zelo specifične za testne lokacije, ki so jih raziskovalci uporabili za izračun stopnje erozije. Privzeto je bilo, da bi

bila uporaba enačbe 4 (ZINGG, 1940), ki predstavlja povprečenje stopenj erozije, najzaneslivejša za izbran pristop izračuna stopnje erozivnosti v strugah glede na naklone le-teh.

Upraba hipotetične rečne mreže (ali navidezne mreže površinskih tokov) za izračun ocene stopnje erozivnosti v strugah temelji na navedbah raziskovalcev, ki so se s podobnim izzivom soočali v svojih raziskavah na kraških terenih z večjimi nakloni (npr. ZHANG et al., 2013; FENG et al., 2016; CHEN et al., 2017, DAI et al., 2017; ZHANG et al., 2017). Protiargument bi seveda lahko bil, da je izostanek površinskih vodnih tokov na kraških območjih logičen in pričakovan, a je kljub temu treba upoštevati, da na strmehjših pobočjih površinski odtok vode obstaja, pa čeprav na krajše razdalje in da večina tega ponikne v tla. Model erozije v strugah, ki je v tej raziskavi vpeljan kot nadgradnja modela RUSLE, ne predstavlja dejanskega prenosa materiala po površini s pomočjo vodne erozije, temveč podaja območja, kjer je verjetnost erozije večja, pa čeprav je erozija na teh usmerjena v notranjost kraškega pojava ali na krajšo razdaljo. Nedvomno pa ima pri dolžini transporta materiala po površju veliko vlogo infiltracijska sposobnost kamnin (KHEIR et al., 2008), a ta informacija ni bila na voljo in pri predstavljenem modelu ni bila vključena.

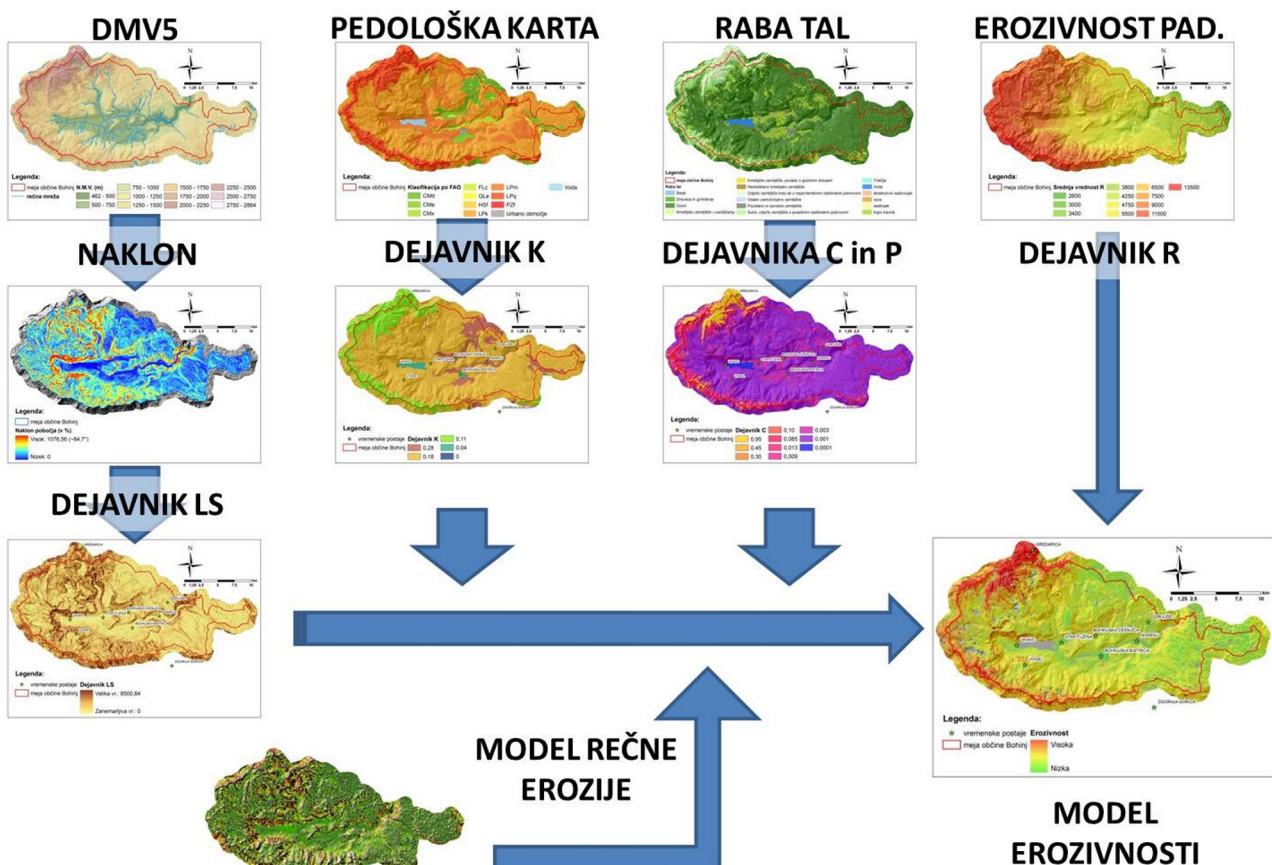
Številna literatura navaja več vrednosti naklonov pobočij oziroma padcev vodnega toka, pri katerih se začnejo opaznejši procesi erozije, večji del teh vrednosti pa se giblje med tremi in petimi stopinjami naklona, kar izraženo z odstotki pomeni okoli 10 % naklon. Tako EBISEMIJU (1988, 1989) in EBISEMIJU & ADO (1989) določata to vrednost na 3° – 5°, PANAGOS et al. (2015b) določajo to vrednost za izvajanje varovalnih ukrepov v kmetijstvu na 10 %, FLOOR (2016) in PEARCE (1987) pa navajata 10 % naklon kot vrednost, pri kateri se erozija drastično poveča. Tudi spremenljivki LS ter C v modelu RUSLE temeljita na osnovni enoti z naklonom 9 % (WISCHMEIER & SMITH 1958, 1965 in 1978). Posledično so bili elementi strug razdeljeni na štiri razrede z različnimi pogoji za izračun jakosti erozije, ki upoštevajo kombinacijo vrednosti naklona in pomembnost elementa (gradnika) po metodi SHREVE-a (1966). Obe vrednosti sta bili združeni z namenom pridobitve ocene, ki upošteva oba dejavnika (tab. 1). Za gradnike, katerih naklon je bil večji od 4,5° (kar je identično naklonu 10 %, če so ti izraženi v odstotkih), je bila pri izračunu vrednosti erozije vzdolž tega gradnika uporabljena dejanska vrednost njegove

vega naklona (označuje jo spremenljivka x), za vse ostale naklone gradnikov pa je bila privzeta vrednost $4,5^\circ$. Rezultat predstavlja kombinacijo naklonov strug in hipotetične širine (jakosti) toka ter upošteva močnejšo vertikalno erozijo v strugah, ki je posledica večjega padca, in močnejšo lateralno erozijo, ki je posledica jakosti struge in je izražena z višjo vrednostjo po SHREVE-U (1966). Prvi razred tako predstavlja segmente, ki ležijo na relativno položnem terenu in imajo malo pritokov (npr. manjši potoki z izviri pod vzhodni pobočij). Drugi razred predstavlja segmente, ki ležijo na strmem terenu in imajo veliko pritokov (npr. večji gorski potoki ali rečice). Tretjemu razredu pripadajo segmenti, ki ležijo na relativno položnem terenu in imajo veliko pritokov (npr. večje reke). Četrtemu razredu pripadajo segmenti, ki ležijo na strmem terenu in imajo malo pritokov (npr. hudourniki ali padnice po pobočjih).

Tabela 1. Razredi za izračun jakost erozije v strugah, upoštevajoč pogoj naklona in pogoj SHREVE-ja (1966), ki določa nivo pomembnosti posameznega elementa struge, določene s številom manjših pritokov.

Table 1. Classes based on which the channel erosion ("Erosion value") was calculated for each basic element. The channel erosion value was defined based on the slope condition and the SHREVE (1966) condition that defines the contribution of each channel element and its side inflows.

#	Pogoj naklona/ Slope condition ($^\circ$)	Pogoj po SHREVE-ju / Shreve condition (1966)	Vrednost erozije / Ero- sion value
1	$\leq 4,5$	< 100	$0,065 \times 4,5^{1,48}$
2	$> 4,5$	≥ 100	$0,065 \times x^{1,48} \times \text{SHREVE}$
3	$\leq 4,5$	≥ 100	$0,065 \times 4,5^{1,48} \times \text{SHREVE}$
4	$> 4,5$	< 100	$0,065 \times x^{1,48} \times \text{SHREVE}$



Sl. 2. Shema postopka izdelave modela (karte) erozivnosti na območju občine Bohinj.

Fig. 2. Derivation of the erosion model procedure spreadsheet, developed in the area of the Bohinj municipality. Input layer "DMV5" represents the digital elevation model with the 5 meters resolution, the layer "Pedološka karta" represents pedologic types map, the layer "Raba tal" represents the landuse coverage map, the layers "Erozivnost" and the "Dejavnik R" represent the rainfall-runoff erosivity factor, the layer "Naklon" represents the slope inclination information, the layer "Dejavnik K" represents the soil erodibility factor, the layer "Dejavnika C in P" represents the joined factor of the cover-management factor and the support practice factor, the layer "Erozivnost" represents the rainfall-runoff erosivity factor, the layer "Dejavnik LS" represents the joined factor of the slope inclination factor and the slope length factor, the layer "Model rečne erozije" represents the model of the channel erosion levels, and the layer "Model erozivnosti" represents the final product – the surface erosion model.

Izračun vrednosti dejavnikov v modelu RUSLE z uporabo GIS-ov so dokazali številni avtorji (DESMET & GOVERS, 1996; FU et al., 2005; LIM et al., 2005; LÓPEZ-VICENTE et al., 2008; ZHANG et al., 2013; FENG et al., 2016; CHEN et al., 2017, DAI et al., 2017; ZHANG et al., 2017), zato je bil enak pristop izbran tudi za izdelavo modela (karte) erozivnosti na območju občine Bohinj, ki temelji na metodi RUSLE z dodanim korakom, ki upošteva tudi erozijo v strugah. Shema postopka izdelave modela (karte) je prikazana na sliki 2.

Uporabljeni podatki in določitev vrednosti spremenljivk

Za izdelavo modela so bili uporabljeni podatki kot jih določa model RUSLE, torej pedološka karta, karta tipov rabe tal, digitalni model višin ter karta erozivnosti padavin, za izračun erozije v strugah pa izpeljanke iz digitalnega modela višin – hipotetična rečna mreža ter lastnosti njenih osnovnih gradnikov (segmentov površinskega toka). V nadaljevanju so prikazani podatkovni sloji v tej raziskavi uporabljenih prostorskih podatkov, v opisu slike posameznega sloja pa je zraven podana tudi informacija o ločljivosti izvornega podatka.

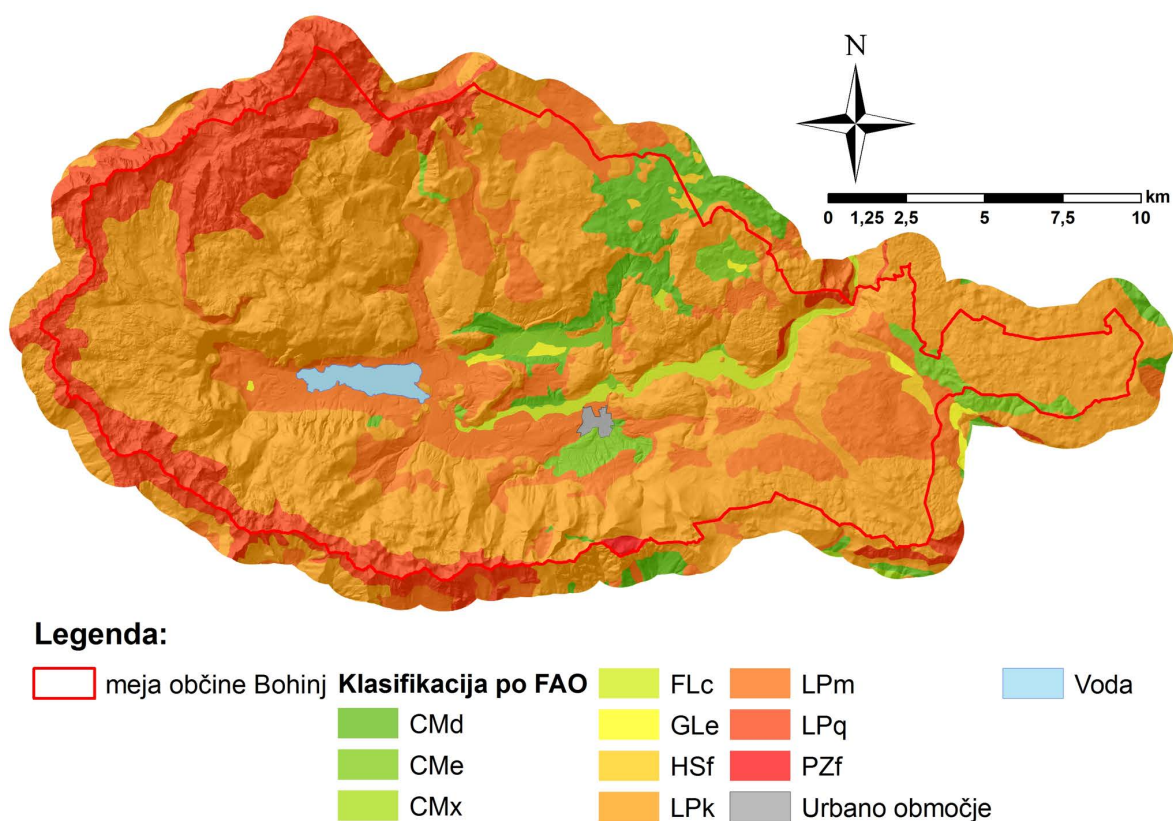
Pedološka karta

Pedološka karte Slovenije v merilu 1 : 25.000 je bila pridobljena s spletnega portala Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (GERK 2016). Slika 3 prikazuje pedološke značilnosti občine Bohinj, ki so osnova za določitev spremenljivke erodibilnosti tal (K) v modelu RUSLE in spremenljivke K' v navideznem modelu RUSLE.

Pedološke enote na območju občine Bohinj so razdeljene na 134 ločenih homogenih enot, tabela 2 pa podaja porazdelitev prisotnih pedoloških tipov po klasifikaciji FAO – kode pedoloških enot (FAO 1988, 1990) glede na njihovo površino, delež površine enot, kvantifikacijo erodibilnosti (spremenljivka K) prisotnih pedoloških tipov na osnovi KASSAMA et al. (1992) in ocenjeno nominalno vrednost spremenljivke K , ki je predstavljala vhodni podatek za izračun modela RUSLE.

Raba tal

Raba tal z ločljivostjo orto-foto podob (1 m) je bila pridobljena s spletnega portala Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (GERK 2016). Slika 4 prikazuje rabo tal v občini Bohinj.



Sl. 3. Pedološka karta občine Bohinj (Izvorni podatek – sloj v merilu 1 : 25.000). Meja občine je označena z rdečo linijo.

Fig. 3. Pedologic map of the Bohinj municipality, delineated by the red line (the source data – layer's scale was the 1 : 25,000). The legend of the pedologic types (Klasifikacija po FAO) is explained in the Table 2.

Tabela 2. Porazdelitev pedoloških tipov po FAO klasifikaciji (FAO opis, ki mu je dodano slovensko poimenovanje tipov tal) na območju občine Bohinj glede na število poligonov posameznega razreda FAO (št. poligonov), njihovo skupno površino (A, v ha) in delež površine v občini (A v %), stopnjo erodibilnosti tal (K) ter nominalno vrednost dejavnika stopnje erodibilnosti (K') (ta podatek je bil vhodni podatek za izračun navideznega modela RUSLE po enačbi 2).

Table 2. Distribution of the pedological types (after FAO) (official FAO pedological type abbreviation – “FAO description”) in the area of Bohinj municipality. The type description is given in the column “FAO opis”, the number of polygons for each type is given in the column “Št. poligonov”, the area in the column “A (ha)”, the area proportion in the column “A (%)”, the level of the erodibility of the pedological type is given in the column “K” and its nominal value that was used for the calculation of the RUSLE model based on the equation 2 is given in the column “K’”.

FAO oznaka/ FAO label	FAO opis / Description	Št. poligonov / No. of Polygons	A (ha)	A (%)	K	K'
CMd	Distrična rjava tla / Dystric Cambisol	11	1193,76	3,58	0,28	4
CMe	Evtrična rjava tla / Eutric Cambisol	9	999,69	3,00	0,28	4
FLc	Karbonatna obrečna tla / Calcaric Fluvisol	3	504,06	1,51	0,28	4
GLe	Evtrični psevdoglej / Eutric Gleysol	5	106,07	0,32	0,18	3
HSf	Slabo razkrojena šotna tla / Fibric Histosol	6	98,018	0,29	0,28	4
LPk	Humusno akumulativna tla na karbonatni podlagi / Rendzic Leptosol	54	19910,16	59,66	0,18	3
LPm	Humusno akumulativna tla na karbonatni podlagi z moličnim horizontom / Mollic Leptosol	38	6221,95	18,64	0,18	3
LPq	Litični leptosol oz. kamnišče / Lithic Leptosol	5	3896,58	11,68	0,11	2
PZf	Železov podzol / Feric Podzol	1	55,79	0,17	0,28	4
Voda* / Water*	Vodna površina, morje, reke, * / Water surface, sea, river, lake*	1	313,34	0,94	0,04	1
Urbano območje* / Urban area*	Urbana površina, mesto, naselje * / Urban area, city, settlement*	1	73,06	0,22	0,04	1

*ni uradna FAO oznaka / not an official FAO type

Vrednost dejavnika erozije tal C ima v modelu RUSLE razpon med 0 in 1 ter je specifičen za vsako skupino tipov rabe tal. Kot primerjalni tip površine se upošteva gola površina (brez vegetacije), katere vrednost dejavnika C je enaka 1. Ta vrednost se zmanjšuje z večanjem gostote vegetacijskega pokrova in obliko rabe tal (npr. njiva, travnik, sadovnjak itd.). Dejavnik C je najverjetneje najpomembnejši dejavnik, na katerega lahko vpliva človek s svojimi odločitvami o zaščitnih ukrepih (PANAGOS et al., 2015a). Dejavnik P predstavlja stopnjo umetne zaščite rabe tal glede na primerjalni tip (brez) zaščite, ki ga predstavlja golo območje z linijskimi vzorci vzdolž padnice pobočja (npr. brazde ali podobni kanali). Umetni zaščitni ukrepi so na primer kolobarjenje, oblikovanje teras, oranje po plastnicah, ohranjanje strnišč, košnja itd. Raba tal je osnova za določitev spremenljivk vrednost erozije tal (C) in vrednost zaščitnega ukrepa (P) v enačbi RUSLE za izračun erozivnosti tal, oziroma njunih nominalnih vrednosti C' in P' . Podatki o zaščitnih ukrepih na testnem območju niso bili dostopni, zato je bila za dejavnik P in P' privzeta splošna vrednost 1.

Tabela 3 podaja porazdelitev tipov rabe tal na območju občine Bohinj glede na njihovo površino, na delež površine in ocenjeno vrednost erozije

tal – C (po WISCHMEIER & SMITH, 1978). Kljub številnim različnim ocenam vrednosti spremenljivke C , se večina avtorjev izračunov erozivnosti tal (FERNANDEZ et al., 2003; ADEDIJI et al. 2010; ŽABOTA, 2015; GELAGAY & MINALI, 2016) sklicuje na WISCHMEIER & SMITH (1978), zato so bile njune ocene vključene v izračun erozivnosti za občino Bohinj.

Digitalni model višin

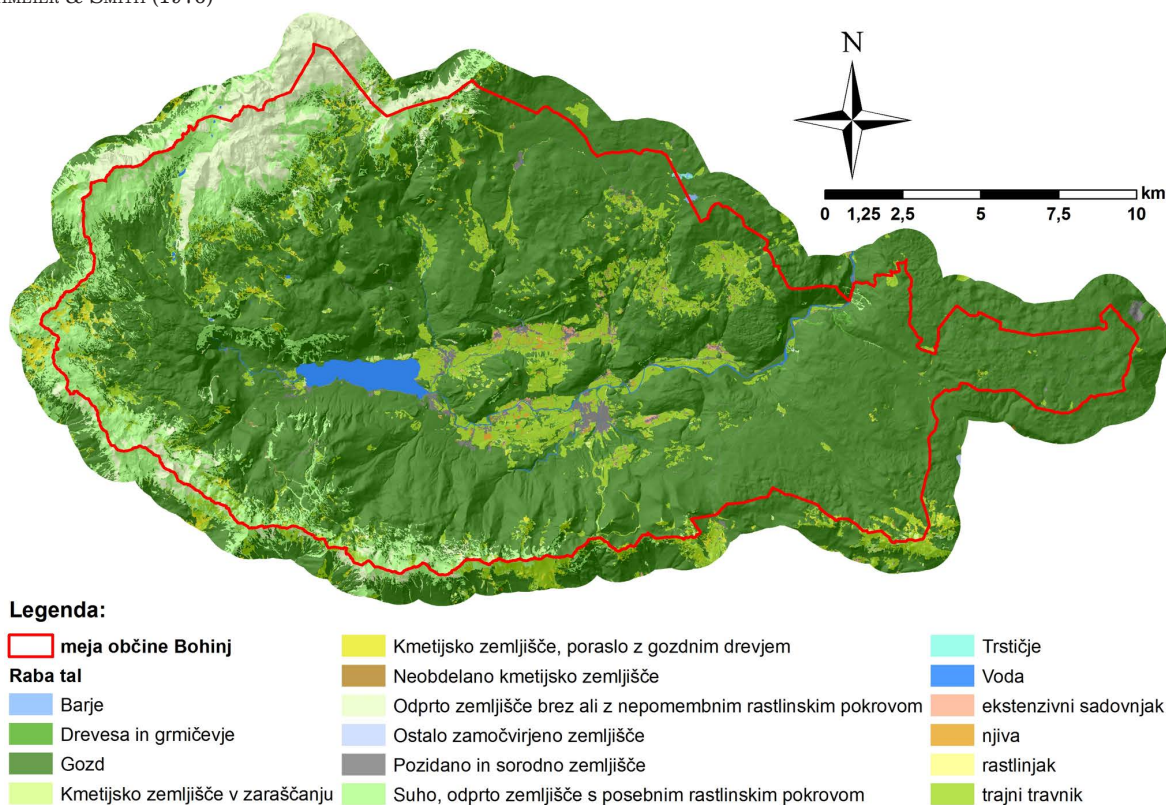
Digitalni model višin z ločljivostjo 1 m je bil pridobljen s portala ARSO (ARSO 2016b). Za potrebe izdelave modela in zaradi enostavnejšega upravljanja s podatki pa je bil model razredčen na ločljivost petih metrov (DMV 5 m). Ocenjeno je bilo, da je izbrana ločljivost dovolj kvalitetna za izdelavo zelene ocene stopnje erozivnosti. Slika 5 prikazuje porazdelitev površine občine Bohinj glede na pasove nadmorskih višin z razponom 250 m. Taka razdelitev je bila izbrana zgolj v informativne namene in ni imela vpliva na nadaljnje modeliranje. Morfologija terena oziroma njegove fizične lastnosti, ki jih je možno izračunati iz višinskih podatkov, so osnova za določitev spremenljivk dolžina pobočja (L) in naklon pobočja (S) v modelu RUSLE in posledično skupnega navideznega dejavnika pobočij (LS').

Tabela 3. Porazdelitev tipov rabe tal na območju občine Bohinj glede na njihovo površino, delež in ocenjeno vrednostjo spremenljivke C in nominalno vrednost spremenljivke C' (ta podatek je bil vhodni podatek za izračun navideznega modela RUSLE po enačbi 2).

Table 3. Distribution of the landuse types by GERK code (“#”). The landuse type description is given in the column “Landuse description”, the area in the column “A (ha)”, the area proportion in the column “A (%)”, the level of the cover-management factor type is given in the column “C” and its nominal value that was used for the calculation of the RUSLE model based on the equation 2 is given in the column “C’”.

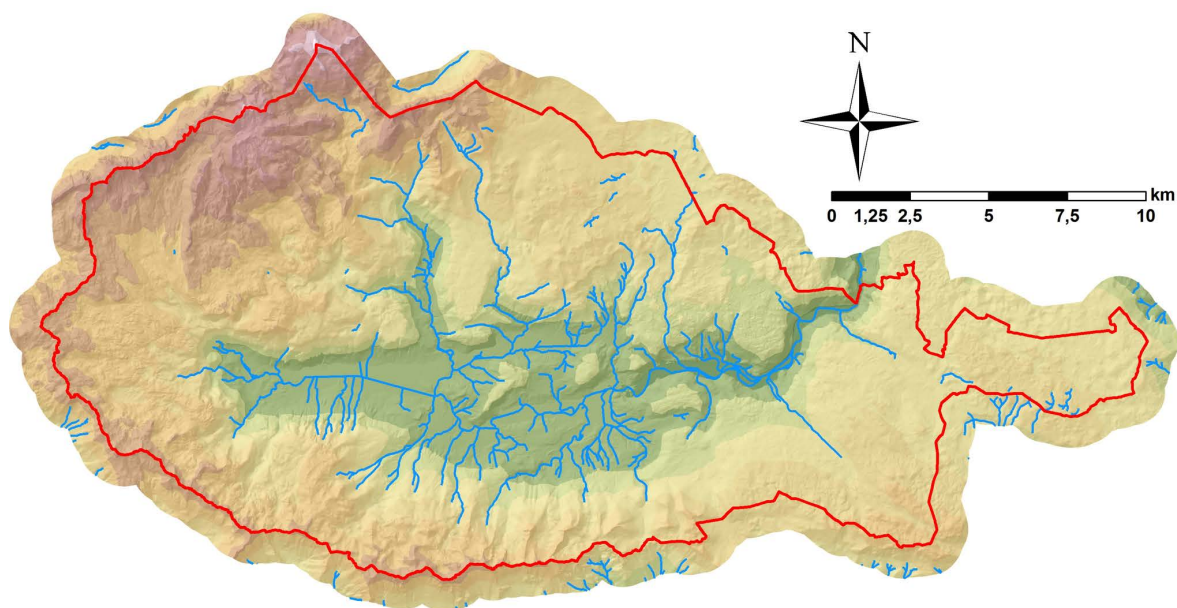
#	Opis rabe tal / Description of landuse	A (ha)	A (%)	C*	C'
1100	Njiva / Field	51,3	0,15	0,085	6
1190	Rastlinjak / Orchard	0,04	0,00013	0,0001	1
1222	Ekstenzivni sadovnjak / Extensive orchard	56,2	0,17	0,013	5
1300	Trajni travnik / Permanent meadow	3078,0	9,22	0,003	3
1410	Kmetijsko zemljišče v zaraščanju / Agricultural land in overgrowth	173,0	0,52	0,450	9
1500	Drevesa in grmičevje / Trees and shrubs	208,2	0,62	0,009	4
1600	Neobdelano kmetijsko zemljišče / Non-cultivated agricultural land	40,0	0,12	0,300	8
1800	Kmetijsko zemljišče, poraslo z gozdnim drevjem / Agricultural land covered with trees	288,6	0,86	0,100	7
2000	Gozd / Forest	24382,2	73,06	0,001	2
3000	Pozidano in sorodno zemljišče / Built and similar areas	457,6	1,37	0,001	2
4100	Barje / Marsh	2,5	0,01	0,0001	1
4210	Trstičje / Rushes	2,0	0,01	0,0001	1
4220	Ostalo zamočvirjeno zemljišče / Other swamp land	0,3	0,0008	0,0001	1
5000	Suho, odprto zemljišče s posebnim rastlinskim pokrovom / Dry, open land with a specific plant cover	2997,0	8,98	0,013	5
6000	Odprto zemljišče brez ali z nepomembnim rastlinskim pokrovom / Open land without or with an insignificant plant cover	1213,6	3,64	0,950	10
7000	Voda / Water	422,2	1,27	0,0001	1

*WISCHMEIER & SMITH (1978)



Sl. 4. Karta rabe tal na območju občine Bohinj (izvirni podatki imajo ločljivosti 1 m).

Fig. 4. Landuse coverage map of the Bohinj municipality, delineated with the red line (the source data – layer's resolution was 1 m). The legend for the landuse types is given in the Table 3.



Legenda:

 meja občine Bohinj	N.M.V. (m)	 750 - 1000	 1500 - 1750	 2250 - 2500
— rečna mreža	 462 - 500	 1000 - 1250	 1750 - 2000	 2500 - 2750
	 500 - 750	 1250 - 1500	 2000 - 2250	 2750 - 2864

Sl. 5. Karta nadmorskih višin (v metrih) na območju občine Bohinj, katere meja je prikazana z rdečo linijo. Rečna mreža je prikazana z modrimi linijami. Izvorni podatek – sloj ima ločljivosti 1 m.

Fig. 5. Elevation map of the Bohinj municipality, delineated with the red line (the source data – layer's resolution was 1 m). Elevation data is represented in meters above sea level ("N.M.V. (m)") and in classes by 250 meters. River network is represented with the blue lines.

Erozivnost padavin

Podatek o erozivnosti padavin je bil povzet po PETAN (2010), ki je bil izdelan za območje celotne Slovenije. Oceno erozivnosti padavin je PETAN (2010) izdelal na podlagi opravljenih meritev intenzitete padavin in porazdelitve padavinskih delcev iz izpeljanih eksponentnih regresijskih povezav med kinetično energijo in intenziteto padavin, ki so veljavne za submediteransko, subalpsko in zmerno celinsko podnebno območje Slovenije. Iz izpeljanih regresijskih povezav je določil erozivnost padavin za 31 lokacij v Sloveniji, ki so bile prostorsko in časovno reprezentativno porazdeljene. Karto prostorske porazdelitve erozivnosti padavin v Sloveniji je izračunal z metodo interpolacije. Ne glede na dejstvo, da je ta sloj slabše ločljivosti kot ostali uporabljeni sloji, je le-ta za območje občine Bohinj edini dostopen podatek o erozivnosti padavin, ki določa spremenljivko erozivnosti padavin (R) v modelu RUSLE in njeno nominalno vrednost R' . Slika 6 prikazuje porazdelitev vrednosti erozivnosti padavin na območju občine Bohinj. Tabela 4 prikazuje porazdelitev istih razredov na površino in njihove deleže. Ta podatek je najbolj podvržen napakam, predvsem zaradi nujne prostorske interpolacije točkovnih vrednosti.

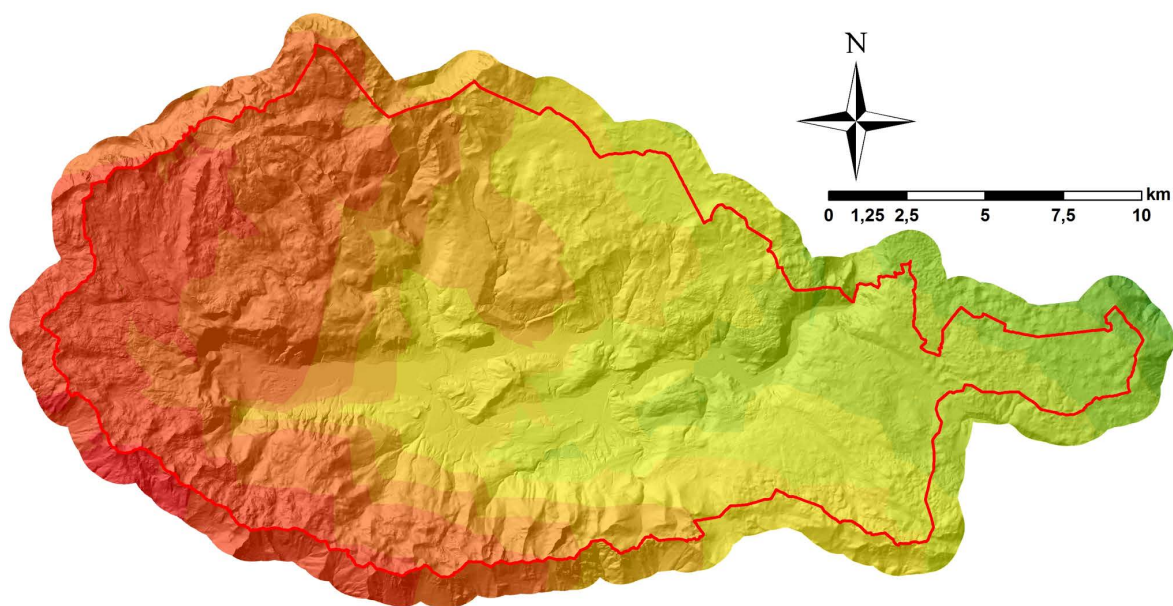
Hipotetična rečna mreža

Za potrebe modeliranja erozije v strugah (rečne erozije) je bila iz digitalnega modela višin generirana hipotetična rečna mreža (sl. 7). Pred nadaljnjo obdelavo je ta sloj sestavljalo okoli 36.600 linijskih elementov, za potrebe analize pa so bili le-ti razdeljeni na posamične ravne segmente; skupaj jih je bilo okoli 153.000. Skupna dolžina hipotetične rečne mreže je znašala 3918,5 km, kar je za 7,5-krat več od dejanske rečne mreže.

Rezultati in diskusija

Izpeljanke prostorskih podatkov, ki so bile uporabljene kot vmesni podatki za izračun modela erozivnosti

Na osnovi vrednosti, ki so bile za vsak dejavnik določene na podlagi predhodnih raziskav oziroma obstoječe literature, so bile izdelane izpeljanke osnovnih prostorskih podatkov. Te so predstavljale vhodne podatke za izračun vmesnih modelov in končnega modela ocene stopnje erozivnosti.

**Legenda:**

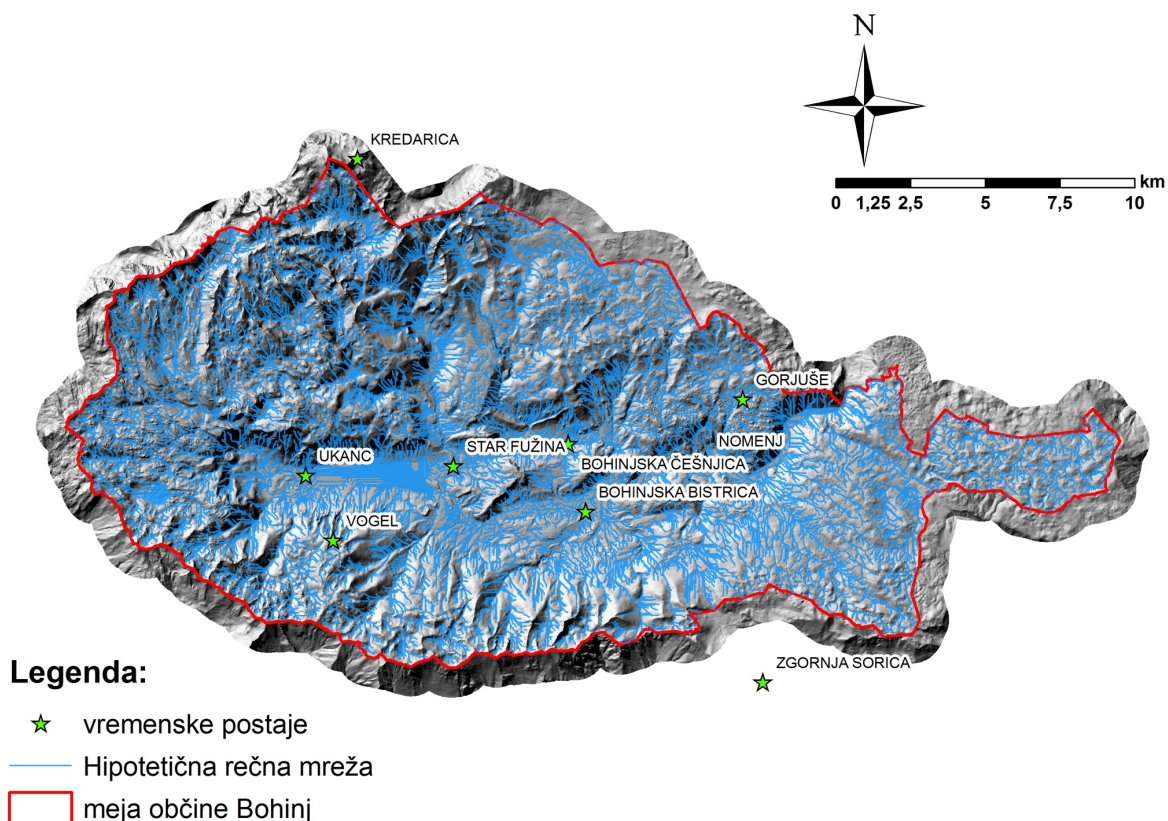
Sl. 6. Karta srednjih vrednosti erozivnosti padavin (izraženih v MJ ha⁻¹ mm h⁻¹) na območju občine Bohinj (izvirni podatki dejavnika vrednost erozivnosti padavin so imeli ločljivost 100 m).

Fig. 6. The map of the average value of the rainfall-runoff erosivity factor (in MJ ha⁻¹ mm h⁻¹) for the Bohinj municipality, delineated with the red line (the source data – layer's resolution was 100 m). The legend for the rainfall-runoff erosivity factor is given in the Table 4.

Tabela 4. Porazdelitev razredov erozivnosti na območju občine Bohinj glede na razrede razponov spemenljivke erozivnosti padavin in srednje vrednosti razreda, njihovo skupno površino, delež površine ter nominalno vrednost erozivnosti tal R' (ta podatek je bil vhodni podatek za izračun navideznega modela RUSLE po enačbi 2).

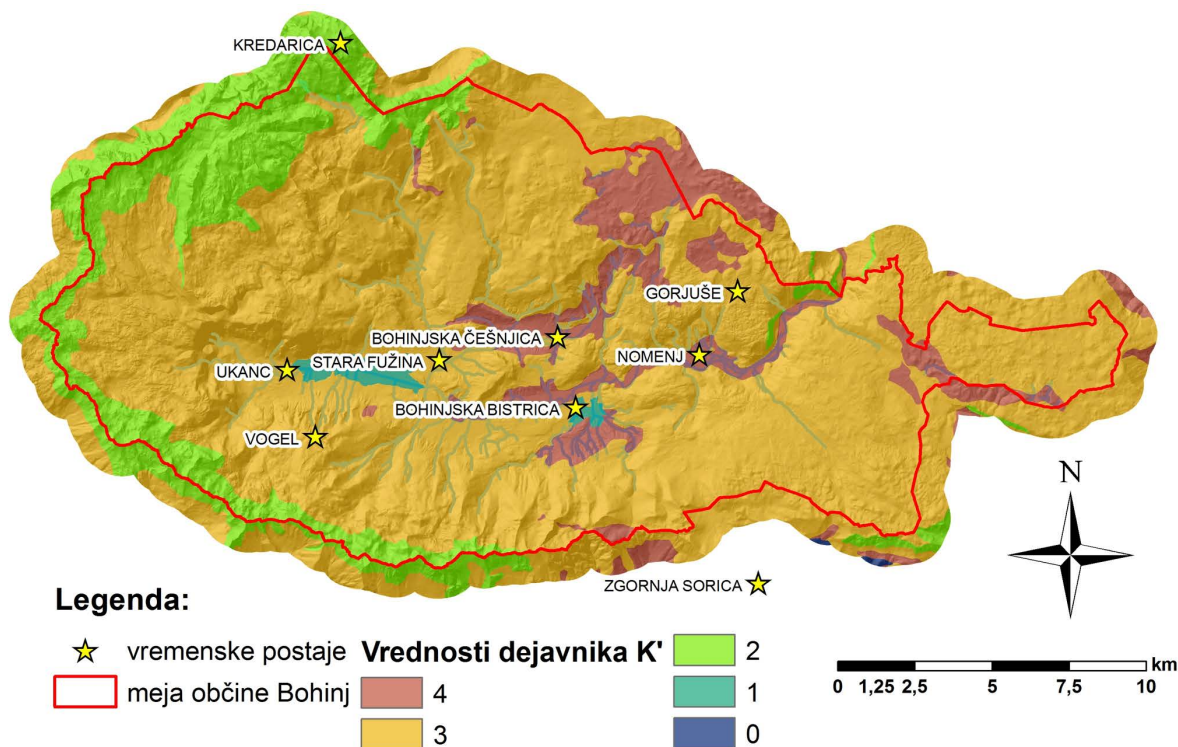
Table 4. Distribution of the rainfall-runoff erosivity factor (R Class range) in the area of Bohinj municipality. The medium value of a given class is presented in the column "Average value - R (MJ ha⁻¹ mm h⁻¹)", the area in the column "A (ha)", the area proportion in the column "A (%)", and the rainfall-runoff erosivity factor nominal value that was used for the calculation of the RUSLE model based on the Equation 2 is given in the column " R' ".

Razpon vrednosti R v razredu / R class range (MJ ha ⁻¹ mm h ⁻¹)	Srednja vrednost R / Average value R (MJ ha ⁻¹ mm h ⁻¹)	A (ha)	A (%)	R'
3200 – 3600	3400	71,18	0,21%	1
3600 – 4000	3800	804,37	2,41%	2
4000 – 4500	4250	3774,57	11,31%	3
4500 – 5000	4750	5028,30	15,07%	4
5000 – 6000	5500	6192,33	18,56%	5
6000 – 7000	6500	4042,65	12,11%	6
7000 – 8000	7500	2743,08	8,22%	7
8000 – 10.000	9000	6414,06	19,22%	8
10.000 – 12.000	11.000	4276,66	12,81%	9
12.000 – 15.000	13.500	25,32	0,08%	10



Sl. 7. Karta hipotetične rečne mreže za območje občine Bohinj (izvirni podatki – digitalni model višin – v ločljivosti 5 m).

Fig. 7. The map of the hypothetical river network (represented with blue lines) for the Bohinj municipality, delineated with the red line. The weather stations are presented with the green stars. The source data – layer's (digital elevation model) resolution was 5 m.



Sl. 8. Porazdelitev nominalnih vrednosti dejavnika stopnje erodibilnosti (K') na območju občine Bohinj glede na ocenjeno vrednost iz tabele 2 (izvirni podatki – pedološka karta – v ločljivosti 1 : 25.000). Vremenske postaje so predstavljene z rumenimi zvezdami.

Fig. 8. The distribution map of the soil erodibility factor's nominal values (K' ; "Vrednosti dejavnika K' ") for the Bohinj municipality, delineated with the red line. The source data – layer's (pedologic map) resolution was 1 : 25,000. The weather stations are represented with the yellow stars.

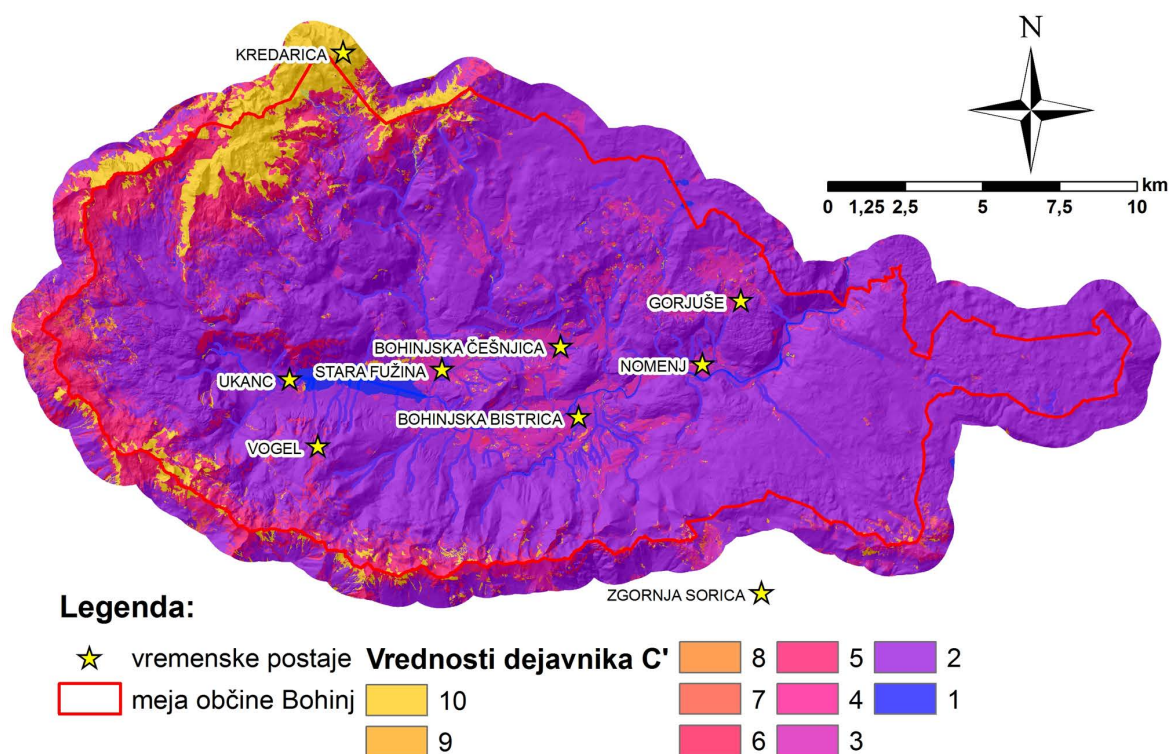
Nominalne vrednosti dejavnika stopnje erodibilnosti (K') za območje občine Bohinj, povzete iz tabele 2, so prikazane na sliki 8.

Nominalne vrednosti dejavnika erozije tal (C') za območje občine Bohinj, povzete iz tabele 3, so prikazane na sliki 9.

Vrednosti dejavnika zaščitni ukrepi (P) in njegove nominalne vrednosti P' so bile ocenjene na vrednost 1, kar pomeni, da so vsa območja podvržena enakim protierozijskim varovalnim ukrepom. To seveda ne pomeni, da ta podatek dejansko predstavlja dejansko stanje v občini Bohinj, temveč zgolj alternativo dejstvu, da informacije o dejanskem stanju zaščitnih ukrepov na obravnavanem območju ni bilo na voljo.

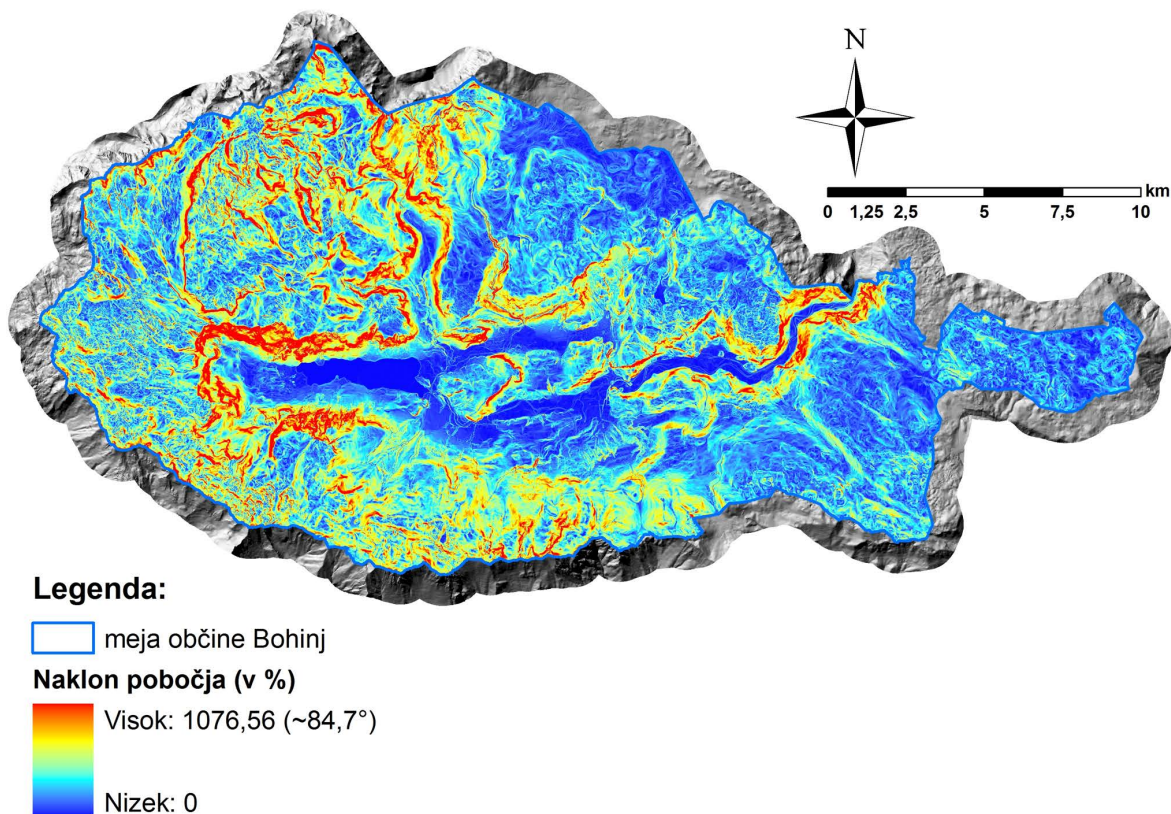
Za izračun RUSLE spremenljivke naklona in dolžine pobočja (LS) je bila iz digitalnega modela višin izračunana prostorska izpeljanka, ki opisuje naklon, ta pa predstavlja vhodni podatek za izračun spremenljivke S . Izpeljanka predstavlja prispevek površinskega toka vode za vsako celico (ang. *Flow Accumulation*) in predstavlja vhodni

podatek za izračun spremenljivke L . Na osnovi enačbe 3 je bil izračunan dejavnik naklona in dolžine pobočja (LS). Slika 10 prikazuje razpon naklonov v občini Bohinj, izražen v odstotkih, kjer 100 % pomeni naklon 45° . Vrednosti naklonov, izraženih v odstotkih naklona, so bile razvrščene v štiri razrede: (1) nakloni do 5 % ($<2,86^\circ$), (2) nakloni med 5 in 7,5 % ($2,86^\circ - 4,3^\circ$), (3) nakloni med 7,5 in 10 % ($4,3^\circ - 5,73^\circ$) ter (4) nakloni nad 10 % ($>5,73^\circ$). Osnovna statistika prostorskega pojavljanja posameznih razredov pokaže, da z 88,2 % površine prevladuje četrti razred, s 5,9 % mu sledi prvi razred, nato pa skoraj identično z 2,95 % še preostala dva razreda naklonov. Taka porazdelitev naklonov je botrovala k izbiri večje vrednosti spremenljivke m (0,4) v enačbi za izračun spremenljivke naklona in dolžine pobočja (LS) (enačba 3), ki je prikazana na sliki 11, v tabeli 5 pa je podana porazdelitev razredov dejavnika naklona in dolžine pobočja (LS) vključno s površinami v hektarih, deleži površin razredov in nominalne vrednosti dejavnika LS' , ki so služile kot vhodni podatek za izračun navideznega modela RUSLE po enačbi 2.



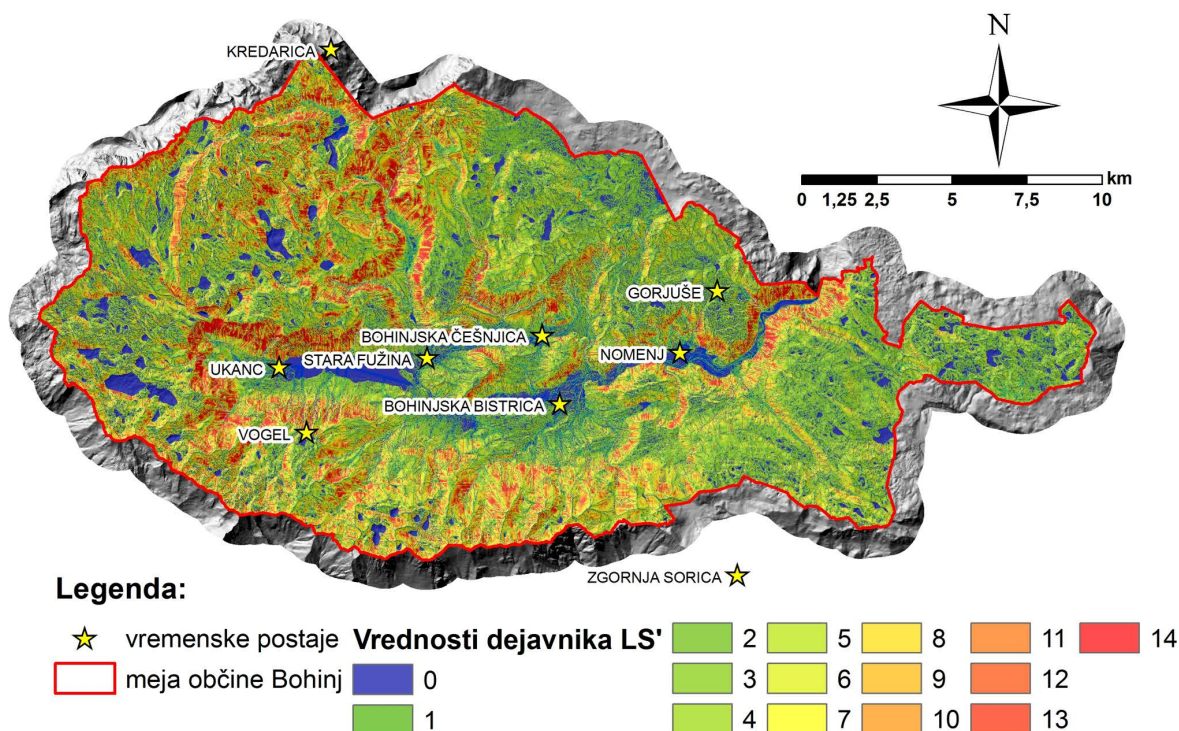
Sl. 9. Porazdelitev nominalnih vrednosti dejavnika erozije tal (C') na območju občine Bohinj glede na ocenjeno vrednost, ki jih podaja tab. 3 (izvirni podatki – raba tal – v ločljivosti 5 m). Rečna mreža je predstavljena z modrimi linijami, vremenske postaje pa z rumenimi zvezdami.

Fig. 9. The distribution map of the cover-management factor's nominal values (C') for the Bohinj municipality, delineated with the red line. The source data – layer's (landuse cover) resolution was 5 m. The river network is represented with the blue lines and the weather stations are represented with the yellow stars.



Sl. 10. Karta razponov naklonov na območju občine Bohinj. Nakloni so izraženi v %, kjer je 100 % naklon identičen 45°. Izvorni podatek – digitalni model višin – ima ločljivosti 5 m.

Fig. 10. The distribution map of the slope steepness (“Naklon pobočja”) in percentages for the Bohinj municipality, delineated with the red line. The slopes inclination values that are given in % are ranging from flat (“Nizek: 0”) to steep (“Visok: 1076,65 (~84,7°)”) where 100 % equals the slope inclination of 45°. The source data – layer’s (digital elevation model) resolution was 5 m.



Sl. 11. Karta nominalnih vrednosti dejavnika naklona in dolžine pobočja (LS'), izračunanega na osnovi enačbe 3 za območje občine Bohinj (izvorni podatki digitalnega modela višin so imeli ločljivost 5 m).

Fig. 11. The distribution map of the slope steepness - slope length factor’s nominal values (LS’) for the Bohinj municipality, delineated with the red line. Factor is calculated based on the equation 3. The source data – layer’s (digital elevation model) resolution was 5 m. The weather stations are presented with yellow stars.

Izračunana vrednost dejavnika LS / Calculated value of factor LS	A (ha)	A (%)	LS'
0-0,22	5338,983	16,0	0
0,22-2,46	2714,385	8,13	1
2,46-6,93	4807,315	14,4	2
6,93-11,4	3974,253	11,91	3
11,4-15,87	3170,405	9,5	4
15,87-20,34	2542,795	7,62	5
20,34-24,81	2094,31	6,28	6
24,81-29,28	1756,92	5,26	7
29,28-33,75	1476,745	4,43	8
33,75-38,23	1198,495	3,59	9
38,23-42,7	946,675	2,84	10
42,7-47,17	724,3325	2,17	11
47,17-51,64	536,9675	1,61	12
51,64-56,11	399,6725	1,2	13
56,11-8500,84	1690,355	5,07	14

Tabela 5. Porazdelitev razredov dejavnika naklona in dolžine pobočja (LS) s podanimi površinami, deleži razredov površin in normiranimi vrednostmi LS' (ta podatek je bil vhodni podatek za izračun navideznega modela RUSLE po enačbi 2).

Table 5. Distribution of the combined slope inclination and slope length factor («Calculated value of factor LS' ») in the area of Bohinj municipality. The area of a given class is presented in the column «A (ha)», the area proportion in the column «A (%)», and the combined slope inclination and slope length factor nominal value that was used for the calculation of the RUSLE model based on the Equation 2 is given in the column « LS' ».

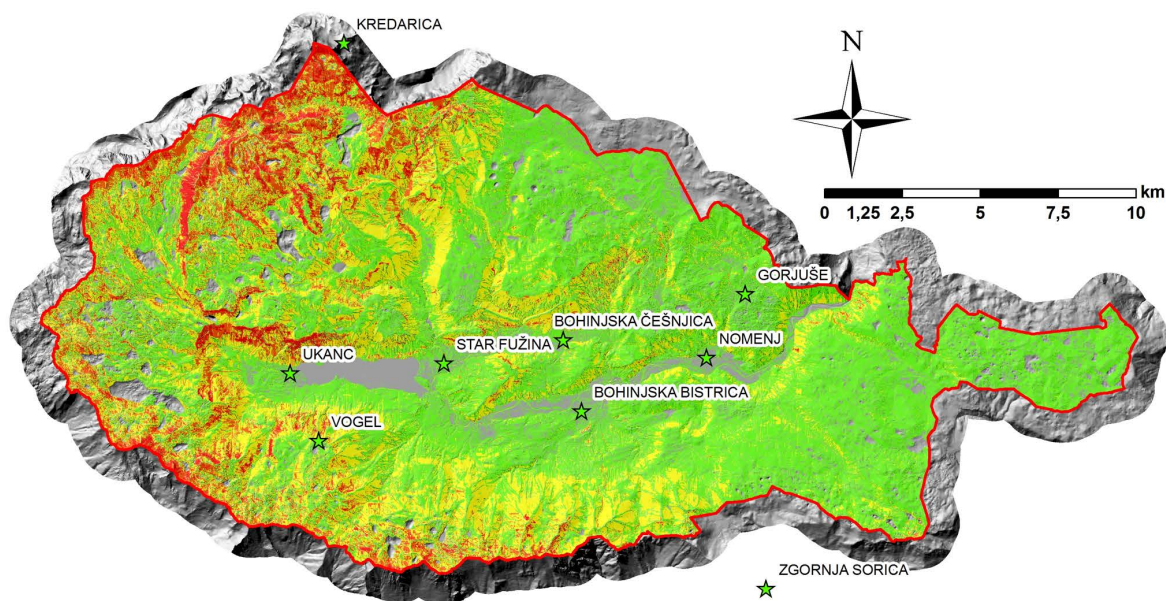
Izračun jakosti erozije v strugah kot ga podaja tabela 1, je pokazal, da prevladuje četrti razred, kjer imajo segmenti naklone, večje od $4,5^\circ$ in imajo obenem tudi vrednost po SHREVE-ju (1966) manjšo od 100. Takih segmentov je slabih 55 %. Po deležu sledijo segmenti prvega razreda, torej tisti z nakloni, manjšimi od $4,5^\circ$ in vrednost po SHREVE -ju (1966) manjšo od 100. Delež teh segmentov je 37 %. Slabih pet odstotkov (4,9 %) predstavljajo segmenti tretjega razreda z nakloni manjšimi od $4,5^\circ$ in vrednostjo po SHREVE -ju (1966) večjo od 100. Najmanj (3,1 %) je segmentov drugega razreda, ki imajo naklone večje od $4,5^\circ$ in vrednost po SHREVE -ju (1966) večjo od 100.

Izračun posameznih modelov erozivnosti in združitve v skupni model erozivnosti

Vse do sedaj predstavljene spremenljivke (K' , C' , P' , R' in LS'), ki predstavljajo nominalne vrednosti izvornih spremenljivk, so bile uporabljene za izdelavo navideznega modela RUSLE. Vrednosti modela, ki so bile izračunane na osnovi enačbe 2 in so imele razpon od 0 do 5040, so bile razdeljene na pet razredov stopnje erozivnosti na podlagi klasifikacijske metode Natural Breaks (JENKS, 1967). Stopnja erozije je bila razvrščena v pet razredov, kjer številke predstavljajo vrednosti navideznega modela RUSLE in pripisano besedilo opis razreda stopnje erozivnosti: 0 = zanemarljiva stopnja; 1-273 = majhna stopnja; 274-735 = srednja stopnja; 736-1650 = velika stopnja; 1651-5040 = zelo velika stopnja). Slika 12 prikazuje model stopnje površinske erozivnosti po opisani metodi.

Rezultat izračune stopnje erozije v strugah je dal razpone vrednosti med 0,6 in 22,358, kjer večje vrednosti predstavljajo večjo stopnjo erozije. Z namenom zagotovitve normalne porazdelitve vrednosti so bile le-te logaritmirane. Nove vrednosti pa so bile razvrščene v 16 razredov z razponom ene četrtine standardnega odklona (SD) (sl. 13), nato pa je bilo vsakemu segmentu določeno vplivno območje desetih metrov na vsako stran. Na koncu je bila stopnja erozije v strugah razvrščena v štiri razrede: 1-3 = majhna stopnja; 4-6 = srednja stopnja; 7-10 = velika stopnja; 11-16 = zelo velika stopnja). Privzeto je bilo dejstvo, da v strugah ni zanemarljive erozije, saj je ta vedno prisotna.

Oba modela erozivnosti - navidezni model RUSLE, ki podaja ploskovno erozivnost in model stopnje erozije v strugah - sta bila združena v končni model erozivnosti po principu privzeta (naj)večje vrednosti stopnje erozije, torej maksimuma obeh modelov. Skupni model stopnje erozivnosti na območju občine Bohinj z ločljivostjo 5×5 m tako predstavlja največjo stopnjo erozivnosti za posamezno osnovno celico. Slika 14 prikazuje združen model, tabela 6 pa podaja porazdelitev razredov (stopenj) erozivnosti na območju občine Bohinj po površini in deležih površine. Vrednosti v modelu pomenijo sledeče stopnje erozije: 1 – Zanemarljiva; 2 – Majhna; 3 – Srednja; 4 – Velika; 5 – Zelo velika.

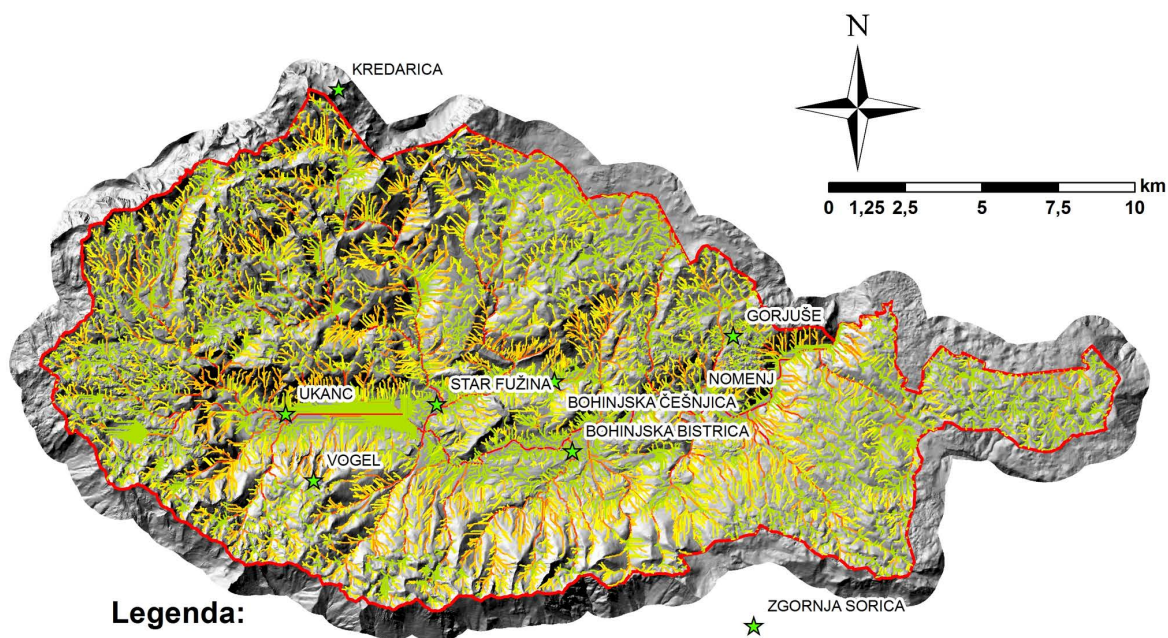


Legenda:

- ★ vremenske postaje
- meja občine Bohinj
- Zanimarljiva
- Majhna
- Stopnja erozije (m₀₂)
- Srednja
- Velika
- Zelo velika

Sl. 12. Model stopnje površinske erozivnosti (model št. 2) na območju občine Bohinj, izdelan na osnovi metode RUSLE, ki pa je v kateri pa so bile namesto dejanskih vrednosti spremenljivk uporabljene njihove nominalne vrednosti.

Fig. 12. The surface erosion model ("Stopnja erozije") (model no. 2) for the Bohinj municipality, calculated based on the RUSLE method, but using nominal values of the input factors. The municipality is delineated with the red line. The weather stations are presented with green stars.

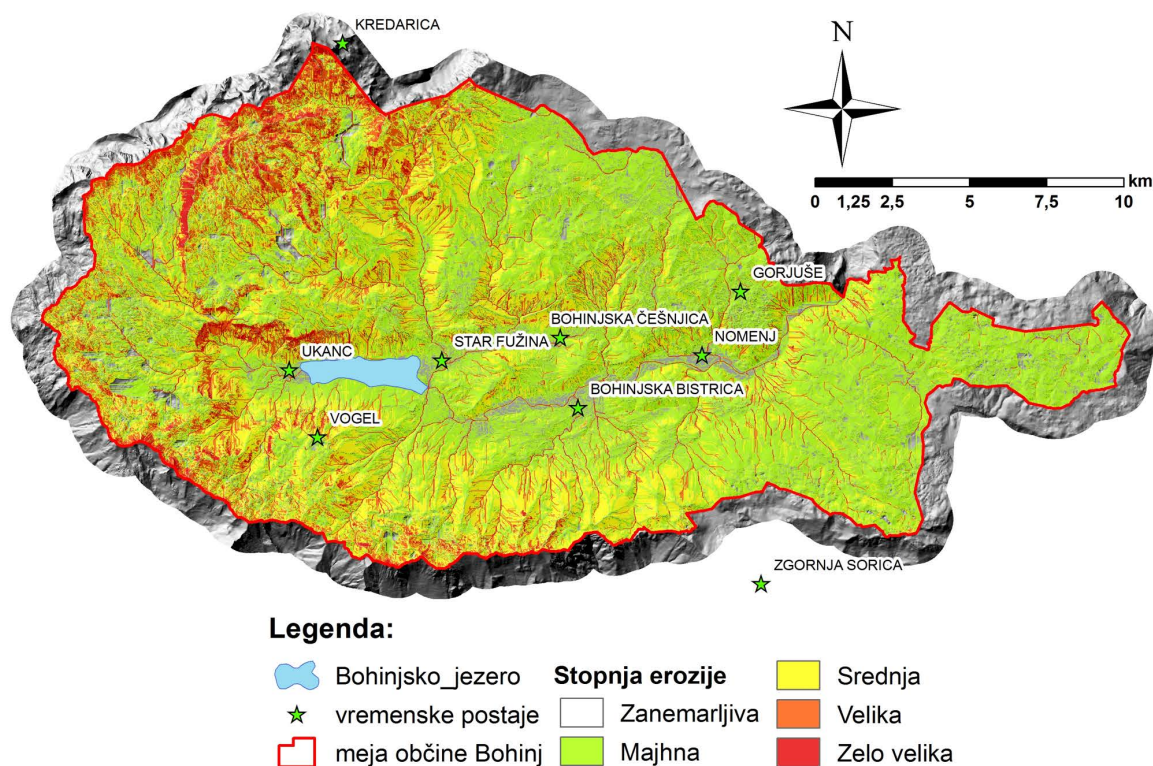


Legenda:

- ★ vremenske postaje
- meja občine Bohinj
- Stopnja erozije (log)
- < -0,88 SD
- 0,88 - -0,63 SD
- 0,63 - -0,38 SD
- 0,38 - -0,13 SD
- 0,12 - 0,37 SD
- 0,37 - 0,62 SD
- 0,62 - 0,87 SD
- 0,87 - 1,1 SD
- 1,1 - 1,4 SD
- 1,4 - 1,6 SD
- 1,6 - 1,9 SD
- 1,9 - 2,1 SD
- 2,1 - 2,4 SD
- 2,4 - 2,6 SD
- 2,6 - 2,9 SD
- > 2,9 SD

Sl. 13. Stopnja erozivnosti v strugah na območju občine Bohinj, razdeljena v razrede po četrtine standardnega odklona (SD).

Fig. 13. The model of the channel erosion level ("Stopnja erozije (log)") for the Bohinj municipality, divided into $\frac{1}{4}$ of the standard deviation values (SD). The municipality is delineated with the red line. The weather stations are presented with green stars.



Sl. 14. Združen model stopnje erozivnosti na območju občine Bohinj (izvirni podatek ima ločljivost 5×5 m).

Fig. 14. Combined erosion model levels ("Stopnja erozije") for the Bohinj municipality. The municipality is delineated with the red line and the lake is with a blue area. The erosion levels are as follows: "Zanemarljiva" – Negligible; "Majhna" – Moderate; "Srednja" – Medium; "Velika" – Large; "Zelo velika" – Very large. The source data – layer's resolution is 5×5 m.

Tabela 6. Porazdelitev razredov (stopenj) erozivnosti na območju občine Bohinj kot jih določa model, prikazan na sliki 14.

Table 6. Distribution of the erosion level classes ("Erosion class") in the area of Bohinj municipality, as are presented in the Fig. 14. The number of input classes (based on the values of the model) for each erosion level class is given in the column "No. of classes", area of a given class is presented in the column "A (ha)", and the area proportion in the column "A (%)".

#	Razred (stopnja) erozije/ Erosion class	Št. razredov/ No. of classes	A (ha)	A (%)
1	Zanemarljiva / Negligible	0 – 1	3995,8	12
2	Majhna / Low	1 – 273	16306,5	48,9
3	Srednja / Medium	274 – 735	8641,2	25,9
4	Velika / High	736 – 1650	3230,4	9,7
5	Zelo velika / Very high	1651 – 5040	1204,1	3,6

Dobljeni model predstavlja zgolj teoretično napoved, saj na podlagi izračunov prikazuje območja, kjer je verjetnost erozivnosti večja, ne podaja pa kvantitativnih informacij o natančnosti modela in informacije o zanesljivosti napovedi stopenj erozije. Posledično je njegova teža predvsem informativnega značaja. Z vidika kakovostnega ovrednotenja količinskih vrednosti, je model pomanjkljiv in ga je zato treba ovrednotiti. Ena od možnosti je preverjanje erodiranih količin na terenu ter njihova primerjava z vrednostmi vhodnih spremenljivk. Možna metoda validacije modela je njegova primerjava s podatki, pridobljenimi s terenskim kartiranjem erozijskih območij, ki je bilo izvedeno v okviru iste raziskave.

Za predstavljen primer je bila izbrana primerjava s podatki terenskega kartiranja z metodo prekrivanja obeh modelov in z navzkrižno primerjavo ujemanja vrednosti stopenj erozije (tab. 7). Erozijske stopnje na karti, izdelani na podlagi terenskega kartiranja, se nekoliko razlikujejo od vrednosti izračunanega modela in vsebujejo sledeče razrede: A – Območja antropogene erozije; B – Območja erozijskih žarišč; C – Melišča; Č – Potencialna erozijska območja (nizka stopnja); D – Potencialna erozijska območja (srednja stopnja); E – Potencialna erozijska območja (velika stopnja); F – Potencialna erozijska območja (zelo velika stopnja); G – Vršaji. Kombinacije posameznih razredov (A – 4 & 5, B – 4 & 5, C – 4 & 5, Č – 2, D – 3, E – 4, F – 5, G – 2 & 3) predstavljajo raz-

erozivnosti zgolj za nekatere erozijske procese, za izboljšanje napovedi drugih erozijskih procesov pa bi bilo treba model izboljšati.

Nedvomno bi kvaliteto modela dodatno izboljšala informacija o infiltracijski sposobnosti kamnin na obravnavanem območju, zato je v prihodnje smiselno pridobiti in vključiti tudi ta podatek. Koristen bi tudi bil podatek o varovalnih ukrepih s strani človeka (dejavnik P v modelu RUSLE), vrsto, gostoto in kakovost vegetacije pa bi lahko izboljšala z vključitev vegetacijskega indeksa (NVDI), pridobljenega iz satelitskih podob.

Zahvale

Avtorja se želita zahvaliti občini Bohinj za delno financiranje raziskave. Zahvala gre tudi ARSO in MKGP za omogočanje javnega dostopa do prostorskih podatkov.

Literatura

- ADEDJI, A., TUKUR, A.M. & ADEPOJU, K.A. 2010: Assessment of Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in Katsina Area, Katsina State of Nigeria using Remote Sensing (RS) and Geographic Information System (GIS). *Iranica Journal of Energy & Environment*, 1/3: 255-264.
- ARSO 2016a: Portal meteo.si. Uradna vremenska napoved za Slovenijo Ministrstvo za okolje in prostor – Arhiv. Agencija Republike Slovenije za okolje, Ministrstvo za okolje in prostor. Internet: <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/app/webmet/> (15.10.2016).
- ARSO 2016b: Portal e-vode. Agencija Republike Slovenije za okolje, Ministrstvo za okolje in prostor. Internet: <http://evode.arso.gov.si/> (15.10.2016).
- ASSOULINE, S. & BEN-HUR, A. 2006: Effects of rainfall intensity and slope gradient on the dynamics of interrill erosion during soil surface sealing. *Catena*, 66: 211-220.
- BUDKOVIČ, T. 1978: Stratigrafija Bohinjske doline = The stratigraphic sequence of the Bohinj Valley. *Geologija*, 21/2: 239-244.
- BUSER, S. 1986: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000, list Tolmin in Videm (Udine) (Basic geological map of Yugoslavia 1:100,000, sheet Tolmin and Udine). Zvezni geološki zavod, Beograd.
- CHAPLOT, V.A.M. & LE BISSONNAIS, Y. 2003: Runoff features for interrill erosion at different rainfall intensities, slope lengths, and gradients in an agricultural loessial hillslope. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67: 844-851.
- CHEN, H., OGUCHI, T. & WU P. 2017: Assessment for soil loss by using a scheme of alternative sub-models based on the RUSLE in a Karst Basin of Southwest China. *Journal of Integrative Agriculture*, 16/2: 377-388, [doi:10.1016/S2095-3119\(16\)61507-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61507-1).
- CIGLIČ, R., HRVATIN, M., KOMAC, B. & PERKO, D. 2012: Karst as a criterion for defining areas less suitable for agriculture = Kras kot kazalnik za določanje manj primernih območij za kmetijstvo. *Acta geographica Slovenica*, 52/1: 61-98, [doi:10.3986/AGS52103](https://doi.org/10.3986/AGS52103).
- DABNEY, S.M., YODER, D.C. & FERRUZZI, G.G. 2014: Forage Harvest Representation in RUSLE2. *Agron. J.*, 106: 151-167, [doi:10.2134/agronj2013.0059](https://doi.org/10.2134/agronj2013.0059).
- DAI, Q., PENG, X., YANG, Z. & ZHAO, L. 2017: Runoff and erosion processes on bare slopes in the Karst Rocky Desertification Area. *Catena*, 152: 218-226, [doi:10.1016/j.catena.2017.01.013](https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.01.013).
- DESMET, P.J.J. & GOVERS, G. 1996: A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of soil and water conservation, J. Soil Water Conserv.*, 51: 427-433.
- EBISEMIJU, F.S. 1988: Gully morphometric controls in a laterite terrain, Guyana. *Geo-Eco-Trop*, 12/1-4: 41-59.
- EBISEMIJU, F.S. 1989: A Geomorphological Approach to Land Use Planning and Soil Conservatio. *Journal of Environmental Management*, 28: 327-336.
- EBISEMIJU, F.S. & ADO, E. 1989: A morphometric approach to gully analysis. *Z.Geomorph. N.F.* 33/3: 307-322.
- FAO 1988, 1990. FAO-Unesco-ISRIC Soil Map of the World, Revised Legend (with corrections in the 1990 version). World Resources Report 60. FAO, Rim.
- FENG, T., CHEN, H., POLYAKOV, V.O., WANGA, K., ZHANGE, X. & ZHANG, W. 2016: Soil erosion rates in two karst peak-cluster depression basins of northwest Guangxi, China: Comparison of the RUSLE model with ¹³⁷Cs measurements. *Geomorphology*, 253: 217-224, [doi:10.1016/j.geomorph.2015.10.013](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.10.013).
- FERNANDEZ, C., WU, J.Q., MCCOOL, D.K. & STÖCKLE, C.O. 2003: Estimating water erosion and sediment yield with GIS, RUSLE, and SEDD. *Journal of Soil and Water Conservation*, 58/3: 128-136.

- FLOOR, J. A. 2016: Soil erosion and conservation - part1. Internet: www.seafriends.org.nz/en-viro/soil/erosion.htm (15.10.2016.)
- FOSTER, G.R., YODER, D.C., MCCOOL, D.K., WEESIES, G.A., TOY, T.J. & WAGNER, L.E. 2000: Improvements in science in RUSLE2. Paper No. 00-2147. ASAE.
- FOSTER, G.R., YODER, D.C., WEESIES, G.A. & TOY, T.J. 2001: The Design Philosophy Behind RUSLE2: Evolution of an Empirical Model. In: ASCOUGH, J.C. II & FLANAGAN, D.C. (eds.): Soil Erosion Research for the 21st Century, Proc. Int. Symp. (3-5 January 2001, Honolulu, HI, USA), 95-98.
- FU, B.J., ZHAO, W.W., CHEN, L.D., ZHANG, Q.J., LÜ, Y.H., GULINCK, H. & POESEN, J. 2005: Assessment of soil erosion at large watershed scale using RUSLE and GIS: A case study in the Loess Plateau of China. *Land Degrad. Dev.*, 16: 73-85.
- GELAGAY, H.S. & MINALE, A.S. 2016: Soil loss estimation using GIS and Remote sensing techniques: A case of Koga watershed, Northwestern Ethiopia. *International Soil and Water Conservation Research*, 4/2: 126-136.
- GERK 2016: Podatkovni portal MKGP. Internert: <http://rkg.gov.si/GERK/> (15.10.2016).
- GRIMŠIČAR, A. 1961: O geoloških razmerah med Bohinjem in Triglavskimi jezeri = Geologic relationship between Bohinj and Triglav lakes area. *Geologija*, 7: 283-285.
- HE, C., XIONG, K., LI, X. & CHENG, X. 1998: Karst geomorphology and its agricultural implications in Guizhou, China. Fourth International Conference On Geomorphology - Bologna, Italy 1997. *Supplements of Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, Volume III. Torino.
- HRVATIN, M., KOMAC, B., PERKO, D. & ZORN, M., 2006: Slovenia. In: *Soil erosion in Europe*. Wiley, Chichester, 297-310.
- JENKS, G.F. 1967: The Data Model Concept in Statistical Mapping. *International Yearbook of Cartography*, 7: 186-190.
- JURKOVŠEK, B. 1987: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000, list Beljak in Ponteba (Basic geological map of Yugoslavia 1:100,000, sheet Villach and Pontebba). Zvezni geološki zavod, Beograd.
- KASSAM, A.H., VAN VELTHUIZEN, H.T., MITCHELL, A.J.B., FISCHER, G.W. & SHAH, M.M. 1992: Agro-ecological land resources assessment for agricultural development planning. A case study of Kenya. Resources data base and land productivity. Technical Annex 2. Soil Erosion and Productivity. Land and Water Development Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations and International Institute for Applied Systems Analysis, 59 p.
- KHEIR, R.B, ABDALLAH, C. & KHAWLIE, M. 2008: Assessing soil erosion in Mediterranean karst landscapes of Lebanon using remote sensing and GIS. *Engineering Geology*, 99/3-4: 239-254, [doi:10.1016/j.geomorph.2015.10.013](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.10.013)
- 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: 53-86.
- KOMAC, B. & ZORN, M. 2007: Pobočni procesi in človek = Slope processes and man. ZRC Publishing, Ljubljana:217 p.
- KOMAC, B., ZORN, M. & GABROVEC, M. 2007: Influence of land use changes on erosion in Slovene Alps. In: *Man in the landscape across frontiers: landscape and land use change in Central European border regions: proceedings*. Charles University, Prague: 221-234.
- LAZAREVIĆ, R. 1968: Erozija u slivu Gvozdačke reke - prilog metodici za izradu karte erozije = Erosion in the Gvozdačka reka river basin - supplement to the instructions for erosion map elaboration. *Glasnik Srpskog geografskog društva*, 49/2: 75-98.
- LAZAREVIĆ, R. 1985: Novi postupak za određivanje koeficijenata erozije (Z) = The new method for erosion coefficient determination - Z. *Erozija - stručno-informativni bilten*, 13: 54-61.
- LIM, K. J., SAGONG, M., ENGEL, B.A., TANG, Z., CHOI, J. & KIM, K. 2005: GIS-based sediment assessment tool. *Catena*, 64: 61-80.
- LIU, B.Y., NEARING, M.A., SHI, P.J. & JIA, Z.W. 2001: Slope length effects on soil loss for steep slopes. In: SCOTT, D.E., MOHTAR, R.H. & STEINHARD, G.C. (eds.): *Sustaining the Global Farm. Selected papers from the 10th International Soil Conservation Organisation Meeting (May 24-29, 1999)*, Purdue University, USA: 784-788.
- LÓPEZ-VICENTE, M., NAVAS, A. & MACHÍN, J. 2008: Identifying erosive periods by using RUSLE factors in mountain fields of the Central Spanish Pyrenees. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 12: 523-535.
- LOVRENČAK, F. 1987: Zgornja gozdna meja v Julijskih Alpah in na visokih kraških planotah Slovenije = The upper forest line in the Julian Alps and in high Karst plateaus of Slovenia. *Geografski zbornik*, 26: 7-62.

- LOWN, J.B., LYON, J.P. & YODER, D.C. 2000: A Scientific Modeling Architecture to Simultaneously Meet Needs of Scientists, Programmers, Data Managers, and End-Users. Paper No. 003051. ASAE.
- MAČEK, J. 2006: Analiza erozivnosti padavin na območju Kamniško-Savinjskih Alp. Diplomaska naloga. UL, FGG, Vodarstvo in komunalno inženirstvo, Ljubljana: 79 p.
- MIKOŠ, M., FAZARINC, R. & RIBIČIČ, M. 2006: Sediment production and delivery from recent large landslides and earthquake-induced rock falls in the Upper Soča River Valley, Slovenia. *Engineering geology*, 86/2-3: 198-210.
- MITASOVA, H., HOFIERKA, J., ZLOCHA, M. & IVERSON, R. 1996: Modelling Topographic Potential for Erosion and Deposition using GIS. *International Journal of Geographical Information Systems*, 10/5: 629-641.
- OLIVEIRA, P.T.S., RODRIGUES, D.B.B., ALVES SOBRINHO, T., PANACHUKI, E. & WENDLAND, E. 2013: Use of SRTM data to calculate the (R) USLE topographic factor. *Acta Scientiarum. Technology*, 15: 507-513, doi:10.4025/actasci-technol.v35i3.15792.
- PANAGOS, P., BORRELLI, P. & MEUSBURGER, K. 2015a: Estimating the soil erosion cover management factor at the European scale. *Land Use Policy*, 48: 38-50.
- PANAGOS, P., BORRELLI, P., MEUSBURGER, K., VAN DER ZANDENC, E. H., POESEND, J. & ALEWELLB, C. 2015b: Modelling the effect of support practices (P-factor) on the reduction of soil erosion by water at European scale. *Environmental Science & Policy*, 51: 23-34.
- PEARCE, F.J. 1987: Complexity of the landscape. In: HALBACH, D., RUNGE, C.F., LARSON, W.E. (eds.): *Making soil and water conservation work: scientific and policy perspectives*, Aukenev, Iowa, Soil Conservation Society of America.
- PETAN, S. 2010: Meritve in prostorsko modeliranje erozivnosti padavin kot parametra erozije tal. Doktorska disertacija. UL, FGG, Oddelek za okoljsko gradbeništvo, Ljubljana: 205 p.
- PETAN, S., PADEŽNIK, M., ZORN, M., ŠRAJ, M., VIDMAR, A., MIKOŠ, M. & BRILLY, M. 2008a: Measurements and modelling of rainfall interception and soil erosion processes on the Dragonja experimental river basin. In: MORELL, M. (ed.): *Balwois: abstracts, Conference on Water observation and information system for decision support*, 27-31 May 2008 Ohrid, Republic of Macedonia. Gradežen fakultet Skopje: 371-372.
- PETAN, S., RUSJAN, S., VIDMAR, A. & MIKOŠ, M. 2010: The rainfall kinetic energy-intensity relationship for rainfall erosivity estimation in the Mediterranean part of Slovenia. *Journal of Hydrology*, 391/3-4: 314-321, doi:10.1016/j.jhydrol.2010.07.031.
- PETAN, S., ZORN, M. & MIKOŠ, M. 2008b: Measurements of interrill soil erosion under different land use in Slovene Istria. In: *Abstracts of the contributions of the EGU General Assembly 2008: Vienna, Austria*, 13-18 April 2008, Vol. 10: 1 p.
- PETKOVŠEK, G. 2002: Kvantifikacija in modeliranje erozije tal z aplikacijo na povodju Dragonje. Doktorska disertacija. UL, FGG, Oddelek za gradbeništvo, Ljubljana: 205 p.
- PINTAR, J., MIKOŠ, M. & VERBOVŠEK, V. 1986: Elementi okolju prilagojenega urejanja vodotokov: alternativa utesnjevanju živih naravnih procesov v toge objekte = Elements of the water management – an alternative to narrowing of live natural processes in rigid objects. In: SIMONOVIĆ, S. (ed.): *Drugi kongres o vodama Jugoslavije*. Jugoslovensko društvo za odvodnjavanje I navodnjavanje; Beograd: 800-814.
- RENARD, K.G., FOSTER, G.R., WEESIES, G.A., MCCOOL, D.K. & YODER, D.C. 1997: Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). Washington, DC, USDA ARS. *Agricul. Handbook* 703: 384 p.
- SHREVE, R. L. 1966: Statistical Law of Stream Number. *Journal of Geology*, 74: 17-37.
- TOY, T.J., FOSTER, G.R. & RENARD, K.G. 2002: *Soil Erosion: Processes, Prediction, Measurement, and Control*. John Wiley & Sons: 338 p.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. 1958: Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Trans Am. Geophys. Union*, 39: 285-291.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. 1965: Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. Washington, DC, USDA ARS. *Agricul. Handbook*, 282: 47 p.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. 1978: Predicting rainfall erosion losses. Washington, DC, USDA ARS. *Agricul. Handbook*, 537: 57 p.
- ZACHAR, D. 1982: *Soil erosion. Developments in Soil Science* 10. Elsevier Scientific, Amsterdam: 547 p.
- ZHANG, Z., SHENG, L., YANG, J., CHEN, X.A., KONG, L. & WAGAN, B. 2015: Effects of Land Use and Slope Gradient on Soil Erosion in a Red Soil Hilly Watershed of Southern China. *Sustainability*, 7: 14309-14325, doi:10.3390/su71014309.

- ZHANG, H., YANG, Q., LI, R., LIU, Q., MOORE, D., HE, P., RITSEMA, C.J. & GEISSEN, V. 2013: Extension of a GIS procedure for calculating the RUSLE equation LS factor. *Comput. Geosci.* 52: 177–188, doi:10.1016/j.cageo.2012.09.027.
- ZHANG, H., YAO, Z., YANG, Q., LI, S., BAARTMAN, J.E.M., GAI, L., YAO, M., YANG X., RITSEMA, C.J. & GEISSEN, V. 2017: An integrated algorithm to evaluate flow direction and flow accumulation in flat regions of hydrologically corrected DEMs. *Catena*, 151: 174-181, doi:10.1016/j.catena.2016.12.009.
- ZHAO, X.N., HUANG, J., WU, P.T., & GAO, X.D. 2014: The dynamic effects of pastures and crop on runoff and sediments reduction at loess slopes under simulated rainfall conditions. *Catena*, 119: 1–7.
- ZINGG, A.W. 1940: Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff. *AgricEng*, 21: 59–64.
- ZORN, M. 2008: Erozijski procesi v slovenski Istri = Erosion processes in Slovene Istria. ZRC Publishing, Ljubljana: 423 p.
- ZORN, M. & KOMAC, B. 2009: Response of soil erosion to land use change with particular reference to the last 200 years (Julian Alps, Western Slovenia). *Revista de geomorfologie*, 11: 39-47.
- ZORN, M., MIKO, M., PETAN, S. & MIKOŠ, M. 2007: Measurements of interrill erosion on flysch soil under different land use (SW Slovenia). In: Abstracts of the contributions of the EGU General Assembly 2007: Vienna, Austria, 15–20 April 2007, Vol. 9: 2 p.
- ŽABOTA, B. 2015: Ocenjevanje erozije prsti s pomočjo metode RUSLE. *Geomix*, 22/1: 52-56.
- Internetni vir:
INTERNET 1: <http://gis4geomorphology.com/ls-factor-in-rusle/> (15.10.2016)