

# UPORABA RELIEFNEGA KOEFICIENTA ZA ZAZNAVANJE POTENCIALNIH OBMOČIJ GRBINASTIH TRAVNIKOV NA OSNOVI POSNETKOV LASERSKEGA SKENIRANJA POVRŠJA (LIDAR)

**Janez Bergant, Peter Kastelic, dr. Irena Bertoncelj**

Kmetijski inštitut Slovenije

jani.bergant@kis.si

peter.kastelic@kis.si

irena.bertoncelj@kis.si

DOI: [https://doi.org/10.3986/9789610504696\\_02](https://doi.org/10.3986/9789610504696_02)

UDK: 911.2:551.4:528.8.044.6

## IZVLEČEK

**Uporaba reliefnega koeficienta za zaznavanje potencialnih območij grbinastih travnikov na osnovi posnetkov laserskega skeniranja površja (LiDAR)**

V prispevku smo preizkusili metodo za identifikacijo območij grbinastih travnikov z uporabo posnetkov laserskega skeniranja in podatkov rabe tal. Metoda temelji na izračunu reliefnega koeficienta, ki smo ga ponovili s procesnimi okni  $3 \times 3$ ,  $5 \times 5$  in  $9 \times 9$  celic. Za klasifikacijo grbinastih in ravnih travnikov smo uporabili metodo največje verjetnosti, končno opredelitev grbinastih travnikov pa z metodo glajenja na procesnih oknih  $5 \times 5$ ,  $10 \times 10$  in  $15 \times 15$  celic. Skupno 9 metodoloških postopkov smo pilotno preizkusili na območju Zgornje Radovne in doline Krme, kjer smo grbinaste travnike kartirali in jih razdelili v učne in validacijske poligone. Med devetimi postopki zaznavanja grbinastih travnikov smo pri štirih ugotovili zanesljivost med 80 in 91 %.

## KLJUČNE BESEDE

grbinasti travniki, geomorfologija, reliefni koeficient, LiDAR, daljinsko zaznavanje, geomorfometrija, nadzorovana klasifikacija

## ABSTRACT

**Use of relief coefficient for identification of potential areas of hummocky meadows based on LiDAR images**

We examined the use of relief coefficient calculated using LiDAR imagery and land use data as a method for the identification of hummocky meadows. Relief coefficient calculation was repeated with a process windows of  $3 \times 3$ ,  $5 \times 5$ , and  $9 \times 9$  cells. The maximum likelihood method was used for classification and smoothing method on the process windows of  $5 \times 5$ ,  $10 \times 10$ , and  $15 \times 15$  cells for the final detection of hummocky meadows. The method was tested in the area of Zgornja Radovna and the Krma Valley, where hummocky meadows were identified and separated into learning and validation data sets. Four out of nine procedures reached satisfactory reliability of the detection of hummocky meadows with accuracy between 80 and 91%.

## KEY WORDS

hummocky meadows, geomorphology, relief coefficient, LiDAR, remote sensing, geomorphometry, supervised classification

## 1 Uvod

Grbinasti travniki so geomorfološka posebnost z značilnim mikroreliefom izmenjevanja izboklin in vdolbin različnih oblik in velikosti, ki se pojavljajo v alpskem in predalpskem svetu (Cvetek 1971; Embleton-Hamann 2004). Okoljski dejavniki, ki določajo rastne pogoje za vegetacijo, so na grbinastih travnikih zaradi razgibanosti površja precej raznoliki, kar omogoča visoko botanično pestrost teh travnikov (Gutser in Kuhn 1998; Prezelj 2012) ter posledično tudi visoko pestrost nekaterih živalskih skupin kot so metulji (Krämer, Poniatowski in Fartmann 2012) in kobilice (Löffler in Fartmann 2017). Po drugi strani pa je zaradi razgibanosti terena kmetijska obdelava grbinastih travnikov zelo težka, saj onemogoča strojno in zahteva ročno košnjo. Grbinasti travniki so del naravne in kulturne dediščine in so se ohranili zaradi dolgoletne ročne košnje (Ambrožič 2006). Dejstvo je, da je veliko grbinastih travnikov v preteklosti izginilo, saj so jih kmetje izravnali ali pa prenehali kositi in so se posledično zarasli z gozdom, kar se dogaja še danes. V predgorju Alp na Bavarskem je od dvajsetih let preteklega stoletja do danes izginilo več kot 95 % grbinastih travnikov (Krämer, Poniatowski in Fartmann 2012). Kartiranje 1939,8 ha velikega območja v Bohinju v zgodnjih devetdesetih letih je pokazalo, da grbinasti travniki obsegajo le 19 % območja. Od ostalih površin je bilo 39 % površin izravnanih, 30 % grbinastih travnikov je bilo zaraščenih in 12 % so predstavljale druge ne-grbinaste površine (rečne struge, ceste, stavbna zemljišča) (Odar 1993).

Da bi preprečili izginjanje grbinastih travnikov, je bil v okviru Programa razvoja podeželja (PRP) leta 2004 prvič razpisan ukrep »košnja grbinastih travnikov«, ki naj bi pripomogel k iskanju kompromisa med ohranjanjem grbinastih travnikov in kmetijsko rabo na teh območjih. Kljub finančni podpori je zanimanje kmetov za vključevanje v omenjeni ukrep zelo nizko in je v zadnjem obdobju PRP (2014–2020) doseglo samo 9 % površin, ki so bile predvidene kot cilj PRP (Bergant s sodelavci 2019). Za namen priprave predloga posodobljenega ukrepa »košnja grbinastih travnikov« v PRP za obdobje 2021–2027, se kažejo potrebe po posodobitvi prostorske evidence prisotnosti grbinastih travnikov v naravi.

Opredelitev grbinastih travnikov ni enoznačna. Od slovenskih raziskovalcev so se z morfometrijo grbin ukvarjali Cvetek (1971), Ambrožič (2006) in Koblar (2013). Različni avtorji navajajo višine grbin med 30 in 150 cm, premer grbin pa med 80 in celo 700 cm (preglednica 1; Hamann 1985; Embleton-Hamann 2004; Ambrožič 2006; Koblar 2013).

*Preglednica 1: Morfometrične značilnosti grbin povzete po tujih in slovenskih avtorjih (n. p. pomeni ni podatka). Viri, ki so označeni z \*, so posredno povzeti po Hamannu (1985).*

Vir:	prevladujoča višina (skrajne vrednosti) [cm]	prevladujoč premer grbin (skrajne vrednosti) [cm]	prevladujoča gostota grbin (skrajne vrednosti) [število grbin na ha]
Engelschalk (1971)*	40–50 (25/150)	200–400 (100/700)	570 (170/900)
Gracanin (1970)*	50–100 (n. p./150)	80–300	n. p.
Wölfel (1975)*	(100/n. p.)	100–300	500
Müller (1959)*	30–150	n. p.	n. p.
Penck (1940/41)*	30–50	200–300	n. p.
Knauer (1943)*	(n. p./150)	200–300	n. p.
Lutz (1947)*	50 (n. p./100)	300–400 (200/500)	n. p.
Embelton-Hamann (2004)	52	250–510	400
Cvetek (1971) – Slo	(n. p./150)	200–300	2000
Ambrožič (2006) – Slo	32	n. p.	n. p.
Koblar (2013) – Slo	30–150	100–500	(1750/1775)

V tej nalogi predstavljamo preizkus metode zaznavanja potencialnih območij grbinastih travnikov z uporabo posnetkov laserskega skeniranja površja (angleško *light detection and ranging*, LiDAR). Namen metode je na cenejši in hitrejši način nakazati potencialna območja pojava grbinastih travnikov v Sloveniji. V prispevku so podani rezultati validacije omenjene metode na testnem območju Triglavskega narodnega parka (TNP).

## 2 Metode dela

Za testno območje, na katerem smo izdelovali in preverjali metode dela, smo izbrali dolino Zgornje Radovne in dolino Krme, kjer so bili grbinasti travniki v preteklosti že preučevani (Ambrožič 2006; Prezelj 2012; Koblar 2013). Identifikacijo grbinastih travnikov na izbranem testnem območju smo izvedli na terenu 5. 9. 2019 in 21. 11. 2019. Skupno smo kartirali 80,9 ha površin in območja travnikov razdelili na učna in validacijska območja. Učna območja so obsegala 16 poligonov v skupni površini 11,3 ha med katerimi so 4 grbinasti (5,8 ha) in 12 ravnih travnikov (5,4 ha). Validacijska območja so obsegala 39 poligonov s površino 69,6 ha, od katerih je 16 poligonov v površini 11,0 ha opredeljenih kot grbinasti travniki, 23 poligonov v površini 58,6 ha pa kot ravni travniki.

Kot vhodni podatek smo uporabili oblak točk reliefa (OTR), ki smo ga za naše testno območje pridobili na Agenciji Republike Slovenije za okolje (ARSO). V prvem koraku smo pridobljene podatke pretvorili iz formata laz v format las. Za pretvorbo smo uporabljali odprtokodni programski paket LAsTools. Z uporabo orodij, ki so na voljo v programskem paketu WhiteboxTools, smo z metodo triangulacijske interpolacije (TIN) iz podatkov OTR v formatu las izdelali lasten digitalni model višin (DMV) testnega območja z ločljivostjo 0,5 m (slika 1).

Razčlenjenost površja smo kvantitativno ocenili z uporabo reliefnega koeficienta in kot vhodni podatek uporabili omenjeni DMV. Pri tem smo uporabljali programsko opremo ArcGIS Desktop (ArcInfo 10.0). Reliefni koeficient je uporabil že Perko (2001) za določanje morfoloških enot Slovenije z uporabo DMV z ločljivostjo 100 m. Reliefni koeficient združuje tako višinsko kot tudi naklonsko razčlenjenost prostora. V geoinformacijskem smislu reliefni koeficient sodi v analizo konteksta, saj upošteva vrednosti okolice (procesno okno), rezultat pa zapisuje v središčno celico. Koeficient metodološko temelji na izračunu koeficienta variacije, ki je s 100 pomnoženo razmerje med standardnim odklonom in povprečjem (Perko 2001). Višinski in naklonski koeficient se izračunata po formulah:

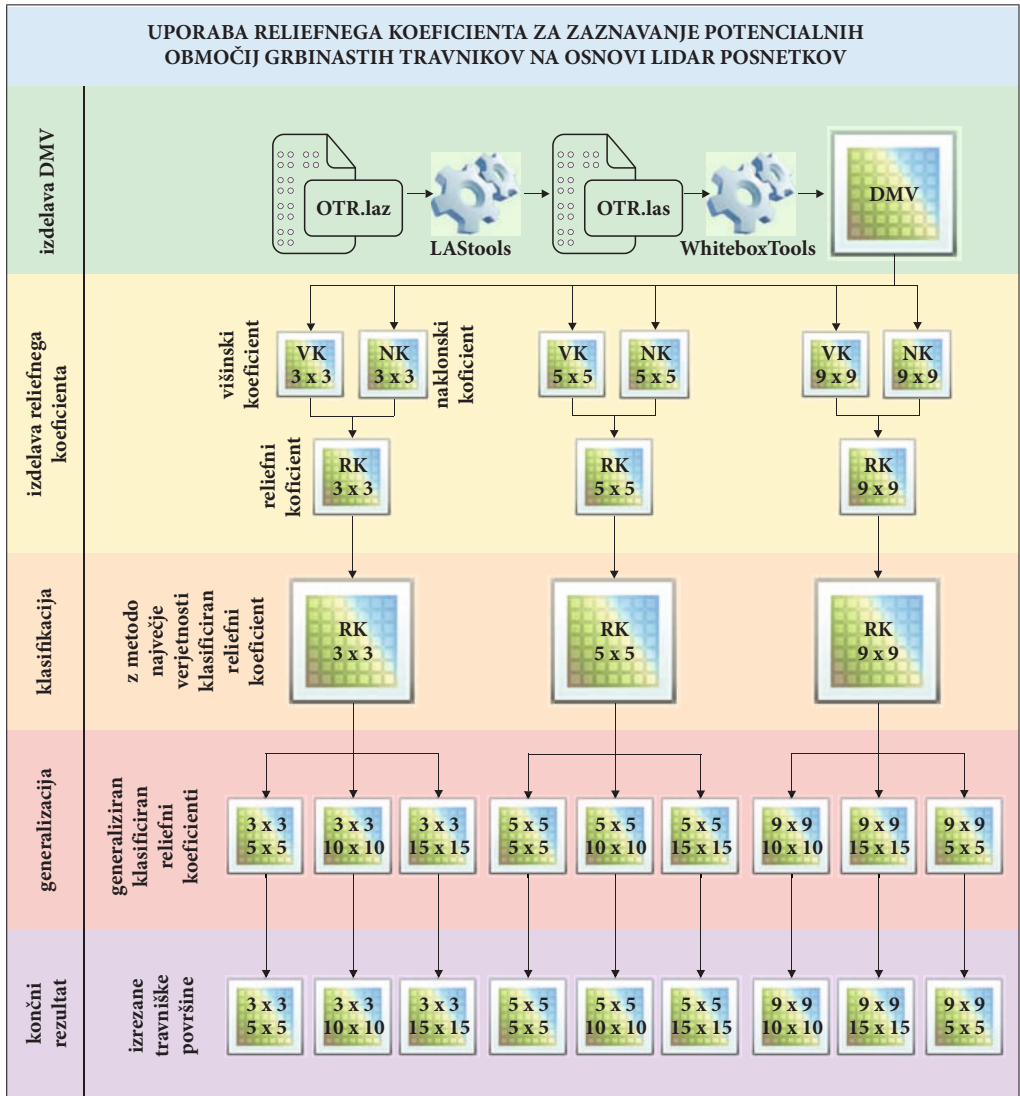
$$Vk = \frac{(\sigma_V \cdot 100)}{AS_V}$$

in

$$Nk = \frac{(\sigma_N \cdot 100)}{AS_N},$$

kjer  $Vk$  predstavlja višinski,  $Nk$  pa naklonski koeficient znotraj procesnega okna. V obeh formulah  $\sigma$  pomeni standardni odklon nadmorske višine ( $V$ ) oziroma naklona ( $N$ ) znotraj procesnega okna,  $AS$  pa aritmetično sredino nadmorskih višin ( $V$ ) oziroma naklonov ( $N$ ) znotraj procesnega okna. Procesno okno se nato pomika po celotnem rastrskem sloju in ponavlja postopek izračuna. Po kriterijih za opredeljevanje grbinastih travnikov navedenih v literaturi smo pri naši prostorski analizi za procesno okno izbrali obliko kvadrata z velikostjo  $3 \times 3$  celice (soseščina 8 celic oziroma območje  $1,5 \times 1,5$  m). Nato smo postopek ponovili še na dveh ravneh: s procesnim oknom  $5 \times 5$  celic (soseščina 24 celic oziroma območje  $2,5 \times 2,5$  m) in  $9 \times 9$  celic (soseščina 80 celic oziroma območje  $4,5 \times 4,5$  m). Iz višinskega in naklonskega koeficienta smo izračunali geometrično sredino in tako izdelali sloj reliefnega koeficienta za vse tri velikosti procesnega okna (vse resolucije 0,5 m; oznake relkoef33, relkoef55, relkoef99; slika 1).

Da bi lahko opredelili morfološki enoti »grbinast travnik« in »raven travnik«, smo zvezne vrednosti, ki so končni rezultat zgoraj opisanega koeficienta, klasificirali v dva morfološka razreda (ravno površje, grbinasto površje). Za to smo uporabili postopek nadzorovane klasifikacije in metodo največje verjetnosti (angleško *maximum likelihood classification*; *MAXLIKE*), pri čemer smo skušali vsako celico na podlagi vrednosti uvrstiti v enega izmed znanih razredov, ki smo jih s spektralnimi podpisi določili na učnih območjih. V postopku smo določili, da ima vsaka rastrska celica enake možnosti uvrščanja v katerikoli razred. Vsaka celica rastrskega sloja je bila na koncu uvrščena v razred, za katerega je imela največjo verjetnost članstva (slika 1).



Slika 1: Shematski pregled uporabe reliefnega koeficienta za zaznavanje potencialnih območij grbinastih travnikov na osnovi posnetkov laserskega skeniranja.

Vsaakega od treh klasificiranih reliefnih koeficientov smo s postopkom glajenja oziroma generalizacije opredelili kot morfološko enoto (ravno; grbinasto). Središčna celica je prejela vrednost najpogostejše vrednosti celic okoliškega okna. Glajenje smo opravili na okoliškem oknu  $5 \times 5$  celic ( $2,5 \text{ m} \times 2,5 \text{ m}$ ) ter postopek ponovili še na okolici  $10 \times 10$  celic ( $5 \times 5 \text{ m}$ ) in  $15 \times 15$  celic ( $7,5 \times 7,5 \text{ m}$ ). Tako smo za vsakega od treh reliefnih koeficientov izdelali 3 končne rastrske sloje – skupaj 9 rastrskih slojev (slika 1) in s tem preizkusili skupno 9 metodoloških postopkov.

Iz devetih rastrskih slojev smo na koncu izrezali le območja travniških in podobnih zemljišč. Sem smo uvrstili naslednje vrste rabe iz sloja rabe tal, ki ga hrani Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (stanje 31. 8. 2018): trajni travnik (identifikacijska številka 1300), barjanski travnik (1321), kmetijsko zemljišče z gozdnim drevjem (1800), kmetijsko zemljišče v zaraščanju (1410), drevesa in grmičevje (1500) ter neobdelana kmetijska zemljišča (1600). Omenjene kategorije smo pretvorili v rastrski format resolucije 1 m, saj procesorske zmogljivosti niso dovoljevale resolucije 0,5 m. Tako smo opredelili končne morfološke enote na travnikih, ki smo jih prikazali v resoluciji  $1 \times 1 \text{ m}$  z vrednostmi: 1 – raven travnik, 2 – grbinast travnik (slika 1).

Za statistični preizkus razlik vrednosti reliefnega koeficienta med kategorijama grbinasti travniki in ravni travniki smo na območju učnih in validacijskih poligonov izbrali v vzorec 355.095 celic oziroma 11 % vseh celic. Za zmanjšanje količine vhodnih podatkov za statistične analize smo se odločili, ker je bila količina vseh podatkov prevelika za zmogljivost uporabljene strojne in programske opreme. Na vzorcu smo identificirali vrednosti treh reliefnih koeficientov: reliefni koeficient na območju  $3 \times 3$  celice (relkoef33), reliefni koeficient na območju  $5 \times 5$  celic (relkoef55), reliefni koeficient na območju  $9 \times 9$  celic (relkoef99). S pomočjo Kruskal-Wallisovega neparametričnega testa, izvedenega v R Studio (v. 1.0.153), smo primerjali vrednosti celic reliefnega koeficienta (ki smo ga izračunali pred izvedbo postopka klasifikacije) med grbinastimi in ravnimi travniki na učnih in validacijskih območjih.

Zanesljivost metodoloških postopkov smo opredelili na območju validacijskih poligonov. Za poligone smo izračunali delež grbinastih in ravnih celic, kot jih je opredelil metodološki postopek. Višji kot je delež pravilno opredeljenih morfoloških enot, večja je zanesljivost metodološkega postopka. Kot najboljše smo izbrali tiste, ki imajo pri validaciji več kot 80 % pravilnost opredelitve površin vseh grbinastih in ravnih na terenu identificiranih travnikov in hkrati seštevek odstotkov obeh kategorij višji od 170.

### 3 Rezultati

Skladno s pričakovanji imajo v povprečju grbinasti travniki višji reliefni koeficient in višjo variabilnost kot ravna območja, kar velja tako na učnih kot tudi na validacijskih travniških območjih testnega območja. Naši rezultati kažejo tudi, da večje procesno okno računanja reliefnega koeficienta pomeni višjo povprečno vrednost reliefnega koeficienta. Hkrati pa se standardni odkloni ob primerjanju istih kategorij ne spremenijo bistveno (preglednica 2, slika 2). Razlike med vrednostmi reliefnih koeficientov med grbinastimi in ravnimi travniki na učnih območjih so v povprečju višje kot razlike med vrednostmi na validacijskih območjih (preglednica 2, slika 2), kar je posledica izbora najbolj tipičnih grbinastih in ravnih travnikov v sloj učnih poligonov.

*Slika 2: Ponazoritev nekaterih opisnih statistik reliefnega koeficienta izračunanega iz procesnih oken  $3 \times 3$  celice (relkoef33),  $5 \times 5$  celic (relkoef55) in  $9 \times 9$  celic (relkoef99) glede na območje (validacijsko; učno) in tip travnika (raven; grbinast). ► (str. 25)*

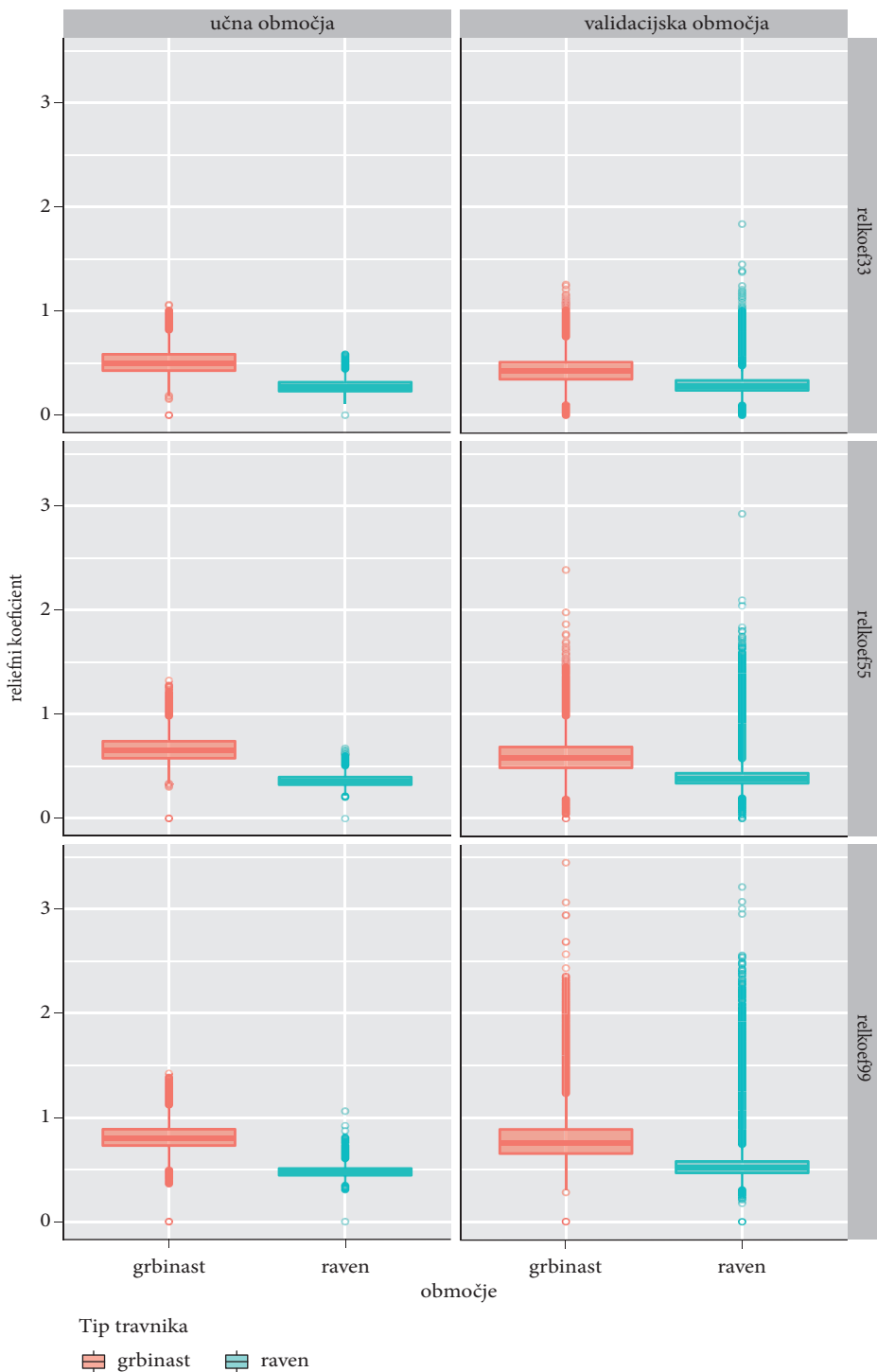
*Slika 3: Reliefni koeficient izračunan iz procesnega okna  $3 \times 3$  celice (a), generalizirani klasificirani reliefni koeficienti na procesnih oknih  $5 \times 5$  celic (b1),  $10 \times 10$  celic (b2),  $15 \times 15$  celic (b3) ter končni rezultat opredelitve grbinastih in ravnih površin, prikazan na območjih travnikov (c1, c2, c3). ► (str. 26–27)*

*Slika 4: Prikaz opredelitve grbinastih in ravnih travnikov po štirih metodoloških postopkih, ki so dali najboljše rezultate na primeru izseka območja številka 30. ► (str. 28–29)*

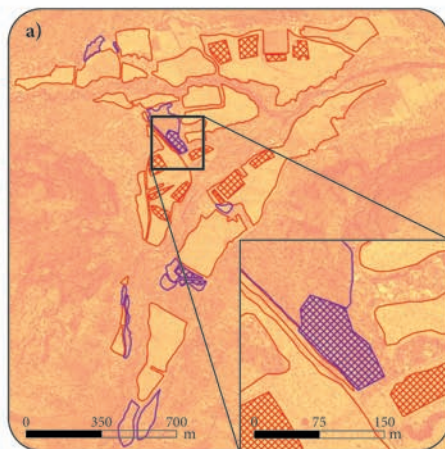
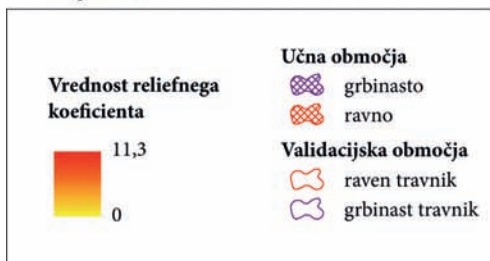
Preglednica 2: Opisna statistika ter število izbranih celic (n) treh reliefnih koeficientov izračunanih iz procesnega okna  $3 \times 3$  celice (relkoeff33),  $5 \times 5$  celic (relkoeff55) in  $9 \times 9$  celic (relkoeff99) za učna in validacijska območja grbinastih travnikov in ravnih travnikov.

koeficient	tip travnika	učna/validacijska območja	število celic (n)	najnižja vrednost	najvišja vrednost	mediana	povprečje	standardni odklon
relkoeff33	grbinast	učna območja	25.834	0,15	1,06	0,50	0,51	0,12
relkoeff33	grbinast	validacijska območja	48.449	0,00	1,25	0,42	0,43	0,13
relkoeff33	raven	učna območja	23.812	0,10	0,58	0,27	0,28	0,06
relkoeff33	raven	validacijska območja	257.004	0,00	1,84	0,28	0,29	0,08
relkoeff55	grbinast	učna območja	25.834	0,30	1,32	0,65	0,67	0,13
relkoeff55	grbinast	validacijska območja	48.449	0,04	2,39	0,58	0,60	0,16
relkoeff55	raven	učna območja	23.812	0,20	0,67	0,36	0,36	0,06
relkoeff55	raven	validacijska območja	257.004	0,01	2,93	0,38	0,40	0,09
relkoeff99	grbinast	učna območja	25.834	0,36	1,42	0,80	0,81	0,12
relkoeff99	grbinast	validacijska območja	48.449	0,28	3,45	0,76	0,79	0,21
relkoeff99	raven	učna območja	23.812	0,31	1,06	0,48	0,48	0,05
relkoeff99	raven	validacijska območja	257.004	0,18	3,21	0,52	0,54	0,12

Uporaba reliefnega koeficienta za zaznavanje potencialnih območij grbinastih travnikov na osnovi ...



**Legenda za a:**



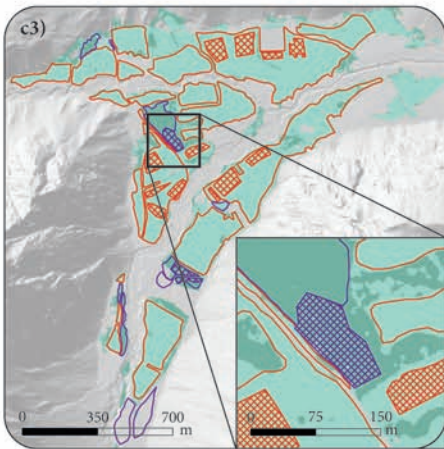
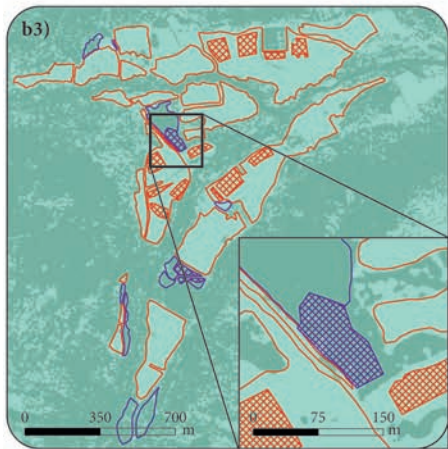
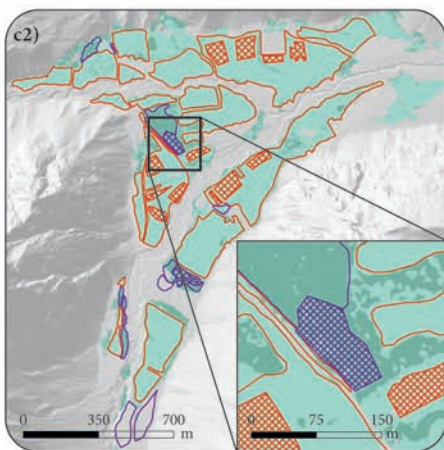
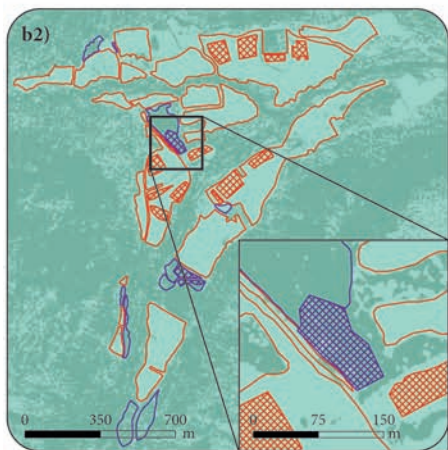
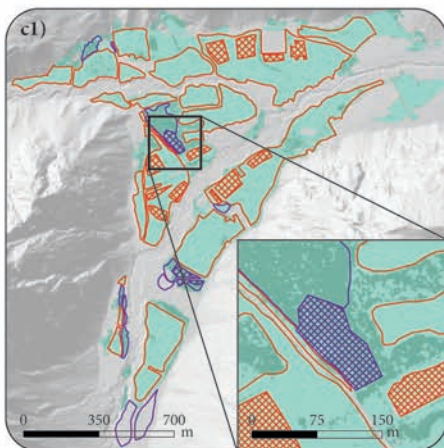
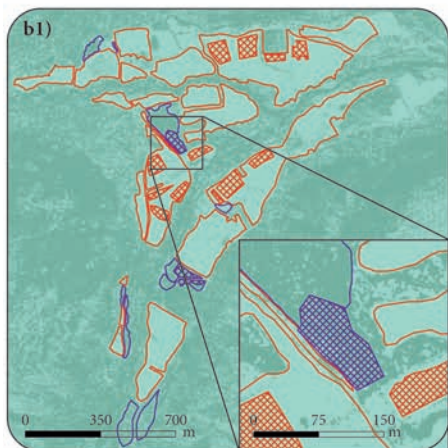
**Legenda za b:**



**Legenda za c:**















Reliefni koeficient 5 x 5, generalizacija 15 x 15 celic







Morfološke enote identificirane na terenu: Morfološke enote po modelu:

- |  |  |
|--|--|
|  grbinast, učna območja         |  raven travnik    |
|  grbinast, validacijska območja |  grbinast travnik |
|  raven, učna območja            |  |
|  raven, validacijska območja    |  |



Reliefni koeficient 5 x 5, generalizacija 10 x 10 celic

Morfološke enote identificirane na terenu: Morfološke enote po modelu:







- |  |  |
|--|--|
|  grbinast, učna območja         |  raven travnik    |
|  grbinast, validacijska območja |  grbinast travnik |
|  raven, učna območja            |  |
|  raven, validacijska območja    |  |





Reliefni koeficient 9 x 9, generalizacija 15 x 15 celic







Morfološke enote identificirane na terenu: Morfološke enote po modelu:

- |   |                                |   |                  |
|---|--------------------------------|---|------------------|
|  | grbinast, učna območja         |  | raven travnik    |
|  | grbinast, validacijska območja |  | grbinast travnik |
|  | raven, učna območja            |   |                  |
|  | raven, validacijska območja    |   |                  |



Reliefni koeficient 9 x 9, generalizacija 10 x 10 celic

Morfološke enote identificirane na terenu: Morfološke enote po modelu:

- |   |                                |   |                  |
|---|--------------------------------|---|------------------|
|  | grbinast, učna območja         |  | raven travnik    |
|  | grbinast, validacijska območja |  | grbinast travnik |
|  | raven, učna območja            |   |                  |
|  | raven, validacijska območja    |   |                  |

Kruskal-Wallisov test kaže, da se vrednosti reliefnega koeficienta statistično pomembno razlikujejo med ravnimi in grbinastimi travniki na učnem območju pri oknu računanja  $3 \times 3$  celice (relkoef33;  $\chi^2 = 32931$ ;  $df = 1$ ;  $p < 0.001$ ), pri oknu računanja  $5 \times 5$  celic (relkoef55;  $\chi^2 = 36172$ ;  $df = 1$ ;  $p < 0.001$ ) ter pri oknu računanja  $9 \times 9$  celic (relkoef99;  $\chi^2 = 36737$ ;  $df = 1$ ;  $p < 0.001$ ). Podobno je Kruskal-Wallisov test pokazal, da se vrednosti reliefnega koeficienta statistično pomembno razlikujejo med ravnimi in grbinastimi travniki na validacijskem območju pri oknu računanja  $3 \times 3$  celice (relkoef33;  $\chi^2 = 57388$ ;  $df = 1$ ;  $p < 0.001$ ), pri oknu računanja  $5 \times 5$  celic (relkoef55;  $\chi^2 = 75280$ ;  $df = 1$ ;  $p < 0.001$ ) ter pri oknu računanja  $9 \times 9$  celic (relkoef99;  $\chi^2 = 79230$ ;  $df = 1$ ;  $p < 0.001$ ).

Območje Zgornje Radovne z vmesnimi (slika 3, stolpec b) in končnimi rezultati (slika 3, stolpec c) opredeljevanja potencialnih območij grbinastih travnikov z uporabo reliefnega koeficienta izračunana iz procesnega okna  $3 \times 3$  celic prikazuje slika 3.

Med 9 metodološkimi postopki smo glede na zasnovan pravilnik izbrali štiri postopke, ki dajejo najboljše rezultate na našem testnem območju (preglednica 3). Hkrati imajo omenjeni štirje postopki tudi najmanjšo napako napovedi, ki se giblje med 23 in 28 % (preglednica 3). Najvišje število pravilno uvrščenih morfoloških enot s skupnim odstotkom 177 dosega postopek, kjer je reliefni koeficient izračunan iz procesnega okna  $5 \times 5$  celic ( $2,5 \times 2,5$  m), za klasifikacijo je uporabljena metoda največje verjetnosti, za opredelitev morfoloških enot (generalizacijo) pa procesno okno velikosti  $15 \times 15$  celic ( $7,5 \times 7,5$  m). Rezultat metodološkega postopka je izračunan za 66,4 ha površin od skupno 69,6 ha kolikor meri površina kartiranih validacijskih območij. Nekateri deli kartiranih validacijskih poligonov namreč obsegajo tudi netravniške rabe tal in so bili posledično izključeni iz obdelave. Postopek torej pravilno opredeli 7 ha oziroma 84 % od skupno 8,4 ha grbinastih travnikov in 54,1 ha oziroma 93 % od skupno 58 ha ravnih travnikov iz validacijskega sloja. Postopek ne glede na kategorijo v povprečju pravilno opredeli 88,4 % površin. Vsota odstotkov napačno opredeljenih je 23 % (seštejemo neposredno 16 % in 7 %; preglednica 3). Uspešnost klasifikacije metodoloških postopkov smo na vseh identificiranih grbinastih travnikih preverili tudi na terenu in s pomočjo izdelanih fotografij (slika 4 in slika 5).



Slika 5: Primer grbinastega travnika (v ospredju) in ravnega travnika (v ozadju).

Preglednica 3: Ocene uspešnosti 9 metodoloških postopkov za opredeljevanje potencialnih grbinastih travnikov z reliefnim koeficientom in klasifikacijsko metodo največje verjetnosti na validacijskih območjih. Z zeleno so označena polja, kjer metodološki postopek pravilno opredeli več kot 80 % površin iz kategorije. Z rdečo so označena polja, kjer metodološki postopek pravilno opredeli več kot 80 % površin tako grbinastih kot tudi ravnih travnikov, in je hkrati vsota deležev višja od 170 %.

velikost procesnega okna za izračun reliefnega koeficienta (število celic)	velikost procesnega okna pri postopku generalizacije (število celic)	delež pravilno določenih celic grbinastih travnikov (%)	delež pravilno določenih celic ravnih travnikov (%)	vsota deležev pravilno opredeljenih enot (%)	vsota deležev napačno opredeljenih enot (%)
3 × 3	5 × 5	71	94	165	35
3 × 3	10 × 10	73	96	170	30
3 × 3	15 × 15	74	97	171	29
5 × 5	5 × 5	80	89	169	31
5 × 5	10 × 10	82	92	175	25
5 × 5	15 × 15	84	93	177	23
9 × 9	5 × 5	87	81	167	33
9 × 9	10 × 10	89	83	172	28
9 × 9	15 × 15	91	84	175	25

## 4 Sklep

V okviru raziskave smo za opredelitev območij grbinastih travnikov na testnem območju Zgornje Radovne preizkusili uporabnost reliefnega koeficienta na treh ravneh izračuna – z uporabo procesnih oken 3 × 3, 5 × 5 in 9 × 9 celic. V nadaljevanju smo reliefni koeficient klasificirali in generalizirali na 3 različne načine in tako skupno preizkusili 9 različnih metodoloških postopkov za opredelitev potencialnih območij grbinastih travnikov.

Na podlagi rezultatov validacije ocenjujemo, da vsaj štirje izbrani metodološki postopki, zadostno opredeljujejo območja grbinastih travnikov na testnem območju. Zanesljivost zaznavanja grbinastih travnikov je pri izbranih postopkih višja od 80 %. Pri tem velja opozoriti na pravilno interpretacijo rezultatov. Nobeden od rezultatov ni končna prostorska določitev območij grbinastih travnikov, pač pa njegovi rezultati kažejo na potencialna območja grbinastih travnikov in lahko služijo kot podpora odločanju za učinkovitejši način posodobitve obstoječe prostorske evidence grbinastih travnikov za obdobje PRP 2021–2027.

## 5 Viri in literatura

- Ambrožič, T. 2006: Grbinasti travniki v Zgornji Radovni. Diplomsko delo, Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Bergant, J., Kastelic, P., Bertoncelj, I., Travnikar, T., Bedrač, M., Vrščaj, B. 2019: Analiza in priprava strokovnih izhodišč s predlogi varstvenih ukrepov za ohranjanje grbinastih travnikov v Triglavskem narodnem parku. Končno poročilo, Javni zavod Triglavski narodni park. Bled.
- Cvetek, J. 1971: Grbinasti travniki s posebnim ozirom na Bohinj. Geografski vestnik 42.
- Embleton-Hamann, C. 2004: Processes responsible for the development of a pit and mound microrelief. *Catena* 57-2. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2003.10.017>
- Gutser, D., Kuhn, J. 1998: Die Buckelwiesen bei Mittenwald: Geschichte, Zustand, Erhaltung. *Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt* 63.
- Hamann, C. 1985: Buckelwiesen und Konvergenzformen am Südrand des Tennengebirges und in anderen Arealen der Nördlichen Kalkalpen. Salzburg.
- Koblar, S. 2013: Morfogeneza grbinastih travnikov. Zaključna seminarska naloga, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Krämer, B., Poniatowski, D., Fartmann, T. 2012: Effects of landscape and habitat quality on butterfly communities in pre-alpine calcareous grasslands. *Biological Conservation* 152. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.03.038>
- Löffler, F., Fartmann, T. 2017: Effects of landscape and habitat quality on Orthoptera assemblages of pre-alpine calcareous grasslands. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 248. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.07.029>
- Odar, Š. 1993: Okoljevarstvena problematika izravnavanja grbinastih travnikov v Bohinju. Diplomsko delo, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.
- Perko, D. 2001: Analiza površja s stometriskim digitalnim modelom reliefa. *Geografija Slovenije* 3. Ljubljana. DOI: <https://doi.org/10.3986/9789612544973>
- Prezelj, K. 2012: Vegetacija in vlažnostne razmere na grbinastih travnikih v Zgornji Radovni in Krmi. Diplomsko delo, Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana.