

METODE**DOLOČANJE VODORAVNE IN NAVPIČNE RAZGIBANOSTI POVRŠJA Z DIGITALNIM MODELOM VIŠIN**

AVTOR

Drago Perko

Naziv: dr., mag., univerzitetni diplomirani geograf in sociolog, znanstveni svetnik

Naslov: Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU, Gosposka ulica 13, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija

E-pošta: drago@zrc-sazu.si

Telefon: 01 470 63 60

Faks: 01 425 77 93

UDK: 528.94:551.4:004; COBISS: 1.01

IZVLEČEK

Določanje vodoravne in navpične razgibanosti površja z digitalnim modelom višin

Z digitalnim modelom višin lahko določamo oddaljenost, nagnjenost in ukrivljenost površja glede na vodoravno ali navpično ravnino v prostoru, zato govorimo o vodoravni in navpični oddaljenosti, vodoravni in navpični nagnjenosti ter vodoravni in navpični ukrivljenosti površja. Oddaljenost, nagnjenost in ukrivljenost površja se lahko prostorsko spreminjajo. Njihovemu spreminjanju glede na vodoravno ravnino pravimo navpična razgibanost površja, njihovemu spreminjanju glede na navpično ravnino pa vodoravna razgibanost površja. Določamo ju lahko s koeficientom navpične razgibanosti površja in koeficientom vodoravne razgibanosti površja. Glede na navpično in vodoravno nagnjenost površja je v Sloveniji največja navpična razgibanost površja značilna za gorovja, največja vodoravna razgibanost površja pa za gričevja.

KLJUČNE BESEDE

relief, površje, digitalni model višin, naklon površja, ekspozicija površja, navpična razgibanost površja, vodoravna razgibanost površja, Slovenija

ABSTRACT

Determination of horizontal and vertical surface roughness by digital elevation model

Digital elevation model offers the possibility to determine the surface distance, the surface inclination and the surface curvature in regard to a horizontal or vertical plane (in space), therefore a horizontal and vertical surface distance, a horizontal and vertical surface inclination and a horizontal and vertical surface curvature are distinguished. The surface distance, the surface inclination and the surface curvature can vary over space. The variation in regard to a horizontal plane is known as the vertical surface roughness and the variation in regard to a vertical plane is called the horizontal surface roughness. The vertical surface roughness and the horizontal surface roughness are determined by the vertical and horizontal surface roughness coefficients. As for Slovenia, the highest vertical surface roughness coefficients characteristically appear in the mountain areas, while the highest horizontal surface roughness coefficients are stated in the low hills areas.

KEYWORDS

relief, surface digital elevation model, slope, aspect, vertical surface roughness, horizontal surface roughness, Slovenia

Uredništvo je prispevek prejelo 10. septembra 2002.

1 Uvod

Zunanji del zemeljskega površja sestavlja množica ploskev. V okviru geografskega informacijskega sistema lahko z digitalnim modelom višin, ki je zbirka smiselno urejenih podatkov o nadmorskih višinah površja, ugotovljamo geometrične lastnosti teh ploskev in prostorsko spreminjanje njihovih geometričnih lastnosti, kar je pomembna objektivna kvantitativna metoda pri preučevanju izoblikovanosti površja.

Tri temeljne geometrične lastnosti so:

- oddaljenost,
- nagnjenost in
- ukrivljenost.

Pri slovenskem stometrskem digitalnem modelu višin (DMR 100 ...) so točke z nadmorskimi višinami površja od juga proti severu ter od zahoda proti vzhodu razmaknjene za 100 m, kar pomeni, da so ploskve med njimi kvadrati z osnovnico 100 m in površino 1 ha.

Ker imajo ploskve dve razsežnosti, prostor, v katerem ležijo, pa tri razsežnosti, lahko za vsako ploskev ugotovljamo dve oddaljenosti, nagnjenosti in ukrivljenosti, in sicer glede na vodoravno in glede na navpično ravnino.

2 Oddaljenost, nagnjenost in ukrivljenost

Za geografje je zanimiva predvsem oddaljenost glede na vodoravno ravnino ali **navpična oddaljenost** (angleško *vertical distance*), to je nadmorska višina površja ali elevacija (latinsko *elevare* 'dvigniti'). Podatki o nadmorskih višinah površja so temeljni podatki vseh digitalnih modelov višin. V slovenskem stometrskem digitalnem modelu višin so podatki o nadmorskih višinah podani v metrih. Njihova srednja napaka oziroma standardni odklon se giblje od 3 m za nerazgibano površje do 16 m za razgibano površje, njihova pozicijska napaka pa je manjša od 1 m (Državna geodezija 1998). Nadmorska višina ali altituda (latinsko *altitudo* 'visokost, višina') skupaj z zemljepisno širino ali latitudo (latinsko *latitudo* 'širokost, širina') in zemljepisno dolžino ali longitudo (latinsko *longitudo* 'dolgot, dolžina') kot tretja razsežnost natančno določa lego vseh pojavov na zemeljskem površju.

Nagnjenost ali inklinacija površja (latinsko *inclinare* 'nagniti') opisuje prostorsko spreminjanje oddaljenosti. Ločimo nagnjenost površja glede na vodoravno in navpično ravnino.

Nagnjenost površja glede na vodoravno ravnino ali **navpična nagnjenost** (angleško *vertical inclination* ali *slope iclination*) prikazuje stopnjo prostorskega spreminjanja nadmorskih višin glede na vodoravno ravnino. Merimo jo z razmerjem med razliko višinskih metrov in razliko dolžinskih metrov ali v kotnih enotah. Navpična nagnjenost površja je v matematičnem smislu prvi odvod prostorskega spreminjanja nadmorske višine površja glede na vodoravno ravnino, v geografskem smislu pa naklon površja.

Nagnjenost površja glede na navpično ravnino ali **vodoravna nagnjenost** (angleško *horizontal inclination* ali *aspect inclination*) prikazuje stopnjo prostorskega spreminjanja nadmorskih višin glede na navpično ravnino. Običajno jo merimo z enakimi enotami kot navpično nagnjenost površja. Vodoravna nagnjenost površja je v matematičnem smislu prvi odvod prostorskega spreminjanja nadmorske višine površja glede na navpično ravnino, v geografskem smislu pa usmerjenost, lega ali ekspozicija površja (latinsko *exponere* 'izpostaviti').

Ukrivljenost ali kurvatura površja (latinsko *curvare* 'kriviti') opisuje prostorsko spreminjanje nagnjenosti. Ločimo ukrivljenost površja glede na vodoravno in navpično ravnino.

Ukrivljenost površja glede na vodoravno ravnino ali **navpična ukrivljenost**, ki ji lahko rečemo tudi prerezna, narisna ali naklonska ukrivljenost (angleško *vertical curvature*, *profile curvature* ali *slope curvature*), prikazuje stopnjo prostorskega spreminjanja nagnjenosti površja glede na vodoravno ravnino.

Merimo jo v radianih na meter. Navpična ukrivljenost površja je v matematičnem smislu prvi odvod prostorskega spreminjanja nagnjenosti površja oziroma drugi odvod prostorskega spreminjanja nadmorske višine površja glede na navpično ravnino, v geografskem smislu pa vbočenost (konkavnost) in izbočenost (konveksnost) površja glede na vodoravno ravnino.

Površje s konveksno navpično ukrivljenostjo pospešuje vodne tokove in odnašanje gradiva, površje s konkavno navpično ukrivljenostjo pa jih zaustavlja in pospešuje odlaganje gradiva. Konveksni deli navpične ukrivljenosti pobočij najpogosteje nastajajo zaradi preperinskega polzenja, dežne erozije in površinskega spiranja, premočrtni zaradi raznovrstnih procesov polzenja, konkavni pa najpogosteje zaradi akumulacije. Ločevanje med premočrtnim, konveksnim in konkavnim površjem glede na navpično ukrivljenost je za geomorfologe pomembno pri ugotavljanju morfoloških procesov. Konveksni deli pobočij najpogosteje nastajajo zaradi preperinskega polzenja, dežne erozije in površinskega spiranja, premočrtni zaradi raznovrstnih procesov polzenja, konkavni pa najpogosteje zaradi akumulacije (Selby 1985; Parsons 1988; Hrvatini in Perko 2002).

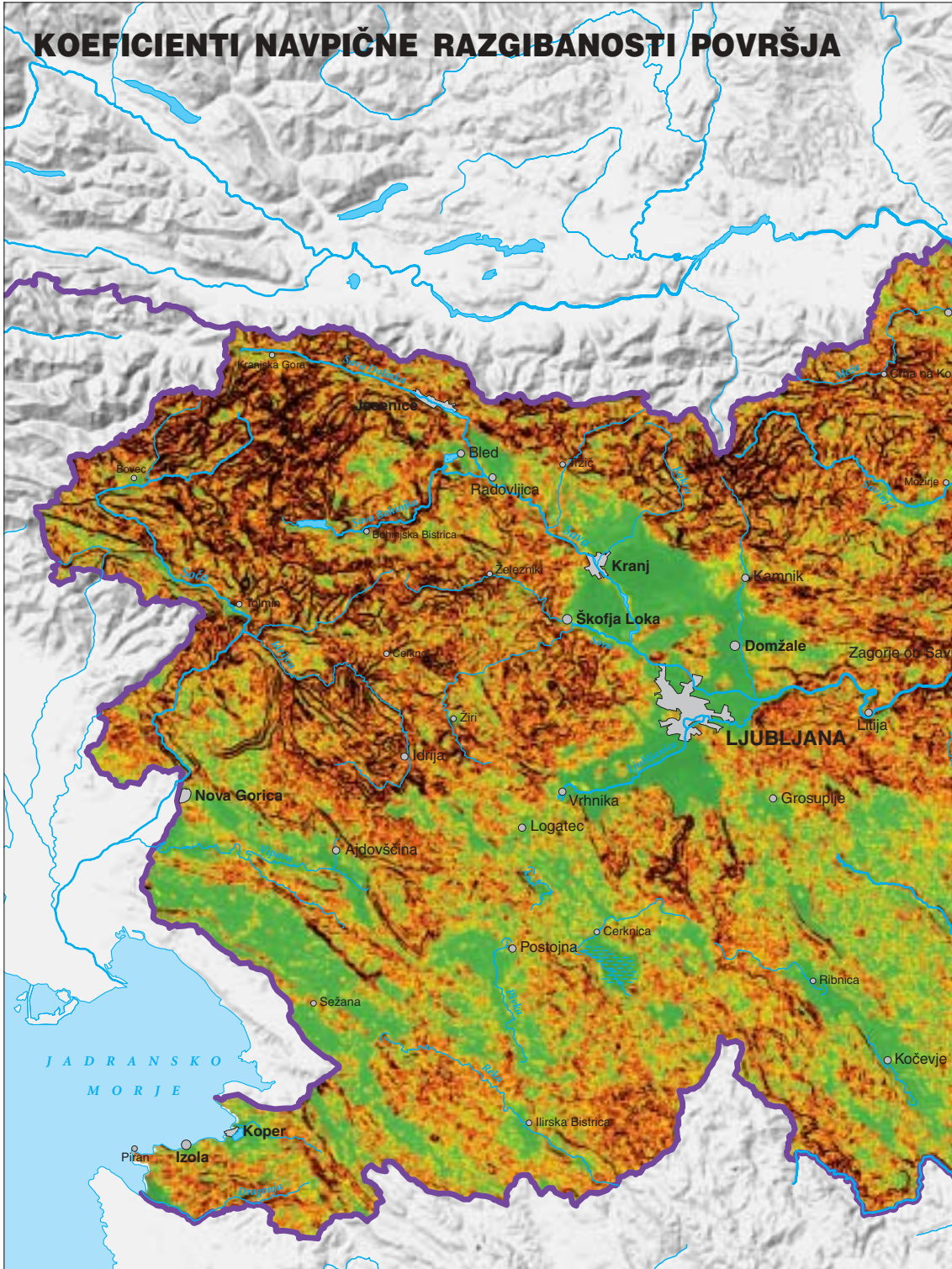
Ukrivljenost površja glede na navpično ravnino ali **vodoravna ukrivljenost**, ki ji lahko rečemo tudi tlorisna, ekspozicijska ali izohipsna ukrivljenost (angleško *horizontal curvature*, *plan curvature*, *aspect curvature* ali *contour curvature*), prikazuje stopnjo prostorskega spreminjanja nagnjenosti površja glede na navpično ravnino. Merimo jo v radianih na meter. Vodoravna ukrivljenost površja je v matematičnem smislu prvi odvod prostorskega spreminjanja nagnjenosti površja oziroma drugi odvod prostorskega spreminjanja nadmorske višine površja glede na navpično ravnino, v geografskem smislu pa vbočenost (konkavnost) in izbočenost (konveksnost) površja glede na navpično ravnino. Površje s konveksno navpično ukrivljenostjo pospešuje vodne tokove in odnašanje gradiva, površje s konkavno navpično ukrivljenostjo pa jih zaustavlja in pospešuje odlaganje gradiva. Površje s konveksno vodoravno ukrivljenostjo je območje raztekanja vodnih tokov, površje s konkavno vodoravno ukrivljenostjo pa njihovega stekanja. Konveksne dele vodoravne ukrivljenosti pobočij običajno oblikuje nekoliko šibkejša denudacija, premočrtna močnejša denudacija, konkavne pa predvsem vodna erozija. Vodoravno ukrivljenost površja so geomorfologi zapostavljali, čeprav je za razumevanje geomorfoloških procesov, zlasti na pobočjih, izredno pomembna. Pri tovrstni ukrivljenosti so si pogosto pomagali zgolj z opisno oznako razčlenjenosti površja, na primer: pobočje razčlenjujejo grape in žlebovi (Selby 1985; Parsons 1988; Hrvatini in Perko 2002).

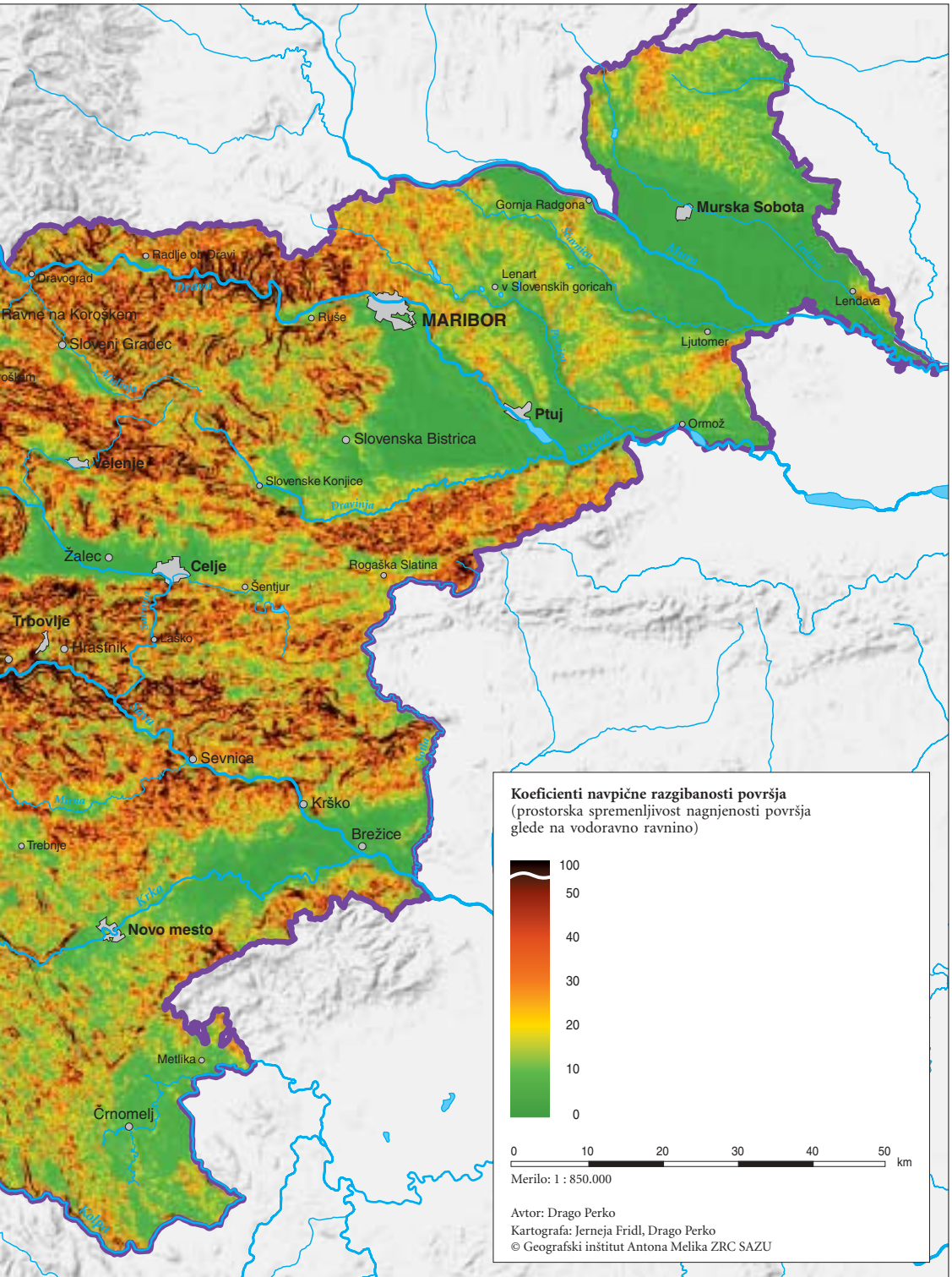
Ukrivljenost površja lahko opredelimo tudi kot razmerje med kotno in dolžinsko enoto, običajno med stopnjo ali radianom na meter. Je obratnosorazmerna z velikostjo oziroma polmerom pripadajočega namišljenega kroga. Na primer, če ima neko pobočje ukrivljenost 0,01 radiana na m (približno 0,57 stopinje na m), to pomeni, da mu lahko včrtamo krog s polmerom 100 m. Pozitivne vrednosti ukrivljenosti površja pomenijo konkavno ali vbočeno površje, negativne vrednosti pa konveksno ali izbočeno površje. Ukrivljenost 0 pomeni, da se naklon ali ekspozicija površja prostorsko spreminjata enakomerno, premočrtno in da ima namišljeni krog neskončno velik polmer, kar pomeni, da je krog pravzaprav premica (Hrvatini in Perko 2002).

Slika 1: Zemljevid navpične oziroma naklonske razgibanosti površja (prostorska spremenljivost nagnjenosti površja glede na vodoravno ravnino). ► 88, 89

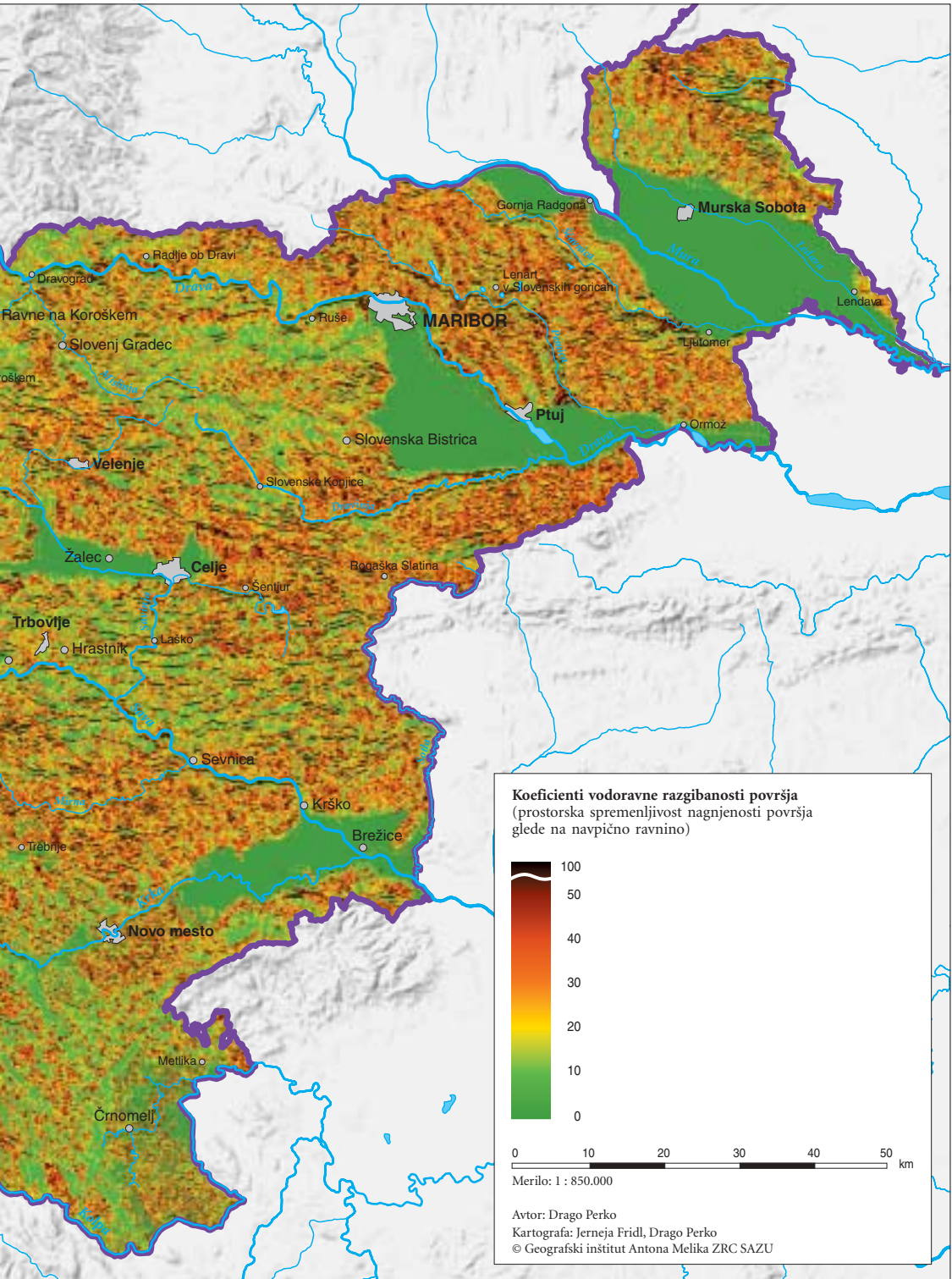
Slika 2: Zemljevid vodoravne oziroma ekspozicijske razgibanosti površja (prostorska spremenljivost nagnjenosti površja glede na navpično ravnino). ► 90, 91

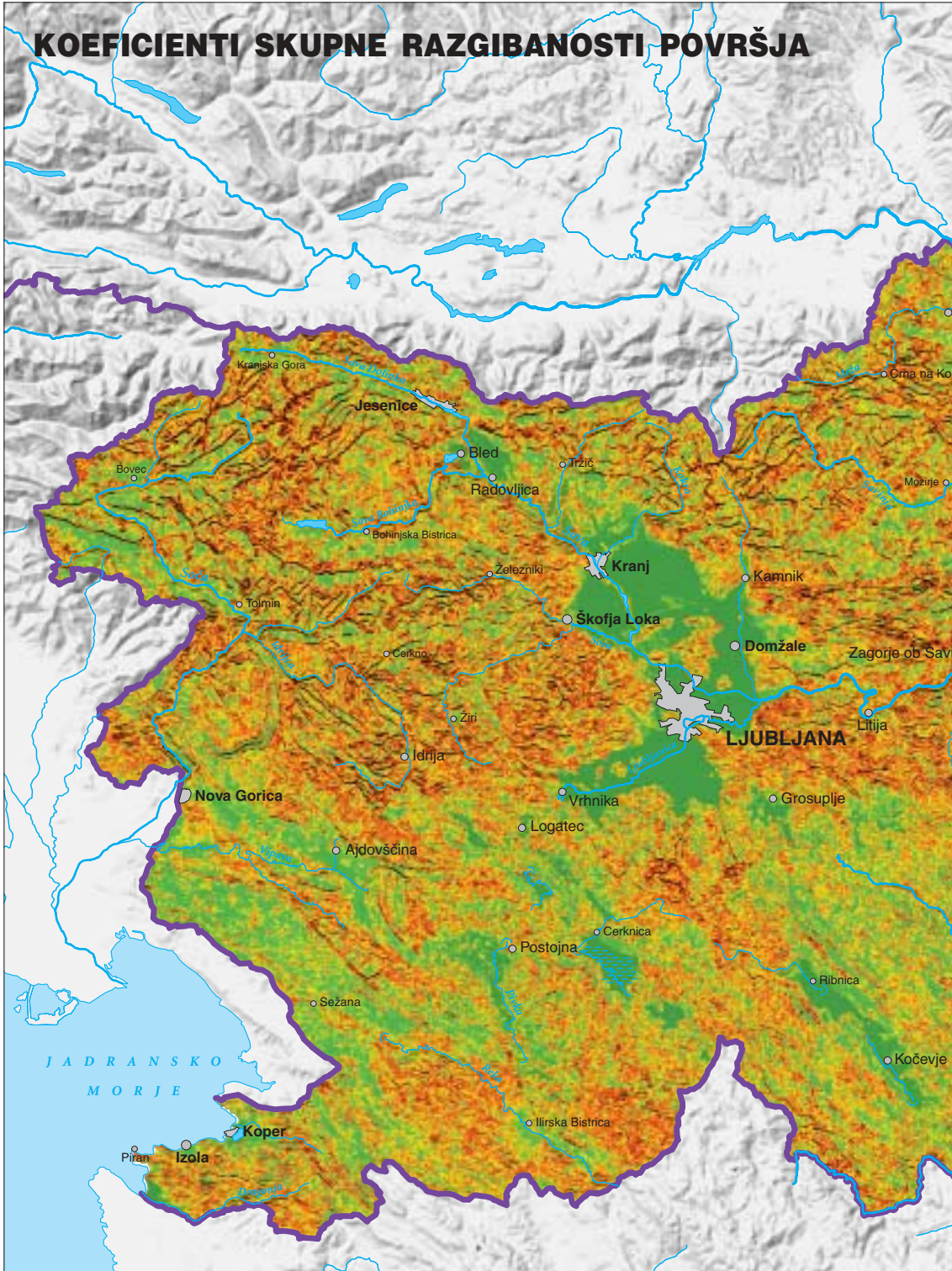
Slika 3: Zemljevid skupne razgibanosti površja (prostorska spremenljivost nagnjenosti površja glede na navpično in vodoravno ravnino hkrati). ► 92, 93

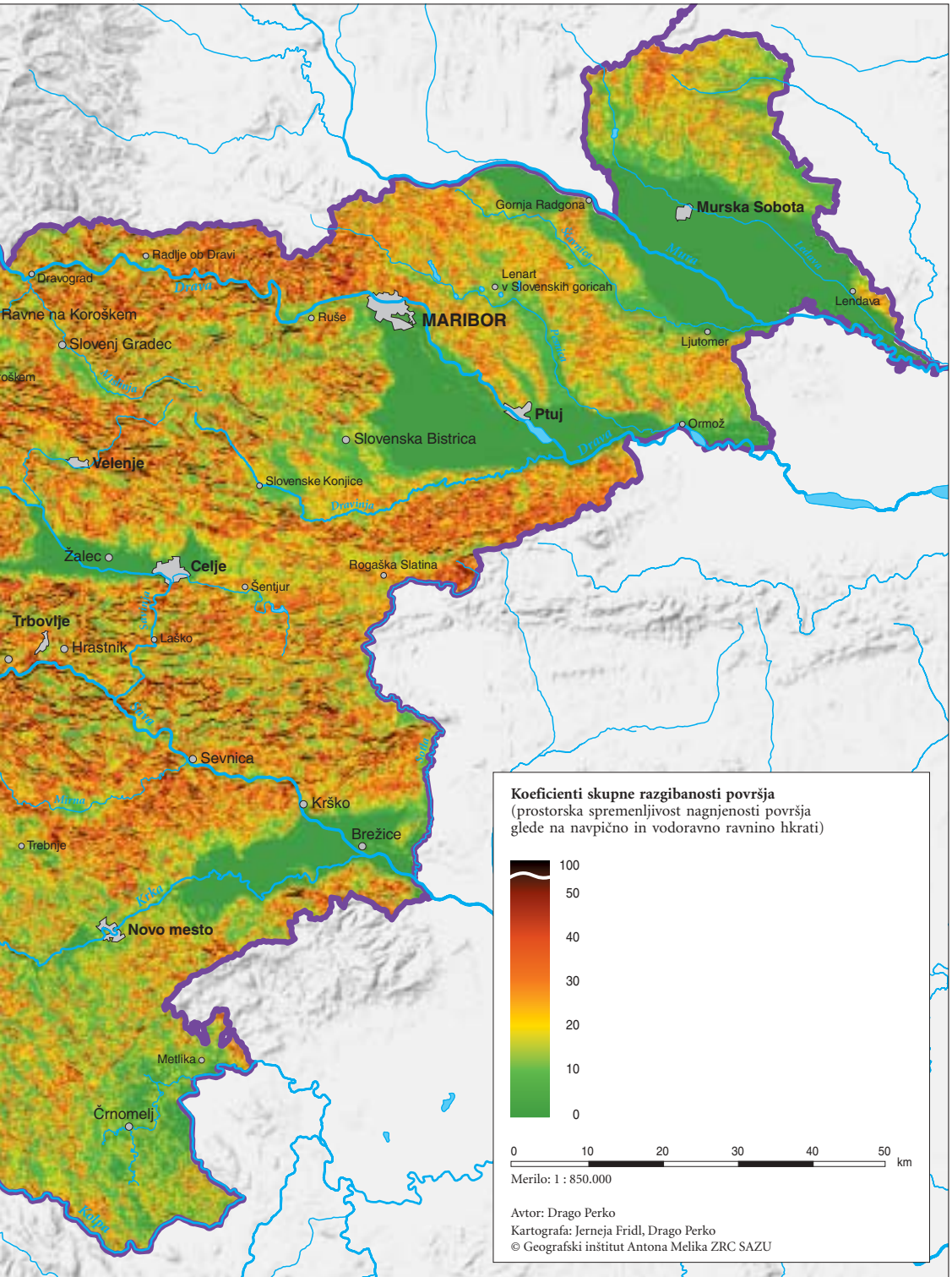












3 Spremenljivost

Za morfološke procese pa niso pomembne samo geometrične lastnosti ploskev, ampak tudi geometrične lastnosti sosednjih ploskev oziroma prostorsko spreminjanje geometričnih lastnosti ploskev, na temelju katerega lahko določamo spremenljivost ali variabilnost oziroma razčlenjenost ali **razgibanost površja** (angleško *surface variability* ali *surface roughness*). Za merjenje variabilnosti uporabljamo absolutne mere variacije, predvsem variacijski razmik, varianco in standardni odklon, ter relativne mere variacije, na primer koeficient variacije, to je s 100 pomnoženo razmerje med standardnim odklonom in aritmetično sredino, ki pove, za koliko se standardni odklon razlikuje od aritmetične sredine v odstotkih (Blejec 1976).

O prostorskem spreminjanju navpične oddaljenosti oziroma nadmorske višine površja ter navpične nagnjenosti oziroma naklona površja je sorazmerno veliko literature, o prostorskem spreminjanju vodoravne nagnjenosti oziroma usmerjenosti površja ter navpične in vodoravne ukrivljenosti površja pa sorazmerno malo (Wood 1996; Enander 1998; Hrvatin in Perko 2002).

V slovenskem jeziku lahko stopnje razgibanosti površja ločimo tudi z besedami ravnina, gričevje, hribovje in gorovje. Vendar pa razlike med pojmi grič, hrib in gora niso jasne (Gams 1984, 1985, 1986, 1987 in 1998). Tako pomeni hrib vzpetino z višinsko razliko med 80 in 500 m (Badjura 1953) oziroma vzpetino z višinsko razliko do 600 m (Lipovšek-Ščetinin in Zupet 1979), grič vzpetino do 50 m (Lipovšek - Ščetinin in Zupet 1979) oziroma do 150 m (Gams 1986) in brdo vzpetino do 200 m višinske razlike (Gams 1986). Meja med gričevjem in hribovjem nastopa pri višinski razliki 150 m (Demek 1976) oziroma 200 m (Gams 1986) od dna dolin.

Reliefne enote se pri avtorjih razlikujejo glede na število in meje razredov, upoštevane kriterije, funkcionalnost in podobno.

Bognar (1986) je na temelju prostorske enote 0,5 km² s povprečnimi nakloni določil 6 reliefnih enot: ravnina (0 do 2°), blago nagnjen teren (2 do 5°), nagnjen teren (5 do 12°), znatno nagnjen teren (12 do 32°), zelo strmo pobočje (32 do 55°) in strmina (nad 55°), z višinskimi razlikami pa 5 reliefnih enot: ravnina (0 do 5 m), slabo razčlenjena ravnina (5 do 30 m), slabo razčlenjen relief (30 do 100 m), zmerno razčlenjen relief (100 do 300 m) in izrazito razčlenjen relief (nad 300 m).

Tudi Demek (1976) je razgibanost površja določil na temelju naklonov in postavil kar 11 razredov: ravnina (0,0 do 0,5°), neznatno nagnjeno pobočje (0,5 do 2,0°), blago nagnjeno pobočje (2 do 5°), močno nagnjeno pobočje (5 do 10°), zelo močno nagnjeno pobočje (10 do 15°), strmo pobočje (15 do 25°), zelo strmo pobočje (25 do 35°), padajoče pobočje (35 do 45°), strmo padajoče pobočje (45 do 55°), pokončno pobočje (55 do 90°) in previsno pobočje (90° in več), pa tudi na temelju višinskih razlik na površini 1 km²: ravnina (0 do 30 m), rahlo razgibano gričevje (30 do 75 m), močnejše razgibano gričevje (75 do 150 m), zmerno razgibano hribovje (150 do 200 m), močnejše razgibano hribovje (200 do 300 m), močno razčlenjeno hribovje (300 do 450 m), razrezano gorovje (450 do 600 m) in zelo razrezano gorovje (nad 600 m).

Britanski geomorfologi (Speight 1980) so glede na naklone ločili 7 enot: ravnina (0,0 do 0,5°), slabo nagnjeno površje (0,5 do 2,0°), srednje nagnjeno površje (2,0 do 6,5°), močno nagnjeno površje (6,5 do 13,5°), strmo površje (13,5 do 31,5°), zelo strmo površje (31,5 do 45,0°) in stena (nad 45,0°).

Na zemljevidih ameriške vojske so meje med enotami pri 2, 6, 13, 27 in 45°, na novejših ameriških pedoloških kartah pri 2, 5, 11, 20 in 33°. Mednarodna geografska zveza IGU pa je predlagala meje pri 0,5, 2, 5, 10, 15, 25, 35 in 55° oziroma 0,6, 1,9, 5,8, 10,0, 17,5, 29,5, 45,0 in 72,0° (Speight 1980; Mäusbacher 1985). Demek (1972) je določil meje pri 2, 5, 15, 35 in 55°, pri nas pa na primer Gams in Natek (1981) pri 2, 6, 12, 20 in 32° ter Perko (1992) pri 2, 6, 12, 20, 30 in 45°.

Gabrovec in Hrvatin (1998) sta pri določevanju reliefnih enot (ravnine, gričevja, hribovja, gorovja, nizke planote, visoke planote) upoštevala tudi geomorfne procese, večina predstavljenih delitev pa vendarle sloni le na naklonu oziroma navpični nagnjenosti površja ali nadmorski višini oziroma navpični oddaljenosti površja. V naslednjem poglavju pa je kot primer prikazano ugotavljanje razgibanosti

površja glede na prostorsko spreminjanje navpične in vodoravne nagnjenosti površja oziroma naklona in usmerjenosti (lege) površja iz podatkov slovenskega stometrskega digitalnega modela višin.

4 Navpična, vodoravna in skupna razgibanost površja Slovenije

Razgibanost površja Slovenije smo številčno opredelili s posebnim koeficientom, ki smo ga izpeljali iz koeficienta variacije in imenovali koeficient razgibanosti. Za vsako kvadratno celico slovenskega stometrskega digitalnega modela višin ga izračunamo iz podatka za to celico in podatkov za njenih osem sosednjih celic, torej skupaj iz devetih podatkov.

Koeficient navpične oziroma naklonske razgibanosti površja je s 100 pomnoženo razmerje med standardnim odklonom navpične nagnjenosti oziroma naklona površja osnovne celice in njenih osmih sosed ter povprečno navpično nagnjenostjo oziroma naklonom površja Slovenije. Koeficient prikazuje relativno prostorsko spreminjanje navpične nagnjenosti oziroma naklona površja okrog vsake celice.

Koeficient vodoravne oziroma ekspozicijske razgibanosti površja je s 100 pomnoženo razmerje med standardnim odklonom vodoravne nagnjenosti oziroma ekspozicije površja osnovne celice in njenih osmih sosed ter povprečno vodoravno nagnjenostjo oziroma ekspozicijo površja Slovenije. Koeficient prikazuje relativno prostorsko spreminjanje vodoravne nagnjenosti oziroma ekspozicije površja okrog vsake celice.

Z geometrično sredino koeficienta naklonske razgibanosti in koeficienta ekspozicijske razgibanosti površja lahko izračunamo skupno razgibanost površja, ki prikazuje vodoravno in navpično razgibanost površja hkrati.

Za računanje smo uporabili programski paket IDRISI (Eastman 1995). Podatke, iz katerih smo izračunali koeficiente navpične in vodoravne razgibanosti površja, smo pred tem preuredili tako, da se vrednosti za navpično nagnjenost gibljejo med 0° za najbolj ravne predele in 90° za najbolj strme predele, podatki za vodoravno nagnjenost pa med 0° za najbolj severne lege in 180° za najbolj južne lege.

Razporeditev koeficientov prikazujejo zemljevidi na slikah 1, 2 in 3.

5 Sklep

Z digitalnim modelom višin torej lahko ugotavljamo več temeljnih lastnosti površja:

- oddaljenost glede na vodoravno ravnino,
 - oddaljenost glede na navpično ravnino,
 - nagnjenost glede na vodoravno ravnino,
 - nagnjenost glede na navpično ravnino,
 - ukrivljenost glede na vodoravno ravnino in
 - ukrivljenost glede na navpično ravnino,
- pa tudi prostorsko spremenljivost teh lastnosti, pri kateri glede na temeljne lastnosti in vodoravno ravnino ločimo:
- navpično razgibanost površja na temelju oddaljenosti,
 - navpično razgibanost površja na temelju nagnjenosti in
 - navpično razgibanost površja na temelju ukrivljenosti,
- glede na temeljne lastnosti in navpično ravnino pa:
- vodoravno razgibanost površja na temelju oddaljenosti,
 - vodoravno razgibanost površja na temelju nagnjenosti in
 - vodoravno razgibanost površja na temelju ukrivljenosti.

Navpični razgibanosti površja na temelju oddaljenosti pravimo tudi višinska razgibanost, navpični razgibanosti površja na temelju nagnjenosti tudi naklonska razgibanost, vodoravni razgibanosti površja na temelju nagnjenosti pa tudi ekspozicijska razgibanost.

O prostorskem spreminjanju navpične oddaljenosti površja oziroma nadmorske višine površja, ki ga določa koeficient višinske razgibanosti površja (višinski koeficient), in prostorskem spreminjanju navpične nagnjenosti površja oziroma naklona površja, ki ga določa koeficient naklonske razgibanosti površja (naklonski koeficient), je veliko govora v naši knjigi (Perko 2001a), zato namesto sklepa pogledjmo nekaj prvih zanimivih rezultatov obdelave prostorskega spreminjanja vodoravne nagnjenosti površja oziroma ekspozicije površja in nekaj primerjav med navpično, vodoravno in skupno razgibanostjo površja na temelju nagnjenosti površja oziroma naklona in ekspozicije površja:

- Pri koeficientu naklonske razgibanosti površja je najmanjša vrednost 0,0, povprečna vrednost 26,2, največja vrednost 242,7, standardni odklon pa 19,9. Pod vrednostjo 10 je 20,5 % vseh koeficientov, nad vrednostjo 50 pa 11,3 %. Pri koeficientu ekspozicijske razgibanosti površja je najmanjša vrednost 0,0, povprečna vrednost 22,9, največja vrednost 91,9, standardni odklon pa 17,1. Pod vrednostjo 10 je 25,8 % vseh koeficientov, nad vrednostjo 50 pa 8,2 %. Pri koeficientu skupne razgibanosti površja je najmanjša vrednost 0,0, povprečna vrednost 22,2, največja vrednost 115,9, standardni odklon pa 14,3. Pod vrednostjo 10 je 18,4 % vseh koeficientov, nad vrednostjo 50 pa 4,0 %.
- Glede na naklone so najbolj razgibane slovenske pokrajine alpska gorovja s povprečnim koeficientom okoli 40, sledijo alpska hribovja s povprečnim koeficientom okoli 35, dinarske planote 30, sredozemska gričevja 25, panonska gričevja in sredozemske planote 20, dinarska podolja in ravniki 15, alpske ravnine 10 in panonske ravnine s povprečnim koeficientom manj kot 5. Sploh največje povprečne koeficiente imajo Julijske Alpe s 43,7, Idrijsko hribovje z 42,8 in Zahodne Karavanke s 40,4, najmanjše pa Murska ravan z 2,0, Dravska ravan z 2,9 in Krška ravan s 4,8. Glede na ekspozicije pa so najbolj razgibane slovenske pokrajine panonska gričevja s povprečnim koeficientom malo nad 30 in sredozemska gričevja malo pod 30, najmanj pa alpske ravnine z okoli 10 in panonske ravnine z manj kot 2. Vsi ostali tipi pokrajine imajo povprečne koeficiente med 20 in 25. Sploh največje povprečne koeficiente imajo Haloze s 34,0, Voglajnsko in Zgornjesotelsko gričevje z 31,7, Raduljsko hribovje z 31,5, Ložniško in Hudinjsko gričevje s 30,7 in Goriška brda s 30,1, najmanjše pa Murska ravan z 0,8, Dravska ravan z 1,3, Krška ravan s 4,0 in Ljubljansko barje s 4,8. V splošnem so glede na ekspozicije najbolj razgibane pokrajine z gosto drobno slemenitvijo ali vegastim kraškim površjem. Obseg pokrajin in tipov pokrajine je povzet po regionalizaciji in tipizaciji, objavljeni v Nacionalnem atlasu Slovenije (Perko 2001b in 2001c).
- Največje razmerje med naklonsko in ekspozicijsko razgibanostjo imajo alpska gorovja z 41,4 proti 21,1, kar pomeni, da so glede na naklone dvakrat močnejše razgibana kot glede na ekspozicije, najmanjše razmerje pa panonska gričevja z 20,3 proti 30,4, kar pomeni, da ekspozicijska razgibanost za polovico presega naklonsko razgibanost.
- Povezanost med naklonsko in ekspozicijsko razgibanostjo površja je manjša, kot bi morda pričakovali, saj je koeficient linearne korelacije komaj 0,2806, kar pa je še vedno več od mejnega koeficienta korelacije za statistično pomembnost, ki je po *t-testu* pri 99,9 % zaupanju in 2.027.198 enotah (hektarskih celicah) 0,0024. Koeficient linearne korelacije med naklonsko in skupno razgibanostjo je 0,7802, med ekspozicijsko in skupno razgibanostjo površja pa 0,7750.

Pri nadaljnjih raziskavah bo zanimivo določati povezanost ekspozicijske razgibanosti površja z drugimi naravnimi in družbenimi sestavinami pokrajine in, na primer, ugotoviti, na kakšnih kamninah se pojavlja največja ekspozicijska razgibanost površja, ali ugotoviti, če ekspozicijska razgibanost površja vpliva na rabo tal.

Na podoben način, kot smo že določali razgibanost površja glede na navpično oddaljenost oziroma nadmorsko višino površja in navpično nagnjenost oziroma naklon površja (Perko 2001a) ali kot ugotavljamo razgibanost površja glede na vodoravno nagnjenost površja v tem članku, bi bilo smiselno s pomočjo digitalnega modela višin ugotoviti tudi razgibanost površja glede na navpično in vodoravno ukrivljenost površja.

6 Viri in literatura

- Badjura, R. 1953: Ljudska geografija. Ljubljana.
- Blejec, M. 1976: Statistične metode za ekonomiste. Ljubljana.
- Bognar, A. 1986: Geomorfološke i inženjersko-geomorfološke osobine kričkog brda. Geografski glasnik 48. Zagreb.
- Demek, J. 1972: Manual of detailed geomorphological mapping. Brno.
- Demek, J. 1976: Handbuch der geomorphologischen Detailkartierung. Wien.
- DMR 100, stometrski digitalni model reliefa Slovenije. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana.
- Državna geodezija. Geodetska uprava Republike Slovenije. Ljubljana, 1998.
- Eastman, J. R. 1995: IDRISI for Windows. User's Guide. Worcester.
- Enander, H. 1998: Terrain attributes for an area of Graves county. Medmrežje: www.murraystate.edu/qacd/cos/geo/gsc521/1998/henander/index.html, 10. 6. 2002.
- Gabrovec, M., Hrvatin, M. 1998: Površje. Geografski atlas Slovenije. Ljubljana.
- Gams, I. 1984: Metodologija geografske razčlenitve ozemlja. Geografski vestnik 56. Ljubljana.
- Gams, I. 1985: Problemi sodobnega raziskovanja gorskih sistemov. Geografski vestnik 57. Ljubljana.
- Gams, I. 1986: Za kvantitativno razmejitev med pojmi gričevje, hribovje in gorovje. Geografski vestnik 58. Ljubljana.
- Gams, I. 1987: Omejitev alpskega sveta v Sloveniji. Geografski vestnik 59. Ljubljana.
- Gams, I. 1998: Relief. Geografija Slovenije. Ljubljana.
- Gams, I., Natek, K. 1981: Geomorfološka karta 1 : 100.000 in razvoj reliefa v litijski kotlini. Geografski zbornik 21. Ljubljana.
- Hrvatin, M., Perko, D. 2002: Ugotavljanje ukrivljenosti površja z digitalnim modelom višin in njena uporabnost v geomorfologiji. Geografski informacijski sistemi 2001–2002. Ljubljana.
- Lipovšek - Ščetinin, B., Zupet, B. 1979: Gorsko izrazoslovje. Alpinistična šola 1. Ljubljana.
- Mäusbacher, R. 1985: Die Verwendbarkeit der geomorphologischen Karte 1 : 25.000. Berliner geographische Abhandlungen 40. Berlin.
- Parsons, A. J. 1988: Hillslope form. London.
- Perko, D. 1992: Nakloni v Sloveniji in digitalni model reliefa. Geodetski vestnik 36/2. Ljubljana.
- Perko, D. 1998a: Ekspozicije površja. Geografski atlas Slovenije. Ljubljana.
- Perko, D. 1998b: Nadmorske višine površja. Geografski atlas Slovenije. Ljubljana.
- Perko, D. 1998c: Nakloni površja. Geografski atlas Slovenije. Ljubljana.
- Perko, D. 2001a: Analiza površja Slovenije s stometrskim digitalnim modelom reliefa. Geografija Slovenije 3. Ljubljana.
- Perko, D. 2001b: Landscapes. National atlas of Slovenia. Ljubljana.
- Perko, D. 2001c: Physical-geographical regionalization. National atlas of Slovenia. Ljubljana.
- Selby, M. J. 1985: Earth's changing surface. Oxford.
- Speight, J. G. 1980: Methods and significance of slope mapping. Technical memorandum 80/7. Canberra.
- Wood, J. 1996: The geomorphological characterisation of digital elevation models. Doktorska naloga, Department of geography, University of Leicester. Leicester.

7 Summary: Determination of horizontal and vertical surface roughness by digital elevation model

(translated by the author)

Digital elevation model offers the possibility to determine the surface distance, the surface inclination and the surface curvature in regard to a horizontal or vertical plane (in space), therefore a horizontal and vertical surface distance, a horizontal and vertical surface inclination and a horizontal and verti-

cal surface curvature are distinguished. The surface distance, the surface inclination and the surface curvature can vary over space. The variation in regard to a horizontal plane is known as the vertical surface roughness and the variation in regard to a vertical plane is called the horizontal surface roughness. The vertical surface roughness and the horizontal surface roughness are determined by the vertical and horizontal surface roughness coefficients.

Both coefficients are derived from the variability coefficient of the main cell and its 8 neighbouring cells.

The vertical surface roughness coefficient (the relation between the standard deviation of the vertical inclination of the cell and the average vertical inclination of all cells multiplied by 100) determines the spatial variability of vertical inclination (slope) for all 2,027,198 cells of Slovenia's 100-meter digital elevation model. The minimum of the coefficient is 0.0, the average 26.2, the maximum 242.7, and the standard deviation 19.9.

The highest vertical surface roughness coefficients are distinctive of Alpine mountains with coefficients about 40 (the Julian Alps in NW Slovenia 43.7), followed by Alpine hills about 35, Dinaric plateaus 30, Mediterranean low hills 25, Pannonian low hills 20, Mediterranean plateaus 20, Dinaric plains 15, Alpine plains 10, and Pannonian plains less than 5 (the Mura plain in NE Slovenia 2.0).

The horizontal surface roughness coefficient (the relation between the standard deviation of the horizontal inclination of the cell and the average horizontal inclination of all cells multiplied by 100) determines the spatial variability of the horizontal inclination (aspect) for all 2,027,198 cells of Slovenia's 100-meter digital elevation model.

The minimum of the coefficient is 0.0, the average 22.9, the maximum is 91.9, and the standard deviation 17.1.

The highest horizontal surface roughness coefficients are distinctive of Pannonian low hills with coefficients a little over 30 (the Haloze low hills in NE Slovenia 34.0), followed by Mediterranean low hills a little less than 30. The lowest horizontal surface roughness coefficients are distinctive of Alpine plains about 10 and Pannonian plains less than 2 (the Mura plain 0.8). The coefficients of other landscape types reach from 20 to 25.

According to our research the highest vertical surface roughness coefficients are characteristic for the mountain areas and the lowest vertical surface roughness coefficients for the flat areas, while the highest horizontal surface roughness coefficients are found out in the low hills areas and the lowest horizontal surface roughness coefficients in the flat areas.