Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo

Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
http://www3.fgg.uni-lj.si/

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
http://drugg.fgg.uni-lj.si/

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujte na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Banovec, G., 2016. Analiza obstoječih algoritmov za generalizacijo digitalnega modela reliefa na primeru uporabe na izbranih področjih v geodeziji in geoinformatiki. Diplomska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Ambrožič, T., somentor Podobnikar, T.): 121 str.

http://drugg.fgg.uni-lj.si/5886/

Datum arhiviranja: 5-10-2016

University
of Ljubljana
Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering

Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
http://www3.fgg.uni-lj.si/en/

DRUGG – The Digital Repository
http://drugg.fgg.uni-lj.si/

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Banovec, G., 2016. Analiza obstoječih algoritmov za generalizacijo digitalnega modela reliefa na primeru uporabe na izbranih področjih v geodeziji in geoinformatiki. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Ambrožič, T., co-supervisor Podobnikar, T.): 121 pp.

http://drugg.fgg.uni-lj.si/5886/

Archiving Date: 5-10-2016

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
gradbeništvo in
geodezijo

Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GEODEZIJA SMER PROSTORSKA INFORMATIKA

Kandidat:

GAŠPER BANOVEC

ANALIZA OBSTOJEČIH ALGORITMOV ZA GENERALIZACIJO DIGITALNEGA MODELA RELIEFA NA PRIMERU UPORABE NA IZBRANIH PODROČJIH V GEODEZIJI IN GEOINFORMATIKI

Diplomska naloga št.: 1005/PI

ANALYSIS OF SELECTED ALGORITHMS FOR GENERALIZATION OF DIGITAL ELEVATION MODEL WITH APPLICATIONS IN SELECTED FIELDS OF GEODESY AND GEOINFORMATICS

Graduation thesis No.: 1005/PI

Mentor:
izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič

Somentor:
izr. prof. dr. Tomaž Podobnikar

Ljubljana, 20. 09. 2016

ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo

IZJAVE

Spodaj podpisani/-a študent/-ka **Gašper Banovec**, vpisna številka 26202802, avtor/-ica pisnega zaključnega dela študija z naslovom: **Analiza izbranih obstoječih algoritmov za generalizacijo digitalnega modela reliefa na primeru uporabe na izbranih področjih v geodeziji in geoinformatiki.**

IZJAVLJAM

1. *Obkrožite eno od variant a) ali b)*

a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;

b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil/-a;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V/Na: Ljubljani
Datum:2.9.2016

Podpis študenta/-ke

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 528.9 (043.2)

Avtor: Gašper Banovec

Mentor: izr. prof. dr. Tomaž Ambrožič

Somentor: izr. prof. dr. Tomaž Podobnikar

Naslov: Analiza izbranih obstoječih algoritmov za generalizacijo digitalnega modela reliefa na primeru uporabe na izbranih področjih v geodeziji in geoinformatiki

Obseg in oprema: 121 str., 33 pregl., 80 sl., 1 pril.

Ključne besede: Digitalni model reliefa, generalizacija, kartografija, GIS analize, kakovost podatkov, analitično senčenje, prevzorčenje

Izvleček

Namen naloge je analiza izbranih obstoječih algoritmov za generalizacijo digitalnega modela reliefa na primeru uporabe na izbranih področjih v geodeziji in geoinformatiki kot so kartografija, prostorskih analiz v GIS-u in kontrola kakovosti. V praktičnem delu naloge sem uporabil testno območje Semiča, ki predstavlja ravninski del in semiško goro, ki se dviga nad Semičem. S pomočjo programa ArcGIS sem izvedel nekaj enostavnih analiz površja: izračun naklona, ekspozicije, ukrivljenosti in analitično senčenje z uporabo podatkov DMV 5, DMV 12,5 ter lidarskega DMR-ja,. Z bilinearno metodo interpolacije sem vse tri sloje prostorskih podatkov prevzorčil iz ločljivosti 12,5 m na ločljivost 25 m in 50 m in opravil analize. Rezultate analiz sem interpretiral v smislu treh izbranih področij v geodeziji in geoinformatiki. Lidarski DMR je najbolj kakovosten prikaz glede na stopnjo detajlnosti. DMV 12,5 in DMV 5 sta bolj skladna, predvsem v ravninskem delu, DMV 5 in lidarski DMR pa v hribovitem predelu. Analitično senčenje pri azimutu 45° daje nedefinirane prikaze površja, pri azimutu 135 obratno predstavo površja, hribi so doline in doline hribi, senčenje pri vertikalnem kotu 10° pa dolge sence. Generiranje najboljših plastnic dobimo iz lidarskega DMR-ja, kjer se plastnice generalizirajo in reducirajo predvsem na ravninskem predelu. Pri prevzorčenju na boljšo ločljivost iz 12,5 m na 1 m sem iskal napake na slojih. Pri posrednem vzorčenju sem v primerjavi s neposrednim dobil še bolj generalizirane prikaze. Ekspozicija je najmanj občutljiva na generalizacijo, veliko bolj pa so naklon in ukrivljenost, Pri ukrivljenosti se dovolj dobro razlike vidijo pri ločljivosti 25 m, kjer tudi vizualno opazimo razlike v konkavnosti in konveksnosti. Najmanj razlik opazimo pri tlorisni ukrivljenosti. S prevzorčenjem na manjšo ločljivost na 25 m in na 50 m se zmanjša kakovost prikaza in kakovost podatkov DMV-ja, vendar sem pri ločljivosti 50 m dobil enakovrednejše prikaze med sloji.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 528.9 (043.2)

Author: Gašper Banovec

Supervisor: Assoc. Prof. Tomaž Ambrožič, Ph.D

Co-advisor: Assoc. Prof. Tomaž Podobnikar, PhD

Title: Analysis of selected algorithms for generalization digital elevation model with applications of selected fields of geodesy and geoinformatics

Notes: 121 p., 33 tab., 80 fig., 1 ann.

Key words: digital elevation model, generalization, cartography, GIS analysis, data quality, analitical hillshading, resampling

Abstract

The purpose of the thesis is an analysis of selected existing algorithms for DEM generalization through case application in selected fields of geodesy and geoinformatics like cartography, spatial analyses in GIS, and quality control. In its practical part, I used the test area of Semič, consisting of a plain and the Semič hill rising above. Via ArcGIS program, I conducted several simple surface analyses: calculation of slope, angle, curvature, and analytical hillshading using DEM 5, DEM 12.5 and LIDAR data. By bilinear interpolation method, I resampled all three layers of spatial data from 12.5 resolution to 25m and 50m resolutions, and conducted analyses. I interpreted the analyses' results in the sense of three selected fields in geodesy and geoinformatics. LIDAR is the highest quality display regarding the level of detail. Especially in the flat part, DEM 12.5 and DEM 5 are more consistent, whereas DEM 5 and LIDAR tally better in the hilly tract. Analytical hillshading at 45° azimuth yields undefined surface displays, a reverse surface display at 135° azimuth, hills being valleys and valleys hills, while hillshading at a vertical 10° angle forms long shadows. The best contours are generated from LIDAR, where contours are generalized and reduced mainly in the flat tract. Resampling to better resolution from 12.5m to 1m, I searched for errors in the layers. Through indirect sampling, I obtained even more generalized displays compared to direct sampling. Exposition is least sensitive to generalization, while angle and curvature are much more so. In curvature, differences are well enough seen at 25m resolution, where we can also visually perceive the differences in concavity and convexity. The least differences are seen in plan curvature. When resampling to smaller resolution of 25m and 50m, the quality of display and DEM data decreases, but I obtained more equivalent inter-layer displays at 50m resolution.

ZAHVALA

Za pomoč pri izdelavi in nastajanju diplomskega dela se iz srca zahvaljujem somentorju izr. prof. dr. Tomažu Podobnikarju za strokovno vodenje in izr. prof. dr. Tomažu Ambrožiču, ki je bil pripravljen prevzeti mentorstvo.

Zahvala gre tudi moji družini in prijateljem, ki so mi v času študija stali ob strani.

VSEBINA

IZJAVE **II**

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK **III**

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT **IV**

ZAHVALA **V**

1 UVOD **21**

2 INTERPRETACIJA IN OBRAVNAVA PROSTORA V POVEZAVI Z DMR-jem **22**

2.1 Definicija digitalnega modela reliefa **22**

2.2 Rastrski zapis DMR **24**

2.3 Pridobivanje DMR-ja **25**

2.3.1 Iskanje ogrodja površja na DMR-ju 25

2.3.2 Terenska merjenja 26

2.3.3 Zajem iz obstoječih načrtov ali kart 26

2.3.4 Napake pri digitalizaciji plastnic iz obstoječih kartografskih virov 28

2.3.5 Napake pri fotogrametričnem procesiranju aero in satelitskih posnetkov 29

2.3.6 Tehnologija lidar 30

2.3.7 Napake lidar metode 30

2.4 Prostorska interpolacija **31**

2.4.1 Filtriranje prostorskih podatkov 33

2.4.2 Metoda prevzorčenja 33

2.5 Kakovost prostorskih podatkov **35**

2.5.1 Kakovost virov podatkov pri izdelavi DMR 35

2.5.2 Kontrola kakovosti DMR-ja 37

2.5.3 Odpravljanje napak, obdelava in filtriranje DMR-ja 37

2.6 Uporaba DMR-ja **43**

2.6.1 Uporaba DMR-ja v kartografiji 43

2.6.2 Geomorfometrična analiza DMR-ja 46

2.6.3 Uporaba DMR-ja v geoinformatiki 48

3 OPREDELITEV POJMA GENERALIZACIJE 51

3.1 Generalizacija v splošnem 51

3.1.1 Kartografska generalizacija 52

3.2 Avtomatska kartografska generalizacija 55

4 ALGORITMI IN GENERALIZACIJA DMR-ja 57

4.1 Generalizacija v GIS okolju 57

4.2 Generalizacija DMR-ja 57

4.2.1 Metoda generalizacije DMR-ja pri analitičnem senčenju in hipsometričnem barvanju 60

4.2.2 Generalizacija plastnic 61

5 PRAKTIČNI DEL NALOGE NA TESTNEM OBMOČJU 63

5.1 Metode generalizacije z uporabo ArcGIS programa 63

5.2 Opredelitev testnega območja 64

5.3 Uporabljeni podatki 65

5.3.1 DMV 5 65

5.3.2 DMV 12,5 66

5.3.3 Lidarski DMR 66

5.4 Rezultati testiranja 67

5.4.1 Naklon 68

5.4.2 Ukrivljenost 69

5.4.3 Ekspozicija 72

5.4.4 Odštevanje slojev naklona, ukrivljenosti in ekspozicije 73

5.4.5 Analitično senčenje slojev 76

5.5 Interpretacija rezultatov generalizacije iz treh vidikov: kartografije, prostorskih analiz v GIS-u in kakovosti podatkov 79

5.5.1 Interpretacija v kartografskem smislu 79

5.5.2 Interpretacija v smislu prostorskih analiz v GIS-u 87

5.5.3 Interpretacija v smislu kakovosti DMR-ja 107

6 ZAKLJUČEK 115

VIRI 117

KAZALO SLIK

Slika 1: Senčen prikaz digitalnega modela reliefa 23

Slika 2: Primer za rastrski zapis DMR-ja 25

Slika 3: Shema ročnega digitaliziranja 27

Slika 4:Lidarsko snemanje površja 30

Slika 5: Metoda utežne obratne razdalje (a) in metoda kriging (b) 32

Slika 6: Metoda najbližjega soseda (a) in metoda zlepkov (b) 33

Slika 7: Shema izračuna vrednosti celice na podlagi metode najbližjega soseda 34

Slika 8: Shema izračuna vrednosti celice na podlagi bilinearne interpolacije 34

Slika 9: Shema izračuna vrednosti celice na podlagi kubičnega pregiba 35

Slika 10: Shema konvolucijskega filtriranja s pomičnim oknom dimenzije 3 x 3 39

Slika 11: Primerjava originalnega DMR (a) in obdelanega z Laplaceovim filtrom (b) 41

Slika 12: Primerjava originalnega DMR (a) in obdelanega s Sobelovim filtrom (b) 42

Slika 13 Primerjava 2D (a) in 3D prikaza (b) za isto območje 44

Slika 14: Primer 3D prikaza DMR 44

Slika 15: Prikaz DMR s plastnicami 45

Slika 16: Shema prečnega profila 46

Slika 17: Grafični prikaz ekspozicije površja 47

Slika 18: Grafični prikaz naklona površja 48

Slika 19: :Shema senčenja površja 50

Slika 20 : Shematični prikaz Douglas – Peuckerjeve metode poenostavljanja linij 54

Slika 21 : Prikaz digitalne in ročne generalizacije DMR-ja 58

Slika 22: Prikaz filtriranja; a) originalni senčeni DMR, b) globalno filtriranje, c) lokalno filtriranje 59

Slika 23: Generalizacija plastnic na osnovi izvlečka in analize drenažnih sistemov 61

Slika 24: Topografska karta izbranega območja v merilu 1: 30.000 65

Slika 25: Prikazi slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) po uvozu podatkov v ArcGIS v hipsometričnih barvah 67

Slika 26: Prikazi naklona slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) 68

Slika 27: Prikazi ukrivljenosti slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) 69

Slika 28: Prikazi tlorisne ukrivljenosti slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) 70

Slika 29: Prikazi profilne ukrivljenosti slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) 71

Slika 30: Prikazi ekspozicije slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) 72

Slika 31: Prikazi odštevanja naklonov DMV 12,5 – DMV 5 (a), DMV 12,5 – lidarski DMR (b), DMV 5 – lidarski DMR (c) 73

Slika 32: Prikazi odštevanja ukrivljenosti DMV 12,5 – DMV 5 (a), DMV 12,5 – lidarski DMR (b), DMV 5 – lidarski DMR (c) 74

Slika 33: Prikazi odštevanja ekspozicije DMV 12,5 – DMV 5 (a), DMV 12,5 – lidarski DMR (b), DMV 5 – lidarski DMR (c) 75

Slika 34: Senčenje slojev DMV 12,5 (a) DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) pod vertikalnim kotom 45° in azimutom 315° 76

Slika 35: Senčenje slojev DMV 12,5 (a) DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) pod vertikalnim kotom 45° in azimutom 135° 77

Slika 36: Senčenje slojev DMV 12,5 (a) DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) pod vertikalnim kotom 45° in azimutom 45° 77

Slika 37: senčenje slojev DMV 12,5 (a) DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) pod vertikalnim kotom 10° in azimutom 315° 78

Slika 38: Senčenje slojev DMV 12,5(a) DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) pod vertikalnim kotom 10° in azimutom 135° 78

Slika 39: Senčenje slojev DMV 12,5 (a) DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) pod vertikalnim kotom 10° in azimutom 45° 79

Slika 40: Senčenje prevzorčenih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) pod vertikalnim kotom 45° in azimutom 315° pri ločljivosti 25 m 80

Slika 41: Senčenje generaliziranih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) pod vertikalnim kotom 45° in 315° pri ločljivosti 25 m 80

Slika 42: Senčenje prevzorčenih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) pod vertikalnim kotom 45° in azimutom 315° pri ločljivosti 50 m 81

Slika 43: Senčenje generaliziranih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) pod vertikalnim kotom 45° in 315° pri ločljivosti 50 m 81

Slika 44: Prikaz plastnic DMV12,5 (zelena), DMV 5 (rdeča), lidarski DMR (modra) preko senčenega lidarskega DMR-ja 82

Slika 45: Prikaz plastnic DMV12,5 (zelena), DMV 5 (rdeča), lidarski DMR (modra) preko prevzorčenega lidarskega DMR-ja, senčenega na ločljivost 25m 83

Slika 46: Prikaz plastnic DMV12,5 (zelena), DMV 5 (rdeča), lidarski DMR (modra) preko generaliziranega lidarskega DMR-ja, senčenega na ločljivost 25m 84

Slika 47: Prikaz plastnic DMV12,5 (zelena), DMV 5 (rdeča), lidarski DMR(modra) preko prevzorčenega lidarskega DMR-ja, senčenega na ločljivost 50 m 85

Slika 48: Prikaz plastnic DMV12,5 (zelena), DMV 5 (rdeča), lidarski DMR (modra) preko generaliziranega lidarskega DMR-ja, senčenega na ločljivost 50 m 86

Slika 49: Prikaz prevzorčenih slojev DMV 12,5 DMV 5 in lidarskega DMR-ja iz ločljivosti 12,5 m na ločljivost 25m 87

Slika 50: Prikaz prevzorčenih slojev DMV 12,5 DMV 5 in lidarskega DMR-ja iz ločljivosti 12,5 m na ločljivost 50 m 88

Slika 51: Prikaz generaliziranih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) iz ločljivosti 12,5 m na ločljivost 25 m 88

Slika 52: Prikaz generaliziranih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) iz ločljivosti 12,5 m na ločljivost 50 m 89

Slika 53: Prikaz naklonov prevzorčenih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) pri ločljivosti 25 m 90

Slika 54: Prikaz naklonov generaliziranih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) na ločljivost 25 m 91

Slika 55: Prikaz naklonov prevzorčenih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (b) pri ločljivosti 50 m 92

Slika 56: Prikaz naklonov generaliziranih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) na ločljivost 50 m 93

Slika 57: Prikaz ukrivljenost prevzorčenih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) pri ločljivosti 25 m 94

Slika 58: Prikaz ukrivljenosti generaliziranih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) pri ločljivosti 25 m 95

Slika 59: Prikaz ukrivljenost slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) pri ločljivosti 50 m 95

Slika 60: Prikaz ukrivljenosti generaliziranih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) pri ločljivosti 50 m 96

Slika 61: Prikaz tlorisne ukrivljenost prevzorčenih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) na ločljivost 25 m 97

Slika 62: Prikaz tlorisne ukrivljenosti prevzorčenih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) na ločljivost 50 m 98

Slika 63: Prikaz tlorisne ukrivljenost generaliziranih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) na ločljivost 25 m 98

Slika 64: Prikaz tlorisne ukrivljenosti generaliziranih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja sloja (c) na ločljivost 50 m 99

Slika 65: Prikaz profilne ukrivljenosti prevzorčenih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b)in lidarskega DMR-ja (c) na ločljivost 25 m 100

Slika 66: Prikaz profilne ukrivljenosti prevzorčenih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) na ločljivost 50 m 101

Slika 67: Prikaz profilne ukrivljenosti generaliziranih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) na ločljivost 25 m 101

Slika 68: Prikaz profilne ukrivljenosti generaliziranih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) na ločljivost 50 m 102

Slika 69: Prikaz ekspozicije prevzorčenih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) na ločljivost 25 m 103

Slika 70: Prikaz ekspozicije prevzorčenih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) na ločljivost 50 m 104

Slika 71: Prikaz ekspozicije generaliziranih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) na ločljivost 25 m 105

Slika 72: Prikaz ekspozicije generaliziranih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) sloja na ločljivost 50 m 106

Slika 73: Primerjava plastnic lidarskega DMR-ja (črna barva) in plastnic prevzorčenega lidarskega DMR-ja na ločljivost 50 m (rdeča barva) za ravninski predel 108

Slika 74: Primerjava plastnic za ravninski (a) in hribovit predel (b) pred in po generalizaciji 109

Slika 75: Zanka plastnice, ki je nastala pri prevzorčenju iz 12,5 m na ločljivost 25 m na DMV 5 sloju 109

Slika 76: Primerjava prevzorčenega sloja DMV12,5 na ločljivost 1 (a) m in nevzorčenim slojem DMV12,5 (b) 110

Slika 77: Primerjava naklonov neposredno vzorčenega sloja (a) in posredno vzorčenega sloja DMV 5 (b) na ločljivost 50 m 111

Slika 78: Primerjava plastnic med neposredno prevzorčenim slojem (rdeča barva) in posredno prevzorčenim slojem DMV 5 (rjava barva) na ločljivost 50 m 112

Slika 79: Prekrivanje sloja naklona (a) in senčenega lidarskega DMR-ja (b) pod vertikalnim kotom 45° in azimutom 315° in prikaz kombinacije (c) 113

Slika 80: Prekrivanje sloja naklona (a) in senčenega sloja DMV 5 (b) pod vertikalnim kotom 10° in azimutom 315° in prikaz kombinacije (c) 113

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1 : Opisna statistika nadmorskih višin slojev DMV 12,5, DMV 5
In lidarskega DMR-ja 46

Preglednica 2: Opisna statistika naklonov slojev DMV 12,5, DMV 5 in lidarskega DMR-ja 68

Preglednica 3: Opisna statistika ukrivljenosti slojev DMV 12,5, DMV 5 in lidarskega DMR-ja 69

Preglednica 4: Opisna statistika tlorisne ukrivljenosti slojev DMV 12,5, DMV 5
in lidarski DMR 70

Preglednica 5: Opisna statistika profilne ukrivljenosti slojev DMV 12,5, DMV 5
in lidarskega DMR-ja 50

Preglednica 6: Opisna statistika ekspozicije slojev DMV 12,5, DMV 5 in lidarskega DMR-ja 72

Preglednica 7: Opisna statistika odštevanja naklonov slojev DMV 12,5, DMV 5
in lidarskega DMR-ja 73

Preglednica 8: Opisna statistika odštevanja ukrivljenosti slojev DMV 12,5, DMV 5 in lidarskega
DMR-ja 74

Preglednica 9: Opisna statistika ekspozicije slojev DMV 12,5, DMV 5 in lidarskega DMR-ja 75

Preglednica 10: Opisna statistika nadmorskih višin prevzorčenih slojev na ločljivost 25 m 89

Preglednica 11: Opisna statistika nadmorskih višin prevzorčenih slojev na ločljivost 50 m 89

Preglednica 12: Opisna statistika nadmorskih višin generaliziranih slojev na ločljivost 25 m 89

Preglednica 13: Opisna statistika nadmorskih višin generaliziranih slojev na ločljivost 50 m 90

Preglednica 14: Opisna statistika naklonov prevzorčenih slojev na ločljivost 25m 93

Preglednica 15: Opisna statistika naklonov prevzorčenih slojev na ločljivost 50 m 93

Preglednica 16: Opisna statistika naklonov generaliziranih slojev na ločljivost 25m 94

Preglednica 17: Opisna statistika naklonov generaliziranih slojev na ločljivost 50 m 94

Preglednica 18: Opisna statistika ukrivljenosti prevzorčenih slojev pri ločljivosti 25 m 96

Preglednica 19: Opisna statistika ukrivljenosti prevzorčenih slojev pri ločljivosti 50 m 96

Preglednica 20: Opisna statistika ukrivljenosti generaliziranih slojev pri ločljivosti 25 m 96

Preglednica 21: Opisna statistika ukrivljenosti generaliziranih slojev pri ločljivosti 50 m 97

Preglednica 22: Opisna statistika tlorisne ukrivljenosti prevzorčenih slojev na ločljivost 25 m 99

Preglednica 23: Opisna statistika tlorisne ukrivljenosti prevzorčenih slojev na ločljivost 50 m 99

Preglednica 24: Opisna statistika tlorisne ukrivljenosti generaliziranih slojev na ločljivost 25 m 99

Preglednica 26: Opisna statistika profilne ukrivljenosti prevzorčenih slojev pri ločljivosti 25 m 102

Preglednica 27: Opisna statistika profilne ukrivljenosti prevzorčenih slojev pri ločljivosti 50 m 102

Preglednica 28: Opisna statistika profilne ukrivljenosti generaliziranih slojev pri ločljivosti 25 m 102

Preglednica 29: Opisna statistika profilne ukrivljenosti generaliziranih slojev pri ločljivosti 50 m 103

Preglednica 30: Opisna statistika ekspozicije prevzorčenih slojev pri ločljivosti 25 m 106

Preglednica 31: Opisna statistika ekspozicije prevzorčenih slojev pri ločljivosti 50 m 106

Preglednica 32: Opisna statistika ekspozicije generaliziranih slojev pri ločljivosti 25 m 107

Preglednica 33: Opisna statistika ekspozicije generaliziranih slojev pri ločljivosti 50 m 107

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

Slovenska kratica	Angleška kratica	Slovensko	Angleško
ALS	ALS	Aerolasersko skeniranje	Airborne laser scanning
DMV	DEM	Digitalni model višine	Digital elevation model
DMR	DTM	Digitalni model reliefa	Digital terrain model
DMP	DSM	Digitalni model ploskve	Digital surface model
GIS	GIS	Geografski informacijski sistemi	Geographic(al) information system
LIDAR	LIDAR	Lidarsko snemanje	Light Detection and Ranging
InSAR	InSAR	Interferomterični SAR	Interferomteric SAR
TLS	TLS	Terestrično lasersko skeniranje	Terrestrial laser scanning
TIN	TIN	Nepravilna trikotniška mreža	Triangular irregular network

SLOVAR STROKOVNIH BESED IN TUJK

Pojem	*Opis*	*Vir*
Abstrakcija	Načelo in potek izbire pomembnih lastnosti pojavov oziroma objektov glede na njihovo določeno uporabo ali namen.	Šumrada, 2005
Algoritem	Navodilo, ki določa vrsto in zaporedje operacij v računskem postopku.	SSKJ, 2000
Analitično senčenje	Angleško analitical shading je računalniška metoda za prikazovanje površja. Omogoča hitro in natančno zaznavanje slojev, struktur in dimenzij površja na topografskih ali tematskih kartah.	Podobnikar, 2012
Digitalizacija	Digitalna registracija, kodiranje, prevod in shranjevanje grafičnih analognih podatkov v računalniško kompatibilno obliko	Rihtaršič, Fras, 1990
Digitalni model reliefa (DMR)	DMR pomeni kompleksno predstavitev površja, ki vsebuje višinske točke površja, značilne točke in črte ter druge geomorfološke značilnosti.	Podobnikar, 2001
Digitalni model višin (DMV)	Za razliko od DMR-ja je DMV sloj podatkov, ki vsebuje samo višine točk določenega območja.	Kvamme et al, 1997
Generalizacija	Generalizacija v GIS okolju je postopek poenostavljanja	Drobne, Podobnikar, 1999

	geografskih objektov, ki so premajhni za prikaz in opremljanje s kartografskimi znaki. Generalizacije se poslužujemo kadar hočemo zmanjšati merila kartografskega prikaza, ko se obrisi prostorskih pojavov toliko zgostijo, da postanejo nerazločni.	
Geokodiranje	Geokodiranje je postalo ena od najbolj uporabljenih operacij, ki so povezane z GIS. Pomeni proces konvertiranja iskanih krajev v digitalne geografske koordinate. Najbolj pogost tip geokodiranje je naslovno kodiranje, kjer se naslovi ulic prikažejo kot upodobitve na karti.	Chang, K. 2016
Geomorfometrija	Obravnava izoblikovanost površja iz kvantitativnega vidika in meri geomorfološke pojave.	MacMillan, Shary, 2009
Geografski informacijski sistem (GIS)	GIS je sistem pridobivanja, administracije, analiz in prikaza velike množice prostorskih podatkov, ki vsebujejo tudi tematske atribute.	Rudiger, Petschek, 2010
Filtriranje	Postopek izboljšave kvalitete rastrskih podatkov z iskanjem in odstranjevanjem napak in izboljšanjem podatkov.	Troy, Zhou, 2008
Kartografija	Je disciplina, ki se ukvarja z umetnostjo, znanostjo in tehnologijo izdelovanja in	ICA, 2016

	uporabe kart.	
Aerolasersko skeniranje (ALS)	ALS lahko uporabljamo kot samostojno tehniko snemanja ali v kombinaciji z različnimi tipi snemanj (fotogrametrično, hiperspektralno snemanje). Glavna značilnost in prednost je, da detajle na površju neposredno izmerimo in jih ne pridobivamo z naknadno restitucijo stereoparov.	Triglav Čekada, 2010
Semantika	(″semanticos″ - imeti pomen) ali pomenoslovje. Proučuje pomen besed in povezav med njimi. Semantika pojasnjuje razmerje med pomenom besed in stvarnostjo, na katero se nanašajo.	Šumrada, 2005
Piksel	V računalništvu okrajšava za izraz slikovni element. Predstavlja najmanjšo naslovljivo enoto slike, ki se jo lahko prebere ali nariše.	ZGNL- slovar (2016)
Prevzorčenje	Prevzorčenje ali angleško resampling je proces interpolacije vrednosti novih celic, medtem ko pretvarjamo raster v nove prostorske koordinate ali nove velikosti celic.	Support.esri, 2016
Rastrski podatki	Rastrski podatki so množica točk, ki je zapisana kot slikovni element ali kot množica pikslov in je predstavljena v matrični	Podobnikar, 2001

	strukturi.	
Relief	Relief predstavlja višine in nižine zemeljskega površja in tudi oceansko dno. Na kartah ga prikazujemo s plastnicami, senčenjem, s hipsonometričnimi odtenki, z digitalnim modeliranjem ali višinskimi točkami.	Support.esri, 2016
Obnova	Obnova ali angleško restoration pomeni ponovno vzpostavitev podatkov v prvotno stanje, če so bili poškodovani, kopirani ali premaknjeni na drugo lokacijo.	Techtarget, 2016
Topologija	Podaja povezljivost in opisuje sosedske odnose med objekti. V tehnologiji GIS opisuje relativne odnose, ki predstavljajo nek geografski pojav, brez uporabe koordinat. Na področju vektorskega okolja pomeni temelj geometrijske organizacije podatkov.	Čeh, 2003

1 UVOD

Digitalno okolje danes omogoča natančen in izmerljiv zapis zemeljskega površja. Najbolj znan in v stroki uporabljen je digitalni model reliefa ali DMR. DMR predstavlja matematični zapis površja in prav zaradi tovrstnega zapisa lahko kasneje opravljamo številne operacije in analize. Ena izmed operacij je postopek generalizacije ali posploševanja. Generalizacijo uporabljamo iz več namenov oziroma razlogov ali pogojev. Ti se lahko pojavijo pri izdelovanju novih kart iz že obstoječih virov, pri izdelovanju tematskih kart, ki prikazujejo izbrani segment pri tematskih kartah (npr. karta pešpoti), ostale segmente pa s selektivnimi tehnikami eliminiramo ali jih prikažemo v ozadju, pri izdelovanju kart v manjših merilih, kjer nekateri podatki za naročnika niso pomembni. Lahko pa postopke generalizacije uporabljamo tudi pri odpravljanju nekaterih napak, ki so se zgodile v postopkih izdelovanja kart. Take napake so na primer prenatrpanost nekaterih objektov, ki jih z odstranjevanjem ali združevanjem preuredimo v bolj pregledna območja. Pri postopkih analitičnega senčenja prihaja do osenčenja nekaterih značilnosti površja, ki niso pomembna in jih lahko s postopki generalizacije odstranimo ali pa pripravimo tako, da ustrezajo določenemu namenu.

Naloga je sestavljena iz treh večjih področij. Prvo opisuje DMR na splošno in njegove definicije ter rastrski zapis DMR-ja, pridobivanje in zajem podatkov za izdelavo DMR-ja, prostorsko interpolacijo in metodo prevzorčenja, odpravljanje napak pri izdelavi in filtriranje ter uporabo DMR-ja in metode analitičnega senčenja DMR-ja. Drugo večje poglavje povzema generalizacijo v splošnem, kartografsko generalizacijo ter generalizacijo DMR-ja. V tretjem delu naloge sem opravil izbrane osnovne analize na DMR-ju: izračun naklonov, ekspozicije, ukrivljenosti površja, analitično senčenega površja, ter nanje apliciral metodo prevzorčenja.

2 INTERPRETACIJA IN OBRAVNAVA PROSTORA V POVEZAVI Z DMR-jem

2.1 Definicija digitalnega modela reliefa

"Realnost pojmujemo kot neskončen prostor in čas, ki ju izkustveno dojemamo in pojmujemo kot zapleteno stvarnost, ki nas obdaja ter se poljubno spreminja" (Šumrada,2005). Stvarnost oziroma prostor opisujemo z modeli, ki so poenostavljeni in abstraktni. Za vsakdanjo predstavo prostora si pomagamo z različnimi zemljevidi, ki vsebujejo različne prostorske podatke in za prikaz površja vsebujejo sence in različne barvne sloje. Nekoliko bolj natančne in opremljene pa so karte, ki vsebujejo tudi plastnice in kote. V prostoru tako obstajajo in so locirani naravni in umetni objekti. Model je vedno le predstavitev in poenostavitev realnosti. Eden izmed takih modelov, ki predstavlja stvarnost, je digitalni model reliefa. Označujemo ga s kratico DMR in predstavlja model predstavitve zemeljskega površja. Izmed različnih digitalnih zapisov reliefa sta najpogosteje uporabljana predvsem DMV (digitalni model višine) in DMR (digitalni model reliefa). DMV je zapis v dvorazsežnostni pravokotni celični mreži in opremljen z atributnimi podatki o višinah. Pojem DMR zaobjema pojem DMV, vsebuje lahko tudi višinske točke površja, vse značilne točke in črte površja ter tako na kompleksen način predstavlja površje. Tako je DMR najpomembnejši podatkovni sloj za prikaz površja in pomemben element za različne prostorske analize na področju geomorfoloških, krajinskih, geografskih, arheoloških in drugih raziskav (Podobnikar, 2001).

Še nekaj definicij oziroma opisov DMR:

Obliko zemeljske površine zapišemo z DMR. Pod tem pojmom razumemo niz ali polje prostorskih točk, ki imajo podane koordinate X,Y in višino h (Rihtaršič, Fras, 1990).

Podatkovni model DMR predstavljajo tako množica višinskih točk in drugi topološki elementi, ki predstavljajo odnose med višinskimi točkami (Podobnikar, 2001).

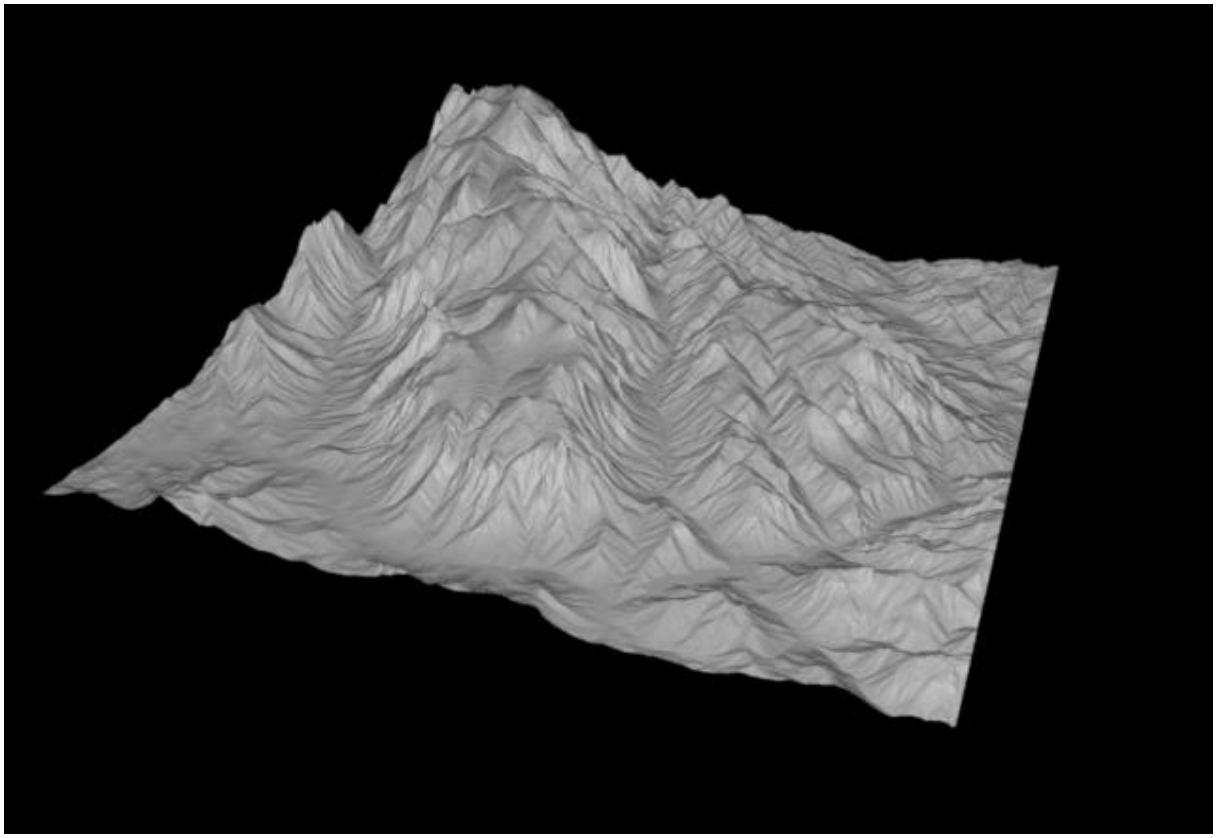
DMR ali digitalni model reliefa je model površja, z dodanimi geomorfološkimi značilnostmi površja (Šumrada, 2005).

DMR je digitalni zapis položaja in nadmorskih višin. Je povezana množica diskretnih točk reliefa. Kratico DMR v praksi uporabljamo za nabor točk, ki so razporejene v kvadrataste celične mreže. DMR ni prikaz, je datoteka koordinat. To so podatki in ne vizualizacija (Radovan, 2005).

DMR je obravnavan kot stalna oziroma neprekinjena, navadno gladka površina, ki poleg višinskih vrednosti, vsebuje še ostale elemente, ki opisujejo površje tudi topografsko: naklon, ekspozicija,

ukrivljenost, gradient, ogrodje površja (padnice, sedla, grebeni in vrhovi) in druge podatke (Podobnikar, 2009).

DMR je prikaz zveznih vrednosti višin preko topografskega površja, s pravilnim vzorcem vrednosti h, ki so referencirane na skupni geodetski datum (ESRI, 2016).



Slika 1: Senčen prikaz digitalnega modela reliefa

Vir: http://www.personal.kent.edu/~jluke2/geovis.htmhttp://www.ronthedon.com/VFX/houdini-dem-based-terrain-modelling/

Poleg kratic DMV in DMR moramo vsekakor poznati še nekaj tujih kratic za opis zemeljskega površja in sicer: DTM ali digital terrain model, ki nekako sovpada s slovensko kratico DMR.

DEM ali digital elevation model, lahko primerjamo z našo kratico DMV. Tukaj so še DLM ali digital landscape model, ki poleg ploskve vsebuje še nekatere podatke o značilnosti pokrajine in DSM ali digital surface model, ki ga lahko v slovenščino prevedemo s kratico DMP ali digitalni model površja in je model, ki predstavlja opis površja, kakršnega vidimo od zgoraj in vključuje tudi ovojnice zgradb npr. hiše, mostovi ali npr. krošnje dreves.

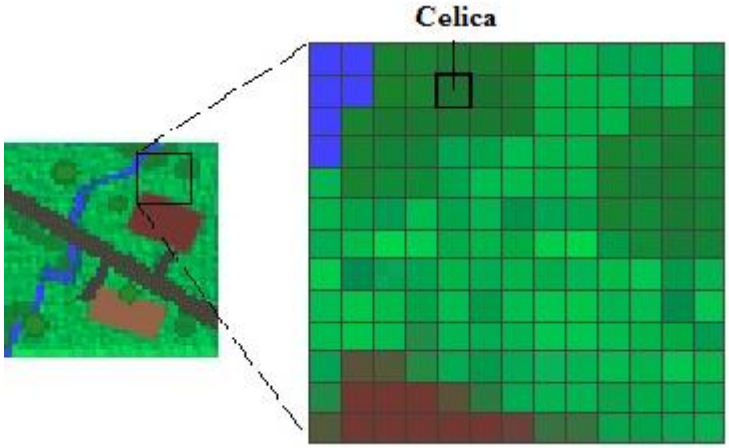
Sicer pa je razprava o DMR in DMV bila že nekajkrat odprta, saj nekatere angleške izraze težko hkrati povzamemo in pomensko pravilno prevedemo. Radovan (2002) takole piše: *″ Angleški izraz DEM*

pomeni ´digital elevation model´, kar v slovenščino lahko s težavo prevedemo kot digitalni model dvignjenosti (površja, reliefa). Digitalni model višin je v angleščini namreč dobesedno ´digital elevations model´ (dvignjenost-ednina, višine-množina)". Podobnikar (2002) pa navaja, da je pojem DMR oziroma DEM v angleščini, med stroko in uporabniki najbolj uveljavljen, saj definicija DMR obsega vso definicijo DMV in je zato raba kratice DMR za Slovenijo največkrat smiselna.

V nalogi bom dosledno navajal kratico DMR, saj DMR vsebuje vse potrebno za izvedbo analiz rastrskih podatkov.

2.2 Rastrski zapis DMR

Zapis DMR je podan z rastrskimi podatki, ki so razporejeni v matrični obliki. To si lahko predstavljamo kot 2D kvadratasto mrežo celic, ki vsebuje atributne podatke o višinah (Podobnikar, 2001). Mrežo navidezno položimo čez območje. Vsaka od celic ima kot atribut številko, ki pomeni dejansko vrednost nekega parametra in položaj v mreži, ki je podan z oznako vrstice in stolpca. Velikost mrežne celice predstavlja oziroma določa pravokotno območje v naravi (npr. 100 x 100 m). Celična mreža ima definirano svojo ločljivost, ki predstavlja dejansko velikost posamezne celice. Ločljivost je zelo pomembna, saj določa velikost celic, s povečevanjem ločljivosti pa s kvadratom razdalje narašča količina podatkov (Radovan, 2005). Natančnost določanja položaja je zelo odvisna od velikosti celice. Tako na primer celica velikosti 200 x 200 m pove, da razdalje ne moremo določiti natančneje kakor na 200 m, če ob tem upoštevamo še Nyquistov teorem, ki pravi, da moramo signale zajemati vsaj z dvakratno frekvenco, da dobimo čitljive podatke (Podobnikar, 2001). Rastrski zapis zahteva veliko pomnilniškega prostora, saj moramo zapisati višino prav vsake celice mreže. Neko karto, ki vsebuje pet različnih naklonov reliefa predstavimo s petimi kategorijami (1-5), ki predstavljajo naklone reliefa. Osnovni tip zapisa je bajt, ki ponazarja razpon vrednosti od 0 255 za vsako celico v mreži. V splošnem operiramo s celoštevilskimi podatki, saj jih lažje stiskamo, ker je verjetnost ponovitve istih vrednosti večja kot pri realnih številih. Vendar pa so podatki, ki jih dobimo z obdelavo podatkov (nakloni, ekspozicija) realna števila in jih s celimi števili ne moremo zapisati. Kar pomeni, da zaokroževanje na cela števila prinaša napake; npr. dobimo stopničaste ploskve namesto zveznih (Kvamme et al., 1997).



Slika 2: Primer za rastrski zapis DMR-ja

Vir: http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/what-is-raster-data.htm

2.3 Pridobivanje DMR-ja

DMR pridobivamo na več načinov. Posredno iz že obstoječih virov kot so: karte, stari DMR-ji, aero in satelitski posnetki, iz kartografskih virov, z rastrsko ali vektorsko digitalizacijo. Neposredno z novim zajemanjem podatkov o površju preko terenskih merjenj (tahimetrija, nivelman), fotogrametrično metodo in daljinskim zaznavanjem, z radarskimi ali laserskimi zajemi površja in kombinirano; z uporabo že obstoječih virov in na novo zajetih podatkov. Največja natančnost se doseže z neposrednim pridobivanjem podatkov, pri posrednem načinu pa je natančnost odvisna od ažurnosti in natančnosti virov. Izbira načina je odvisna od namena uporabe DMR-ja, velikosti območja, natančnosti in zanesljivosti, ki sta zahtevani, časa za izdelavo in opreme, konfiguracije površja in razpoložljivosti strokovnega kadra. (Rozman, 2000). Danes predvsem uporabljamo lidarski DMR ali Light Detection and Ranging metodo snemanja površja, ki jo bom opisal kasneje.

2.3.1 Iskanje ogrodja površja na DMR-ju

Ogrodje površja je sestavljeno iz karakterističnih linij (grebeni, soteske) in točk (vrhovi, dna, sedla). Najpomembnejši parametri, ki definirajo ogrodje površja so nenadne spremembe višin, ki vodijo v bodisi spremembe ekspozicije bodisi v spremembe naklona. Ob raziskovanju rastrskega sloja, tako dobimo celice z različnimi vrednostmi in pomenom za sloj površja. Celice, kjer naklon in gledišče

ustrezata vnaprej definiranim kriterijem, lahko razvrstimo v območje, ki vsebujejo karakteristične značilnosti površja. Sem spadajo tudi celice z ekstremno ukrivljenostjo.

Podatki za ogrodje površja so včasih že pridobljeni skupaj z vsemi merjenji na terenu. Če pa teh podatkov ni, jih lahko pridobimo iz originalnega DMR-ja z uporabo različnih postopkov npr. Douglas-Peuckerjeva metoda (Podobnikar, Zakšek, 2005).

2.3.2 Terenska merjenja

Za DMR je pomembna tudi klasična geodetska terenska izmera, ki vzdržuje osnovno mrežo pozicijskih in višinskih točk. Rezultat tahimetrične izmere je nepravilna mreža prostorskih točk, ki so posnete na značilnih reliefnih oblikah. Tahimetrično izmero uporabimo v primerih: na pozidanih območjih, ko potrebujemo večjo natančnost ali obnovo DMR-ja, ko potrebujemo zelo natančen DMR, ko je DMR namenjen izdelavi načrtov in kart v merilih večjih od 1 : 5000 (Rihtaršič, Fras. 1991). Z metodo daljinskega zaznavanja dobimo podatke prek satelita ali iz letala. Metoda je razmeroma cenovno ugodna in je za večja območja zelo uporabna in učinkovita. Digitalne podobe, ki so rezultat te metode, lahko matematično predstavimo kot funkcijo f*(x,y)*, kar pomeni, da je barva rastrske celice funkcija položaja *(x,y,)* za vsako celico podobe. Vsako podobo moramo najprej umestiti v prostor, saj skener sestavi digitalno podobo površja Zemlje v svojem lastnem koordinatnem sistemu in v projekciji, ki je drugačna od podatkov, ki jih že imamo v GIS bazi. Omenjeno umestitev opravimo z absolutno orientacijo, ki pa jo lahko opravimo z nekaterimi moduli za transformacijo v GIS sistemu. Sodobne tehnike terenskega merjenja predstavlja predvsem lasersko skeniranje oziroma lidarski DMR tehnologija, TLS (terestrično lasersko skeniranje) in lasersko skeniranje iz kratkih razdalj (Kosmatin Fras, 2009).

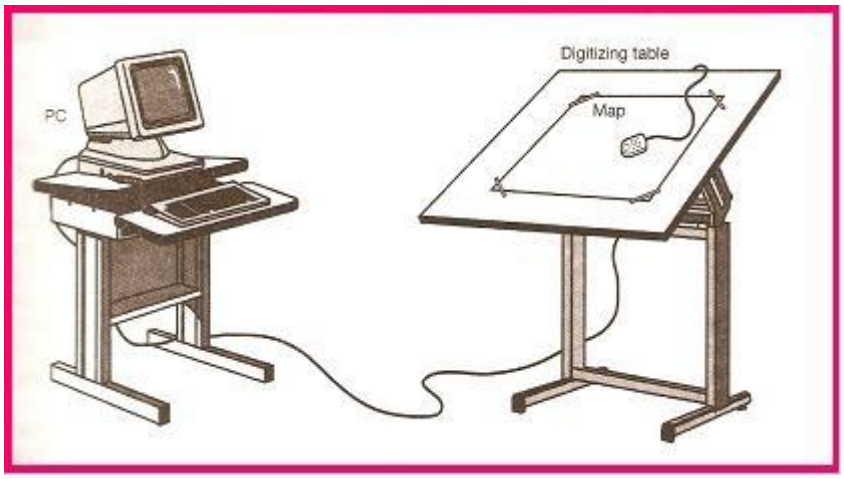
2.3.3 Zajem iz obstoječih načrtov ali kart

Tovrstni zajem poteka na več načinov (Rihtaršič, Fras, 1991, Podobnikar 2001):

- Ročni točkovni zajem
- Točkovno ali vektorsko digitaliziranje plastnic
- Samodejno vektorsko ali rastrsko skeniranje razpoložljivega gradiva
- Ročno čitanje višin s pomočjo pravilne kvadrataste mreže izrisane na prozorni risalni list
- Zapisovanje podatkov v posebne obrazce in kasneje luknjanje v kartice AOP
- Zapisovanje podatkov na magnetni trak

Ročni točkovni zajem je enostavna oblika analogno/digitalne pretvorbe podatkov. S takšno metodo neposredno izdelamo pravilno kvadratno mrežo DMR, natančnost pa je odvisna od obstoječih podatkov in natančnosti operaterja. Metodo izvajamo brez posebne strojne računalniške opreme.

Digitalizacija plastnic lahko izvajamo točkovno ali pa linijsko. Razlika med točkovno in linijsko digitalizacijo je, da pri linijskem vodimo kurzor neposredno vzdolž izbrane linije. Z digitaliziranjem plastnic in poznavanjem geomorfoloških značilnosti reliefa lahko pridobimo dobro bazo DMR-ja. Z digitaliziranjem pridobimo veliko linijskih vektorjev od katerih ima vsak svojo določeno višino. Najenostavneje je te vektorje rastrirati v rastrsko mrežo. Rastrske celice, skozi katere poteka plastnica, imajo svojo višino, ostalim celicam, skozi katere plastnice ne gredo, pa navadno pripišemo vrednost nič in predstavljajo sloj celic, ki nimajo višin. Proces rasteriranja razbremeni interpolacijski program in zato močno pospeši postopek. S predhodno rasteriranjem računalniku omogočimo, da za iskanje vrednosti višin išče le po manjšem številu vrstic in stolpcev mreže. Slabost rasteriranja je ta, da se nekoliko zmanjša natančnost višin, ki so bile podane vektorsko, kar pa ublažimo z izborom manjših rastrskih celic oziroma z določitvijo ustrezne prostorske ločljivosti podatkov (Kvamme et al., 1997).



Slika 3: Shema ročnega digitaliziranja

Vir: https://sites.google.com/a/vashuda.com/www/fundamental-of-gis/digitization-of-maps

2.3.4 Napake pri digitalizaciji plastnic iz obstoječih kartografskih virov

Pri teh postopkih pride do napak, ki se pojavljajo kot napake starih obstoječih map, napake, ki se zgodijo v postopkih skeniranja in digitaliziranja in napake, ki se pojavijo v avtomatičnem prepoznavanju plastnic. Z razvojem modernejših sistemov kartiranja, je postalo direktno pridobivanje točnih višin iz aktualnih prostorskih podatkov bolj dostopno.

2.3.4.1 Fotogrametrična metoda

Fotogrametrična metoda zajema metode merjenja posnetkov in interpretacije z namenom pridobitve različnih slojev podatkov površja in določitve lokacije objekta iz enega ali več posnetkov le-tega objekta. Fotogrametrično metodo lahko uporabimo v vsakem primeru, kjer se obravnavno površje ali objekt lahko fotografsko zajame in z sevanjem elektromagnetne energije in drugimi pojavi zapiše na različne nosilce(Luhmann et al., 2014).

Fotogrametrična metoda se deli na podlagi več kriterijev (Luhmann et al., 2014):

1. Oddaljenost senzorja od objekta ali površja
- Satelitska; snemanje preko satelitov, h > pribl. 200 km
- Letalska; snemanje z letalskimi senzorji, h > pribl. 300 m
- Terestrična; merjenje iz stoječe terestrične lokacije
- Bližnje-slikovna; slikovna obdelava iz razdalje d < cca. 300 m
- Makro metoda; merilo posnetka > 1 (mikroskopska obdelava)
- Mobilna kartiranje; pridobivanje podatkov iz premikajočega vozila, d < cca. 100 m
2. Število merjenih posnetkov
- Enoslikovna; obdelava enega posnetka, mono-ploting, poprava, ortofoto
- Dvoslikovna; obdelava dveh posnetkov, stereoskopsko merjenje
- Več-slikovna; obdelava n posnetkov, kjer je n > 2, snop triangulacij
3. Metode snemanja in obdelava in uporabe inštrumentov
- Namizna metoda; grafično vrednotenje (od pribl. leta 1930)
- Analogna; analogni posnetki, računalniško vodene meritve
- Digitalna; digitalni posnetki, računalniško vodene meritve
- Videogrametrija; pridobivanje digitalnih posnetkov in merjenje
- Panoramska; panoramska slikovna obdelava
- Linijska; analitične metode, ki delujejo na podlagi ravnih linij in polinomov
4. Dostop rezultatov merjenj

- Z omrežjem nepovezana (offline) metoda; sekvenčno snemanje digitalnih posnetkov, ločeno v času ali lokaciji od merjenja
- Z omrežjem povezana (online) metoda; simultano in večkratno snemanje digitalnih podob, takojšnje merjenje
- Metoda v času (real time); snemanje in merjenje znotraj določene časovne periode

5. Področje uporabe

- Arhitekturna; arhitektura, ohranjanje kulturne dediščine, arheologija
- Inženirska; splošni inženiring, konstruiranje
- Industrijska; uporaba v industriji
- Forenzična; uporaba pri različnih pravnih težavah
- Biostereometrična; uporaba v medicini
- Multimedijska; snemanje preko medijev

Glavni namen fotogrametričnega merjenja je tridimenzionalna rekonstrukcija površja ali objekta v digitalni obliki kot so koordinate in pridobljeni geometrični elementi ali v grafični obliki kot so 3D prikazi, ortofoto in karte. Posnetek obdelan s fotogrametrično metodo predstavlja zalogo informacij, ki se lahko kasneje uporabijo pri različnih analizah v vsakem času (Luhmann et al., 2014).

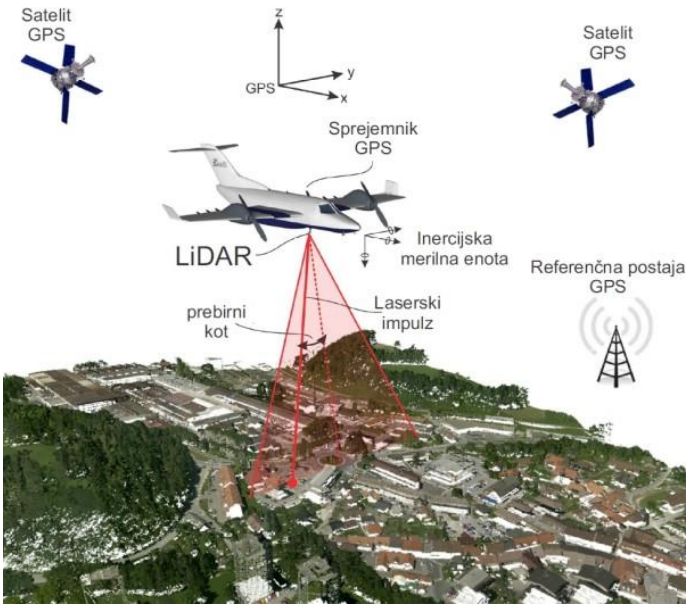
2.3.5 Napake pri fotogrametričnem procesiranju aero in satelitskih posnetkov

Pri postopkih fotogrametričnega pridobivanja posnetkov, ki so z naraščanjem dosegljivosti visoko ločljivostnih satelitskih posnetkov postali ena od najbolj ekonomičnih metod pridobivanja višinskih podatkov se pojavljajo različne napake (El- Sheimy, 2005):

- Napake v notranjih karakteristikah sistema; notranje karakteristike vključujejo osnovne razdalje, radialno izkrivljenost leče in decentriranost leče. Te karakteristike so določene pri postopkih kalibracije.
- Napake v zunanjih karakteristikah sistema; zunanje karakteristike vključujejo položaj in orientacijo sistema relativno na temeljni koordinatni sistem in so določene pri postopkih georeferenciranja. Kvaliteta predvidenih zunanjih karakteristik iz posrednega postopka georeferenciranja je odvisna od natančnosti in porazdelitve dosegljivih kontrolnih točk.
- Napake, ki jih povezujemo z meritvami konjugiranih točk koordinat posnetkov pri prekrivanju stereoparov. Kvaliteta teh točk je odvisna od geometrične ločljivosti sistema.

2.3.6 Tehnologija lidar

Lidar je tehnologija optičnega daljinskega zaznavanja, ki se uporablja za pridobivanje širokega območja topografskih podatkov. Metoda lidar ali znana tudi kot letalsko lasersko skeniranje (Airborne laser scanning) pri skeniranju uporablja obliko elektromagnetnega valovanja ali t. i. radijske valove. Oddaljenost od površja je določena z merjenjem časovnega zamika med oddajanjem pulza in zaznavanjem odbojnega signala. Lidar tehnologija omogoča izdelavo zelo podrobnih DMR-jev z ločljivostjo nekaj centimetrov. Posebna prednost te metode je tudi skeniranje gozdnih površin, kjer laserski žarki dosežejo tla in na ta način neposredno dobimo DMR golega površja (Gosar, 2007).



Slika 4:Lidarsko snemanje površja

Vir: http://www.24ur.com/novice/slovenija/lasersko-skeniranje-drzave-v-tujini-so-to-delali-izdelava DMR 10

2.3.7 Napake lidar metode

Napake, ki se pojavijo pri lidar metodi so (El - Sheimy, 2005):

- Napake v neposrednem georeferenciranju parametrov, ki jih dobimo z GNSS
- Napake v prostorskih in krožnih odmikih med različnimi komponentami sistema

- Napake v merjeni laserski razdalji
- Napake v merjenih orientacijskih kotih med žarkom laserja in nosilcem laserja

2.4 Prostorska interpolacija

Najpomembnejše opravilo pri procesu izdelave DMR-ja je postopek prostorske interpolacije, ki ga izvajamo z različnimi algoritmi. Interpolacija je postopek, ki izračuna vrednosti celic na lokacijah, kjer je pomankanje vzorčnih točk. Temelji na principu prostorske avtokorelacije ali prostorske odvisnosti med bližnjim in oddaljenim objektom. Prostorska avtokorelacija določa ali so vrednosti med v medsebojni odvisnosti, če so, potem to pomeni, da gre na tem mestu za nek prostorski vzorec (Childs, 2004). Korelacija meri (Childs, 2004):

- Podobnost objektov znotraj nekega območja
- Stopnjo do katere je prostorski pojav v odvisnosti od samega sebe v prostoru
- Nivo neodvisnosti med spremenljivkami
- Naravo in moč neodvisnosti

Različne interpolacijske metode vedno proizvedejo različne rezultate in zato interpolacijske metode klasificiramo na več načinov (Arun, 2013) :

a.
- Točkovne metode prostorskih interpolacij; ob interpoliranju upoštevajo izbrano okolico okoli neznane točke
  Sem spadajo metode kot so: metoda utežne obratne razdalje (IDW), metoda najbližjega soseda (Nearest neighbour), metoda Radial basis functions (RBF).
- Območne metode prostorskih interpolacij; ob interpolirano neznane točke upoštevajo celotno območje

b.
- Deterministične metode; kreirajo površja, ki temelji na izmerjenih točkah ali matematičnih formulah (Childs, 2004)
- Geostatične metode; temeljijo na statistiki in jih uporabljamo za modeliranje vnaprej predvidenega površja, kar vključuje nekatere meritve gotovosti ali matematičnega predvidevanja (Childs, 2004). Najbolj znana metoda, ki spada med geostatične je Kriging.

Karakteristike interpoliranega površja lahko kontroliramo z omejevanjem vhodnih točk, ki so uporabljene v izračunu vrednosti celic – omejujemo število vzorčenih točk v območju iz katerega so bile vzročne točke vzete. Navajanje maksimalnega števila vzorčnih točk vrne točke bližje lokaciji izhodne izbrane celice dokler ni maksimalno število doseženo (Childs, 2004).

Programsko orodje ArcGIS vsebuje kar nekaj orodji za prostorsko interpolacijo (Childs, 2004).

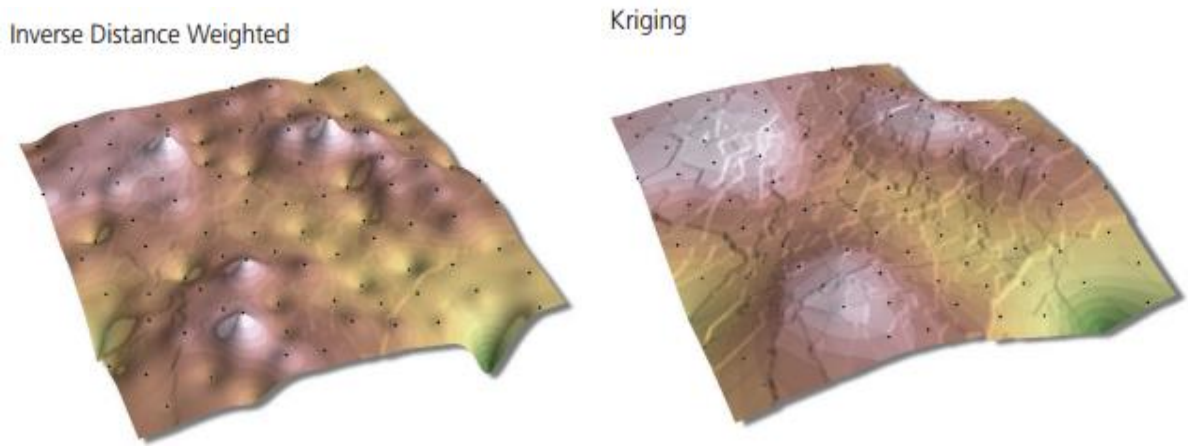
Že omenjene:

- IDW (Inverse Distance Weighted) ali metoda utežne obratne razdalje
- Kriging ali metoda kriganja
- Nearest neighbour ali metoda najbližjega soseda
- RBF (Radial basis functions)

In ostale:

- Spline ali metoda zlepkov
- PointInterp
- Topo to Raster
- Trend

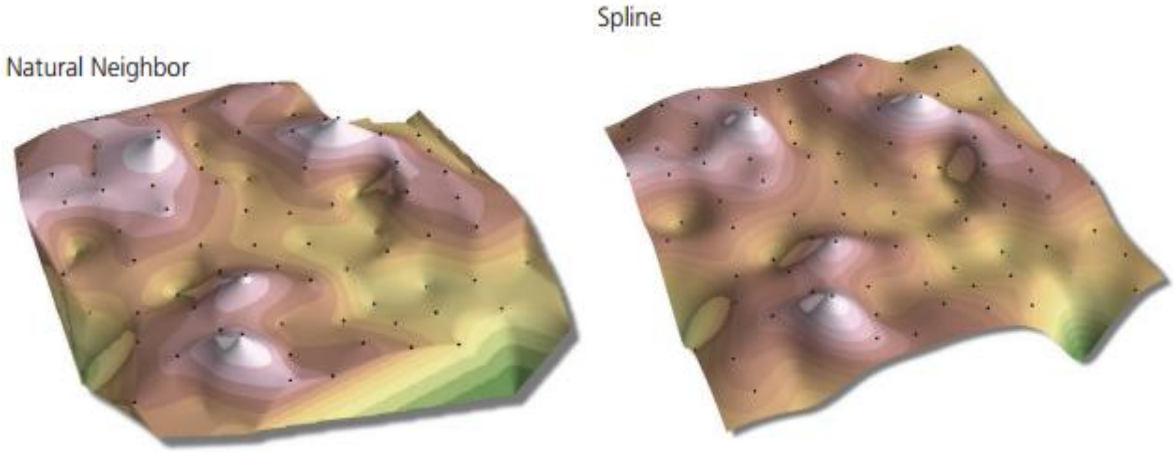
Primerjavo rezultatov nekaterih interpolacijskih metod za isto območje prikazujeta sliki 5 in 6:



a) b)

Slika 5: Metoda utežne obratne razdalje (a) in metoda kriging (b)

Vir: http://www.esri.com/news/arcuser/0704/files/interpolating.pdf



a) b)

Slika 6: Metoda najbližjega soseda (a) in metoda zlepkov (b)

Vir: http://www.esri.com/news/arcuser/0704/files/interpolating.pdf

2.4.1 Filtriranje prostorskih podatkov

S filtriranjem prostorskih podatkov izločamo napake oziroma neželene odboje. To velja predvsem pri obdelovanju lidarskih DMR podatkov, pri katerih pred rastriranjem, klasifikacijo in modeliranje opravimo še postopke filtriranja. Tako poznamo(Švab Lenarčič, 2009):

- Filtriranje višin; kot rezultat dobimo DMV zapisan v obliki TIN ali rastrski obliki z matriko višin in jakostjo odboja
- Filtriranje intezitet; opisujemo in podajamo v rastrski obliki

2.4.2 Metoda prevzorčenja

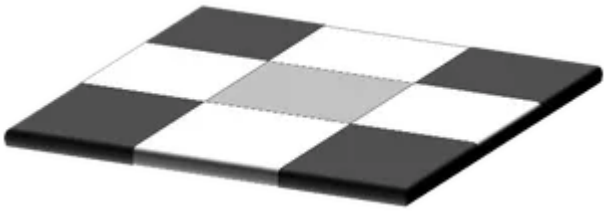
Kadar hočemo preiti iz 5 m celice v 10 m celico, se celice v izhodnem rastrskem sloju spremenijo ali kadar konvertiramo rastrski sloj v različne koordinatne sisteme, centri celic ne sovpadajo. V obeh primerih z metodo prevzorčenja določimo kakšne oblike bo izhodna celica (Gisgeography, 2016). Torej, v prostorskih analizah rastrskega podatkovnega sloja, kjer je potrebna rotacija, sprememba ločljivosti, transformacija ali translacija, moramo rastrski podatkovni sloj prevzorčiti. Pri prevzorčenju se vhodni rastrski sloj pretvori v končnega tako, da se mu spremeni ločljivost in tonske vrednosti. Prevzorčenje pomeni preračun vrednosti za novo mrežo iz stare obstoječe mreže. Rastrski sloji imajo

zelo pogosto različne velikosti, zato jih moramo prevzorčiti na najmanjšo ločljivost vhodnih rastrskih slojev, kar storimo z različnimi interpolacijskimi tehnikami (Šumrada 2015).

Najbolj pogoste interpolacijske metode pri prevzorčenju so (Šumrada, 2015) :

- Metoda najbližjega soseda (nearest neighbour)
- Bilinearna interpolacija (bilinear interpolation)
- Kubični pregib (cubic convolution)

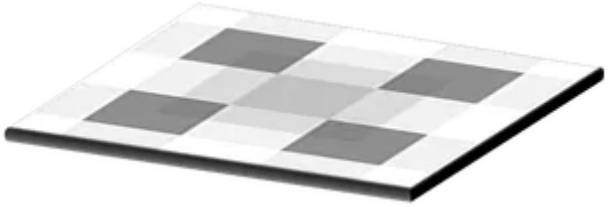
Metoda najbližjega soseda ne spreminja katerekoli od vrednosti celic iz vhodne rastrske mreže. Vrednosti vsake celice v izhodni rastrski mreži izračuna z uporabo najbližje celice v vhodni rastrski mreži. Ker se vrednosti v vhodni rastrski mreži ne spreminjajo, je metoda zelo pogosto uporabljena za prevzorčenje kategoričnih podatkov (tip gozda, tip prsti) ali radiometričnih vrednosti, ki so vzete iz daljinsko zaznanih posnetkov (Gisgeography, 2016).



Slika 7: Shema izračuna vrednosti celice na podlagi metode najbližjega soseda

Vir: http://gisgeography.com/raster-resampling/

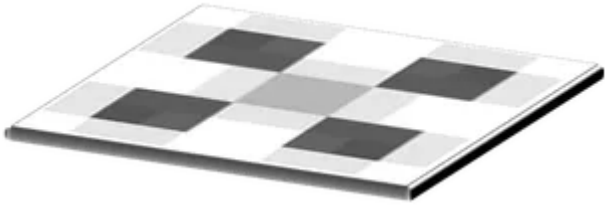
Bilinearna interpolacija je metoda, ki pri določitvi vrednosti vsake celice izhodnega rastrskega sloja upošteva vrednosti štirih najbližjih celičnih centrov. Dobljena nova vrednost je utežno povprečje vrednosti v vseh štirih celicah. Utež pomeni razdaljo od projiciranega centra izhodne celice. Bilinearna interpolacija zgladi razmejitev vrednosti v izhodnem rastrskem sloju. Metoda je primerna pri prevzorčenju zveznih rastrskih slojev (relief, naklon) (Šumrada, 2015).



Slika 8: Shema izračuna vrednosti celice na podlagi bilinearne interpolacije

Kubični pregib je metoda, ki je sorodna z metodo bilinearne interpolacije. Tukaj se določi utežno povprečje vrednosti glede od 9 do 16 bližnjih centrov. Utež je razdalja med centri celic in centrom

izhodne celice. Kubični pregib opazno izostri razmejitev vrednosti v izhodnem rastrskem sloju, saj se pri vsakem izračunu izhodne vrednosti celice upošteva vpliv več sosednjih celic (Šumrada, 2015).



Slika 9: Shema izračuna vrednosti celice na podlagi kubičnega pregiba

Vir: http://gisgeography.com/raster-resampling/

V nalogi sem uporabljal metodo bilinearne interpolacije.

2.5 Kakovost prostorskih podatkov

Informacije o kakovosti dosegljivih prostorskih podatkov so vitalnega pomena pri izbiri podatkov, saj so vrednosti prostorskih podatkov neposredno povezane z njihovo kakovostjo. Uporabnik prostorskih podatkov naj ima pri izbiri na voljo več podatkovnih slojev, zato je potrebno primerjati kakovost posameznih podatkovnih nizov, da se določi najboljše, kar ustreza uporabnikovim željam. Kakovost prostorskih podatkov opisujejo standardi o kakovosti. Namen opisovanja kakovosti je olajšati primerjavo in izbiro podatkovnih nizov. Informacija o kakovosti prostorskih podatkov omogočajo proizvajalcem podatkov, da ocenijo kako dobro se podatki ujemajo z vnaprej podanimi kriteriji in uporabnikom pomagajo oceniti ali izdelavni podatkovni nizi zadovoljujejo njihove potrebe (ISO 19571: 2013_predogled). Mednarodni standard ISO 19157:2013:

- Definira komponente za opis kakovosti prostorskih podatkov
- Navaja komponente in vsebino strukture registra za meritev prostorskih podatkov
- Predstavlja načine za poročanje o kakovosti prostorskih podatkov

2.5.1 Kakovost virov podatkov pri izdelavi DMR

Pri izdelavi DMR moramo spremljati kakovost virov podatkov s katerimi izdelujemo DMR. Pomembna sestavina pri izdelavi je model kakovost. Model mora upoštevati želje tako uporabnika kot proizvajalca. Uporabnik mora vedeti in razumeti podatke o kakovosti izdelanega DMR-ja,

proizvajalec pa mora natančno opisati kakovost novonastalega DMR-ja in podati razumljivo poročilo o kakovosti DMR-ja (Podobnikar, 2001).

Standardi o prostorskih podatkih podajajo podelemente o kakovosti prostorskih podatkov kot so (Podobnikar, 2001):

- Logična usklajenost
- Položajna natančnost
- Časovna natančnost
- Natančnost merjenja časa
- Tematska natančnost
- Popolnost

Poleg teh podelementov moramo upoštevati tudi elemente naravne in antropogene značilnosti površja, geomorfološke značilnosti (razgibanost), natančnost/točnost, gostoto in porazdelitve virov za izdelavo DMR-ja, metode, ki jih uporabimo pri izdelavi DMR-ja in metode, ki jih uporabimo pri testiranju kakovosti, vpliv strukture zapisa podatkov, dostopnost in pravica uporabe podatkov, cena izdelave glede na zahteve o kakovosti DMR-ja. Natančnost in točnost sta dva pomembna pojma s katerima opišemo kakovost DMR-ja (Podobnikar, 2001).

Natančnost pravi, kako blizu so si merjene vrednosti med seboj, točnost pa pove kako blizu so merjene vrednosti dejanski vrednosti (Mathisfun, 2016).

Natančnost merimo s standardnim odklonom in za eno razsežnost zapišemo s formulo (Podobnikar, 2001):

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}$$

n število merjenih vrednosti (višine)

x_i posamezne merjenih vrednosti

$\bar{x}$ aritmetična sredina merjenih vrednosti

Točnost izračunamo s srednjim kvadratnim odklonom:

$$m = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - x_i')^2}$$

n število merjenih vrednosti (višine)

x_i posamezne merjenih vrednosti

x_i' vrednost območja obravnave

Pri kakovosti DMR-ja sta pomembni tudi vertikalna in horizontalna natančnost, kjer vertikalna pomeni tematsko horizontalna pa položajno natančnost, vendar pa je horizontalna v večini primerov zanemarljiva, zato se bolj osredotočamo na vertikalno. S položajno natančnostjo opišemo metrično natančnost položaja v prostoru, s tematsko pa pravilnost atributov. S časovno natančnostjo opišemo časovno ločljivost ovrednotenja kakovosti podatkov DMR-ja (Podobnikar, 2001).

2.5.2 Kontrola kakovosti DMR-ja

Informacije o predhodni in dejanski kakovosti vira so zelo pomembne pri izdelavi DMR-ja iz obstoječih podatkov. Dobro je, da poznamo naravo napak virov in prenašanje le - teh pri procesu modeliranja DMR-ja in ostalih analizah. S poznavanjem narave, namena in porekla virov, pred izdelavo DMR-ja opravimo metodo predhodne ocene kakovosti, šele po izdelanem DMR-ju sledi dejanska kontrola kakovosti. Predhodna ocena kakovosti pomaga pri izbiri modela oz. celotnega postopka izdelave DMR-ja, zato je smiselno analizirati vire in glede na rezultate smiselno dobiti predhodno oceno za DMR-ja Pri testiranju elementov kakovosti DMR-ja uporabljamo statistične in vizualne metode ocenjevanja, kjer so vizualne metode zelo pomembne pri končni oceni. Z vizualizacijo si boljše predstavljamo oblikovanost, hkrati pa vizualizacija z odkrivanjem napak izboljšuje geomorfološke značilnosti. Med temi metodami izberemo najprimernejšo in izdelamo oceno kakovosti, ugotavljamo vzroke napak tako grobih kakor sistemskih in jih skušamo odpraviti (Podobnikar, 2001).

2.5.3 Odpravljanje napak, obdelava in filtriranje DMR-ja

Pri izdelavi DMR-ja večkrat pride do napak. Napake se izražajo kakor točke z rahlo drugačno višino od tiste, kakršno bi morale imeti. Navadno se pojavijo zaradi slabših uporabljenih algoritmov, zato so izdelani modeli robustni in polni umetnih vrhov, jam in dolin. Zaradi nadaljnjih analiz moramo napake interpolacijskega algoritma odpraviti. To opravimo s predpostavko, da so višine digitalnega modela reliefa zelo podobne višinam sosednjih točk iz katerih lahko dobimo prave oziroma popravljene višine. S postopki predobdelave podatkov želimo izboljšati kakovost in jih pripraviti za nadaljnjo obdelavo.

Eden takih postopkov je obnova (angl. Restoration), katere glavni cilj je odprava napak, ki pridejo ob skeniranju(Radovan, 2005). Pogost proces predelave DMR-ja imenujemo glajenje, ki ga izpeljemo z uporabo različnih filtrov. Filtri obdelajo informacije znotraj soseske mrežnih celic in tako poiščejo novo, popravljeno vrednost vsake mrežne točke. So osnova pri obdelovanju digitalnih posnetkov, z njimi izboljšujemo kvaliteto, poiščemo pomembne detajlne podatke oziroma objekte, odstranjujemo šume, gladimo meje med homogenimi območji. Filtriranje opravljamo s t. i . pomičnim lokalnim oknom, ki predstavlja kvadratasto matriko dimenzij 3 x 3, 5 x 5, 7 x 7, ali več in ga lahko imenujemo tudi digitalni filter. Matrika ima centralni piksel in njeno okolico, to pa omogoča primerjavo centralnega piksla z okolico. Dimenzije lokalnega okna so odvisne od namena obdelave posnetka. Tako filtriranje je najbolj pogosto in ga imenujemo konvolucijsko filtriranje. Opravljamo ga z oknom, ki je veliko nekaj rastrskih celic in ga pomikamo po območju od piksla do piksla vzdolž stolpcev in vrstic. Dimenzije okna so lihe, ker tako dobimo centralni piksel v katerega zapišemo rezultat. Možna je uporaba oken nepravilnih oblik npr. 3 x 5, vendar v zelo redkih primerih. Znotraj okna izvedemo računsko operacijo in s pomočjo uteži vplivamo na učinek filtra (Radovan, 2005, Ludwig, 2010).

Splošno formulo za dvodimenzionalno konvolucijsko filtriranje z matriko zapišemo (Ludwig, 2010):

$$V = \left| \frac{\sum_{i=1}^{q} (\sum_{j=1}^{q} f_{ij} d_{ij})}{F} \right|$$

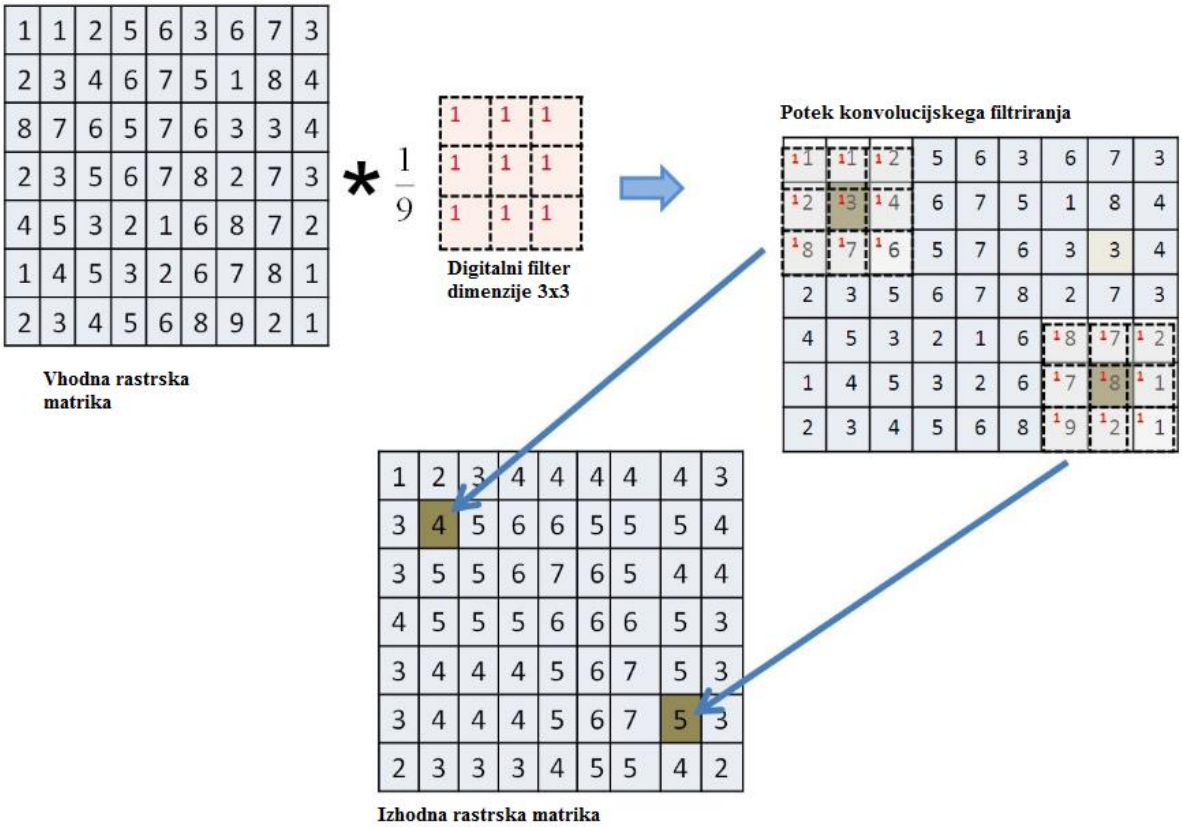
f_{ij} koeficient konvolucijske matrike na položaju i, j

d_{ij} vrednost piksla, ki se ujema z f_{ij}

q dimenzija matrike (če je q = 3, matrika meri 3x3)

F ali vsota koeficientov matrike ali F = 1, če je vsota koeficientov 0

V vrednost izhodnega piksla



Slika 10: Shema konvolucijskega filtriranja s pomičnim oknom dimenzije 3 x 3

Vir: http://cse19-iiith.vlabs.ac.in/theory.php?exp=neigh

Rezultat filtriranja je lahko: glajenje (nizkoprepustni filtri), ostrenje (visokoprepustni filtri), odkrivanje robov (filtri za odkrivanje robov) in tako poznamo več vrst filtrov (Oštir, 2006):

1. Nizkoprepustni filtri: oziroma t. i. low pass filtri poudarjajo večje homogene površine, kjer se ton minimalno spreminja, hkrati pa zmanjšuje drobne detajle, zato ga uporabljamo za glajenje. Med nizkoprepustne filtre spadajo (Kvamme et al., 1997):

a. Filter povprečenja; enostaven in pogost pri uporabi in predpostavlja, da na sivino vsakega piksla DMR sloja enakovredno vplivajo druge celice v njeni bližini. Filtriranje potek tako, da si izberemo poljubno velikost digitalnega okna, nato pa za vsako okno posebej izračunamo povprečje sivih tonov. Algoritem je zelo preprost, saj vključuje le seštevanje in deljenje. Sicer pa močno vpliva na robove na DMR-ju in ga moramo uporabljati previdno. V matrični obliki dimenzije 3 x 3, filter zapišemo kot (Oštir, 2006):

$$\text{Fnp3x3} = \frac{1}{9}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Faktor $\frac{1}{9}$ je namenjen normalizaciji filtra, s katero dosežemo, da je vrednost velikostnega razreda enaka v vhodnem in izhodnem DMR-ju.

b. Gauβov filter; je dvorazsežnostni konvolucijski filter. Predpostavlja, da je izhodna vrednost sivine odvisna od vsake celice, vendar pa imajo tiste, ki so bližje obravnavani celici močnejši vpliv. Filter zamegli podatke in odstrani šum ter detajle. Gauβov filter zapišemo z Gauβovo porazdelitvijo:

$$\mathrm{Fk,l} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{k^2+l^2}{-2\sigma^2}}$$

Oznaki k in l sta indeksa filtrirnega okna. σ je standardni odklon in določa stopnjo glajenja. (če je $\sigma = \infty$, dobimo filter povprečenja). Rezultat je navadno podoben povprečenju, je pa pri Gauβovem filtru boljši vpliv na stopnjo in intenzivnost glajenja.

c. Sredinski filter; oziroma filter mediana je zelo uporabljen pri obdelavi DMR-jev in je zelo podoben filtru povprečenja, vendar ne bazira na konvoluciji. Razlika pa je ta, da mediana vrne vrednost, ki je vsebovana v prvotnem sloju. Mediana daje boljše rezultate kot povprečje, saj je vrednost, ki jo vrne vedno eden od opazovanih elementov množice. Omenjeni filter tako odstrani posamezne piksle, ni občutljiv na podatke, ki močno odstopajo, ohranja robove objektov, izhodni piksel pa je središčna vrednost sivine vseh celic v oknu. Slabost filtra je računska zahtevnost, ker moramo piksle razvrstiti in poiskati njihovo sredino, kar pri velikih oknih lahko traja dlje časa (Luhman et al. 2014).

2. Visokoprepustni filtri

Visokoprepustni oziroma high-pass filtri delujejo obratno kot nizkoprepustni filtri, saj posnetke izostrijo in poudarijo podrobnosti. Povsem preprosto lahko ustvarimo visokoprepustni filter tako, da odštejemo nizkoprepustni del od digitalnega posnetka. Visokoprepustni filter ustreza matematični operaciji odvajanja. Pri sivinskih posnetkih prvi odvod predstavlja spreminjanje vrednosti v prostoru in pove hitrost spremembe v posamezni smeri, kakšna je skupna velikost spreminjanja in v katerih smereh so spremembe najmočnejše. Drugi odvod predstavlja spreminjanje prvega in ga uporabimo pri določanju ekstremov (Luhman et al. 2014).

V praksi zelo pogosto kot drugi odvod uporabimo Laplaceov filter, ki ga določa matrika (Oštir, 2006):

$$\mathrm{Flap3x3} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Z Laplaceovim filtrom iščemo robove posnetkov. Robovi predstavljajo hitre spremembe sivih vrednosti in so povezani z antropogenimi dejavniki: cestami, mejami, gozdnimi mejami ipd.

a)

b)

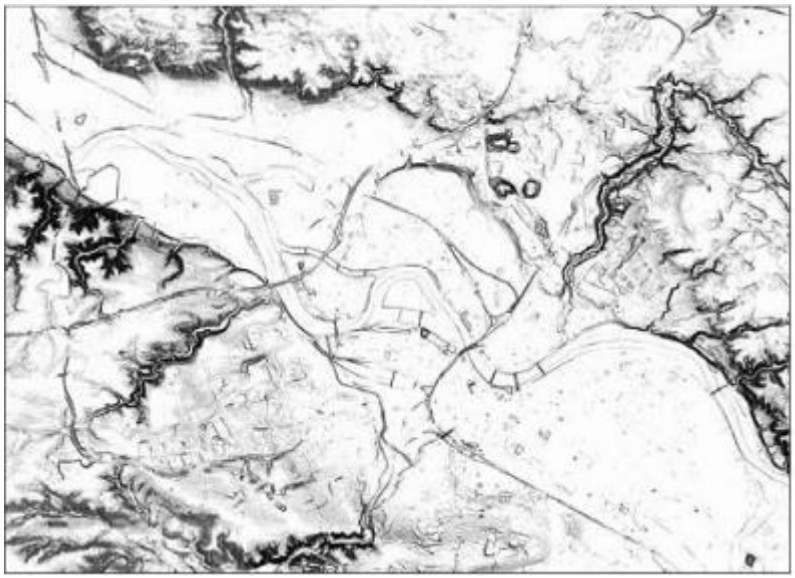
Slika 11: Primerjava originalnega DMR-ja (a) in obdelanega z Laplaceovim filtrom (b)

Vir: http://nptel.ac.in/courses/105108077/module4/lecture16.pdf (Pridobljeno 23.5.2016)

Poznamo pa tudi še nekatere druge visokoprepustne filtre, ki jih uporabljamo za iskanje robov (Oštir, 2006):

a. Sobelov filter, ki ga podajata matriki:

$$\text{Fsobx} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad \text{Fsoby} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$



a)

b)

Slika 12: Primerjava originalnega DMR-ja (a) in obdelanega s Sobelovim filtrom (b)

Vir: True - 3D in Cartography Autostereoscopic and Solid Visualisation of Geodata

Robertsov filter podan z matrikama:

Frobx = $\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$ Froby = $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$

Filtra dobro prikazujeta hitre spremembe sivih vrednosti. Robertsov filter je preprostejši, oba pa robove določita z opazovanjem skupne vrednosti v obeh smereh, njune vsote ali vsote njunih kvadratov (Oštir, 2006).

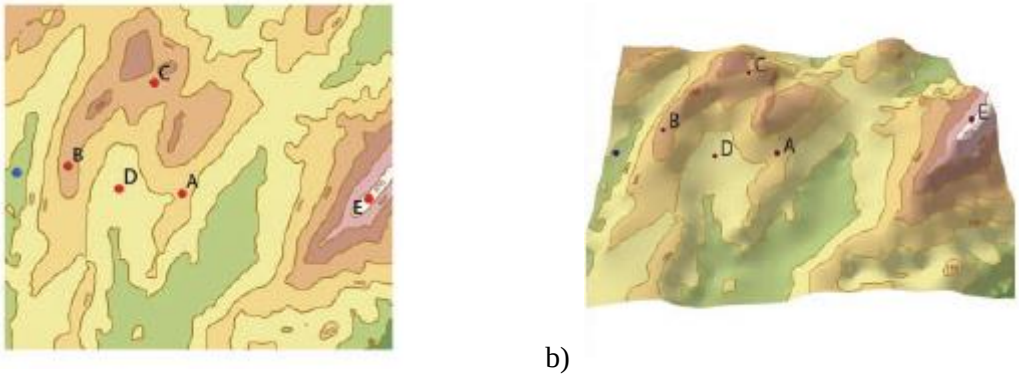
2.6 Uporaba DMR-ja

DMR je pri številni raziskavah v GIS tehnologiji najpomembnejši sloj. Iz njega lahko ustvarimo vrsto informacij o prostoru. Prosto si izberemo zorni kot gledanja, višino in naklon gledanja in si na ta način ustvarimo svoj perspektivni pogled na določeno območje. DMR lahko uporabimo za izdelavo senčnega reliefa, ki je zanimiv pri raznih tematskih prikazih. Digitalni model reliefa nam pomaga pri ustvarjanju presekov in profilov površja. Iz višin pa lahko ustvarimo še podatke o naklonu površja, koeficientih razgibanosti, opišemo možne vodotoke, določimo položaj gorskih grebenov, vrhov, porečij, razvodnic in celo vidljivost med posameznimi točkami. DMR lahko uporabimo pri izdelavi topografskih kart različnih meril, z njim analiziramo osončenost ali določimo primerno lokacijo za novogradnjo, pri trasiranju prometnih komunikacij in daljnovodov, pri načrtovanju mobilne telefonije, pri prostorskem planiranju, za pravičnejše obdavčenje zemljišč in cestninjenje, pri avtomatizaciji aerotriangulacije, pri predvidevanju poplavnih območij, pri meteorologiji in arheologiji, simulaciji in vizualizaciji posegov v prostor, uporabljajo pa ga tudi v vojaške namene pri simulaciji letenja (Rihtaršič, Fras, 1991, Kvamme et al., 1997, Podobnikar, 2001, 2006, Radovan 2005).

2.6.1 Uporaba DMR-ja v kartografiji

2.6.1.1 Tridimenzionalni (3D) prikazi

Tridimenzionalni (3D) ali natančnejše perspektivni prikazi so najpogostejši izdelki digitalnega modela reliefa. Razvoj geoinformatike lajša izdelavo perspektivnih prikazov in zato jih lahko uporablja široka množica uporabnikov. Gre za jasen in pregleden prikaz, ki ga poleg prikaza reliefa, uporabljamo tudi za prikaz spreminjanja poljubne spremenljivke na določenem območju. Perspektivno dojemanje prostora pogosto ponuja boljše razumevanje prostorske povezanosti. Potrebe po 3D prikazih so pri uporabi računalniških monitorjev vedno večje. Namreč veliko število uporabnikov s težavo bere klasične 2D karte, plastnice, višinske točke ali senčen relief, zato 3D prikazi ponujajo lažjo predstavo površja, saj vsebujejo semantični in geometrični opis nekega območja in dajejo boljšo idejo o prostoru in predvsem višinskih razmerjih (Popelka, Brychotva, 2013).

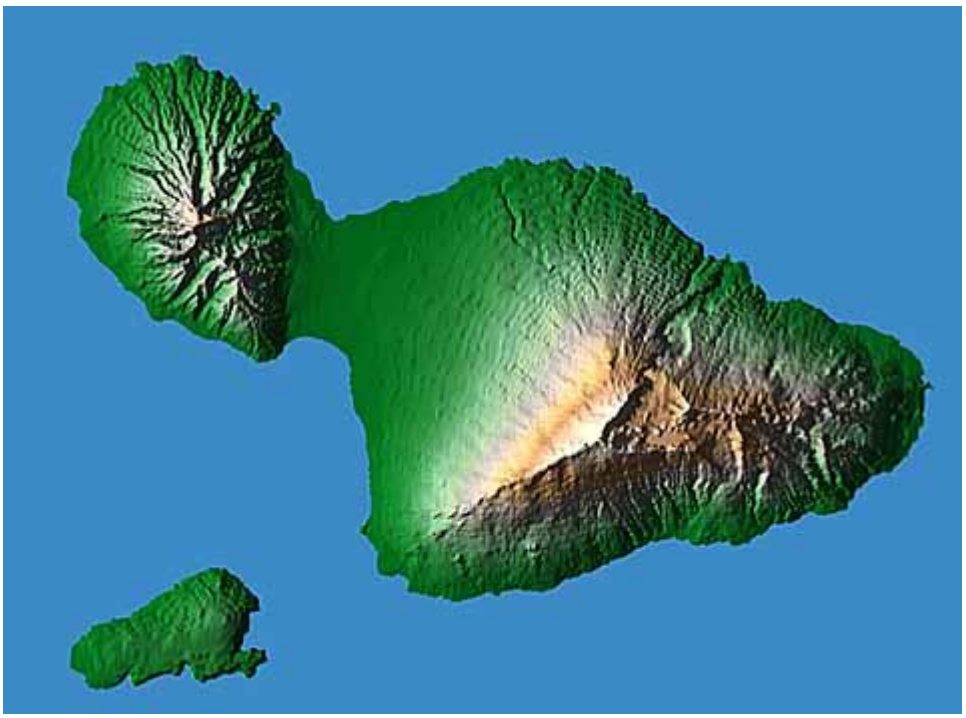


a) b)

Slika 13 Primerjava 2D (a) in 3D prikaza (b) za isto območje

Vir: The Cartographic Journal Vol. 50 No. 3 pp. 240–246

Za izdelavo perspektivnih prikazov moramo podati podatke za naklon, smer in vertikalni kot gledanja ter višino gledanja. Ti podatki definirajo matematične spremenljivke za izračun slike. Slabost prikaza je zakritost oddaljenih površin, slaba pozicijska natančnost in računsko zahteven algoritem. Najbolj učinkovite prikaze dobimo, če na model napnemo senčeni relief ali pa v kombinaciji z digitalnim ortofotom in drugimi podatki (multimedija). 3D prikazi so zelo učinkoviti tudi pri modeliranju mestnih jeder (Kvamme et al., 1997, Radovan, 2005).

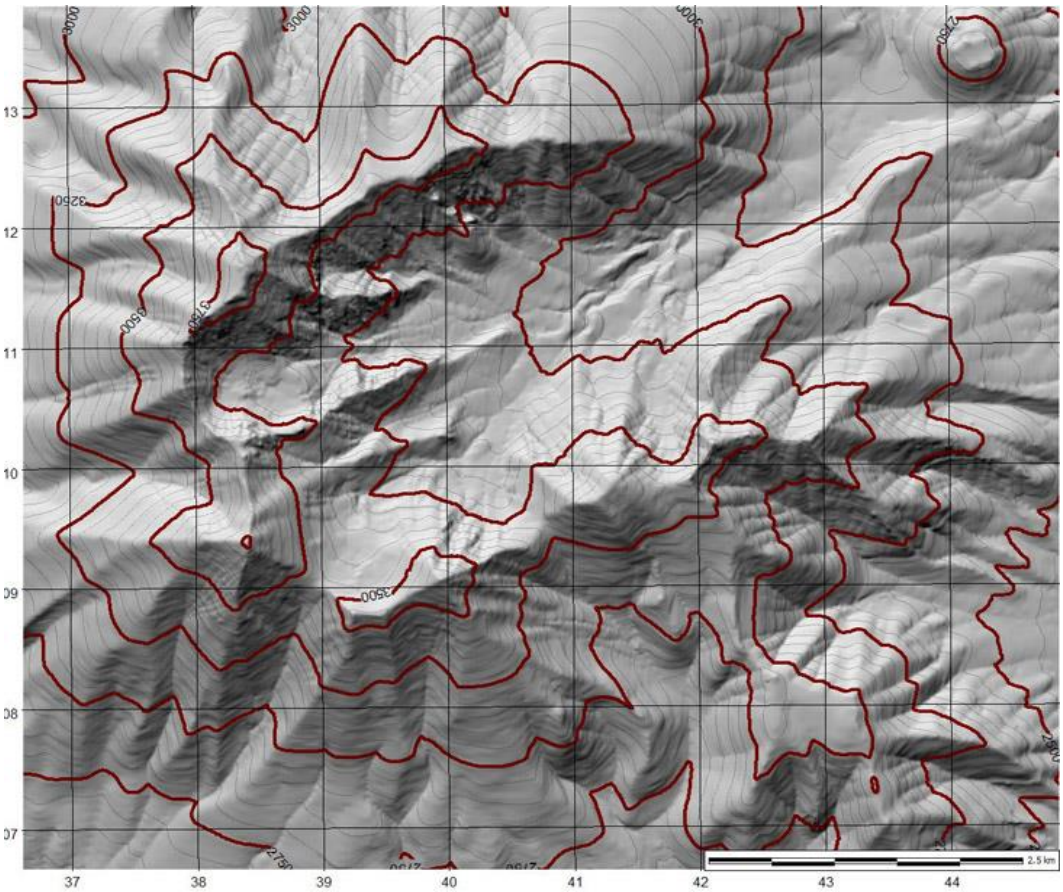


Slika 14: Primer 3D prikaza DMR-ja

Vir: https://www.digiwis.com/render3d.htm

2.6.1.2 Prikaz reliefa s plastnicami

Najbolj tradicionalni in največkrat uporabljeni prikazi zemeljskega površja so prikaz s plastnicami. Izdelava in prikaz plastnic ima zato v postopku izdelave digitalnega modela reliefa posebno mesto (Rihtaršič, Fras, 1991). Plastnice so zvezne gladke krivulje, ki se lomijo na prelomih reliefa. Postopek izračuna in izrisa plastnic mora biti enostaven. Plastnice morajo biti zaključene, med seboj naj se ne sekajo in naj ne sekajo vodnih površin. Pri enaki razdalji med plastnicami je gostota plastnic odvisna od naklona površja. Potek plastnic lahko dobimo s tehniko linearne interpolacije, s pomočjo poligonov. Preproste, a slabše tehnike za izdelavo plastnic so na podlagi celičnih mrež. Če želimo boljši prikaz, moramo DMR obdelati z dodatnimi algoritmi. Boljšo tehniko predstavlja izdelava plastnic na podlagi TIN, vendar pa moramo kljub temu, zaradi ostrih robov trikotniške zgradbe, DMR dodatno obdelati (Kvamme et al., 1997, Podobnikar, 2001).



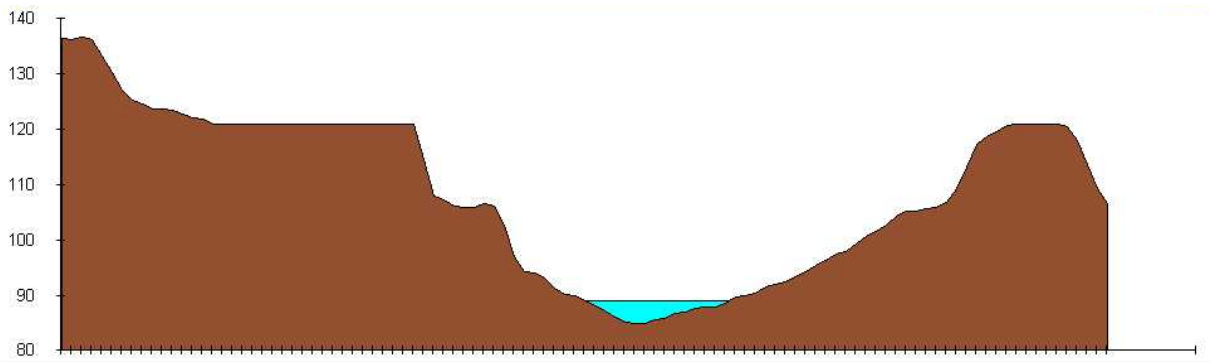
Slika 15: Prikaz DMR-ja s plastnicami

Vir: http://freegeographytools.com/2007/elevation-and-contour-line-display-in-microdem-make-your-own-simple-topo-maps

2.6.2 Geomorfometrična analiza DMR-ja

2.6.2.1 Izračun profilov in prečnih prerezov

V inženirski stroki moramo večkrat izračunati profile oziroma prečne prereze na določenih trasah. Pred posegom izdelamo DMR in tudi končni DMR iz načrtov. Od končnega odštejemo prvotni model, da dobimo količino materiala, ki ga je potrebno pripeljati ali odpeljati. DMR uporabljamo pri načrtovanju cest, vodovodnih komunikacij ipd. S pomočjo normativov največjih ali najmanjših strmin, radijev ukrivljenosti, lahko izračunamo najboljše položaje tras cest ali vodovoda (Kvamme et al., 1997).



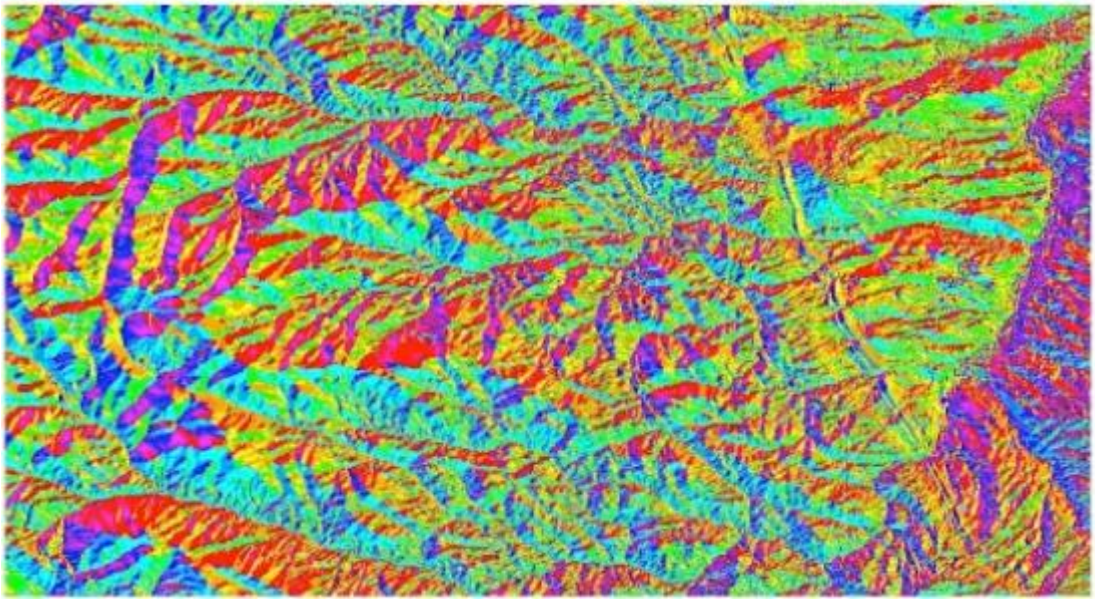
Slika 16: Shema prečnega profila

Vir: http://www.crwr.utexas.edu/gis/gishydro00/Class/trmproj/Burkman/termproject.htm

2.6.2.2 Izračun naklona, ekspozicije, konveksnosti in konkavnosti reliefa

DMR–ju ali modelu TIN lahko z GIS algoritmi izračunamo podatkovne sloje naklona reliefa, ekspozicije, konveksnosti in konkavnosti reliefa. Naklon sestavljata gradient in ekspozicija. Gradient pove največjo stopnjo spreminjanja višine, ekspozicija pa smer tega spreminjanja. Obe komponenti predstavljata prvi odvod modela reliefa. Stopnja spreminjanja naklona je lahko padajoča/konkavna ali naraščajoča/konveksna. Te podatke dobimo z drugim odvodom modela reliefa. Pri izdelavi tovrstnih podatkovnih slojev moramo paziti na napake, ki se pojavljajo z večanjem stopnje odvoda (Kvamme et al., 1997).

Ekspozicijo podajamo v stopinjah, konveksnost pa v stopinjah na enoto razdalje.



Slika 17: Grafični prikaz ekspozicije površja

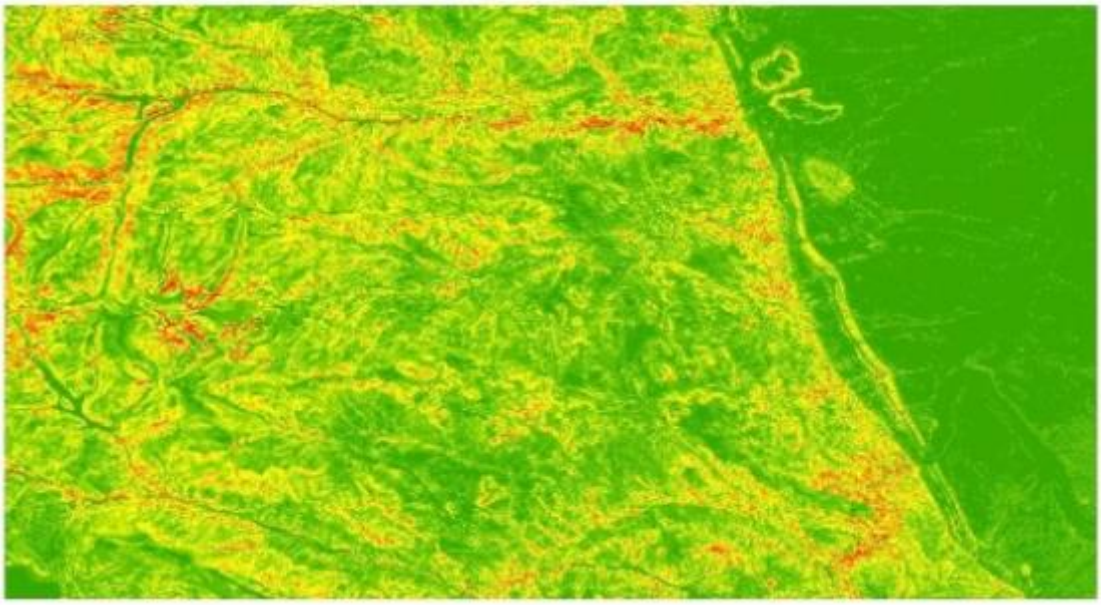
Vir: https://tusharucla.wordpress.com/2012/11/

Gradient podajamo v stopinjah ali odstotkih in ga dobimo z enačbo:

G = $\sqrt{(\frac{\Delta h}{\Delta X})^2 + (\frac{\Delta h}{\Delta Y})^2}$; Δh je višina, ΔX in ΔY sta ravninski koordinatni razliki.

Naklon pa izračunamo z enačbo:

$\tan \propto = \frac{-\Delta h/\Delta Y}{\Delta h/\Delta X}$; $(-\pi < \propto < \pi)$



Slika 18: Grafični prikaz naklona površja

Vir: https://tusharucla.wordpress.com/2012/11/

2.6.3 Uporaba DMR-ja v geoinformatiki

2.6.3.1 Analitično senčenje reliefa

Analitično senčenje reliefa danes predstavlja eno od bolj realističnih metod za prikazovanje površja, ki ponazarja oblikovanost površja s sivimi toni v odvisnosti od ekspozicije površja. Omogoča hitro zaznavanje slojev, struktur in razmerij na topografskih in tematskih kartah. V Sloveniji danes uporabljamo predvsem tehnike samodejnega senčenja, saj vedno boljši DMR omogoča kakovostnejše sence reliefa, metoda je varčnejša od metode ročnega senčenja, navsezadnje pa je kakovost sloja senc neodvisna od operaterja. Metode analitičnega senčenja so vedno bolj kompleksne, izkoriščajo lokalne ali globalne modele osvetlitve in odbojnosti s podporo različnih tehnik za izboljšanje topografskih detajlov. Temelj večine modelov pri analitičnem senčenju je model razpršene odbojne svetlobe, ki ga prikazuje Lambertov kosinusni zakon, kjer se odbojnost izračuna glede na gradient z njegovimi parametri in glede na dva nastavljiva kota: azimut in višino (Brassel, 1974). Pri postopku senčenja moramo upoštevati več dejavnikov: odbojnost svetlobe, horizontalni in vertikalni kot osvetlitve glede na površje, pri algoritmih vključujemo tudi različne vire: barve, vpadne kote, moč in razpršenost svetlobe. Od zgoraj naštetih dejavnikov je odvisno ali senčenje na pravi način odraža območje, ki ga osvetljujemo.

DMR, kot rezultat analitičnega senčenja, je lahko v obliki matrike ali mreže z gotovo ločljivostjo, ki označuje velikost celice v mreži in v obliki TIN (nepravilna triangulacijska mreža). Izboljšane tehnike analitičnega senčenja vsebuje veliko dodatnih elementov kot so opazovane točke, tip vira svetlobnega žarka, odbojnost posebnih materialov, značilnost površja, umetniški pogled, ki določajo kvaliteto topografskega prikaza. Izboljšani prikazi pa tako lahko vsebujejo lokalne smeri svetlobe, kombinacijo razširjene in zrcalne odbojnosti, kartografsko senčeno generalizacijo, ravna območja, ki so prikazana svetlo sivim odtenkom, kontraste višinske odvisnosti, osvetljenost lokalnih senc na sončnih straneh in temnenje na senčnih straneh, ostrenje topografskih vrhov, interpolacijo med razpršeno odbojnostjo in naklonskim senčenjem. (Podobnikar, 2001, 2012).

Za območje Slovenije navadno predpostavljamo, da sonce sveti s severovzhoda. Ob večji razgibanosti površja, mora biti večji kot žarkov. Namreč, če je navidezno sonce prenizko in je površje razgibano, so sence premočne in detajli zakriti. Za vsako celico moramo izračunati naklona (p,q) v smeri vzhod-zahod in v smeri sever-jug. Iz teh vrednosti izračunamo odbojnost z enačbo (Kvamme et al., 1997) :

$$R(p,q) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} * \frac{p'+a}{b}$$

$$p' = \frac{\boldsymbol{p''*p+q''*q}}{\sqrt{(\boldsymbol{p''2}+\mathbf{q''2})}}$$; naklon v smeri proč od vira svetlobe

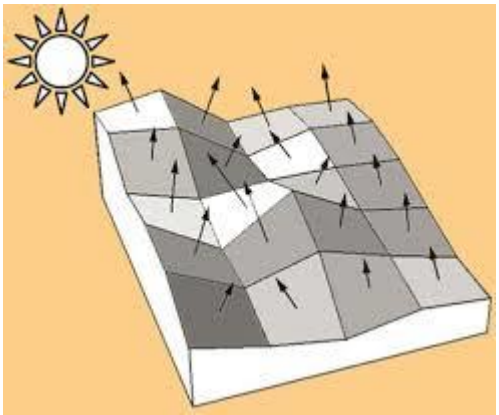
a, b, sta parametra, ki omogočata izbor odbojnosti za vodoravno ploskev in stopnjo spreminjanja sivih tonov z naklonom

Uvedba samodejnega senčenja z računalniki je prinesla klasično metodo senčenja z enim virom bele svetlobe. Ta svetlobni vir je bil postavljen v smeri severo-zahoda pod vertikalnim kotom 45°. Pri tej metodi zaradi uporabe enega vira pride do napak več vrst: zakrivanje struktur reliefa na posameznih delih, svetlobni vir lahko posamezne strukture (doline in grebeni) glede na njihovo lego in orientacijo premalo ali preveč poudari. Na lokalnem nivoju se pojavljajo zakrita osojna pobočja s sencami, na prisojnih pa relief izgublja kontrast. V primeru premajhnega vpadnega kota, bo na razgibanem površju veliko zasenčenih območij, če pa je vpadni kot prevelik, pa bo na ravnih območjih prišlo do preosvetljenosti. Manjše kot so višinske razlike, nižji naj bo vpadni kot svetlobe. Da se le čim bolj izognemo napakam, lahko uporabimo metodo združitve treh slojev iz različnih smeri senčenega reliefa. Vsak od slojev predstavlja eno od barv RGB barvne lestvice (Komac, 2000).

Poznamo še nekaj drugih tehnik senčenja, ki izboljšujejo končni prikaz in zmanjšujejo napake (Kenelly, 2009): tehnika, ki spreminja svetilnost barv, ki temeljijo na ekspoziciji površja. Uporabna je za ločevanje rahlih figur, kot so dokaj položne doline, ki so vzporedne s smerjo osvetljenosti. Osojna stran teh dolin je prikazana s sloji odtenkov z vidno spreminjajočo svetilnostjo, ki dopolnijo spremembe v sivinah pri senčenju. Tretja tehnika zajema lokalne spremembe v ukrivljenosti in to

prikazuje s senčenjem. To je najbolj uporabno pri hitrih spremembah naklona oziroma ekspozicije površja.

Večsmerno analitično senčenje (Multi–directional hillshading) osvetljuje površje z žarki iz šestih smeri, ki s spreminjanjem jakosti približajo osvetljenost difuzno porazdeljeno po virtualnem nebu. Ta tehnika se uporablja za strma območja površja, v katerih bi drugače sence poškodovale oziroma zakrile posamezne dele. Rezultati tovrstnega senčenja so veliko boljši od rezultatov tradicionalnega senčenja iz ene smeri, kar se kaže v nežno osenčenih strmih območjih, ki pa so še vedno očitna. S tem senčenjem izdelamo veliko bolj realistične predstavitve površja in izboljšamo razmerje med preveč osvetljenimi in ne osvetljenimi območji. Predstavitve površja tako predstavljajo odlično podlago za nadaljnje delo in analize (Nagi, 2014).



Slika 19: : Shema senčenja površja

Vir: http://www.space.si/wp-content/uploads/m/DMR%20in%20paleonapetosti.pdf

3 OPREDELITEV POJMA GENERALIZACIJE

3.1 Generalizacija v splošnem

Izraz generalizacija pomeni posploševanje. Posploševanje je pogost pojav na vseh ravneh življenja. S tem navadno skrajšamo neko razlago, hitreje in jasneje preidemo do bistva ali pa želimo nekatere nepomembne detajle zavoljo časa in preglednosti izpustiti. Generalizacija je proces oblikovanja splošnih pojmov z abstrakcijo skupnih lastnosti in primerkov podatkovnega modela GIS okolja. Podatkovne modele grafično prikazujemo z diagrami. Sheme podatkov v podatkovnem modelu so podlaga in osnova baz podatkov s katerimi operiramo v GIS okolju. Tudi oblikovanost površja lahko zapišemo z modelom, ki ga sestavljajo ploskve. Ploskve so večinoma gladke in zvezne in predstavljajo končno množico višinskih točk, izmerjenih glede na srednji nivo morja (Podobnikar, 2001).

Podatkovni model se šteje kot zamenjava ali nadomestitev vrednosti ali kot kopija fizičnega okolja v razumno razlago. Tak model se lahko poenostavi glede na posebne zahteve. Obstajajo različni tipi generalizacije (Podobnikar, Zakšek, 2005):

- Semantična generalizacija; razvršča objekte glede na njihove lastnosti
- Geometrična generalizacija; pomeni predstavlja premike, poenostavitve in združitve objektov ter geometrijo objektov
- Topološka generalizacija; spreminja odnose med objekti

Ker je kartografska generalizacija le pomanjšana upodobitev nekega naravnega območja ali zemeljskega površja in ker so pojavi prikazani na tak način, merilo končne karte v veliki meri določa seštevek informacij, ki naj bi bile prikazane. Kot rezultat generalizacija kartografskih objektov, spremeni z zmanjšanjem merila oblike objektov v razmerju, ki jih uvrstimo v končni prikaz.

Horn (1945) in Imhof (1982) sta formirala najpomembnejši vodič za kartografsko generalizacijo (Leonowicz, Jenny 2008):

- Glavne reliefne oblike naj bodo poudarjene, medtem ko so drugi pojavi lahko izbrisani
- Vsaka reliefna oblika mora biti obravnavana kot celota, vse oblike plastnic, ki so reliefne oblike, se naj ohrani ali popolnoma odstrani
- Pozitivne reliefne oblike (vrhovi) imajo prednost prioriteto pred negativnimi oblikami(doline)
- Vse pozitivne oblike se naj ohranijo, manjše pa naj se združijo, če pripadajo enako veliki obliki
- Majhne negativne oblike se naj odstranijo

- Večina dolin je lahko prikazanih, če so razširjena na račun manjših oblik, ki jih obdajajo z vseh strani

Na področju prikazovanja površja s pomočjo DMR-ja se poslužujemo generalizacije pri izdelavi prikazov v različnih merilih. Recimo, če zmanjšamo merilo nekega območja, se ta zmanjšan kartografski prikaz od prvotnega razlikuje po obliki, številu objektov in razdaljah med njimi, spremenijo pa se tudi atributni in topološki podatki. Dandanes generalizacija poteka v digitalnem vektorskem in rastrskem okolju. Pred postopkom generalizacije je potrebno preučiti nekaj vprašanj in osnovnih pogojev. Temeljna vprašanja so kdaj, kako in zakaj generalizirati. Na ta način ocenimo situacijo in pogoje za generalizacijo. Kdaj generaliziramo lahko pogledamo iz treh gledišč: če so sprejeti pogoji za generalizacijo, če so sprejeti ukrepi za postopek generalizacije, če so predvidene kontrole za različne tehnike generalizacije (Stuart Shea, McMaster, 1992).

Pogoji za generalizacijo pri prikazih površja za DMR so: prenatrpanost podatkov, sovpadanje objektov, konflikt med objekti, zaplet, nedoslednost in nezaznavnost značilnosti. Ukrepi, ki kažejo na potrebo po generalizaciji so: stopnja gostote objektov na karti, stopnja porazdelitve značilnosti na karti, merjenje dolžin in stopnje sinusoidnosti linij, merjenje oblik pojavov, merjenje dolžin med pojavi, abstraktne potrebe. Meritev prostorskih in/ali atributnih pojavov, ki jih potrebujemo pred operacijo generalizacije je odvisna od merila, namena karte in drugih faktorjev. Pri postopku generalizacije je dobro določiti vrstni red uporabe operatorjev generalizacije, algoritme, ki so vključeni v teh operatorjih in vhodne parametre, ki so potrebni za pridobitev končnega rezultata (Stuart Shea, McMaster, 1992, Leonowicz, Jenny, 2008).

3.1.1 Kartografska generalizacija

Gre za proces posploševanja in predelave podatkov ter izdelave karte iz vira v večjem merilu. Cilj postopka je iz enega vira narediti čim več prikazov v različnih merilih, kjer naj bi bila pravila pretvorbe čim bolj avtomatska. Zelo pomembna je interpretacija in abstrakcija kartografa. Recimo pet kartografov izdela pet različnih kart in ni enotnega izdelka, zato obstajajo principi za naslednje postopke v kartografski generalizaciji (Radovan, 2005, Toskić, 2013):

- Izbira (redukcija, selekcija)
- Poenostavljanje
- Premikanje
- Združevanje
- Kvalitativna pretvorba

3.1.1.1 Izbira (redukcija, selekcija)

V tem postopku odstranimo, kar je odveč in kar ne spada v izbrano merilo. Uporabljamo Töpferjev zakon korena oziroma selekcije s katerim avtomatiziramo in objektiviziramo proces generalizacije (Toskić, 2013):

$$n_m = n_v \cdot \sqrt{\frac{m_v}{m_m}}$$

n_m pove število objektov v manjšem merilu

n_v pove število objektov v večjem številu

m_m in m_v sta modula meril

Zakon nam ne pove, katere objekte, temveč koliko kartografskih objektov bomo obdržali na generalizirani karti.

Postavimo si dva kriterija, s pomočjo katerih se odločimo katere objekte spustimo in katerih ne:

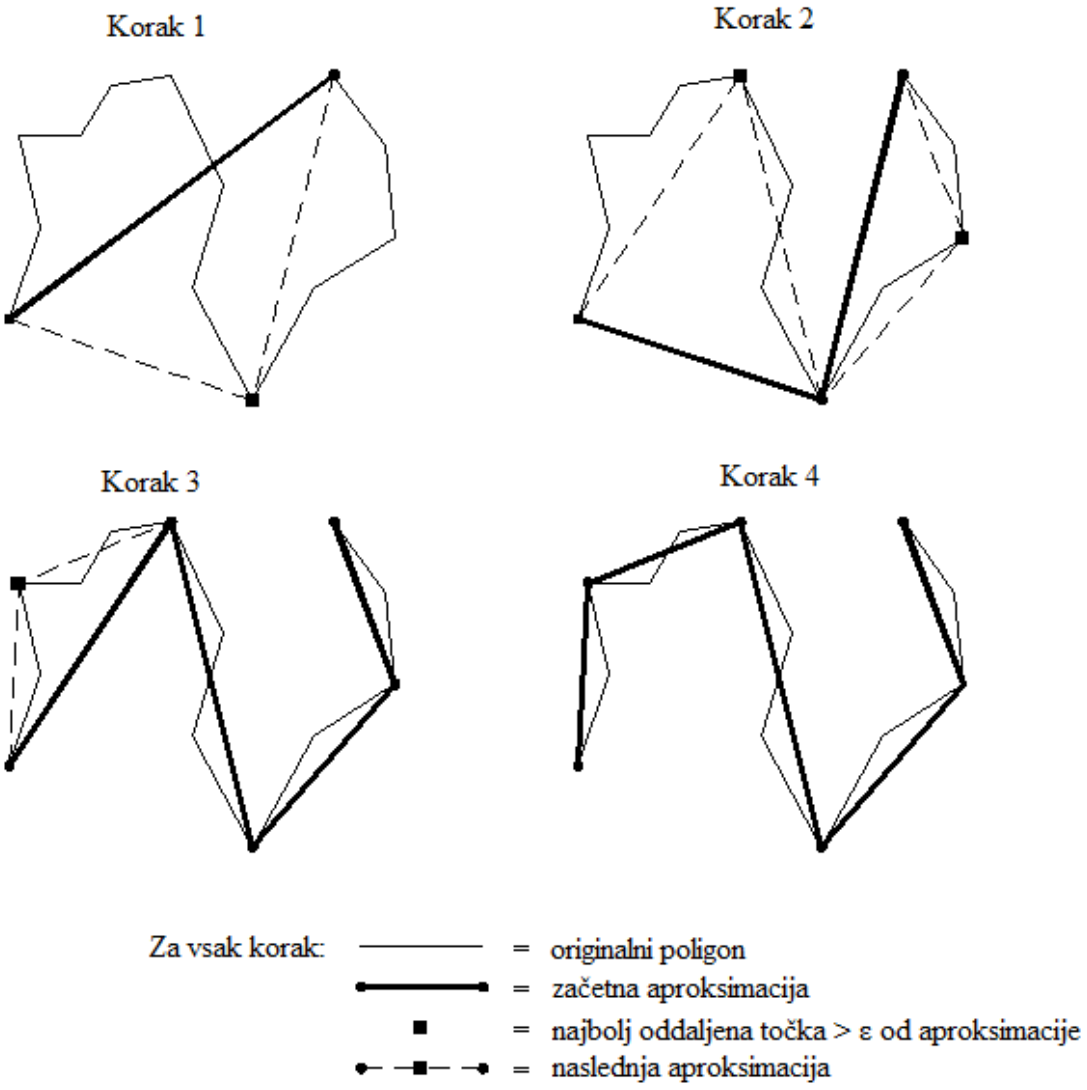
- Kvantitativni kriterij: kjer si izberemo neko minimalno dimenzijo in tako določimo cenzus redukcije. Cenzus izpusti vse objekte, ki so na karti manjši od izbrane dimenzije.
- Kvalitativni kriterij: kjer glede na pomen, karakterističnost, določimo katere objekte bomo obdržali. Na primer: nekateri objekti so lahko manjši, pa imajo večji kulturni pomen v okolju

3.1.1.2 Poenostavljanje

Postopek se največ uporablja pri linijskih objektih kot so: ceste, reke, plastnice, poligoni in pri površinskih objektih. Poenostavljanje uporabljamo tako pri vektorskih kot pri rastrskih podatkih. Med vektorskimi metodami poznamo različne poenostavitve linij, kjer izpuščamo točke (Radovan, 2005):

a. Metode neodvisnih točk; izpuščamo naključne točke. Postopek ne upošteva karakterja linije.
b. Lokalne metode; kjer si postavimo različne kriterije izpuščanja (kriterij minimalne razdalje, kriterij pravokotnega odmika, kriterij kotnega odmika, kriterij zakrivljenosti). Tudi ta postopek ne upošteva karakterja linije.

c. Douglas – Peuckerjeva metoda: kjer določimo cenzus in opazujemo celotno linijo. Med dvema točkama potegnemo linijo in od nje oddaljenost do vseh vmesnih točk. Če vse točke padejo pod cenzus, jih spustimo, sicer pa ohranimo najbolj oddaljeno.



Slika 20 : Shematični prikaz Douglas – Peuckerjeve metode poenostavljanja linij

Vir : http://geomalgorithms.com/a16-_decimate-1.html

3.1.1.3 Premikanje

Ta metoda nam služi v primerih, ko moramo zaradi gneče nekatere objekte na kartografskem prikazu razmakniti. Odmik je običajno pravokoten in ga zelo težko opravimo avtomatsko. Najprej nastavimo velikost odmika, s kurzorjem označimo objekt in določimo, kateri objekt naj se premakne.

3.1.1.4 Združevanje

Objekte, ki so zelo blizu, lahko pri spremembi merila združimo skupaj. V vektorskem okolju postopek opravimo tako, da med objektoma naredimo mrežo trikotnikov. Oblikuje se simetrala stičišča, ki je utežena glede na velikost objekta. V rastrskem okolju poznamo tehniko napihovanja, kjer z dodajanjem pikslov manjšamo prostor med objektoma, dokler se ne stakneta skupaj.

3.1.1.5 Kvalitativna pretvorba

Ob spremembi merila se nekateri kartografski objekti spremenijo. Na primer: linije v točko, površinski objekti v točko, posamezne stavbe v povezane stavbe. Nekateri objekti pa postanejo premajhni in jih prikazujemo s simbolom. V procesu kvalitativne pretvorbe izračunamo centroid območja in na njegovo mesto se avtomatsko postavi novi znak.

3.2 Avtomatska kartografska generalizacija

Dandanes so prostorski podatki večinoma prikazani z digitalnimi prikazi in tako imajo uporabniki znotraj digitalnega okolja želje in zahteve glede najnovejših informacij o nekem območju

, med tem, ko iščejo informacije s funkcijo ″zoom in zoom out″. Prav zato je zanimanje za avtomatsko generalizacijo zelo veliko. Avtomatiziranje tradicionalnega interaktivnega procesa generalizacije pa ni enostavno, saj je skoraj nemogoče definirati pravila avtomatske generalizacije, ki bi delovala v vseh situacijah. Tudi interpretacija kartografa je v procesu avtomatske generalizacije težko zapisljiva. (Stoter et al., 2014). Avtomatska generalizacija v GIS okolju je avtomatiziran postopek povzemanja manj detajlnih podatkov iz zelo detajlnih, ki postanejo informacije glede na namen in merilo podatkov, da bi zadovoljili uporabnike. Manj detajlni podatki so veliko bolj ustrezni za prikaz geoinformacijskih podatkov v manjših merilih. Poznamo tri konceptualne modele avtomatske generalizacije, ki so jih razvili raziskovalci:

- Gruenrichov model
- Brassel/Weiblov model
- McMaster/Shea model

Ti modeli imajo različne poglede na avtomatsko generalizacijo glede na prikazovanje in procesiranje. V smislu kreiranja baz podatkov v različnih merilih, moramo razlikovati med lestvičnim pristopom (ladder approach) in zvezdnim pristopom (star approach). Lestvični pristop je postopna generalizacija v kateri vsak niz podatkov bazira na bazi podatkov naslednjega večjega merila. Zvezdni pristop pa je generalizacija podatkov v vseh merilih, ki bazirajo na eni sami podatkovni bazi večjega merila. (Stoter, 2005)

4 ALGORITMI IN GENERALIZACIJA DMR-ja

4.1 Generalizacija v GIS okolju

Z uporabo GIS orodij prikazujemo prostorske podatke v različnih merilih. V postopku zmanjšanja merila se poleg atributnih in topoloških podatkov spremenijo tudi geometrični podatki. Poleg velikosti se tako spremeni tudi oblika geografskih objektov. Generalizacije se poslužujemo pri zmanjšanju kartografskega prikaza, ko se obrisi prostorskih podatkov tako zgostijo, da postanejo nerazločni. Z orodji za generalizacijo lahko v posebnih GIS nadzorujemo prikaze poljubnih meril. Takšna orodja lahko npr. zložijo sestavljene poligone v kvadrate, prekrivajoče se objekte pa lahko razmaknejo med seboj. V postopku generalizacije skupne objekte združimo, obrise prenatrpanih objektov pa poenostavimo z zmanjšanjem števila lomnih točk. DMR podatki so pogosto uporabljeni v kombinaciji z drugimi podatki. Na primer: DMR kombiniramo s površinskimi ali prostorskimi posnetki in tako lahko izdelamo ortofoto, DMR lahko vključimo tudi v sloj vegetacije in ob ustreznih meteoroloških pogojih ugotovimo potencialne lokacije za nevarnost požarov, zemeljskih plazov ali poplav. Na splošno, proces generalizacije cilja na filtriranje originalnih podatkov za pridobitev zmanjšane verzije, ki pa ohranja glavne značilnosti originalnih podatkov (razvodij, vrhov, grebenov, jam, dolin) (El – Sheimy et al., 2005).

4.2 Generalizacija DMR-ja

DMR je rastrsko okolje, ki ga z nekaterimi GIS operacijami lahko tudi uspešno generaliziramo. Pri postopku generalizacije DMR-ja moramo določiti tri elemente (Stuart Shea, McMaster, 1992):

1. vrstni red uporabe operatorjev generalizacije
2. algoritme, ki so vključeni v teh operatorjih
3. vhodne parametre, ki so potrebni za pridobitev rezultata v zahtevanem merilu

Algoritmi so lahko nadzorovani preko več interakcijskih parametrov(Stuart Shea, McMaster, 1992):

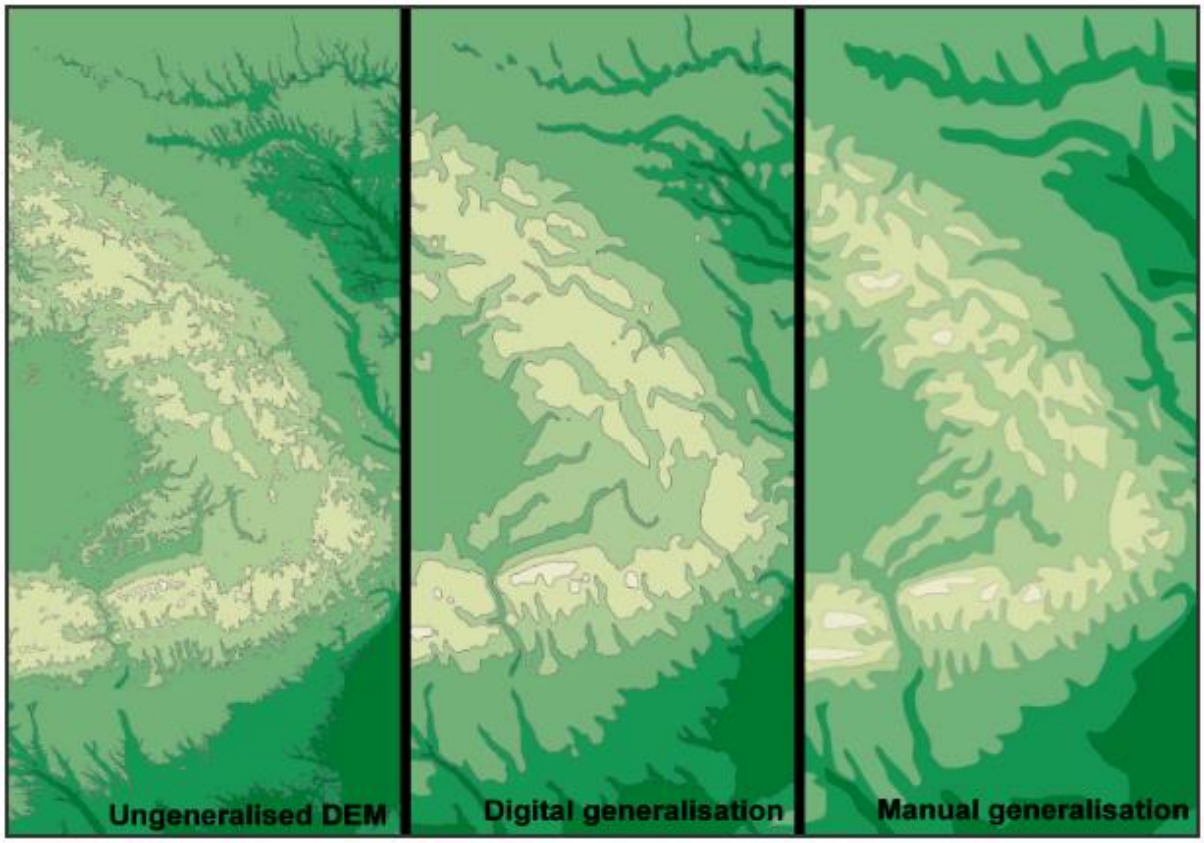
1. izbira operatorja generalizacije:
   Kontrola generalizacijskih operatorjev je verjetno najtežji proces v celotnem procesu avtomatizirane digitalne generalizacije. Odločitve o kontroli generalizacije temeljijo na

- pomembnosti posameznih funkcij (značilnosti/pojavov)
- kompleksnosti odnosov med pojavi

- prisotnost in posledično vpliv nereda na zemljevidu na komunikacijsko učinkovitost na zemljevidu
- potrebo po razlikovanju posploševanja tipov ali reda različnih pojavov
- robustnosti in razpoložljivosti operaterjev generalizacije in računalniških algoritmov

2. izbira algoritma
3. izbira parametrov

Izbira vhodnih parametrov prinaša več različic v končnem rezultatu.



Slika 21 : Prikaz digitalne in ročne generalizacije DMR-ja

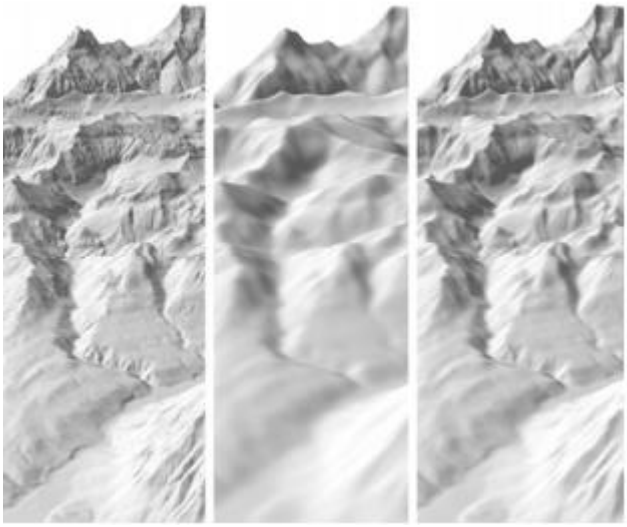
Vir: http://www.geo.unizh.ch/~annal/Hypsometric%20tinting.html

Končni izdelek DMR generalizacije je skupina gladkih višinskih slojev z manjšo ločljivostjo od prvotnih podatkov, ki so primerni za prikaz površja v manjšem merilu. Najbolj pogosta metoda rastrske generalizacije je prevzorčenje v manjšo ločljivost. DMR je pomemben podatek na področju GIS-a in kartografije, ki je potreben, da vemo kako generalizirati izhodne podatke, da bodo zadostovali zahtevam. Generiran DMR pa ne nujno vedno ustreza vsem zahtevam, saj nekatere zahteve potrebujejo bolj detajlni DMR, druge manj. Generalizacija DMR-ja je posebna naloga, saj lahko pridemo do končnega izdelka na več različnih načinov.

Tako obstajajo tri različne metodologije za generalizacijo DMR-ja (Podobnikar, Zakšek, 2005):

- Globalno filtriranje
- Selektivno filtriranje
- Hevristično filtriranje

Način na katerega bomo generalizirali DMR pa je odvisen od zahtevane natančnosti končnega izdelka, vizualizacijskih in kartografskih zahtev. Če potrebujemo manj natančne podatke, se poslužimo globalnega filtriranja. Globalno filtriranje uporabljamo za glajenje ali poudarjanje karakterističnih točk površja in se nanaša samo na položaj. Globalni filtri odstranjujejo detajle reliefa in jih imenujemo low-pass oziroma nizkopasovni filtri, ker odstranijo visoko-frekvenčne komponente površja in ohranjajo nizko-frekvenčne komponente, kar predstavlja globalne značilnosti reliefa.



a) b) c)

Slika 22: Prikaz filtriranja; (a) originalni senčeni DMR, (b) globalno filtriranje, (c) lokalno filtriranje

Vir: http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/part4/files/Jenny.pdf

Izboljšani filtri poudarjajo detajle površja in jih lahko uporabljamo za poudarjanje visoko-frekvenčnih komponent površja, kot so tektonske prelomnice. Poznani so kot high-pass oziroma visokopasovni filtri, vendar pa so manj uporabljeni pri generalizaciji DMR-ja (El-Sheimy et al., 2005).

Selektivne tehnike filtriranja so v glavnem uporabljane za odstranitev točk, ki ne nosijo pomembnih podatkov o površju in ohranjajo le značilne točke. Zato te tehnike spremenijo strukture DMR-ja za pridobitev nove strukture, ki je podobna strukturi štiriškega drevesa. Pomembne točke površja lahko ocenimo s primerjanjem originalnih točk in interpoliranih točk z uporabo sosednjih točk. Če je razlika med originalnimi in interpoliranimi točkami pod neko določeno vrednostjo, potem točke originalnih podatkov obravnavamo kot odvečne in jih lahko eliminiramo. Selektivne tehnike so uporabne pri podatkih, ki so oblikovni v TIN (El-Sheimy et al., 2005).

Postopke selektivnih tehnik lahko uporabljamo preko filtrov odštevanja ali seštevanja (El-Sheimy et al., 2005).

a. Filtri odštevanja začnejo v gosti mreži in med pomikanjem odstranjujejo točke, ki so najmanj pomembne. S ponavljanjem postopka generirajo strukturo točk v obliki štiriških dreves.

b. Filtri seštevanja začnejo v grobi mreži in dodajajo tiste točke prvotni mreži, ki so nujne za opis karakteristik površja. Postopek filtriranja s seštevanjem je podoben mehanizmu progresivnega vzorčenja, ki ga pogosto uporabljajo fotogrametrični risalniki.

Hevristično filtriranje vsebuje modele, ki poskušajo prilagoditi naravne principe v avtomatiziranih postopkih. Zagotavlja zadovoljive rezultate v območjih, kjer se splošna geomorfologija razlikuje v veliko primerih (Podobnikar, Zakšek, 2005).

Vsaka od tehnik je lahko avtomatska, vendar je kombiniranje operacij še vedno zahtevna naloga, saj kombinacije niso značilne in je končni rezultat odvisen od vrstnega reda operacij. Trenutno so najbolj efektivni modeli, ki temeljijo na več sredstvenih sistemih, ki dovoljujejo združitev zveznih in diskretnih operacij in izdelajo plan operacij glede na oceno različnih rešitev (Guilbert, 2014).

4.2.1 Metoda generalizacije DMR-ja pri analitičnem senčenju in hipsometričnem barvanju

Preden uporabimo metode senčenja, DMR podatki večinoma zahtevajo predhodno generalizacijo, saj je digitalni senčeni relief, izdelan iz visoko ločljivih modelov površja, pri manjših merilih preveč podroben in s težavo zmore zaznati glavne oblike površja. Leonowicz (2008) razvije metodo generalizacije DMR-ja, ki se izvede pred analitičnim senčenjem. Algoritem je sestavljen iz dveh korakov:

1. DMR se generalizira z nizkoprepustnimi filtri, odstrani se detajle kot so gorski grebeni ali manjše doline.
2. Pomembni detajli se prevzamejo iz prvotnega DMR-ja z uporabo operatorjev ukrivljenosti. Prevzeti pa so tudi detajli, ki so ojačani in dodani k zglajeni mreži iz prvega koraka.

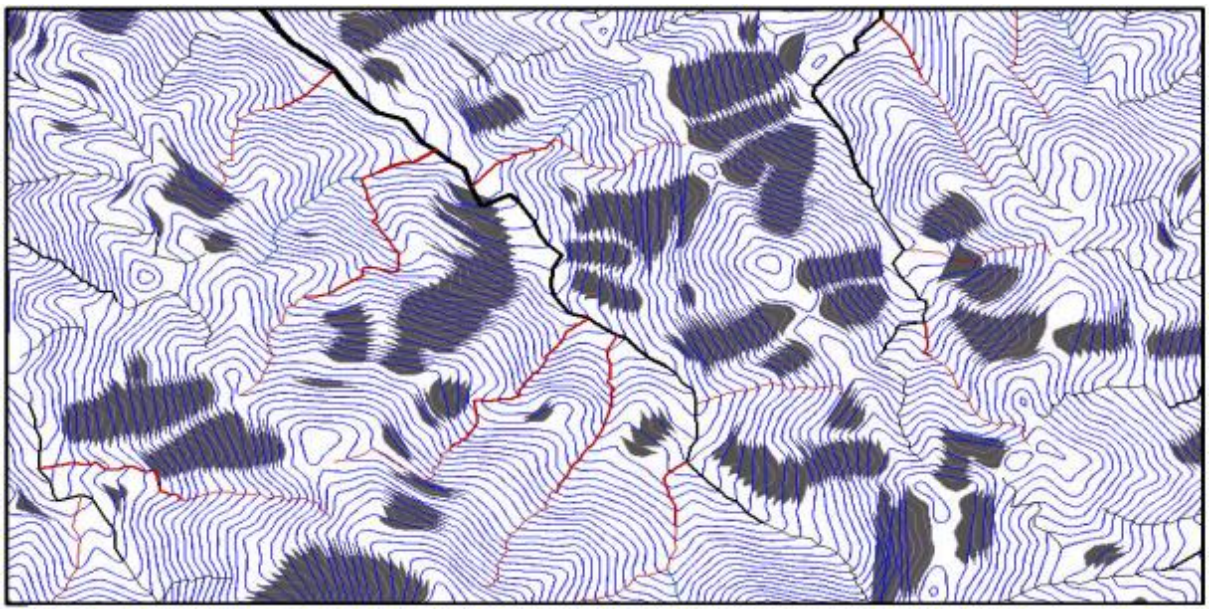
Algoritem se izvede ločeno za gorska in ravninska območja z uporabo posameznih skupin parametrov. Rezultat je kombinacija obeh modelov z danim naklonom in senčenim reliefom.

Hipsometrično barvanje se večinoma uporablja pri majhnih merilih kot je 1: 500,000 ali manjše. S hipsometričnimi barvami zlahka dobimo podatke iz DMR-ja. Preprosto linearno kartiranje v višinske barvne nivoje je dovolj, da določimo barvo za vsako celico v DMR-ju. Barve so lahko prikazane v

diskretnih stopnicah ali pa v zveznih hipsometričnih odtenkih. Hipsometrične barve so pogosto kombinirane s senčenim reliefom, da se poudari tretja dimenzija površja.

4.2.2 Generalizacija plastnic

Poenostavitev plastnic je tipična strukturna osnovna generalizacija. Kot posebna linijska predstavitev, plastnica vsebuje vrsto značilnosti površja kot na primer porazdelitev grebenov in dolin in druge geomorfološke podatke. Ob kartografski oceni vseh teh značilnosti, lahko generalizacija plastnice pridobi zadovoljujoče rezultate, če pa ocenjujemo vsako plastnico kot samostojno linijo, bo rezultat generalizacije odvrnil od značilnosti površja. Zato na neki stopnji pravi objekt operacije površja ni plastnica, temveč celotno omrežje razvodij, ki je vsebovano v predstavitvi plastnic. Generalizacija plastnic vsebuje dva aspekta na kartografski in geometrični stopnji in je veliko težavnejša kot generalizacija posamezne linije. Predmet odločitve in operacije ni isti. Ai (2007) je razvil metodo generalizacije plastnic na osnovi izvlečka in analize drenažnih sistemov. Ta metoda opravlja postopek generalizacije s kombiniranjem geografskih analiz in geometričnih operacij, z razvojem metode za izvlečenje drenažnega sistema in skozi odstranitev skupin zavojev čez množico plastnic, z namenom poenostavitve plastnic. Analize na geografski stopnji temeljijo na sistemu odvodnjavanja, ki je skrit v prikazu plastnic in zahteva poseben algoritem za izvlečenje le - tega. Metoda je bila realizirana v interaktivnem generalizacijskem sistemu DoMap, ki jo je razvil Ai. Ločitev sistema odvodnjavanja vključuje delitev plastnic v zavoje, organizacijo sistema odvodnjavanja skozi dve povezavi in identifikacijo stopenj kanalov, ki se nanašajo na hidrološko pomembnost (Ai, 2007).



Slika 23: Generalizacija plastnic na osnovi izvlečka in analize drenažnih sistemov

Vir: http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm4/papers/549.pdf

Drugo metodo poenostavljanja plastnic je predstavil Gögköz (2005). Najprej je izračunal pas napak okoli vsake plastnice. Značilne točke plastnic so bile izračunane z uporabo kota odstopanja in so definirane s kotom med zaporednimi segmenti, ki so bolj robustni kakor ukrivljenost linije. Značilne točke so razporejene glede na njihovo pomembnost, večji kot je kot, bolj je točka značilna. Vsaka poenostavljena plastnica je zgrajena iterativno z dodajanjem značilnih točk in glajenjem linij s kubično metodo interpolacije, dokler ne celotna linija leži znotraj pasu napak. Rezultati so pokazali, da Gögközov algoritem uspešno proizvaja poenostavitve, vendar nekatere točke niso pravilno porazdeljene vzdolž plastnic. Postopek pa je drag zaradi zahteve a priori izračuna obsega napak in interpolacije vsake poenostavljene plastnice s kubično interpolacijo (Guilbert et al., 2014).

Matuk et al. (2006) predstavi algoritem poenostavitve plastnic, tako da je zgradil skelet območij in ga omejil s plastnicami. Skelet je formiran s točkami, ki imajo najmanj dva od njihovi najbližjih sosedov na meji, kar je enako v primerjavi s skupino Voronijevih robov zgrajenih iz plastnic, ki ne sekajo robov. Poenostavitev se izvaja z obrezovanjem skeleta, kar pomeni, da so odstranjeni robovi, ki so potencialno manjši, kakor dana mejna vrednost in rekonstrukcijo plastnic iz obrezanega skeleta. Metoda predstavlja originalni pristop, kjer obrezana meja predstavlja skupino točk glede na faktor merila. Poleg tega algoritem ne zagotavlja odsotnosti sekanj med plastnicami (Guilbert et al., 2014).

Zgoraj omenjene metode pri nalogi nisem uporabil, vendar pa gotovo spadajo v pomembne postopke generalizacije DMR-ja.

5 PRAKTIČNI DEL NALOGE NA TESTNEM OBMOČJU

5.1 Metode generalizacije z uporabo programa ArcGIS

Generalizacija v ArcGIS-u je odvisna od tega katere, vektorske ali rastrske podatke, generaliziramo. Za vektorske podatke ima program ArcGIS okno Generalize Tool v orodjih za urejevanje, ki uporablja Douglas – Peuckerjevo metodo poenostavljanja linij, v smislu naloge lahko to povežemo s plastnicami. Dodatne metode najdemo v oknu Generalization toolset, ki nam ponujajo različna orodja za poenostavljanje in zmanjševanje ločljivosti vektorskih podatkov:

- Združevanje točk; tako ustvarimo poligone okoli množice bližnjih točk.
- Združevanje poligonov; kombiniramo poligone znotraj določene razdalje v nove poligone.
- Združevanje dvojnih linij v enojne; tvorimo centralnih linij iz dvojnih linij, kot so ogrodja cest.
- Brisanje cestnih detajlov; eliminiramo manjših oblik cestnih segmentov, ki motijo glavni potek cestnega omrežja npr. krožišča, ki jih nadomestimo s poenostavljeno upodobitvijo.
- Začrtovanje gosto poseljenih območji; tvorimo poligone, ki prikazujejo gosto poseljena območja in začrtujejo goste množice stavb na karti majhnega merila.
- Tvorjenje kartografskih razdelitev; tvorimo zanko poligonov, ki pokrivajo značilnosti vhodnega razreda, kjer vsak od poligonov obdaja ne več kot določeno število vhodnih značilnosti.
- Združevanje ločenih cest; izdelamo enojno cestno linijo, kjer se stika par razdeljenih cestnih pasov.
- Poenostavitev stavb; poenostavimo mejo poligonov stavb, kjer pa ohranimo njihove bistvene obliko in velikost.
- Poenostavitev linij; poenostavimo linije z odstranitvijo zunanjih ovinkov, ohranimo le bistveno obliko.
- Poenostavitev poligonov; poenostavimo poligone z odstranitvijo zunanjih ovinkov, ohranimo le bistveno obliko.
- Glajenje linij; zgladimo ostre kote v linijah, da izboljšamo estetsko in kartografsko kakovost.
- Glajenje poligonov; zgladimo ostre kote v robovih poligonov, da izboljšamo estetsko in kartografsko kakovost.
- Zožitev cestnega omrežja; izdelamo poenostavljeno omrežje cest, ki obdržijo povezanost in glavne značilnosti pri prikazu v manjšem merilu.

Z orodji, ki se nahajajo v oknu Spatial Analyst Toolbox v ArcGIS-u, izvajamo različne metode generalizacije DMR-ja. Ta orodja so razdeljena na tri kategorije: seštevanje podatkov (Nibble, Shrink, Expand, Region Group in Thin), glajenje robov (Boundary Clean in Majority Filter) in zmanjševanje ločljivosti rastrskega posnetka (Aggregate).

- Orodje Aggregate; zmanjša ločljivost rastrskega sloja. Vsaka izhodna celica vsebuje vsoto, minimum, maksimum, sredino ali mediano vseh vhodnih celic, ki jih ločljivost večje izhodne celice pokriva.
- Orodje za čiščenje robov Boundary Clean; zgladi razmejitev območij s širjenjem izbranih con in oženjem.
- Orodje Expand; raztegne določene rastrske cone za določeno število celic.
- Orodje Majority Filter ali filter večine; zamenja vrednosti rastrskih celic glede večinsko vrednost sosednjih celic.
- Orodje Nibble ali orodje grizljanja celic; zamenja celice rastrskega sloja z vrednostmi bližnjih sosednjih celic glede na podano masko.
- Orodje Region Group; za vsako celico v izhodnem rastrskem sloju določi vrednost sklenjenega območja, kateremu pripada. Tem območjem se dodelijo novi identifikatorji.
- Orodje Shrink; skrči izbrane rastrske cone za določeno število celic ter jih zamenja z najbolj pogostimi vrednostmi v okolici.
- Orodje Thin; stanjša rastrske linijske pojave, tako da zmanjša število celic, ki predstavljajo širino linij.

5.2 Opredelitev testnega območja

Območje, ki sem ga pri nalogi obravnaval se nahaja v občini Semič in je znotraj koordinat D48:

y_1: 513.000 m x_1 : 55.000 m y_3 : 513.000 m x_3 : 58.000 m

y_2 : 516.000 m x_2: 55.000 m y_4: 516.000 m x_4 : 58.000 m

Ker sem Semičan, sem izbral območje iz svojega domačega okolja. Območje obsega Semiško goro, ki se dviga nad Semičem in je izrazito kraško z veliko kraškimi kotanjami. Zaradi svoje raznolikosti je zelo primerno za izvedbo analiz izračunov naklona, ekspozicije in ukrivljenosti površja, raznolikost pa je dala tudi lep senčen prikaz.

Slika 24: Topografska karta izbranega območja v merilu 1: 30.000

Vir: www.geoprostor.net (2.8.2016)

5.3 Uporabljeni podatki

5.3.1 DMV 5

DMV 5 je bil izdelan v letu 2007 z ločljivostjo 5 m in predpisanim srednjim odklonom višin med 1 in 3 m. Glavne značilnosti DMV 5 so (Podobnikar, 2008):

- Osnova za izdelavo je prevzorčen DMV 12,5 na ločljivost 5 m.
- Na osnovi stereoparov CAS pri uporabi ploskovnih, linijskih in točkovnih CAD – orodij je bila opravljena (stereo)fotogrametrična obdelava prevzorčenega modela.
- Delo so opravljalo usposobljeni operaterji, kar se pozna pri kakovosti izdelka.
- Operaterji so s pomočjo točkovnih CAD – orodji lokalno obdelali območja, kjer so bila večja odstopanja.
- DMV 5 je neprimeren za večino prostorskih analiz in vizualizacij in uporaben le takrat, kadar geomorfološke značilnosti niso pomembne.

Podatki se izdajajo v ASCII formatu v datoteki s končnico .XYZ.

5.3.2 DMV 12,5

Digitalni model višin Slovenije obsega podatke digitalnih modelov višin Slovenije in okolice in je na voljo v ločljivosti 12,5 m (DMV 12,5), 25 m (DMV 25), 100 m (DMV 100). V sistem so vključeni podatki, ki so bili zajeti med letoma 1947 in 2005. DMV Slovenije je homogen in ne vsebuje grobih napak, obsega več kot 353 milijonov točk pri ločljivosti 12,5 m, ocenjena natančnost pa je (Podobnikar, Mlinar, 2006): 3,2 m za ravnine 1,1 m, za gričevja 2,3 m, za hribovja 3,8 m, in za gorovja 7,0 m.

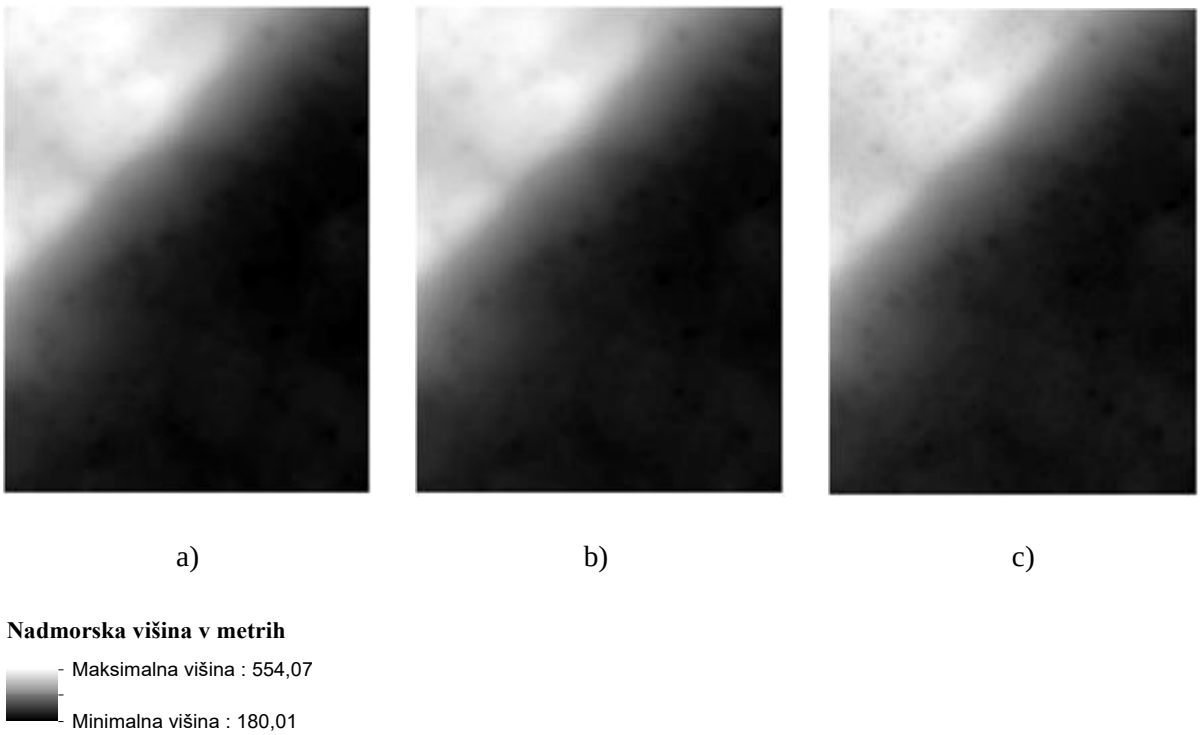
Podatki DMV se izdajajo v ASCII formatu, v datoteki s končnico .YXZ, kjer je osnovna enota list TTN5, velikost lista pa je 3.000 m krat 2.250 m. (Prostor, 2016).

5.3.3 Lidarski DMR

Podatke lidarskega DMR-ja sem pridobil na spletni strani ministrstva za okolje in prostor preko spletnega pregledovalnika eVode, kjer dobimo podatke v projekciji D48GK ($1km^2$) in projekciji D96TM ($1km^2$). Za uporabo v nalogi sem s pomočjo trikotniške afine transformacije prenesel podatke v D48GK projekciji, ki se izdajajo v ASCII datoteki.

5.4 Rezultati testiranja

Vsi prikazi so v merilu 1: 50.000.



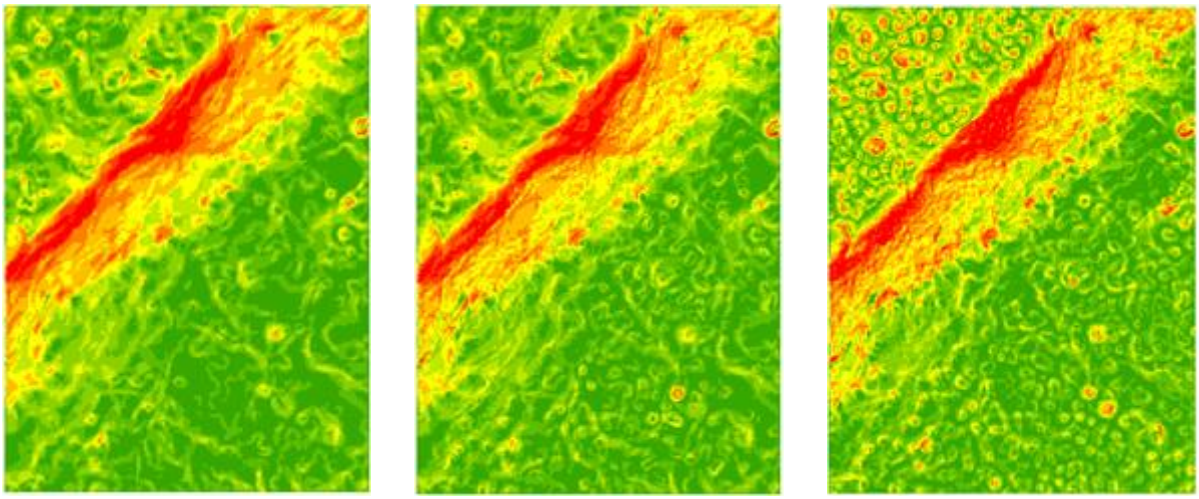
Slika 25: Prikazi slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) po uvozu podatkov v ArcGIS v hipsometričnih barvah

Preglednica 1 : Opisna statistika nadmorskih višin slojev DMV 12,5, DMV 5 in lidarskega DMR-ja

Opisna statistika	DMV 12,5	DMV 5	lidarski DMR
Minimum (m)	185,75	185,20	180,01
Maksimum (m)	552,09	552,10	554,07
Srednja vrednost (m)	302,42	303,47	301,44
Standardni odklon (m)	117,57	118,01	116,63

Največjo (554,07 m) in najmanjšo višino (180,01 m) prikazuje lidarski DMR. Srednja vrednost (303,47 m) in standardni odklon (118,01 m) pa sta najvišja pri sloju DMV 5 (slika 25).

5.4.1 Naklon



a) b) c)

Naklon v stopinjah

- 0 - 4
- 5 - 7
- 8 - 11
- 12 - 15
- 16 - 19
- 20 - 23
- 24 - 28
- 29 - 33
- 34 - 44

Slika 26: Prikazi naklona slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c)

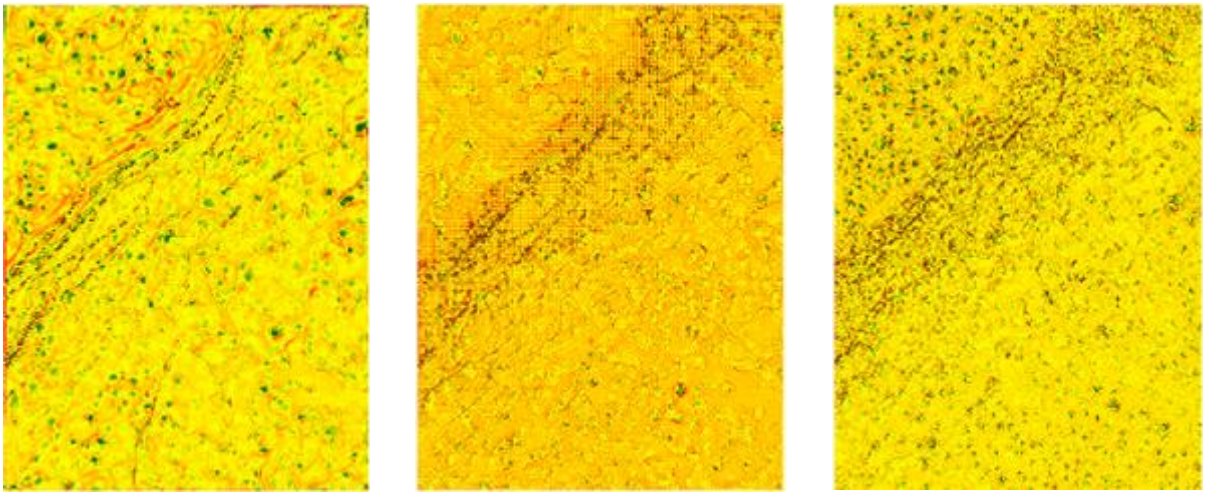
Preglednica 2: Opisna statistika naklonov slojev DMV 12,5, DMV 5 in lidarskega DMR-ja

Opisna statistika	DMV 12,5	DMV 5	lidarski DMR
Minimum (°)	0,032	0,000	0,024
Maksimum (°)	40,409	43,927	42,803
Srednja vrednost (°)	9,822	10,116	11,219
Standardni odklon (°)	8,048	8,009	8,137

DMV 12,5 in DMV 5 se pri prikazu naklona razlikujeta predvsem na višinskem območju Semiške gore, kjer se pri DMV 5 vidi več višinskih razlik, ki predstavljajo terasasto površje. Semiška gora je namreč pokrita z vinogradi, ki rastejo na terasah. Pri ravninskih območjih pa bistvene razlike ne opazimo. Veliko več razlik v naklonu prikazuje lidarski DMR, kjer lahko opazimo veliko število

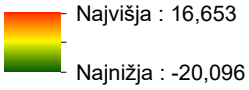
kraških kotanj v levem gornjem kotu območja, ki jih na ostalih dveh prikazih ne opazimo. Tudi višinsko območje je še nekoliko bolj podrobno kot pri DMV 5 (slika 26).

5.4.2 Ukrivljenost



a) b) c)

Ukrivljenost



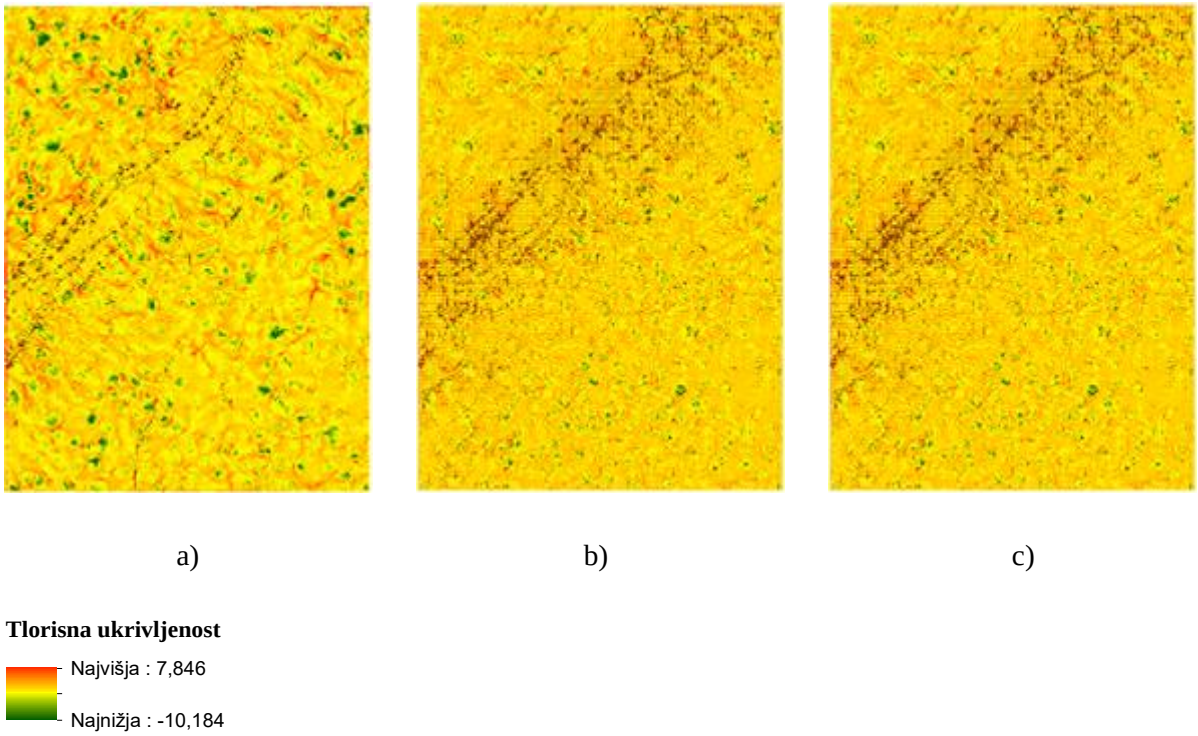
Slika 27: Prikazi ukrivljenosti slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c)

Preglednica 3: Opisna statistika ukrivljenosti slojev DMV 12,5, DMV 5 in lidarskega DMR-ja

Opisna statistika	DMV 12,5	DMV 5	lidarski DMR
Minimum (1/100)	–9,147	–20,096	–18,957
Maksimum (1/100)	6,611	11,712	16,653
Srednja vrednost (1/100)	–1,233	3,451	–6,637
Standardni odklon (1/100)	0,754	1,740	2,590

Največjo konkavnost v smeri navzgor predstavlja DMV 5 (–20,096). Največjo konveksnost površja predstavlja lidarski DMR (16,658). Srednja vrednost pri DMV 5 (3,451) pove, da je na prikazu največ konveksnosti. To opazimo že pri vizualni analizi, saj je prikaz z največ rdeče barve. Zelena barva predstavlja najnižjo konveksnost, kar se vidi pri lidarskem DMR-ju (slika 27).

5.4.2.1 Tlorisna ukrivljenost



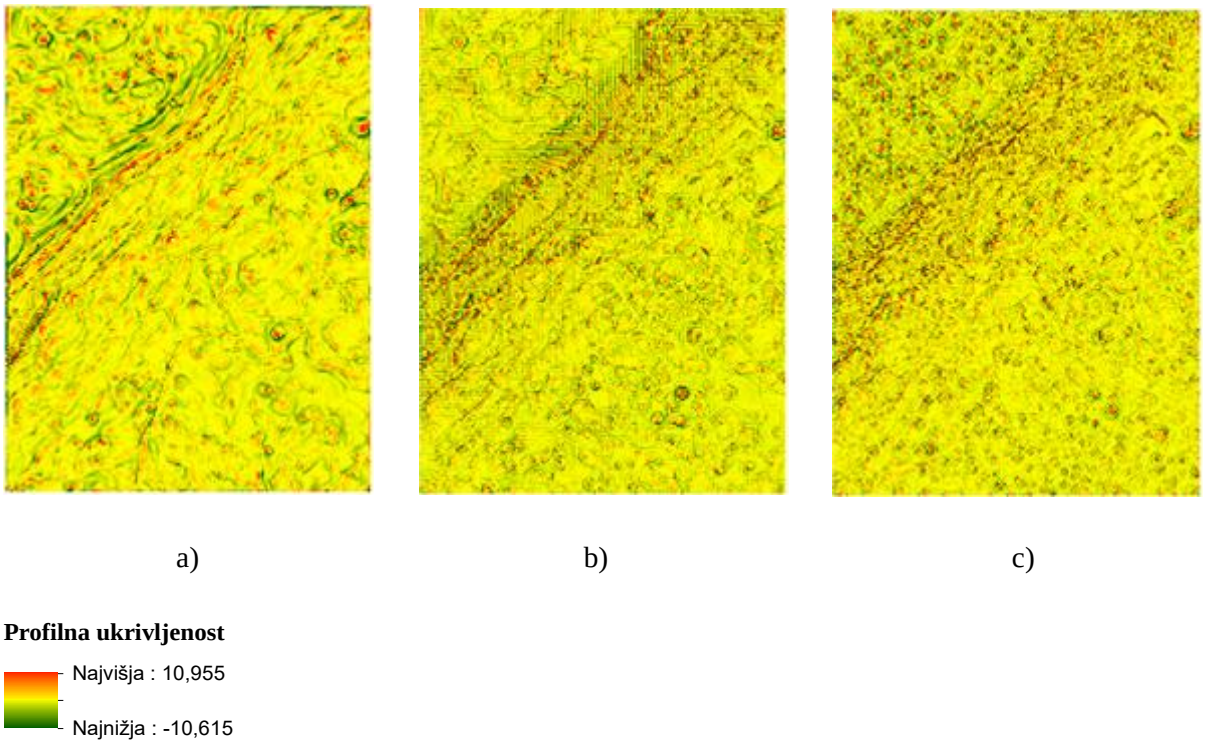
Slika 28: Prikazi tlorisne ukrivljenosti slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c)

Preglednica 4: Opisna statistika tlorisne ukrivljenosti slojev DMV 12,5, DMV 5 in lidarski DMR

Opisna statistika	**DMV 12,5**	**DMV 5**	**lidarski DMR**
Minimum (1/100)	–5,105	–10,112	–10,184
Maksimum (1/100)	2,559	6,305	7,846
Srednja vrednost (1/100)	–0,015	0,033	–0,114
Standardni odklon (1/100)	0,377	0,864	1,335

Največjo tlorisno ukrivljenost tako konkavnost (–10,184) kot konveksnost v (7,846) smeri navzgor opazimo pri lidarskem DMR-ju. Pri DMV 12,5 je najmanj izražene tlorisne ukrivljenosti v višjih območjih, pa tudi na ostalih območjih, kar kaže najnižji standardni odklon (0,377) (slika 28).

5.4.2.2 Profilna ukrivljenost



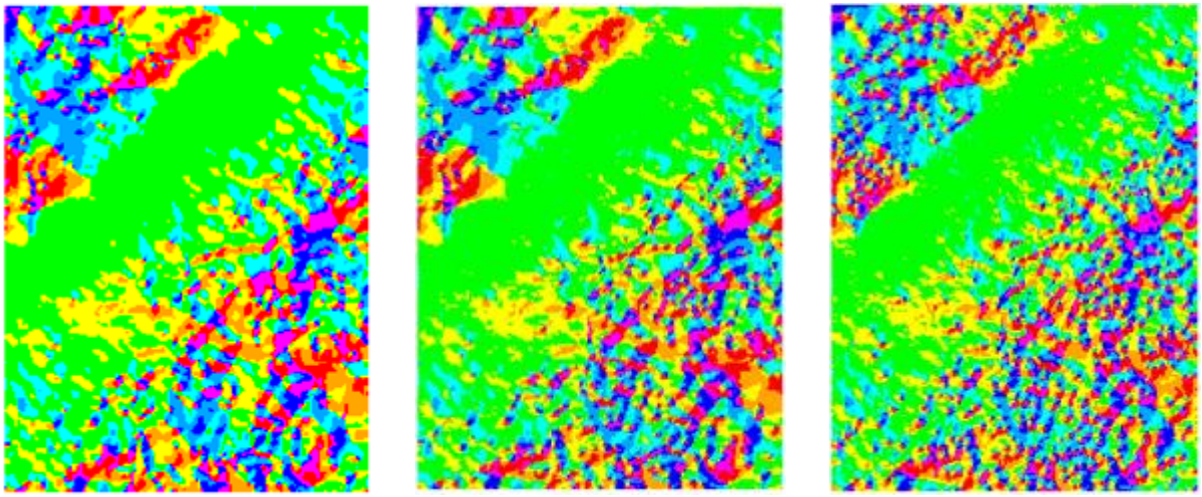
Slika 29: Prikazi profilne ukrivljenosti slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c)

Preglednica 5: Opisna statistika profilne ukrivljenosti slojev DMV 12,5, DMV 5 in lidarskega DMR-ja

Opisna statistika	DMV 12,5	DMV 5	lidarski DMR
Minimum (1/100)	–4,463	–6,115	–10,615
Maksimum (1/100)	4,040	10,955	9,776
Srednja vrednost (1/100)	–0,015	–0,033	–0,114
Standardni odklon (1/100)	0,488	1,021	1,478

Največjo konkavnost v smeri navzgor (10,955) prikazuje DMV 5 sloj, največjo konveksnost pa lidarski DMR (–10,615). Najmanjšo raznolikost v profilni ukrivljenosti opazimo pri DMV 12,5, kar kaže najnižji standardni odklon (0,488) (slika 29).

5.4.3 Ekspozicija



a) b) c)

Ekspozicija v stopinjah

- Ravnina (-1)
- Severovzhod (22,5 - 67,5)
- Vzhod (67,5 - 112,5)
- Jugovzhod (112,5 - 157,5)
- Jug (157,5 - 202,5)
- Jugozahod (202,5 - 247,5)
- Zahod (247,5 - 292,5)
- Severozahod (292,5 - 337,5)
- Sever (337,5 - 22,5)

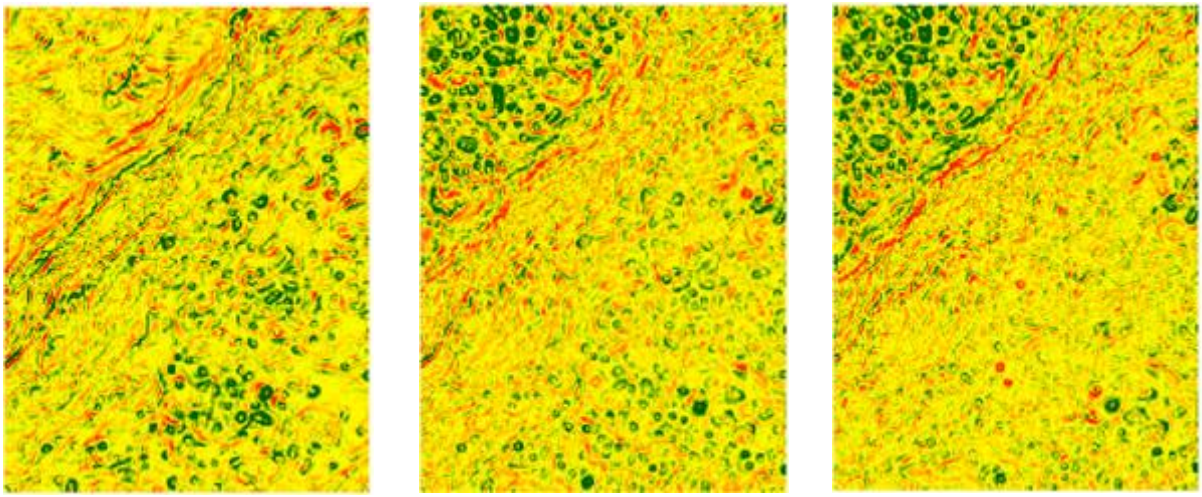
Slika 30: Prikazi ekspozicije slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c)

Preglednica 6: Opisna statistika ekspozicije slojev DMV 12,5, DMV 5 in lidarskega DMR-ja

Opisna statistika	DMV 12,5	DMV 5	lidarski DMR
Minimum (°)	0	–1	0
Maksimum (°)	359,9	359,9	359,9
Srednja vrednost (°)	151,7	152,0	153,9
Standardni odklon (°)	77,9	78,6	80,6

Vizualno hitre spremembe barv kažejo na najbolj raznoliko ekspozicijo površja pri lidarskem DMR-ju sloju, kar kaže tudi najvišji standardni odklon (80,6°), DMV 5 ima najnižjo vrednost (–1°), kar kaže, da obstaja tudi popolnoma ravno območje z naklonom 0°. Sicer pa zelo podobna srednja vrednost nakazuje na sorazmerno enakovredne prikaze ekspozicije (slika 30).

5.4.4 Odštevanje slojev naklona, ukrivljenosti in ekspozicije



a) b) c)

Naklon v stopinjah

Največja razlika v stopinjah: 18,294

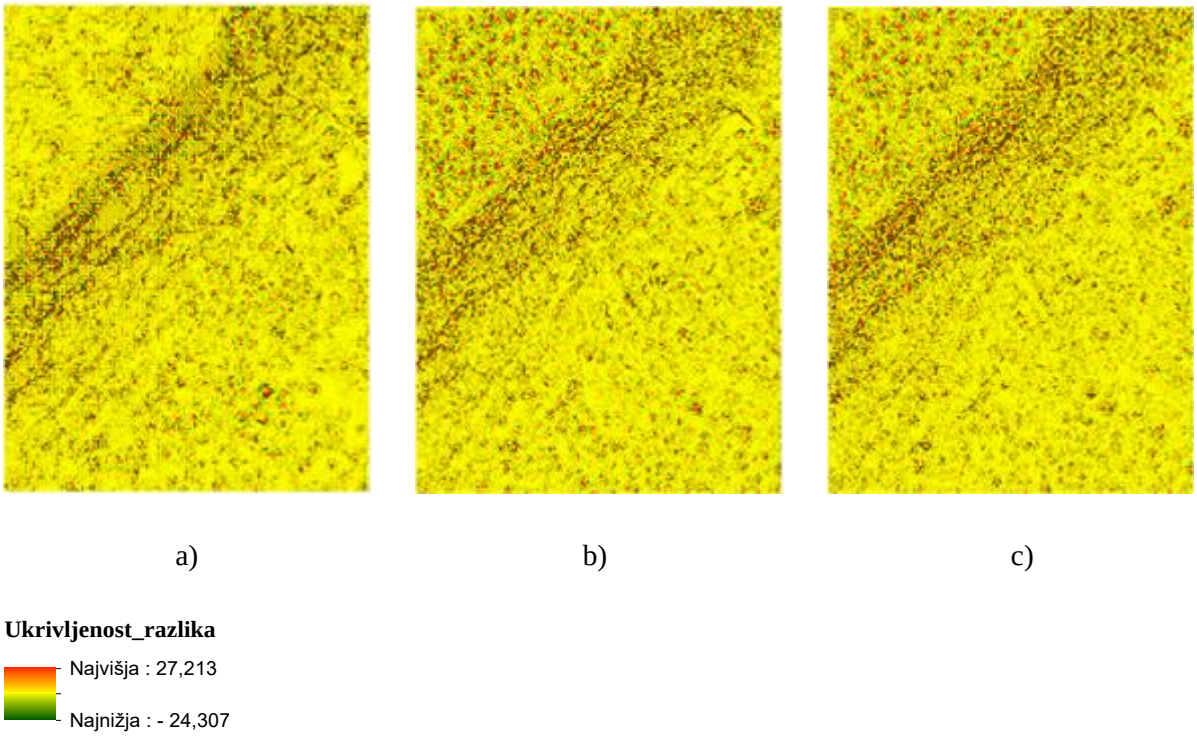
Najmanjša razlika v stopinjah : - 25,446

Slika 31: Prikazi odštevanja naklonov DMV 12,5 – DMV 5 (a), DMV 12,5 – lidarski DMR (b), DMV 5 – lidarski DMR (c)

Preglednica 7: Opisna statistika odštevanja naklonov slojev DMV 12,5, DMV 5 in lidarskega DMR-ja

Opisna statistika	**DMV 12,5 – DMV 5**	**DMV 12,5 – lidarski DMR**	**DMV 5 – lidarski DMR**
Minimum (°)	–19,283	–24,958	–25,446
Maksimum (°)	15,192	18,294	17,605
Srednja vrednost (°)	–0,294	–1,427	–1,133
Standardni odklon (°)	2,356	3,888	3,975

Pri odštevanju naklonov posameznih slojev opazimo, da sta si DMV 12,5 in DMV 5 bolj podobna v ravninskem delu in manj v hribovitem, medtem ko sta DMV 5 in lidarski DMR bolj skladna v hribovitem in manj v ravninskem delu. Največje razlike v naklonu sem dobil med DMV 12,5 in lidarskem DMR-ju (18,294°) najmanjše razlike pa med slojema DMV 5 in lidarski DMR (–25,446°) (slika 31).

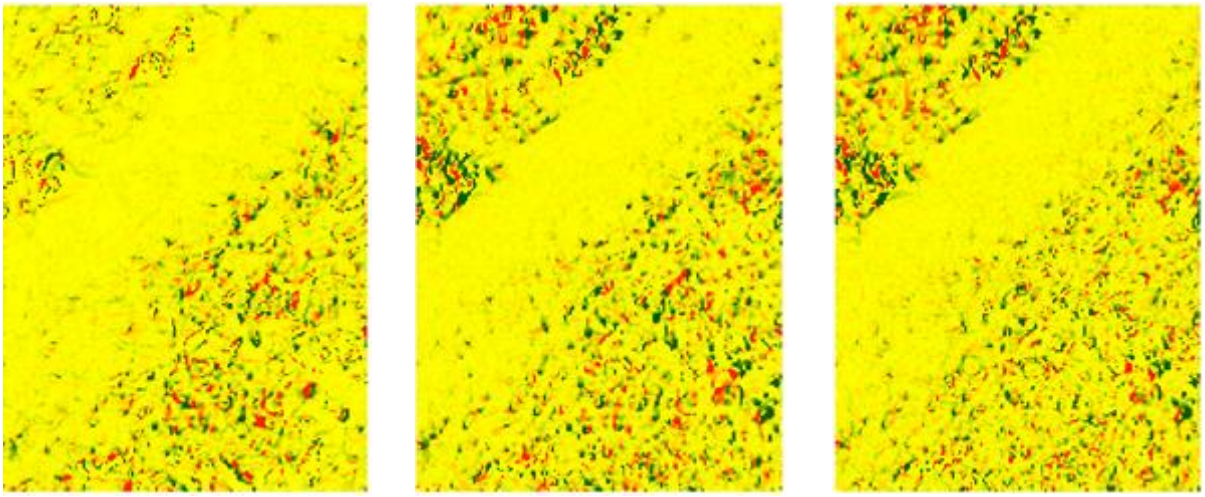


Slika 32: Prikazi odštevanja ukrivljenosti DMV 12,5 – DMV 5 (a), DMV 12,5 – lidarski DMR (b), DMV 5 – lidarski DMR (c)

Preglednica 8: Opisna statistika odštevanja ukrivljenosti slojev DMV 12,5, DMV 5 in lidarskega DMR-ja

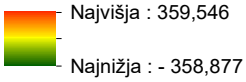
Opisna statistika	**DMV 12,5 – DMV 5**	**DMV 12,5 – lidarski DMR**	**DMV 5 – lidarski DMR**
Minimum (1/100)	–12,154	–18,323	–24,307
Maksimum (1/100)	20,058	17,901	27,213
Srednja vrednost (1/100)	–2,624	–0,001	–0,001
Standardni odklon(1/100)	1,746	2,569	3,004

Ukrivljenosti pri DMV 5 in DMV 12,5 se ne razlikujeta, kar kaže najmanjši standardni odklon (1,746), medtem ko se lidarski DMR od DMV 12,5 in DMV 5 razlikuje v hribovitih predelih, kar opazimo kot pojav rdeče barve (slika 32).



a) b) c)

Ekspozicija_razlika v stopinjah



Slika 33: Prikazi odštevanja ekspozicije DMV 12,5 – DMV 5 (a), DMV 12,5 – lidarski DMR (b), DMV 5 – lidarski DMR (c)

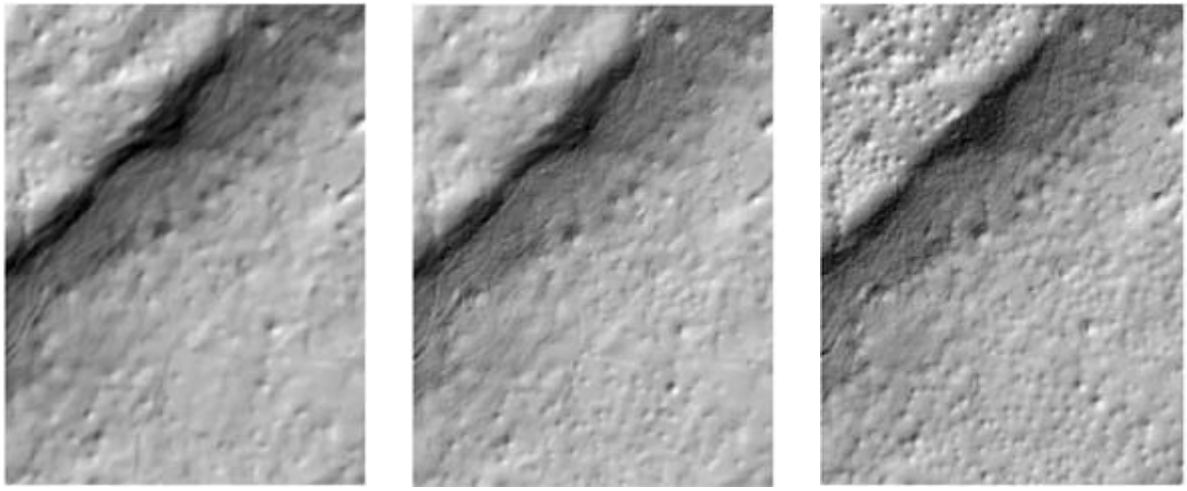
Preglednica 9: Opisna statistika ekspozicije slojev DMV 12,5, DMV 5 in lidarskega DMR-ja

Opisna statistika	**DMV 12,5 – DMV 5**	**DMV 12,5 – lidarski DMR**	**DMV 5 – lidarski DMR**
Minimum (°)	–358,495	–358,837	–358,877
Maksimum (°)	359,184	359,564	359,240
Srednja vrednost (°)	–0,286	–2,068	–1,783
Standardni odklon (°)	56,537	75,578	72,538

Sloja DMV 12,5 in DMV 5 se najmanj razlikujeta (standardni odklon 56,537° je najmanjši), najbolj pa je opazna razlika med slojema DMV 12,5 in lidarski DMR (standardni odklon 75,578°). Med DMV 12,5 in DMV 5 opazimo razlike v ravninskem delu, med slojema DMV 12,5 in lidarskem DMR-ju in DMV 5 ter lidarskem DMR-ju pa predvsem v hribovitem delu (slika 33).

5.4.5 Analitično senčenje slojev

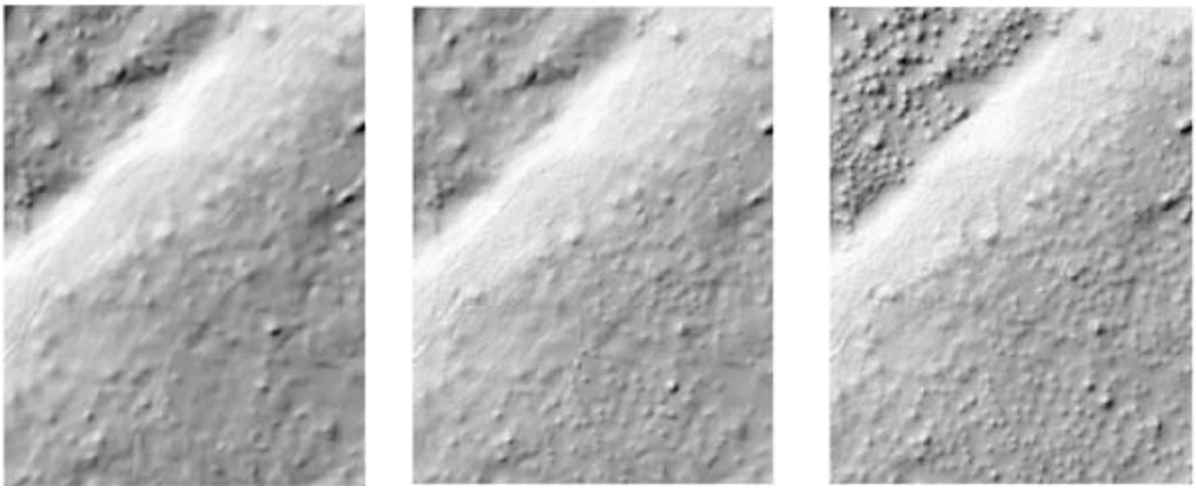
Analitično senčenje sem opravil pod dvema različnima vertikalnima kotoma (45° in 10°) ter tremi različnimi azimuti osvetlitve (315°, 135° in 45°). Vsi senčeni prikazi so v merilu 1 : 50.000.



a) b) c)

Slika 34: Senčenje slojev DMV 12,5 (a) DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) pod vertikalnim kotom 45° in azimutom 315°

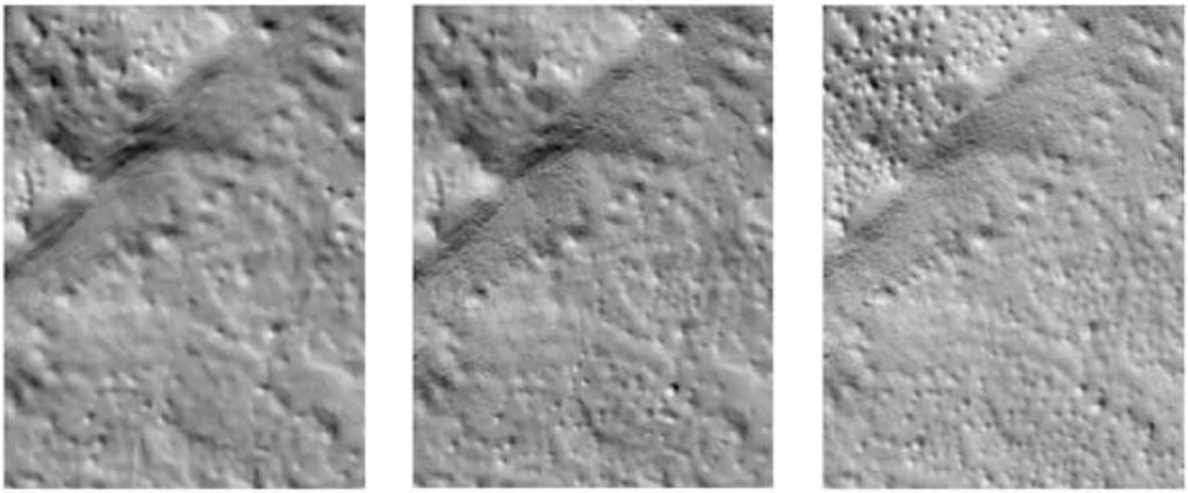
Najbolj standardno analitično senčenje pod vertikalnim kotom 45° in azimutom SV smeri 315° je za območje Slovenije najbolj ustrezno, v programu ArcGIS pa je nastavljeno kot osnova. DMV 12,5 pričakovano prikazuje najmanj detajlov, lidarski DMR pa največ. Pri tej osvetlitvi jasno vidimo ločnico med ravninskim in hribovitim predelom. Razlika med DMV 12,5 in DMV 5 je predvsem v boljši jasnosti v ravninskem predelu (slika 34).



a) b) c)

Slika 35: Senčenje slojev DMV 12,5 (a) DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) pod vertikalnim kotom 45° in azimutom 135°

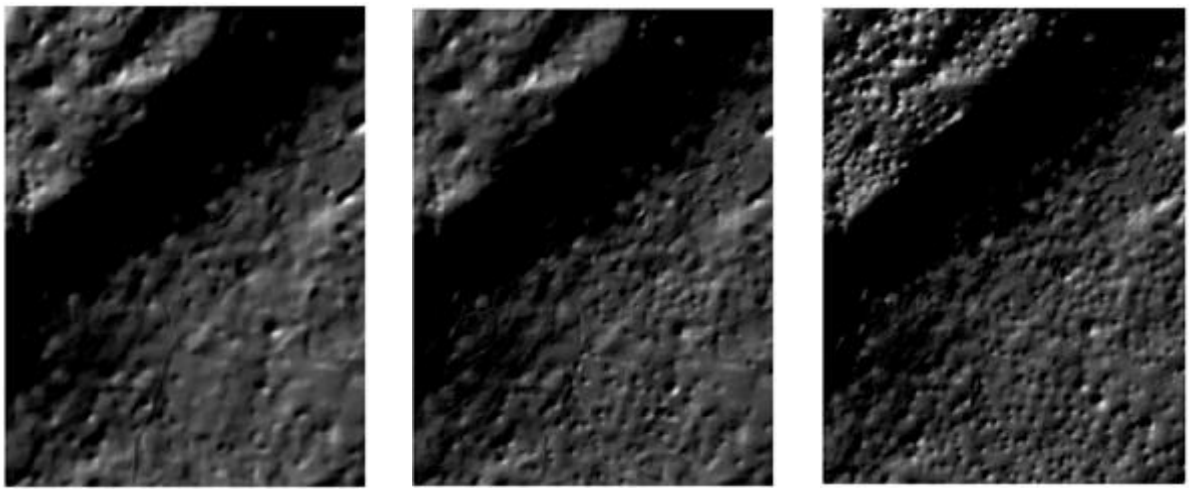
Senčenje pod vertikalni kotom 45° in azimutom 135° daje zelo nejasne rezultate, saj pravzaprav vidimo obratno sliko: kotanje kot izbokline ter hribe kot ravninske predele v zelo svetlem odtenku (slika 35).



a) b) c)

Slika 36: Senčenje slojev DMV 12,5 (a) DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) pod vertikalnim kotom 45° in azimutom 45°

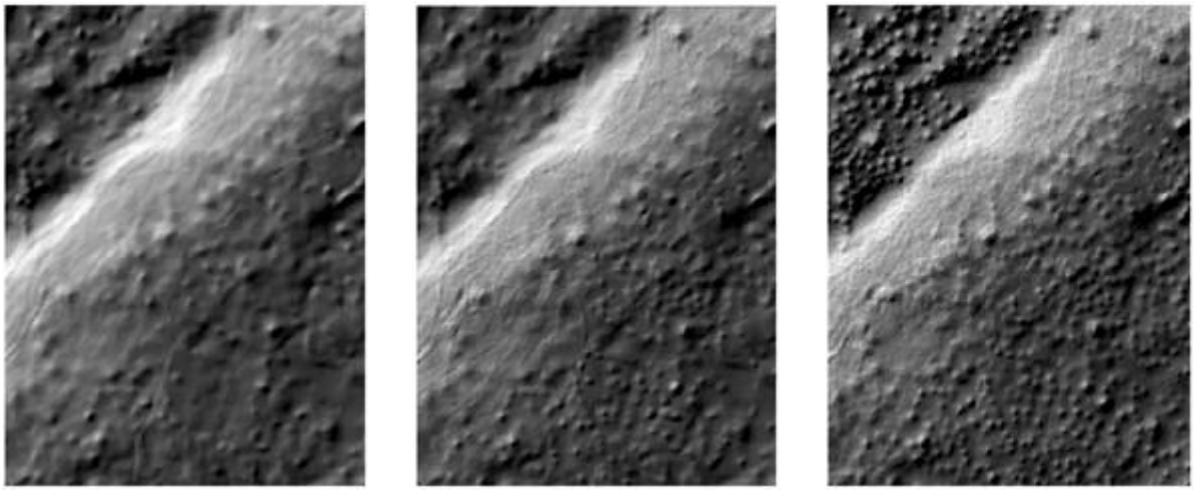
Senčenje pod vertikalnim kotom 45° in azimutom 45° osvetli območje tako, da hriboviti predeli ne pridejo do izraza. Prikazi ne dajejo ekstremov, kar se najbolj odraža v lidarskem DMR-ju (slika 36).



a) b) c)

Slika 37: senčenje slojev DMV 12,5 (a) DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) pod vertikalnim kotom 10° in azimutom 315°

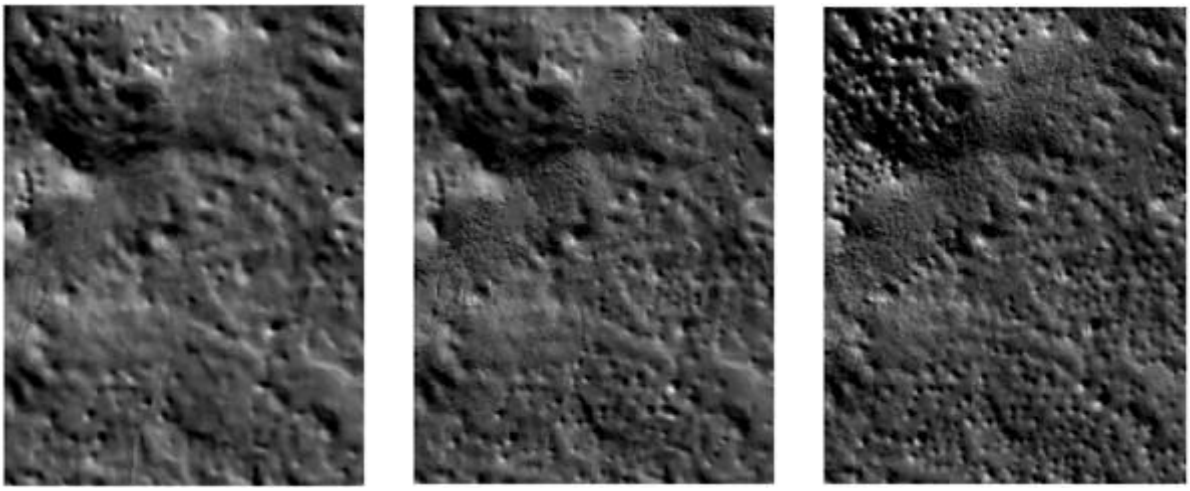
Z osvetlitvijo površja pod zelo ostrim kotom (10°) dobimo zelo temne prikaze. Hribovita območja padejo v senco in so neuporabna. Ravninski predel je dokaj dobro prikazan, vendar za analizo pretemen (slika 37).



a) b) c)

Slika 38: Senčenje slojev DMV 12,5(a) DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) pod vertikalnim kotom 10° in azimutom 135°

Kombinacija ostrega vertikalnega kota 10° in azimuta 135° daje temne prikaze, vendar zopet obratno predstavo o izboklinah in kotanjah površja. Hribovit predel je zelo svetlo prikazan in vizualno daje občutek nižine (slika 38).



a) b) c)

Slika 39: Senčenje slojev DMV 12,5 (a) DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) pod vertikalnim kotom 10° in azimutom 45°

Pri tovrstnem senčenju pravzaprav dobimo vizualni občutek hribovitega površja brez ekstremnih naklonov, ki se skoraj spremeni v ravnino (slika 39).

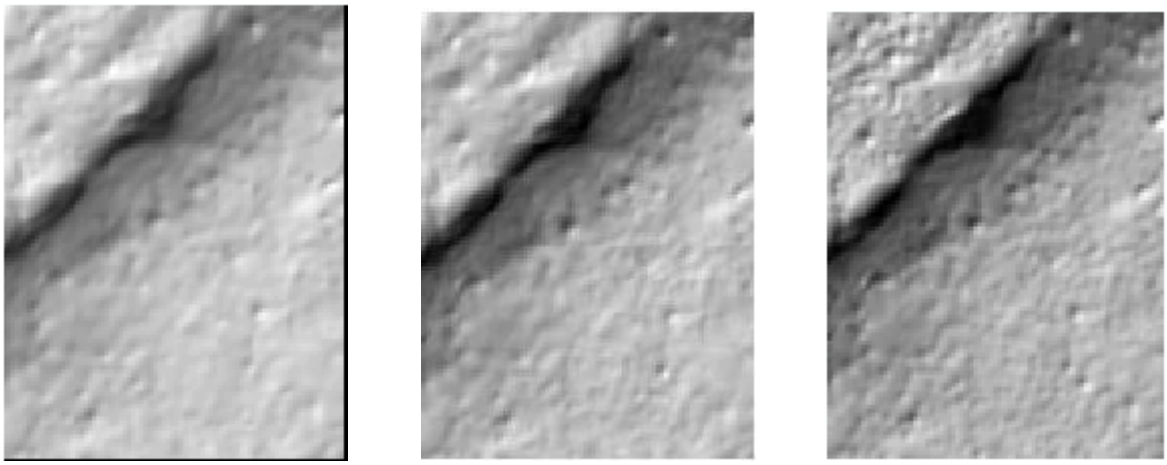
5.5 Interpretacija rezultatov generalizacije iz treh vidikov: kartografije, prostorskih analiz v GIS-u in kakovosti podatkov

5.5.1 Interpretacija v kartografskem smislu

Osredotočamo se na vizualne učinke generalizacije v smislu uporabe generaliziranega DMV-ja v kartografiji. Opazujemo kaj se pri spremembah ločljivosti in merila spremeni na DMV-ju. Pri manjšem merilu so elementi površja DMR-ja bolj občutljivi na generalizacijo in redukcijo. Reduciranje je lahko rezultat generalizacije, spremembe ločljivosti, lahko pa tudi sposobnosti zaznavanja človeškega očesa, ki zazna okoli 0,2 mm ločljivosti Pri generalizaciji se tako spreminjata velikost ter oblika elementov na DMR-ju. Kartografska interpretacija se uporablja pri tematskih in topografskih kartah, kjer ima merilo drugačen vpliv. Pri topografskih je merilo bolj pomembno, saj nam sporoča o detajlnosti in natančnosti kartografskih elementov, pri tematskih pa manj, saj je merilo elementov pogosto zaradi uporabnosti v drugačnem merilu kakor karta.

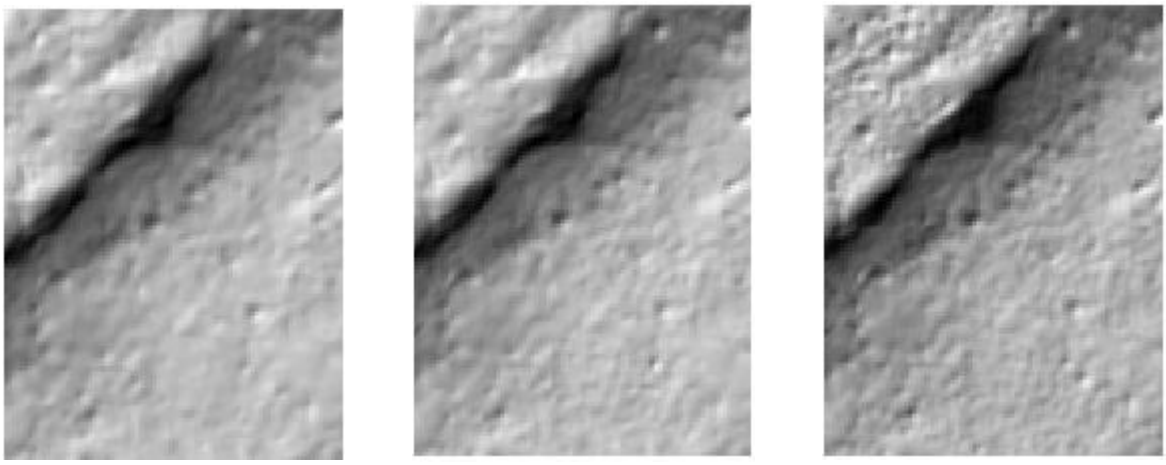
V kartografskem smislu sem se osredotočil predvsem na analitično senčenje pri različnih vertikalnih kotih in azimutih ter na prikaze plastnic pri različnih ločljivostih generiranih iz različnih slojev. Za interpretacijo sem prikazal na nekaj primerih, kako generalizacija vpliva na senčene sloje pri

ločljivostih 12,5,25 in 50 m in kako generalizacija vpliva na prikaze generiranih plastnic pri različni ločljivosti, kako in na katerih območjih površja se plastnice spreminjajo, kako se ob tem spreminja kakovost kartografskega prikaza, kateri detajli in kako se na prikazih spreminjajo z generalizacijo.



a) b) c)

Slika 40: Senčenje prevzorčenih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) pod vertikalnim kotom 45° in azimutom 315° pri ločljivosti 25 m



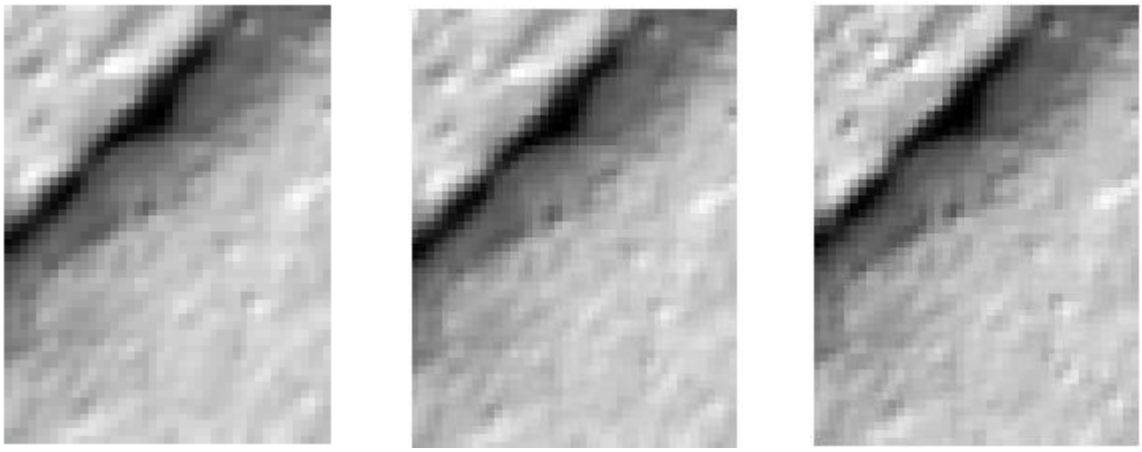
a) b) c)

Slika 41: Senčenje generaliziranih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) pod vertikalnim kotom 45° in 315° pri ločljivosti 25 m

Pri osnovnem senčenju pri ločljivosti 25 m pod vertikalnim kotom 45° in azimutom 315° (sliki 40 in 41) opazimo rahle kvadrataste vzorce na vseh treh slojih (glej opombo 1). Pri DMV 12,5 (slika 40) se po opravljenem senčenju pojavi črn rob (glej opombo 2). Lidarski DMR pri ločljivosti 25 m nudi največ detajlov površja, DMV 12,5 in DMV 5 pa sta precej podobna.

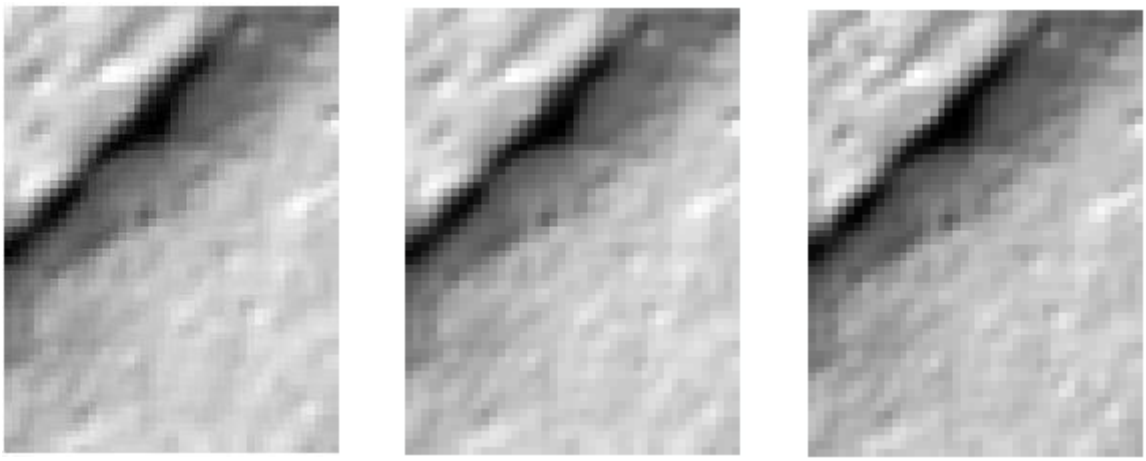
Opomba 1: Kvadratasti vzorci se pojavijo zaradi prevzorčenja z bilinearno metodo interpolacije, ki pri prevzorčenju na slabšo ločljivost ni najboljša metoda za DMR.

Opomba 2: Črni rob se v nekaterih primerih pojavi pri prevzorčenju (slika 40) in vpliva na izračun osnovne statistike, saj so vrednosti matrike na robu 6, na vogalih pa le 4



a) b) c)

Slika 42: Senčenje prevzorčenih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) pod vertikalnim kotom 45° in azimutom 315° pri ločljivosti 50 m.

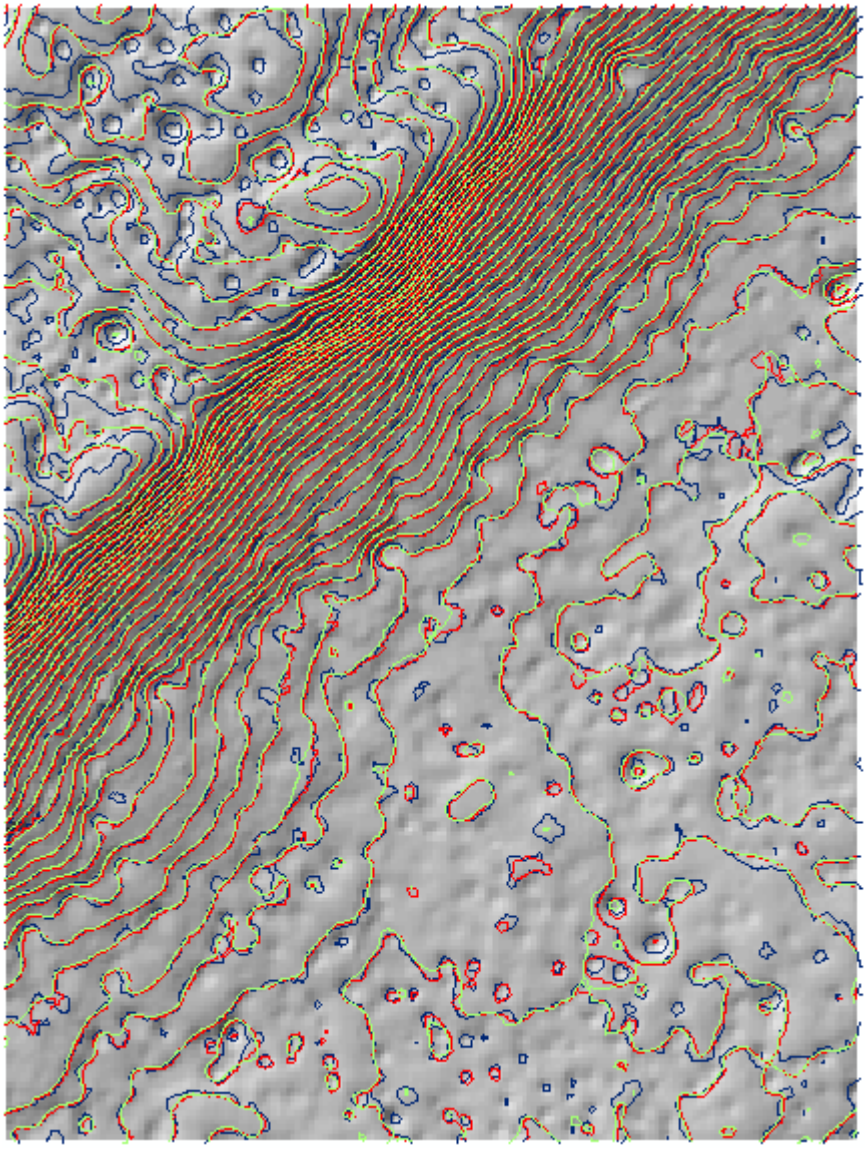


a) b) c)

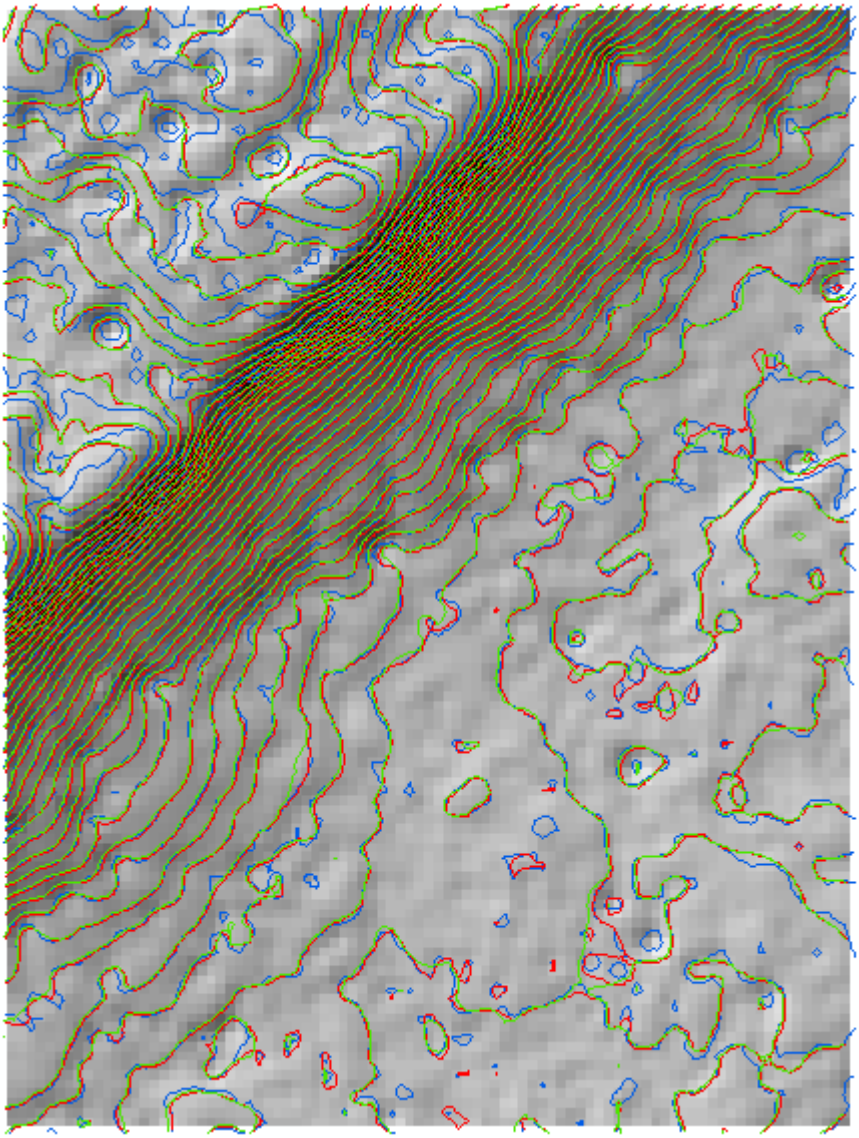
Slika 43: Senčenje generaliziranih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) pod vertikalnim kotom 45° in 315° pri ločljivosti 50 m

Reducirajo se manjši značilni pojavi na ravninskem delu površja, kot so kraške kotanje. Razlike v kakovosti prikaza se zmanjšajo predvsem med slojema DMV 12,5 in DMV 5 na ločljivosti 50 m (sliki 42 in 43).

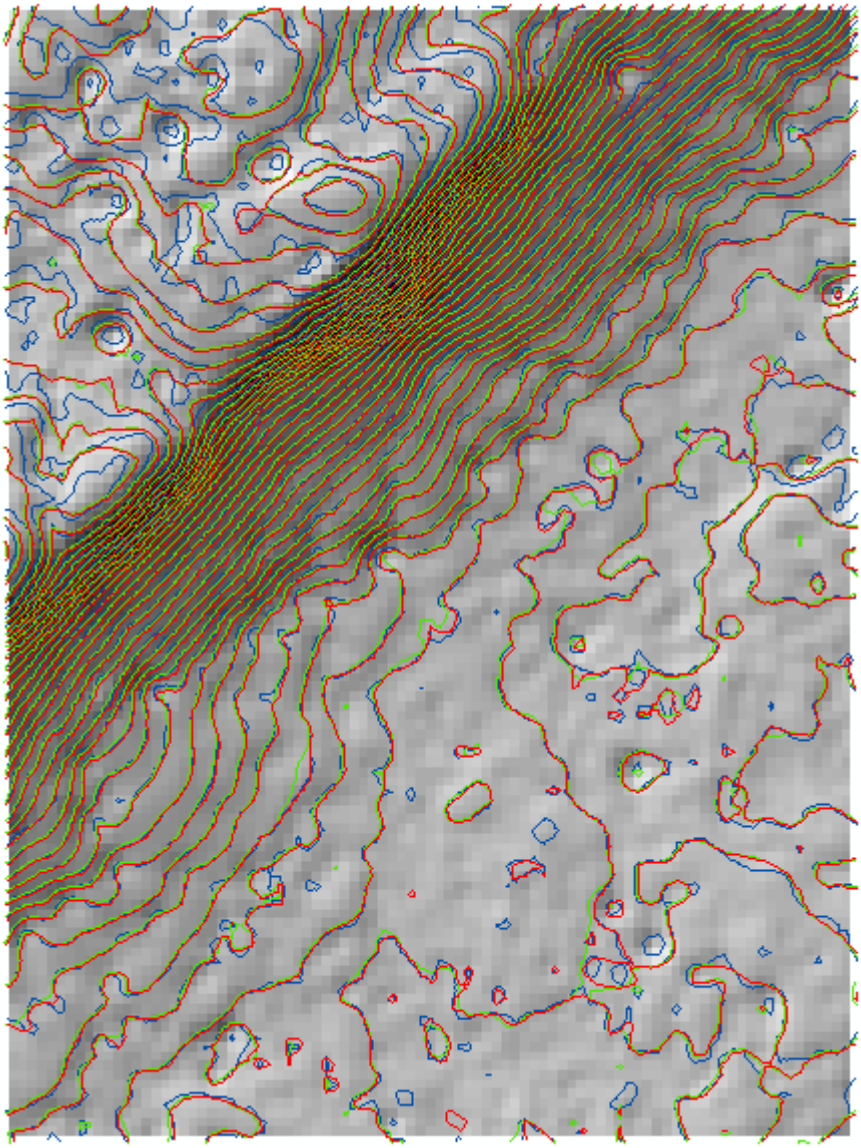
Prikazi plastnic so zaradi boljše nazornosti namenoma večji in sicer v merilu 1 : 20.000.



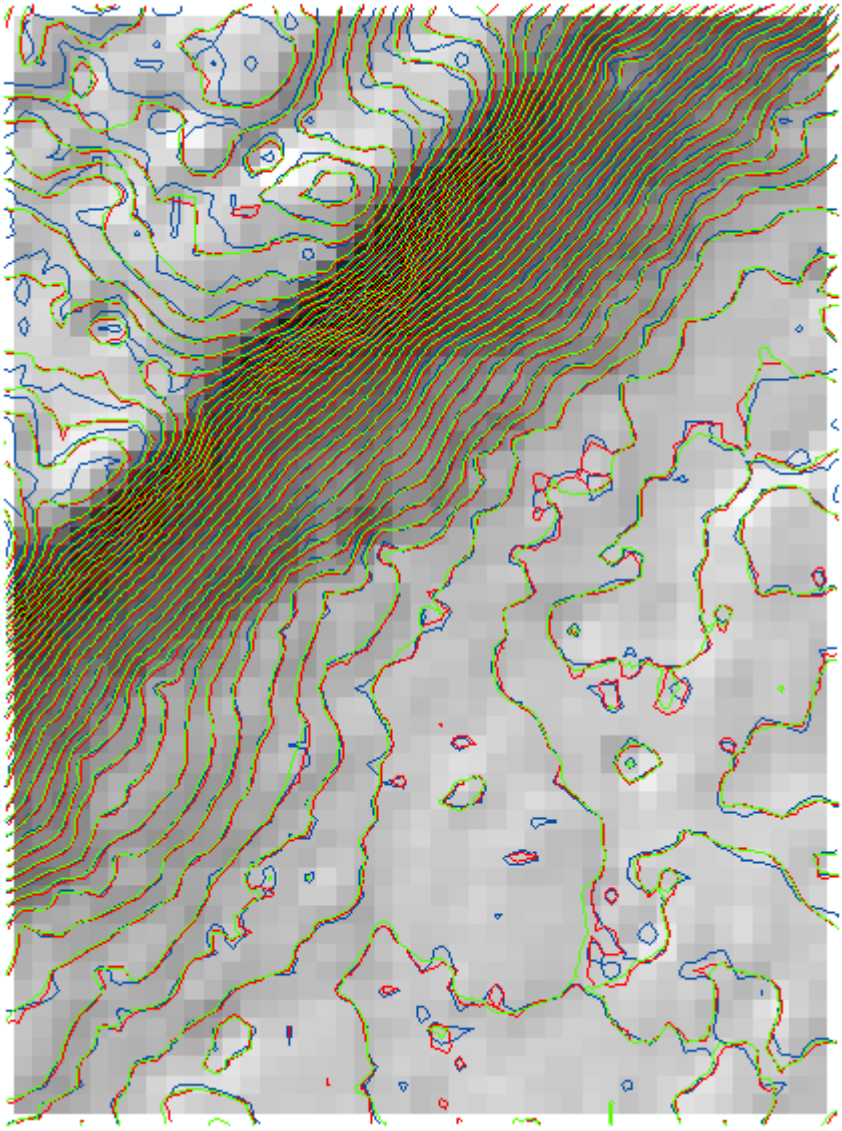
Slika 44: Prikaz plastnic DMV12,5 (zelena), DMV 5 (rdeča), lidarski DMR (modra) preko senčenega lidarskega DMR-ja



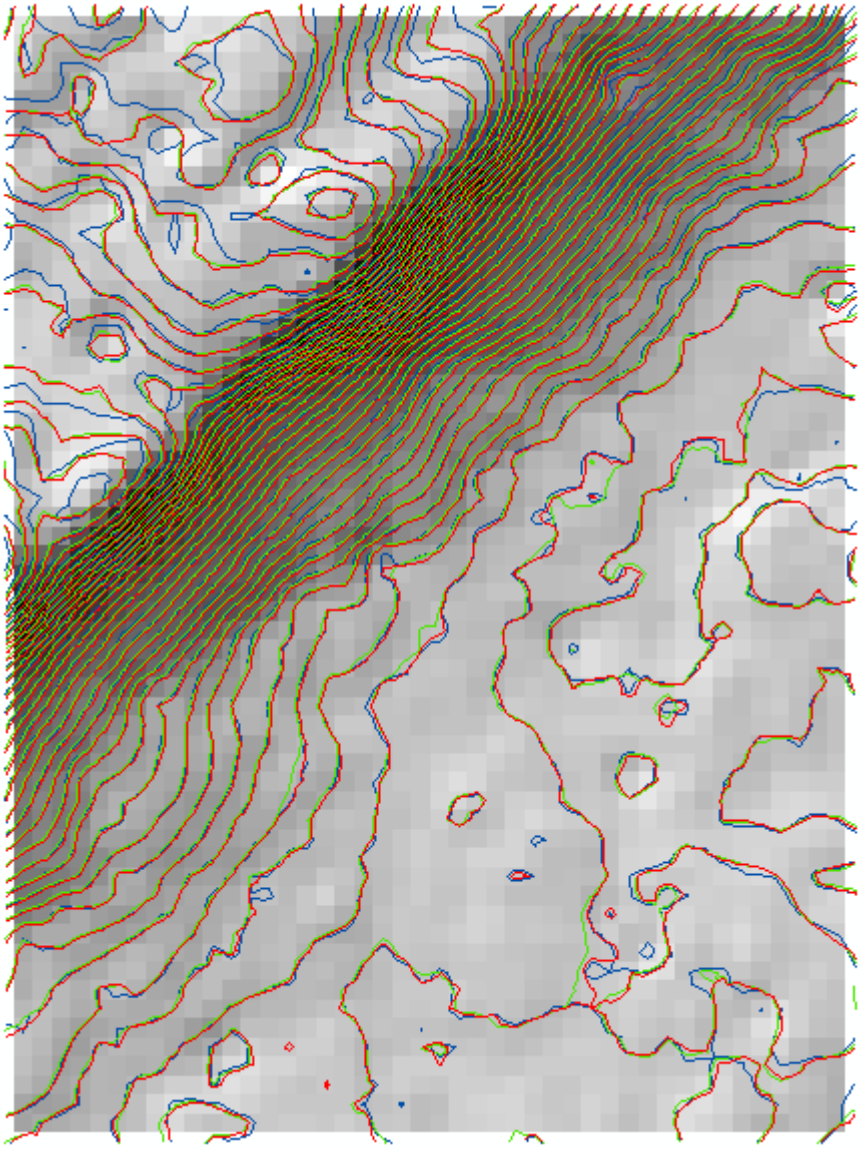
Slika 45: Prikaz plastnic DMV12,5 (zelena), DMV 5 (rdeča), lidarski DMR (modra) preko prevzorčenega lidarskega DMR-ja, senčenega na ločljivost 25m



Slika 46: Prikaz plastnic DMV12,5 (zelena), DMV 5 (rdeča), lidarski DMR (modra) preko generaliziranega lidarskega DMR-ja, senčenega na ločljivost 25m



Slika 47: Prikaz plastnic DMV12,5 (zelena), DMV 5 (rdeča), lidarski DMR(modra) preko prevzorčenega lidarskega DMR-ja, senčenega na ločljivost 50 m



Slika 48: Prikaz plastnic DMV12,5 (zelena), DMV 5 (rdeča), lidarski DMR (modra) preko generaliziranega lidarskega DMR-ja, senčenega na ločljivost 50 m

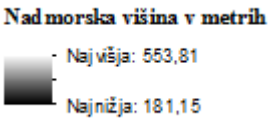
Pri generiranju plastnic iz treh DMV-jev dobimo v semantičnem smislu tudi tri različne sloje plastnic. Hkrati pa kakovost plastnic povezujemo z generalizacijo in spremembo merila. Pri vseh treh DMV-jih se plastnice tako pri ločljivosti 25 kot pri 50 m, večinoma ujemajo predvsem v hribovitem predelu, kjer se zaradi velikega naklona pri ekvidistanci 10 m, zgostijo (slike 45, 46, 47, 48). Večjo razliko opazimo v ravninskih predelih, kjer so kljub isti ekvidistanci nekateri predeli brez generiranih plastnic, kar iz strani uporabnika ni dobro. Na sliki 46 lahko pri ločljivosti 25 m opazimo občutno razliko med plastnicami DMV 12,5 in lidarskega DMR-ja. Plastnice sem namenoma prekril čez senčeni lidarski DMR, da lažje opazimo, da se pri nekaterih značilnih pojavih (kraške kotanje), ki so prikazani na senčenem sloju pri ločljivosti 50 m, plastnice ne izrišejo (slika 47 in 48). S prevzorčenjem in

generalizacijo plastnice v primerjavi z nevzorčenimi predvsem na ravninskem delu izginjajo. Višinski prikazi malih kotanj in vrtač se močno reducirajo glede na spremembe ločljivosti iz 25 m na 50 m, plastnice postajajo veliko bolj zaobljene in preprostejše.

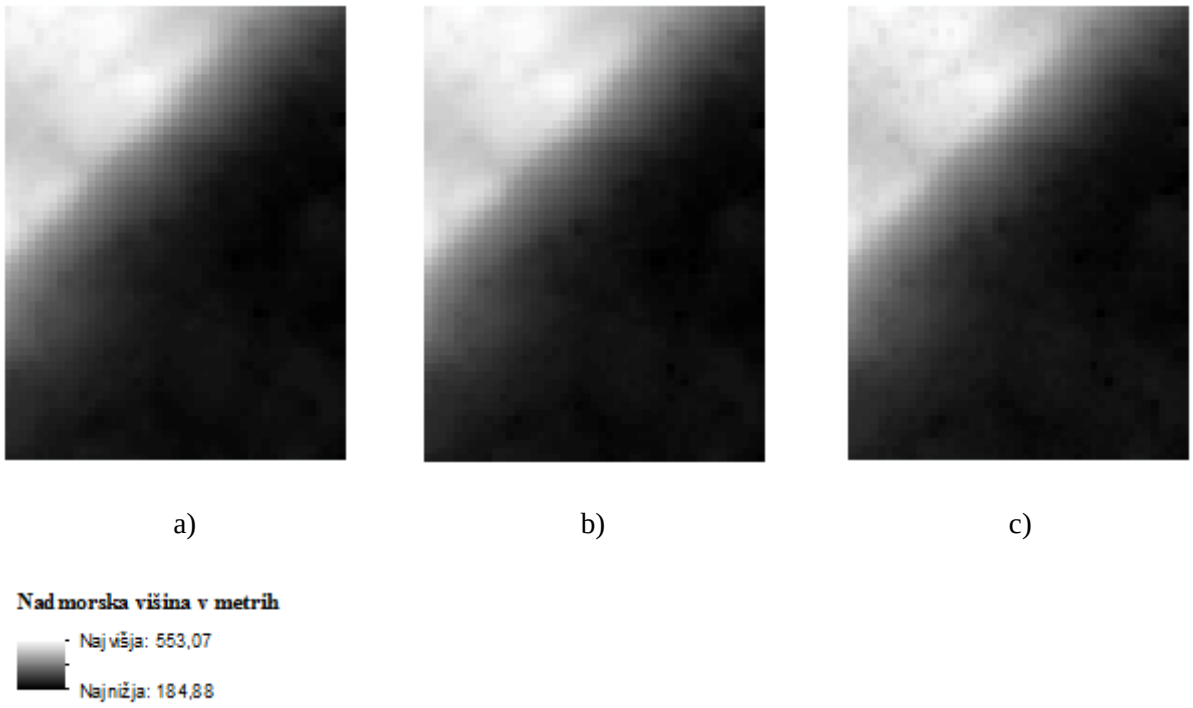
5.5.2 Interpretacija v smislu prostorskih analiz v GIS-u

V tem smislu opazujemo predvsem rezultate, ki jih dobimo pri izračunu osnovnih analiz pri različni ločljivosti in spremembe pri uporabi različnih algoritmov generalizacije in stopnje agregacije (celični faktor). Spremembe lahko poleg vizualne ocene spremljamo tudi na podlagi opisnih statistik analiz.

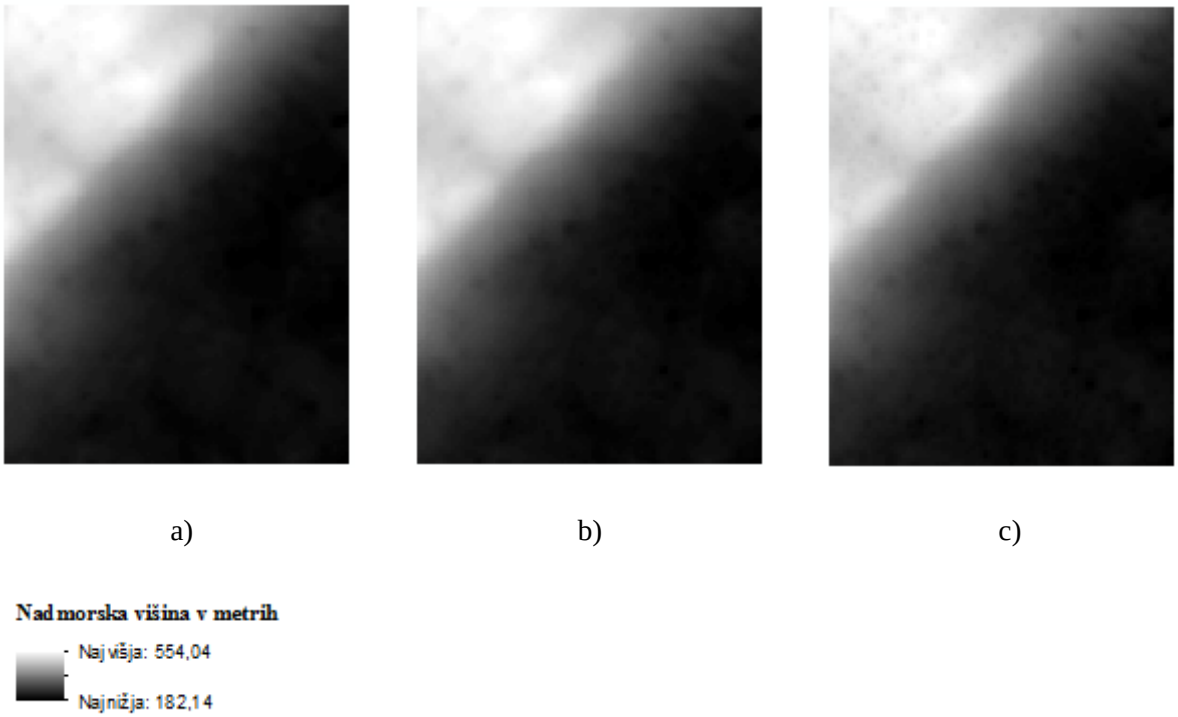
a) b) c)



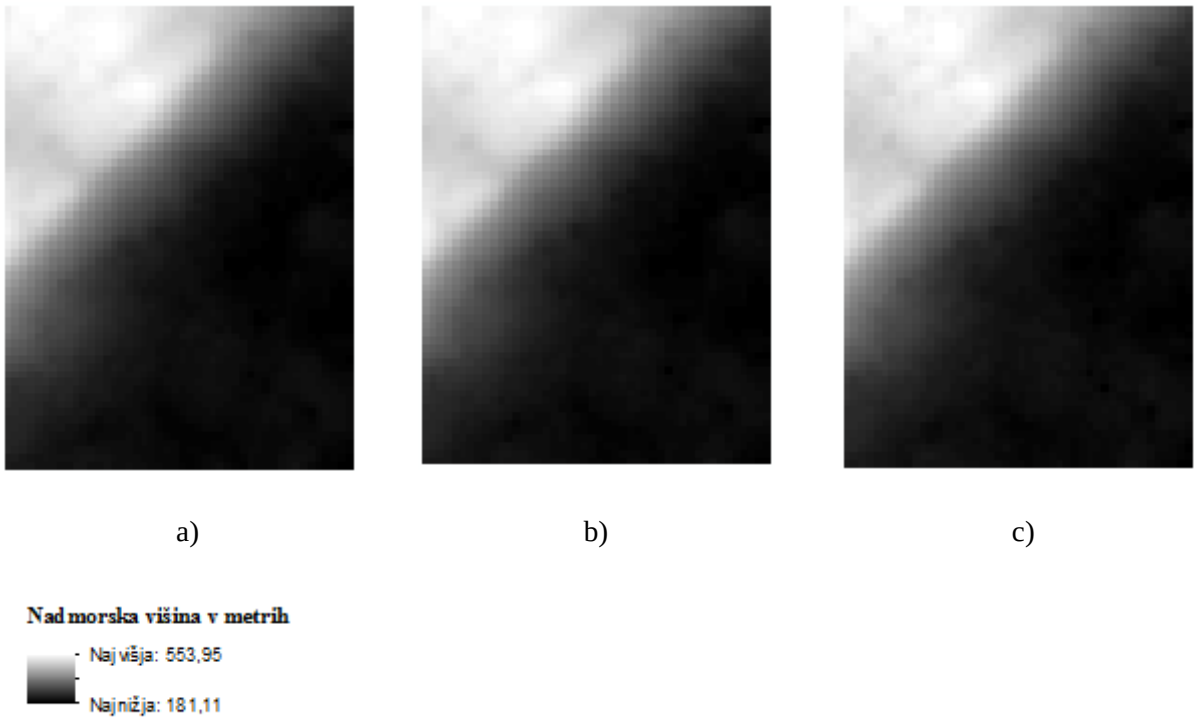
Slika 49: Prikaz prevzorčenih slojev DMV 12,5 (a) DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) iz ločljivosti 12,5 m na ločljivost 25 m



Slika 50: Prikaz prevzorčenih slojev DMV 12,5 (a) DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) iz ločljivosti 12,5 m na ločljivost 50 m



Slika 51: Prikaz generaliziranih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) iz ločljivosti 12,5 m na ločljivost 25 m



Slika 52: Prikaz generaliziranih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) iz ločljivosti 12,5 m na ločljivost 50 m

Preglednica 10: Opisna statistika nadmorskih višin prevzorčenih slojev na ločljivost 25 m

Opisna statistika	DMV 12,5	DMV 5	lidarski DMR
Minimum (m)	188,24	187,93	181,15
Maksimum (m)	551,48	551,60	553,81
Srednja vrednost (m)	303,31	304,36	301,81
Standardni odklon (m)	117,78	118,21	116,72

Preglednica 11: Opisna statistika nadmorskih višin prevzorčenih slojev na ločljivost 50 m

Opisna statistika	DMV 12,5	DMV 5	lidarski DMR
Minimum (m)	188,35	189,08	184,88
Maksimum (m)	550,78	550,88	553,07
Srednja vrednost (m)	303,30	304,36	302,80
Standardni odklon (m)	117,79	118,24	116,97

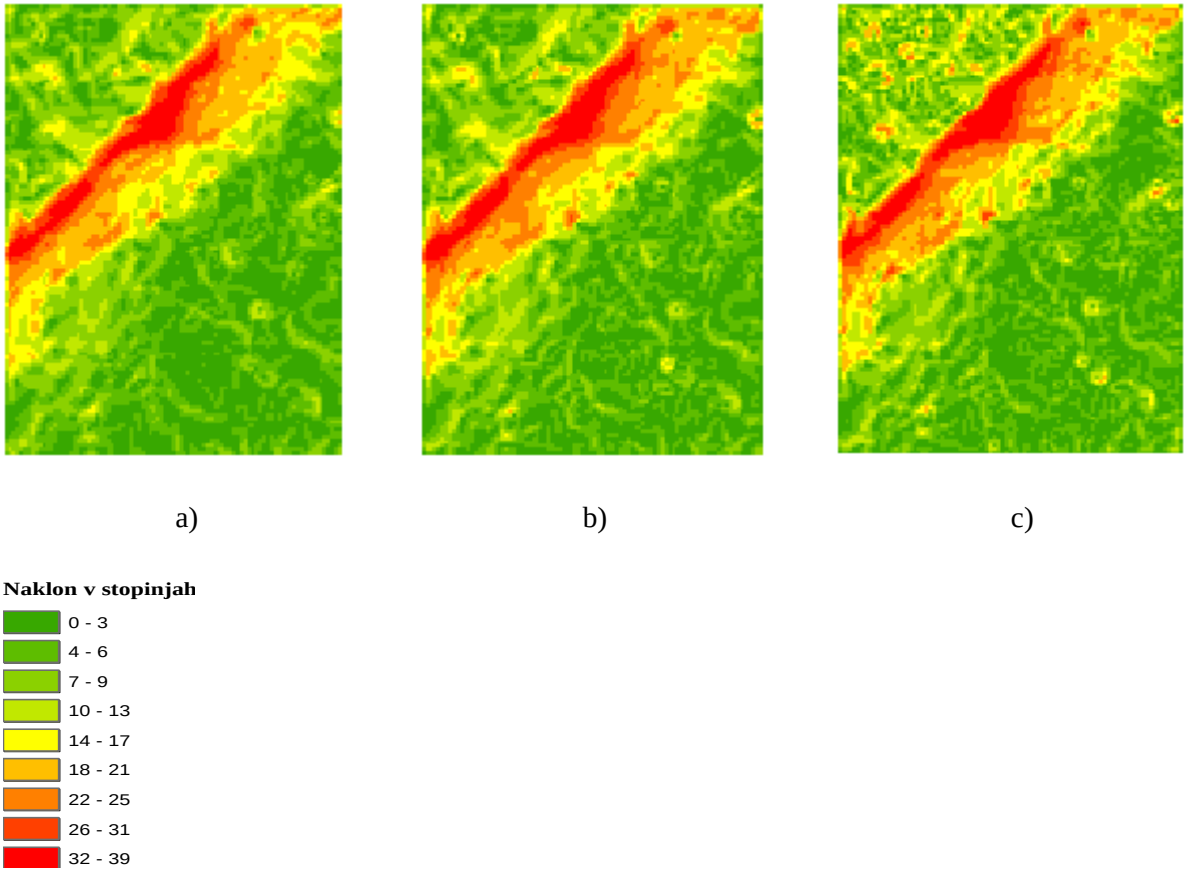
Preglednica 12: Opisna statistika nadmorskih višin generaliziranih slojev na ločljivost 25 m

Opisna statistika	DMV 12,5	DMV 5	lidarski DMR
Minimum (m)	186,23	187,95	182,14
Maksimum (m)	551,89	551,85	554,04
Srednja vrednost (m)	302,60	303,63	302,11
Standardni odklon (m)	117,77	118,20	116,96

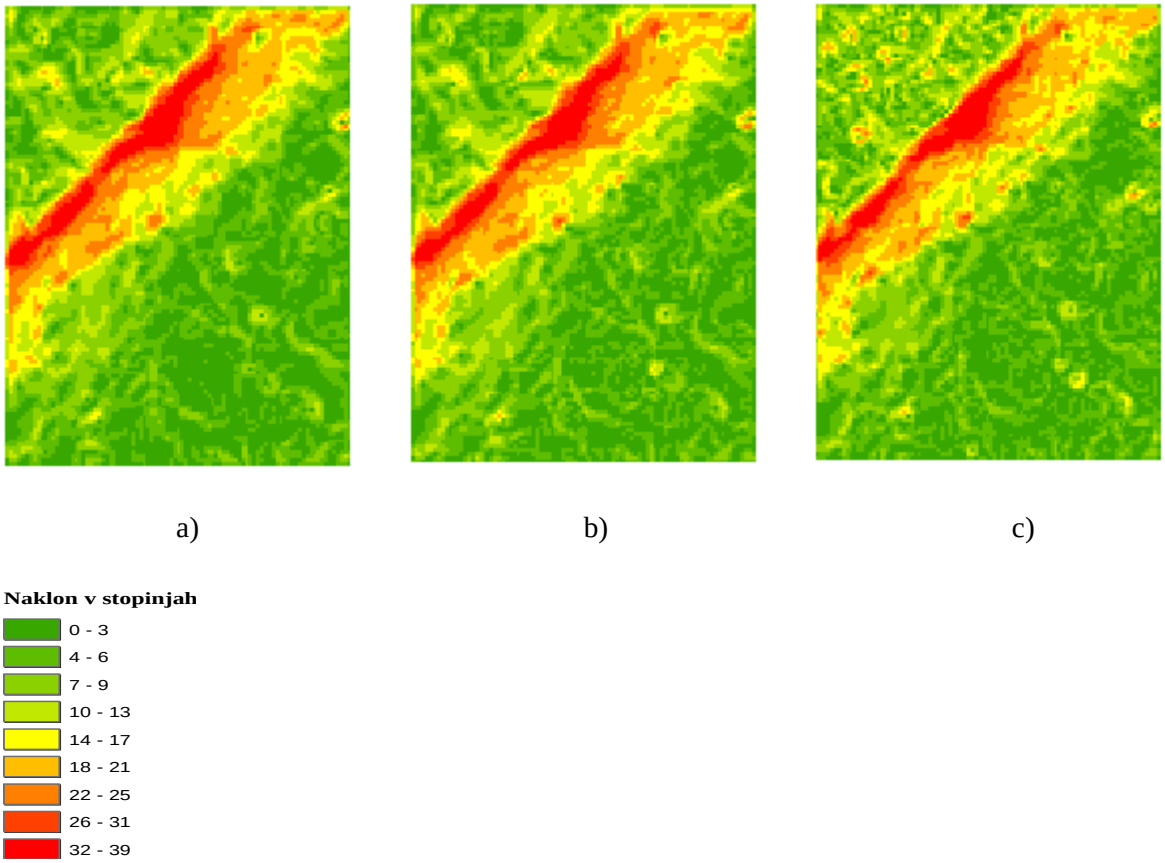
Preglednica 13: Opisna statistika nadmorskih višin generaliziranih slojev na ločljivost 50 m

Opisna statistika	DMV 12,5	DMV 5	lidarski DMR
Minimum (m)	189,90	189,93	188,11
Maksimum (m)	551,43	551,16	553,95
Srednja vrednost (m)	302,92	303,94	302,43
Standardni odklon (m)	118,15	118,57	117,34

Pri prevzorčenju in agregaciji iz ločljivosti 12,5 na ločljivost 25 m vidimo pojav kvadratastih vzorcev celic (sliki 49 in 51), pri ločljivosti 50 m pa vsako celico posebej (sliki 50 in 52). Pri ločljivosti 50 m vidimo jasnejše stopničaste prehode iz ravninskega v hribovit predel, opazne pa so v ravninskem delu tudi temne posamezne celice, ki v generaliziranih slojih predstavljajo kotanje, medtem ko pri ločljivosti 25 m tega pojava še ni. Opisna statistika slojev kaže, da kljub prevzorčenju na manjšo ločljivost iz 25 m na 50 m, lidarski DMR v primerjavi z ostalima, prikaže več detajlov površja, kar kažeta najmanjša in največja nadmorska višina (Preglednice 10,11,12,13). Pri vseh treh slojih se na ločljivosti 50 m na svetlem delu vidi zmanjšanje števila kraških kotanj. Srednja vrednost in standardni odklon sta najvišja pri DMV 5. Pri generaliziranih slojih maksimum in minimum najdemo pri lidarskem DMR-ju na obeh ločljivostih (sliki 51 in 52).

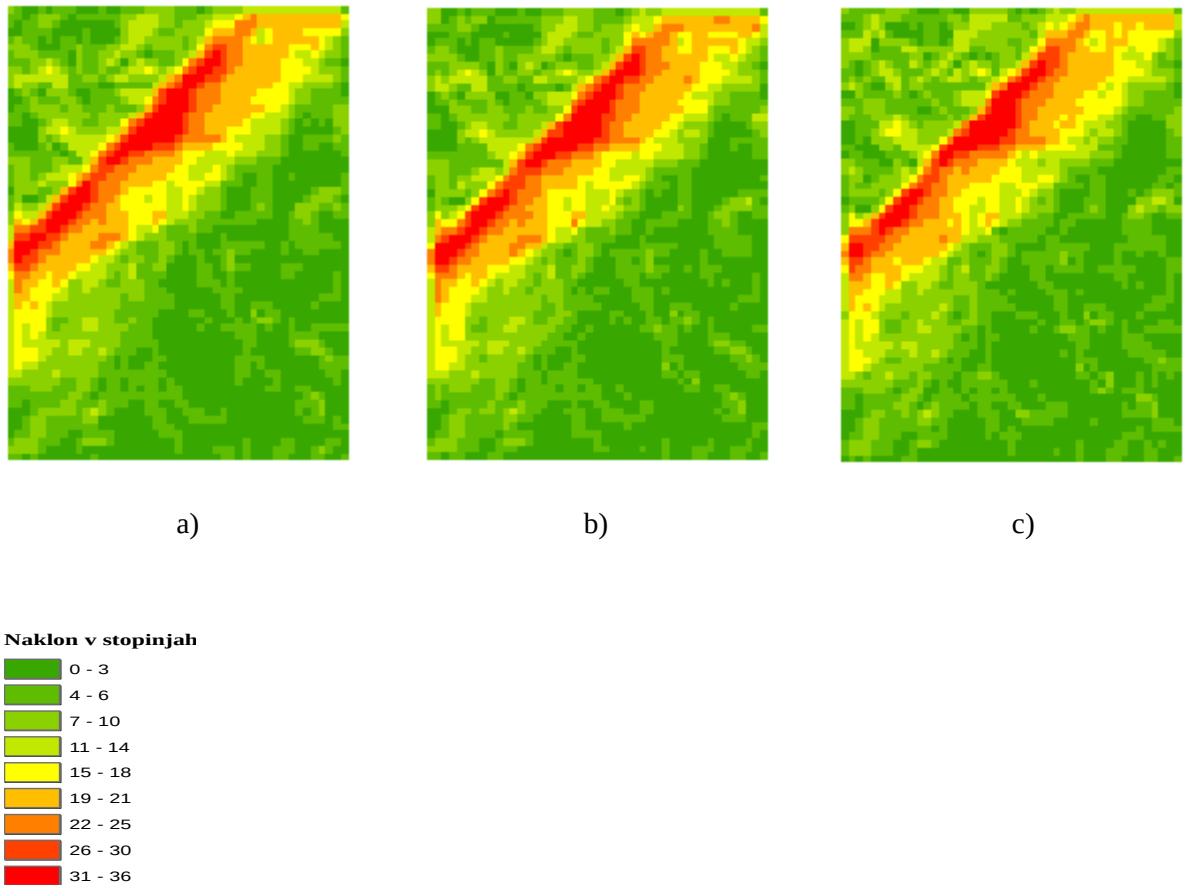


Slika 53: Prikaz naklonov prevzorčenih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) pri ločljivosti 25 m

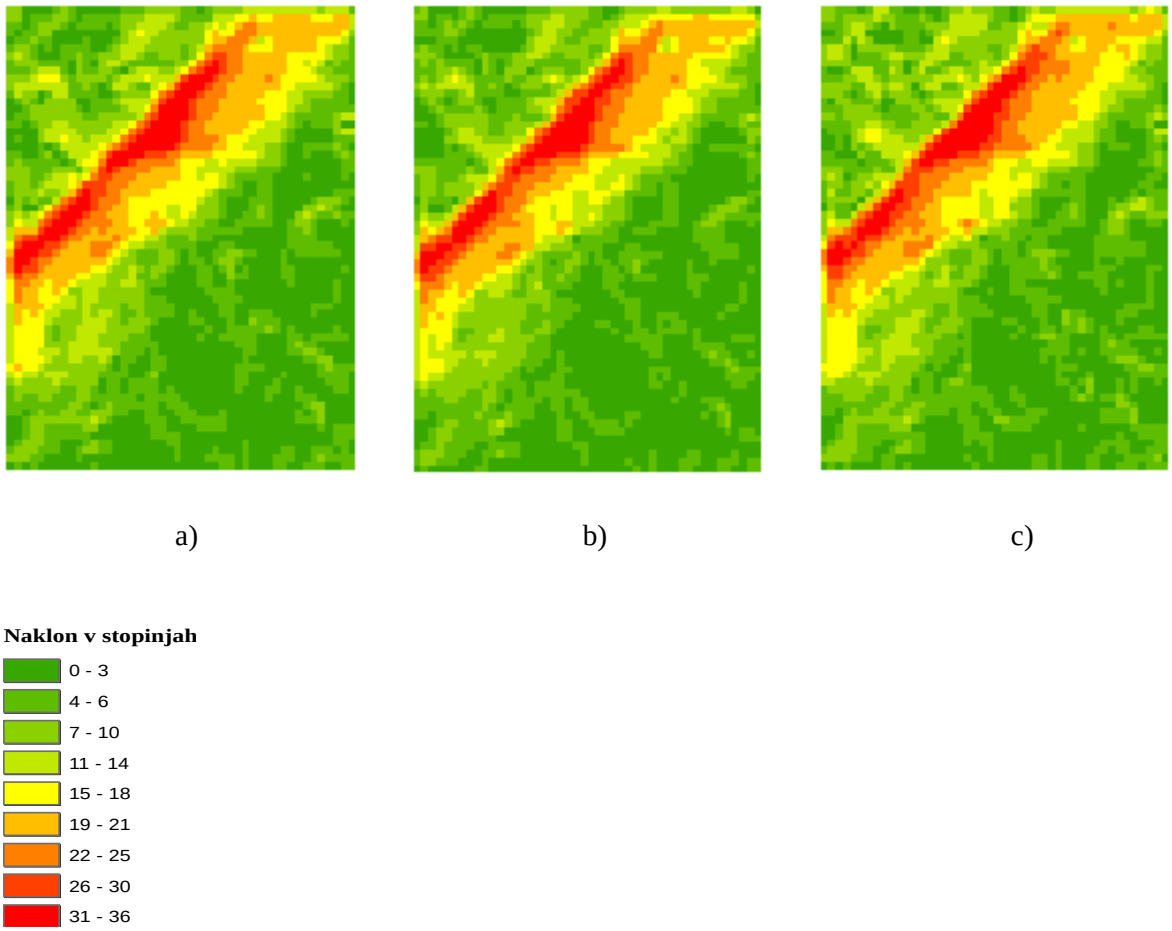


Slika 54: Prikaz naklonov generaliziranih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) na ločljivost 25 m

Pri ločljivosti 25 m opazimo drobne stopničaste linije med različnimi nakloni, posebej se to vidi pri prehodih iz ravninskega v zelo strme predele (slika 53). V primerjavi med prevzorčenimi in generaliziranimi nakloni pri ločljivosti 25 m vidimo, kako so se kategorije naklonov pri generaliziranih slojih zmanjšale, kar vizualno opazimo s krčenjem rdeče barve in poenostavljanjem leteh v nižje kategorije naklonov (oranžna in rumena barva) (slika 54).



Slika 55: Prikaz naklonov prevzorčenih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (b) pri ločljivosti 50 m



Slika 56: Prikaz naklonov generaliziranih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) na ločljivost 50 m

Preglednica 14: Opisna statistika naklonov prevzorčenih slojev na ločljivost 25m

Opisna statistika	DMV 12,5	DMV 5	lidarski DMR
Minimum (°)	0,048	0,029	0,079
Maksimum (°)	38,663	38,700	37,370
Srednja vrednost (°)	9,481	9,483	9,919
Standardni odklon (°)	8,008	7,935	7,896

Preglednica 15: Opisna statistika naklonov prevzorčenih slojev na ločljivost 50 m

Opisna statistika	DMV 12,5	DMV 5	lidarski DMR
Minimum (°)	0,053	0,087	0,096
Maksimum (°)	35,594	35,738	35,297
Srednja vrednost (°)	8,707	8,765	8,835
Standardni odklon (°)	7,903	7,909	7,861

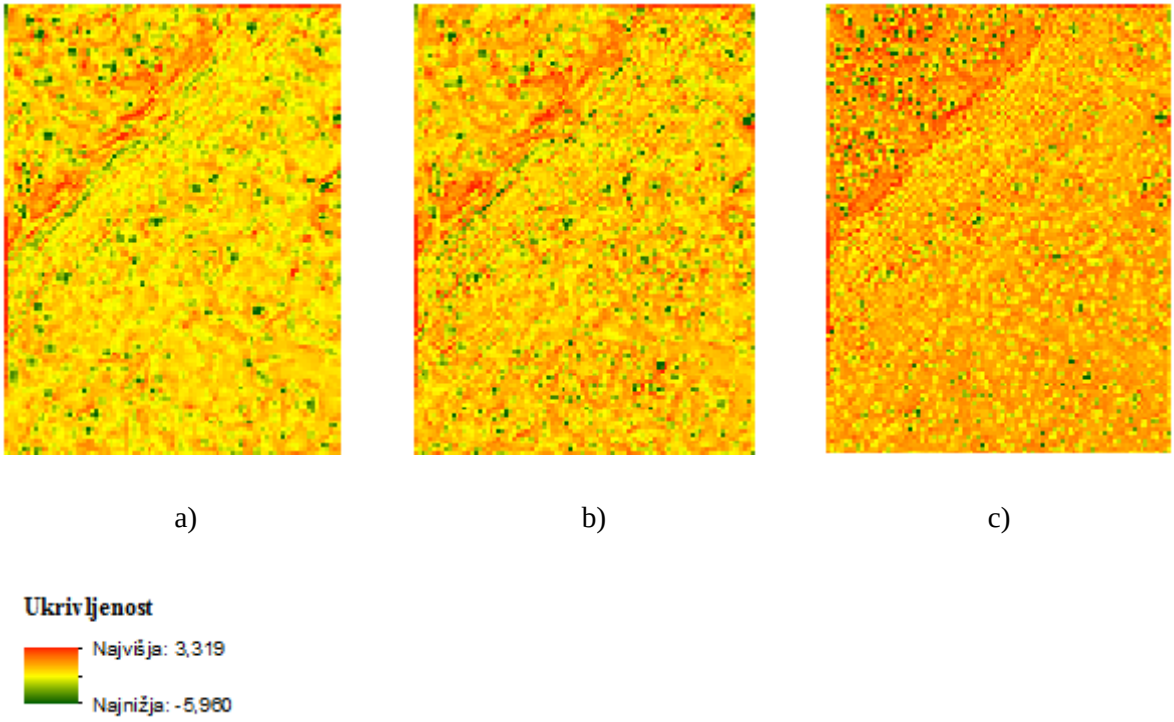
Preglednica 16: Opisna statistika naklonov generaliziranih slojev na ločljivost 25m

Opisna statistika	DMV 12,5	DMV 5	lidarski DMR
Minimum (°)	0,046	0,086	0,019
Maksimum (°)	38,929	38,659	37,338
Srednja vrednost (°)	9,303	9,426	9,900
Standardni odklon (°)	7,939	7,900	7,875

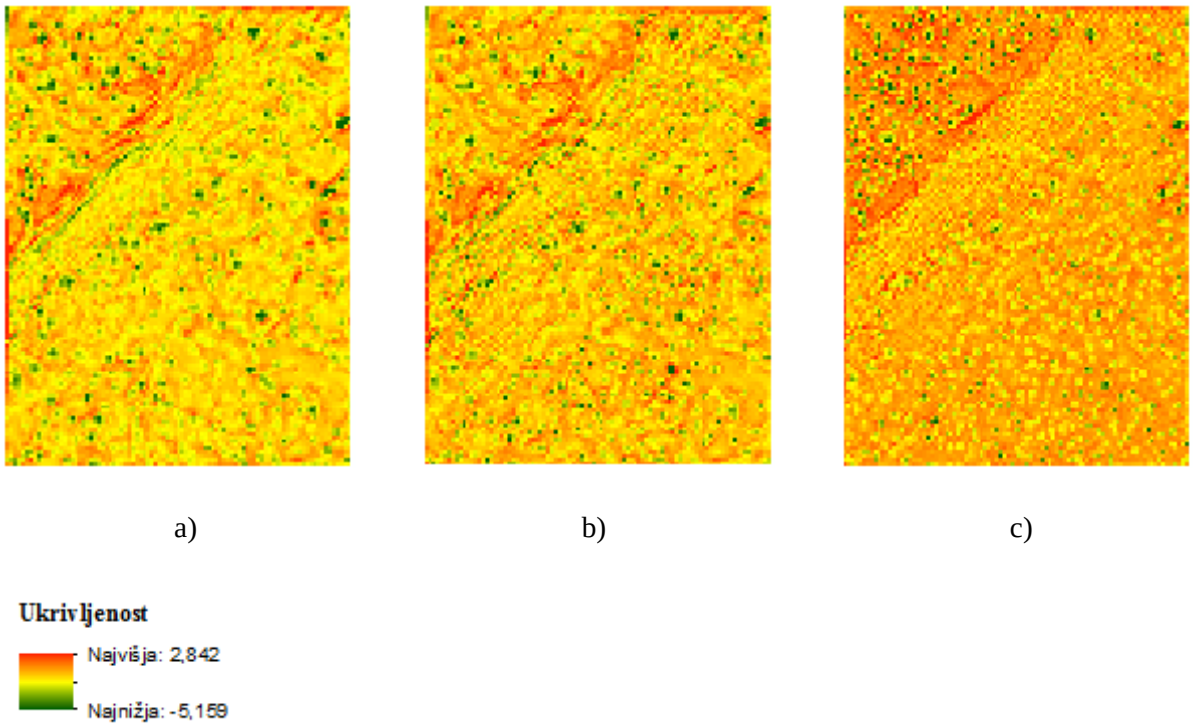
Preglednica 17: Opisna statistika naklonov generaliziranih slojev na ločljivost 50 m

Opisna statistika	DMV 12,5	DMV 5	lidarski DMR
Minimum (°)	0,075	0,063	0,101
Maksimum (°)	35,271	35,480	35,049
Srednja vrednost (°)	8,522	8,554	8,621
Standardni odklon (°)	7,818	7,823	7,783

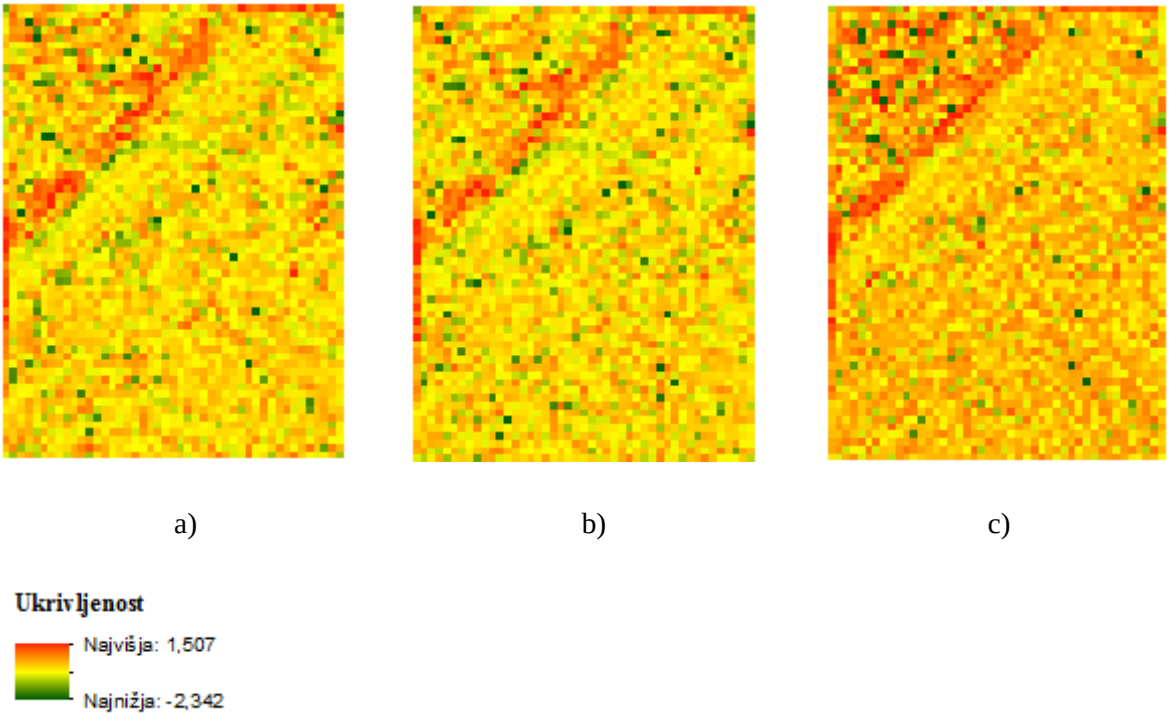
Veliko večje »stopnice« pričakovano opazimo pri ločljivosti 50 m, pojavijo pa se tudi posamezne celice, ki predstavljajo kategorijo naklona. Kakovosti podatkov o naklonu se s prevzorčenjem zmanjša, predvsem na hribovitih predelih pri obeh ločljivostih. To vidimo kot krčenje rdeče barve in povečevanje rumene. Skoraj popolnoma izgubimo podatke o kraških kotanjah na ravninskem predelu na ločljivosti 50 m (sliki 55 in 56).



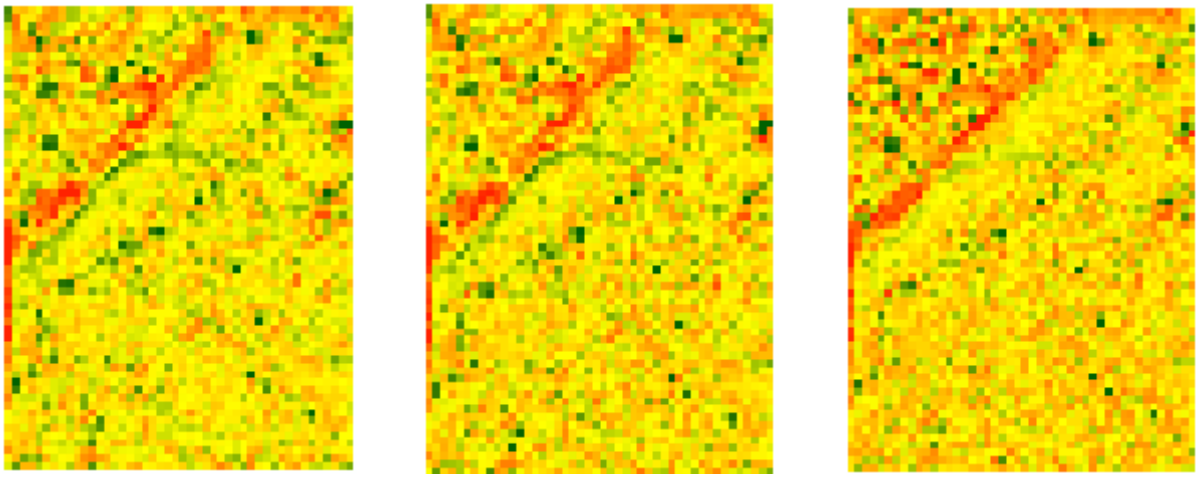
Slika 57: Prikaz ukrivljenost prevzorčenih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) pri ločljivosti 25 m



Slika 58: Prikaz ukrivljenosti generaliziranih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) pri ločljivosti 25 m



Slika 59: Prikaz ukrivljenost slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) pri ločljivosti 50 m



a) b) c)

Slika 60: Prikaz ukrivljenosti generaliziranih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) pri ločljivosti 50 m

Preglednica 18: Opisna statistika ukrivljenosti prevzorčenih slojev pri ločljivosti 25 m

Opisna statistika	**DMV 12,5**	**DMV 5**	**lidarski DMR**
Minimum (1/100)	–3,408	–4,508	–5,960
Maksimum (1/100)	2,452	2,264	3,319
Srednja vrednost (1/100)	0,002	1,462	7,182
Standardni odklon (1/100)	0,440	0,508	0,783

Preglednica 19: Opisna statistika ukrivljenosti prevzorčenih slojev pri ločljivosti 50 m

Opisna statistika	**DMV 12,5**	**DMV 5**	**lidarski DMR**
Minimum (1/100)	–1,823	–1,977	–2,342
Maksimum (1/100)	1,435	1,507	1,464
Srednja vrednost (1/100)	1,182	1,413	1,615
Standardni odklon (1/100)	0,299	0,322	0,424

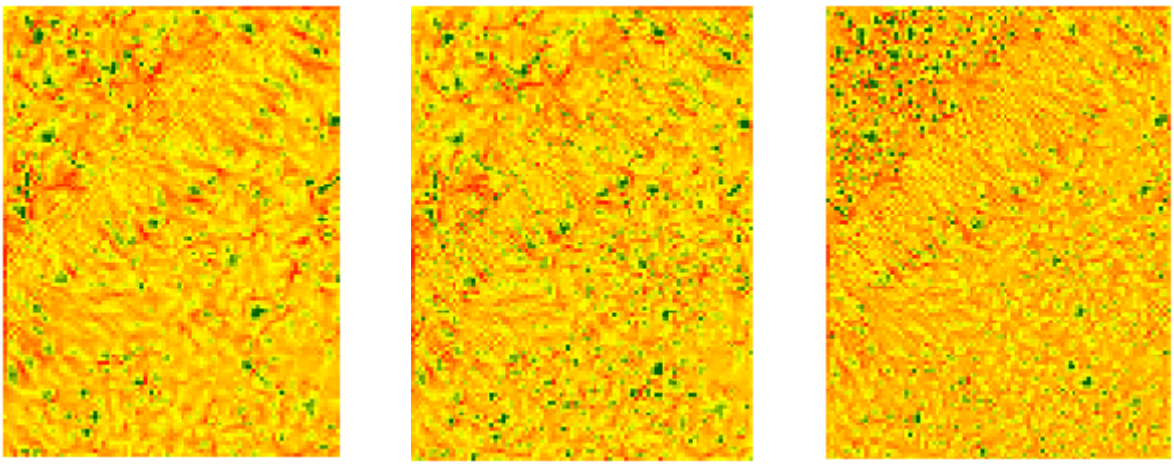
Preglednica 20: Opisna statistika ukrivljenosti generaliziranih slojev pri ločljivosti 25 m

Opisna statistika	**DMV 12,5**	**DMV 5**	**lidarski DMR**
Minimum (1/100)	–4,102	–4,332	–5,159
Maksimum (1/100)	2,411	2,400	2,842
Srednja vrednost (1/100)	–1,385	–2,485	–1,207
Standardni odklon (1/100)	0,438	0,521	0,773

Preglednica 21: Opisna statistika ukrivljenosti generaliziranih slojev pri ločljivosti 50 m

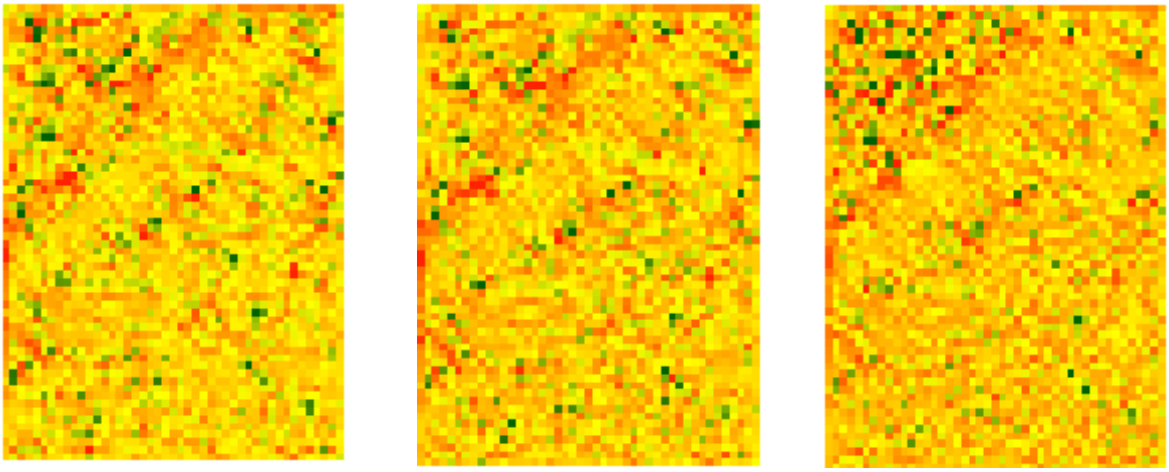
Opisna statistika	DMV 12,5	DMV 5	lidarski DMR
Minimum (1/100)	–1,517	–1,804	–1,946
Maksimum (1/100)	1,439	1,336	1,476
Srednja vrednost (1/100)	7,664	–1,233	4,417
Standardni odklon (1/100)	0,251	0,263	0,330

Pri ločljivosti 25 m največjo konkavnost v smeri navzgor (–5,960) in konveksnost (3,319) opazimo pri lidarskem DMR-ju (preglednica 18), medtem ko sta si DMV 12,5 in DMV 5 zelo podobna. S prevzorčenjem na ločljivost 50 m opazno zmanjšamo razliko (sliki 59 in 60), saj so si sloji po konveksnosti in konkavnosti veliko bližje, zmanjšajo se tudi razlike srednjih vrednosti in standardnih odklonov. Pri postopkih generalizacije pri izračunu ekspozicije površja rezultati kažejo na delno izgubo podatkov v primerjavi s prevzorčenjem. Zanimiv je izračun srednje vrednosti lidarskega DMR-ja (preglednica 21) generaliziranega na ločljivost 50 m (4,417), ki zelo odstopa in je višja od vrednosti prevzorčenega sloja pri ločljivosti 25 m (Preglednica 20).

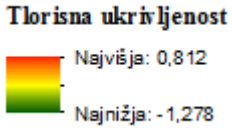


a) b) c)

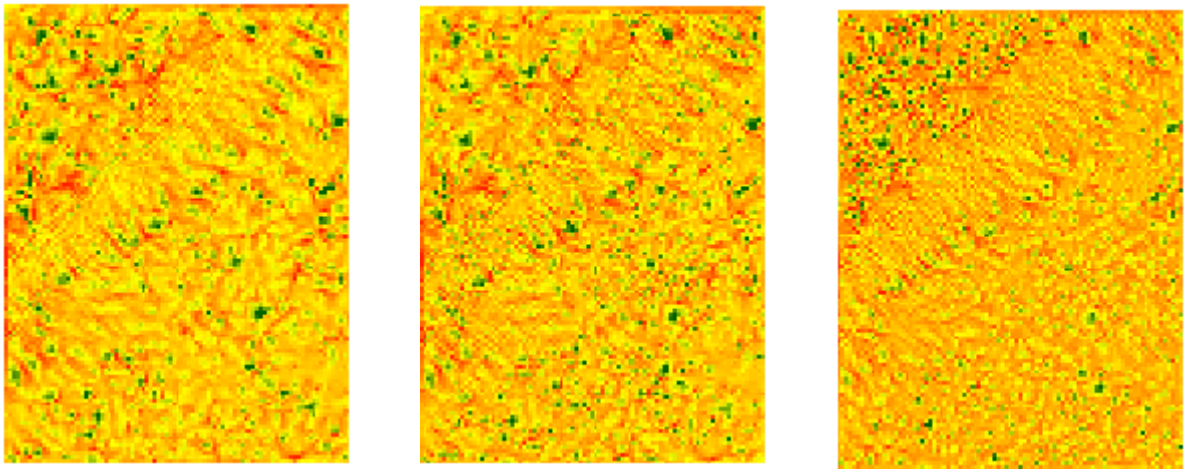
Slika 61: Prikaz tlorisne ukrivljenost prevzorčenih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) na ločljivost 25 m



a) b) c)

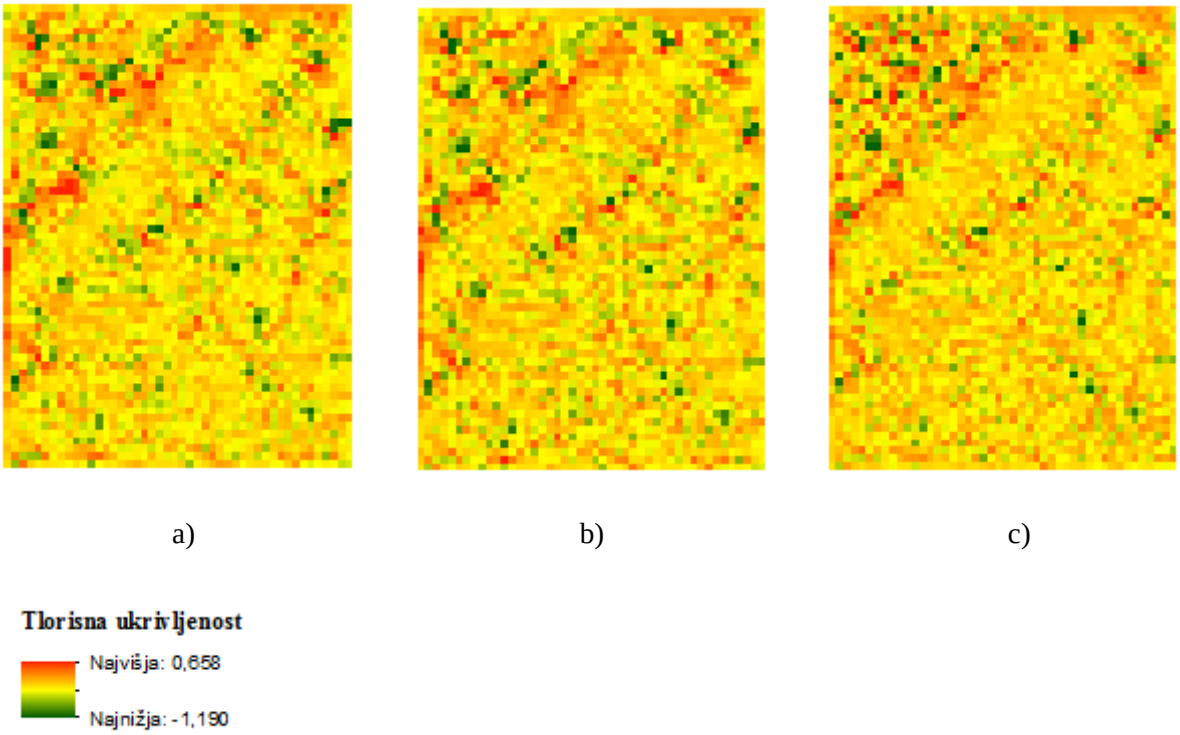


Slika 62: Prikaz tlorisne ukrivljenosti prevzorčenih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) na ločljivost 50 m



a) b) c)

Slika 63: Prikaz tlorisne ukrivljenost generaliziranih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) na ločljivost 25 m



Slika 64: Prikaz tlorisne ukrivljenosti generaliziranih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja sloja (c) na ločljivost 50 m

Preglednica 22: Opisna statistika tlorisne ukrivljenosti prevzorčenih slojev na ločljivost 25 m

Opisna statistika	DMV 12,5	DMV 5	lidarski DMR
Minimum (1/100)	–1,745	–2,301	–3,217
Maksimum (1/100)	1,102	1,149	2,016
Srednja vrednost (1/100)	–0,003	–0,009	–0,032
Standardni odklon (1/100)	–0,003	0,269	0,432

Preglednica 23: Opisna statistika tlorisne ukrivljenosti prevzorčenih slojev na ločljivost 50 m

Opisna statistika	DMV 12,5	DMV 5	lidarski DMR
Minimum (1/100)	–0,941	–1,087	–1,278
Maksimum (1/100)	0,812	0,703	0,709
Srednja vrednost (1/100)	0,004	0,002	-0,001
Standardni odklon (1/100)	0,153	0,166	0,220

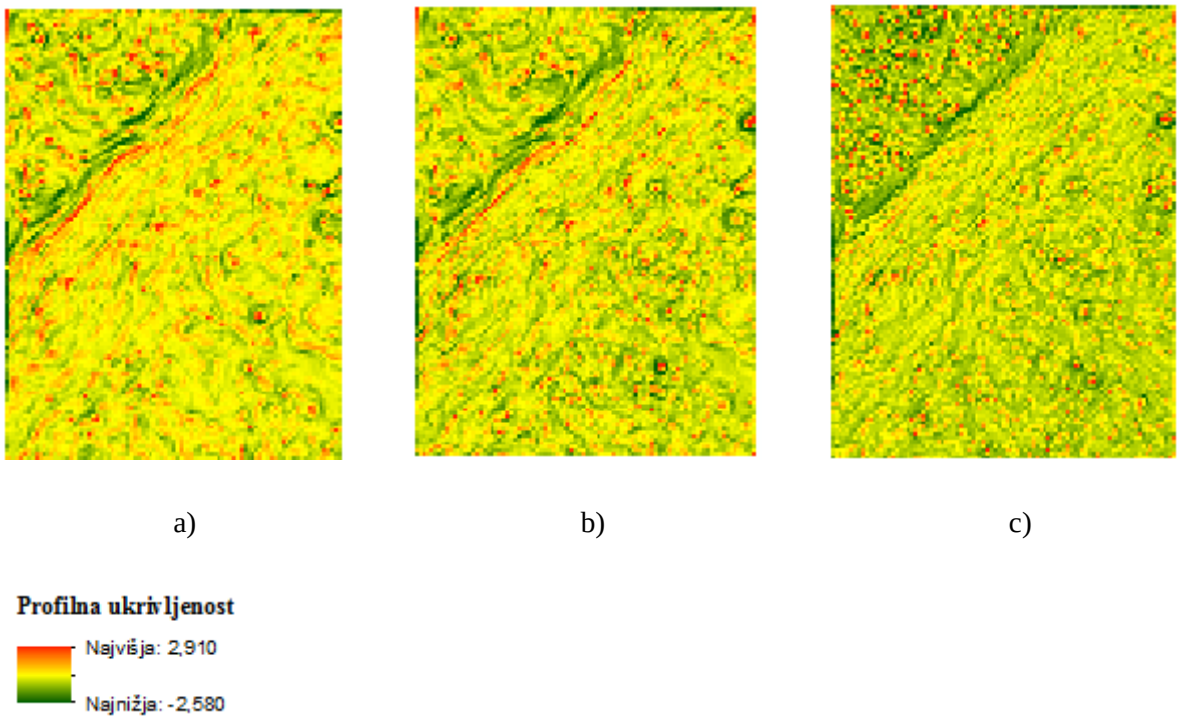
Preglednica 24: Opisna statistika tlorisne ukrivljenosti generaliziranih slojev na ločljivost 25 m

Opisna statistika	DMV 12,5	DMV 5	lidarski DMR
Minimum (1/100)	–1,652	–2,209	–3,042
Maksimum (1/100)	1,045	1,249	1,590
Srednja vrednost (1/100)	–0,003	–0,010	–0,032
Standardni odklon (1/100)	0,229	0,276	0,426

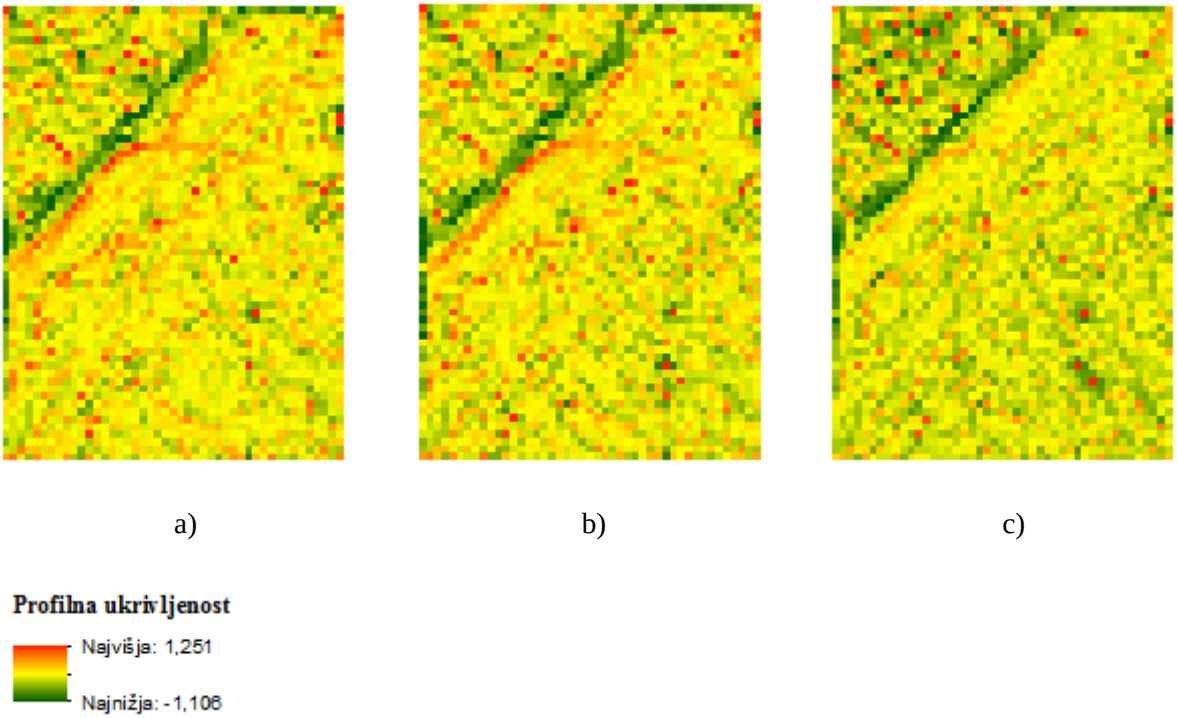
Preglednica 25: Opisna statistika tlorisne ukrivljenosti generaliziranih slojev pri ločljivosti 50 m

Opisna statistika	**DMV 12,5**	**DMV 5**	**lidarski DMR**
Minimum (1/100)	–0,670	–0,868	–1,190
Maksimum (1/100)	0,544	0,583	0,658
Srednja vrednost (1/100)	0,004	0,004	0,003
Standardni odklon (1/100)	0,128	0,135	0,171

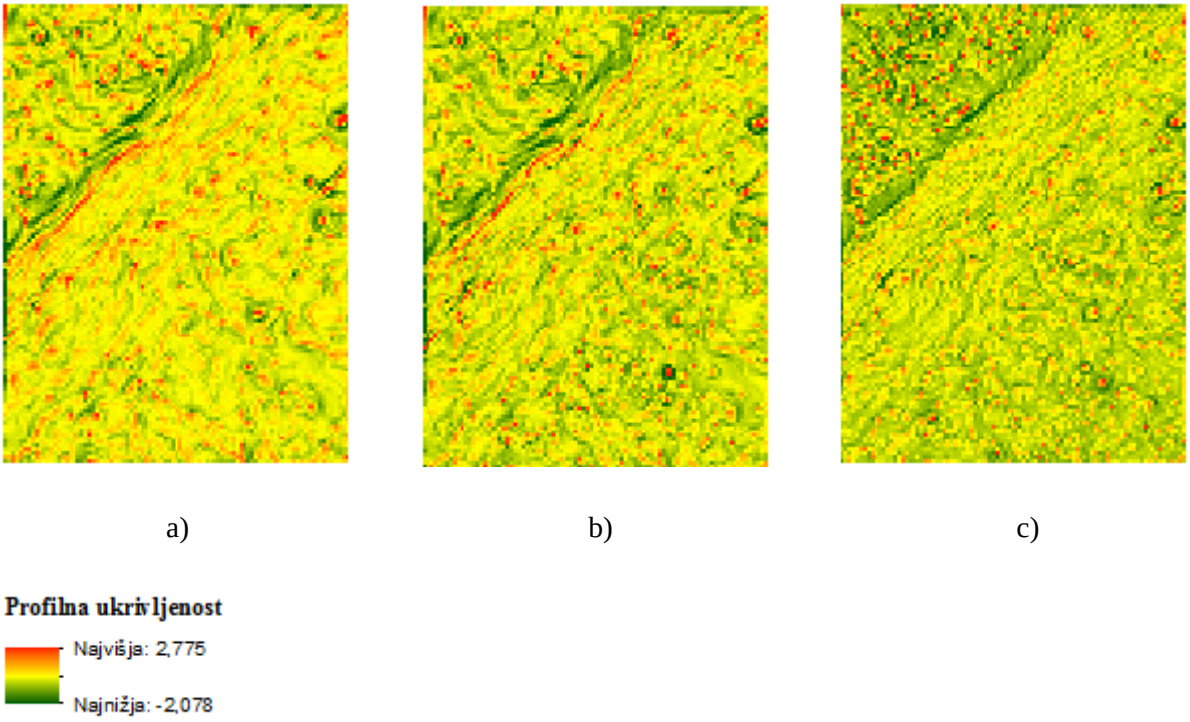
Pri ločljivosti 25 m opazimo največjo konkavnosti (–3,217) in največjo konveksnost (2,016) pri lidarskem DMR-ju (preglednica 22). Najmanj sta konveksnost in konkavnost izražena pri DMV 12,5 sloju (preglednica 22), kar poleg vizualnega kaže tudi standardni odklon (–0,003). S prevzorčenjem na ločljivost 50 m dosežemo veliko večjo enakovrednost izraženosti tlorisne ukrivljenosti, kar nam pove dokaj enakomeren standardni odklon pri vseh treh slojih (preglednica 25), vizualno pa podobnost v ravninskem predelu (sliki 62 in 64). Pri generaliziranih slojih na ločljivosti 25 m opazimo veliko večje razlike v konkavnosti pri slojih DMV 12,5 in DMV 5 (slika 63). Z generalizacijo se ta razlika občutno zmanjša.



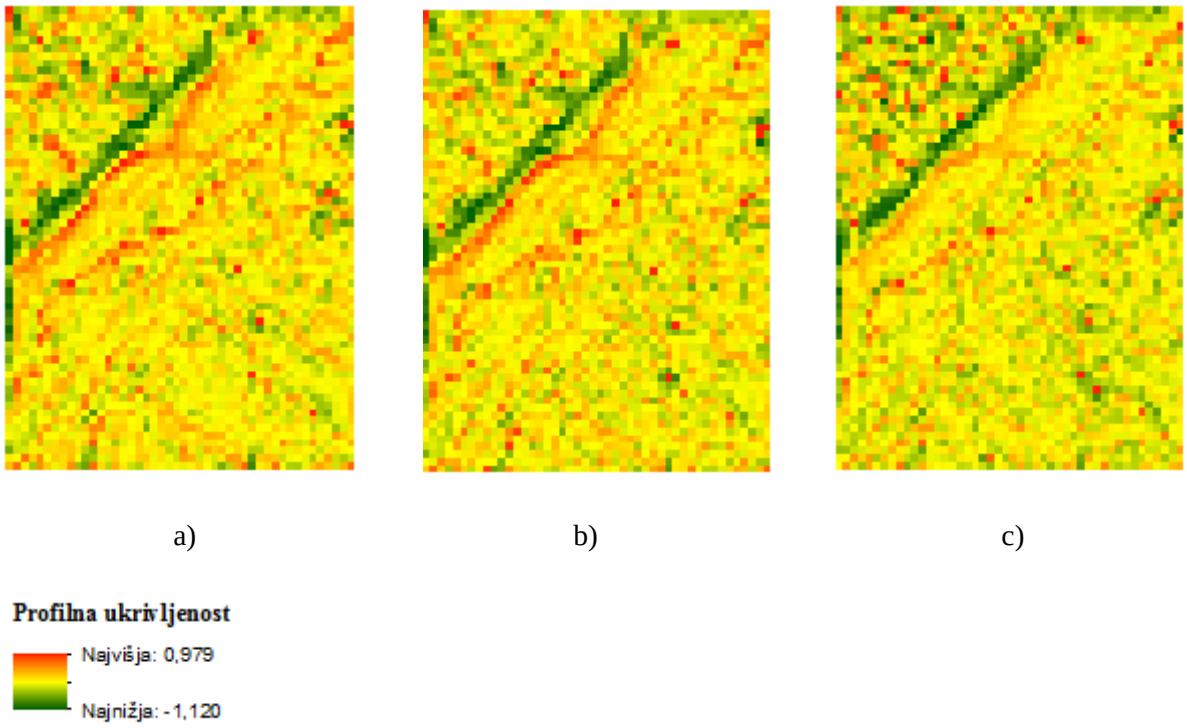
Slika 65: Prikaz profilne ukrivljenosti prevzorčenih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) na ločljivost 25 m



Slika 66: Prikaz profilne ukrivljenosti prevzorčenih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) na ločljivost 50 m



Slika 67: Prikaz profilne ukrivljenosti generaliziranih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) na ločljivost 25 m



Slika 68: Prikaz profilne ukrivljenosti generaliziranih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) na ločljivost 50 m

Preglednica 26: Opisna statistika profilne ukrivljenosti prevzorčenih slojev pri ločljivosti 25 m

Opisna statistika	DMV 12,5	DMV 5	lidarski DMR
Minimum (1/100)	–1,701	–1,625	–2,580
Maksimum (1/100)	1,923	2,206	2,910
Srednja vrednost (1/100)	–0,005	–0,009	–0,032
Standardni odklon (1/100)	0,280	0,313	0,458

Preglednica 27: Opisna statistika profilne ukrivljenosti prevzorčenih slojev pri ločljivosti 50 m

Opisna statistika	DMV 12,5	DMV 5	lidarski DMR
Minimum (1/100)	–1,006	–1,024	–1,106
Maksimum (1/100)	0,887	0,960	1,251
Srednja vrednost (1/100)	0,004	0,002	–0,002
Standardni odklon (1/100)	0,184	0,194	0,249

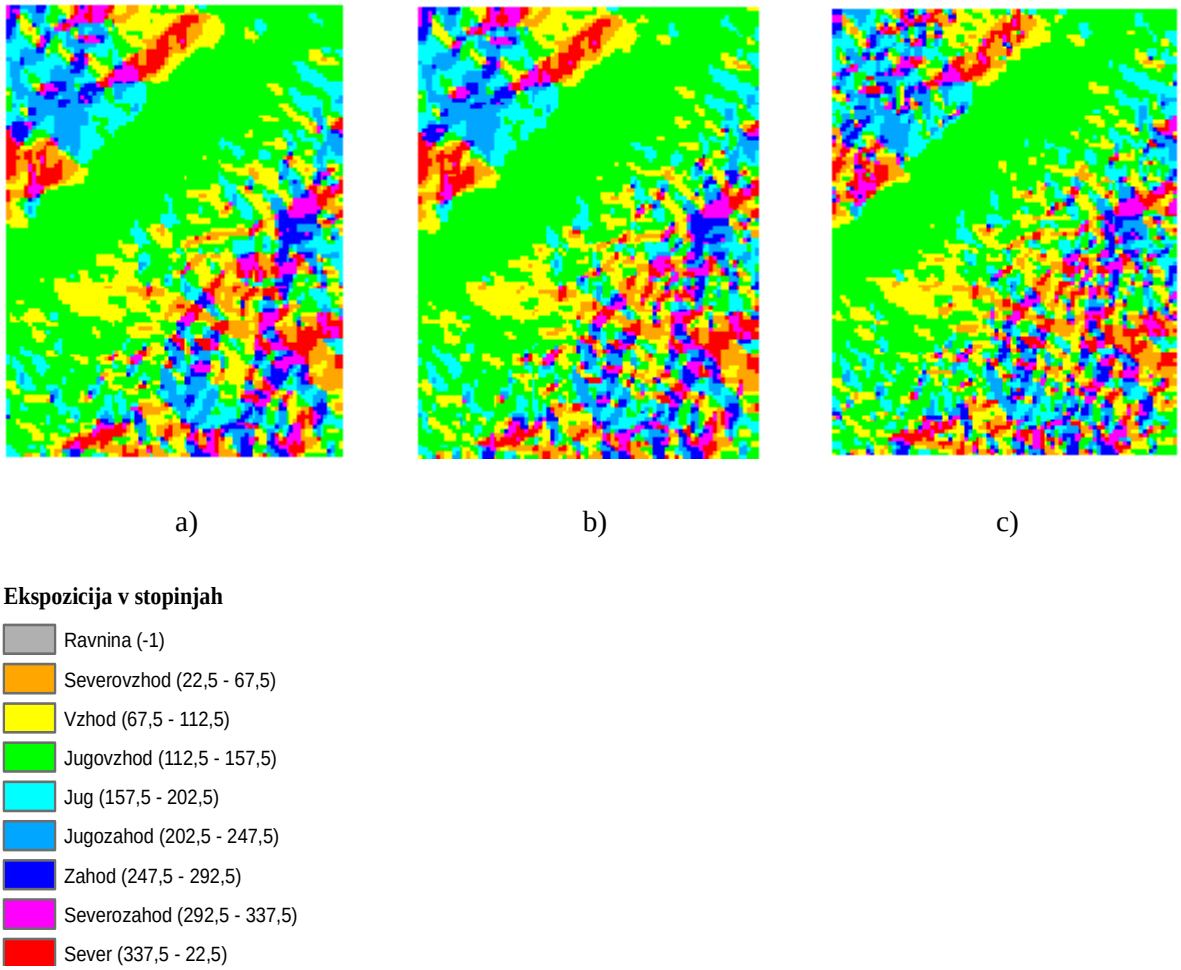
Preglednica 28: Opisna statistika profilne ukrivljenosti generaliziranih slojev pri ločljivosti 25 m

Opisna statistika	DMV 12,5	DMV 5	lidarski DMR
Minimum (1/100)	–1,743	–1,587	–2,077
Maksimum (1/100)	2,731	2,554	2,775
Srednja vrednost (1/100)	–0,003	–0,010	–0,032
Standardni odklon (1/100)	0,281	0,320	0,453

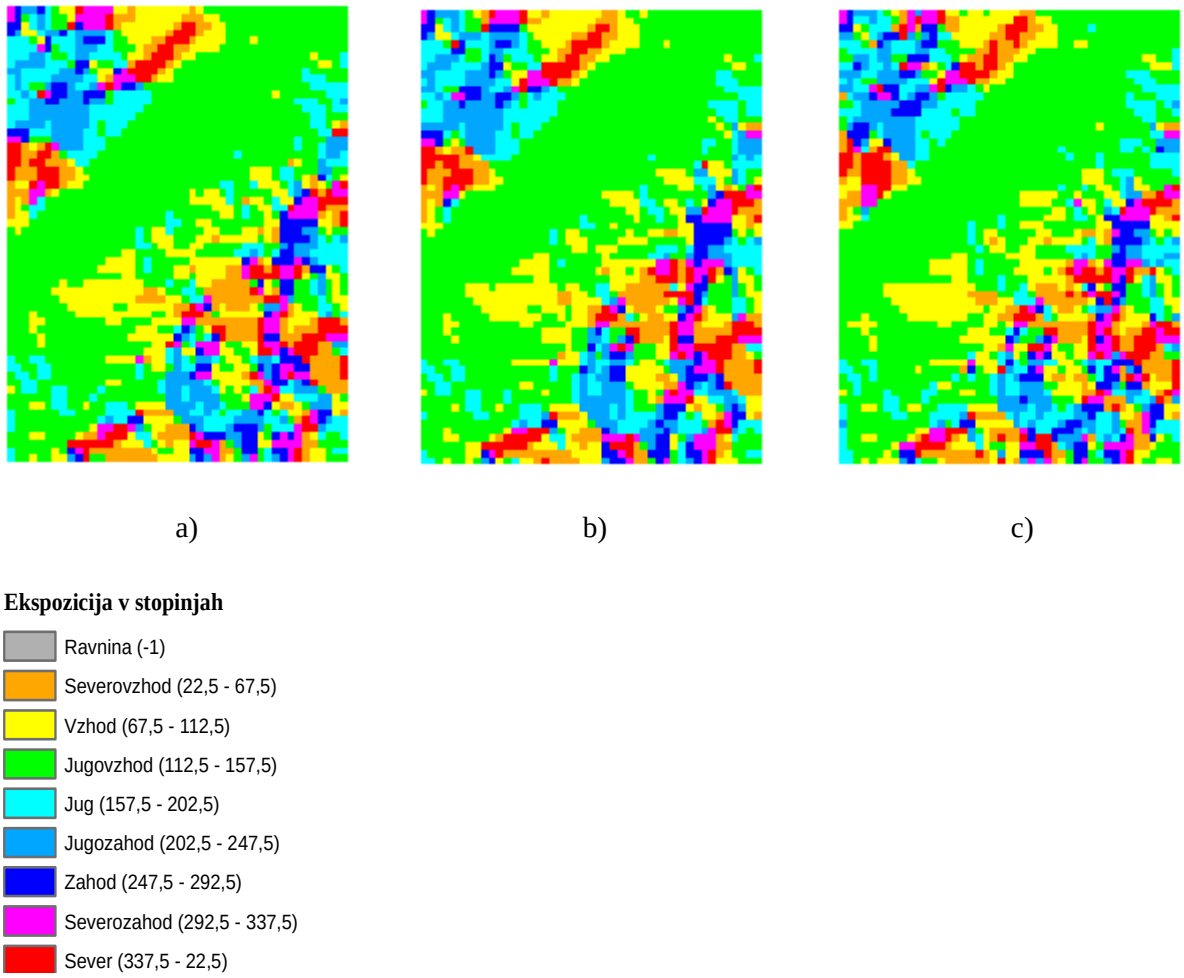
Preglednica 29: Opisna statistika profilne ukrivljenosti generaliziranih slojev pri ločljivosti 50 m

Opisna statistika	DMV 12,5	DMV 5	lidarski DMR
Minimum (1/100)	–1,037	–0,888	–1,120
Maksimum (1/100)	0,848	0,991	0,979
Srednja vrednost (1/100)	0,004	0,004	0,003
Standardni odklon (1/100)	0,159	0,164	0,199

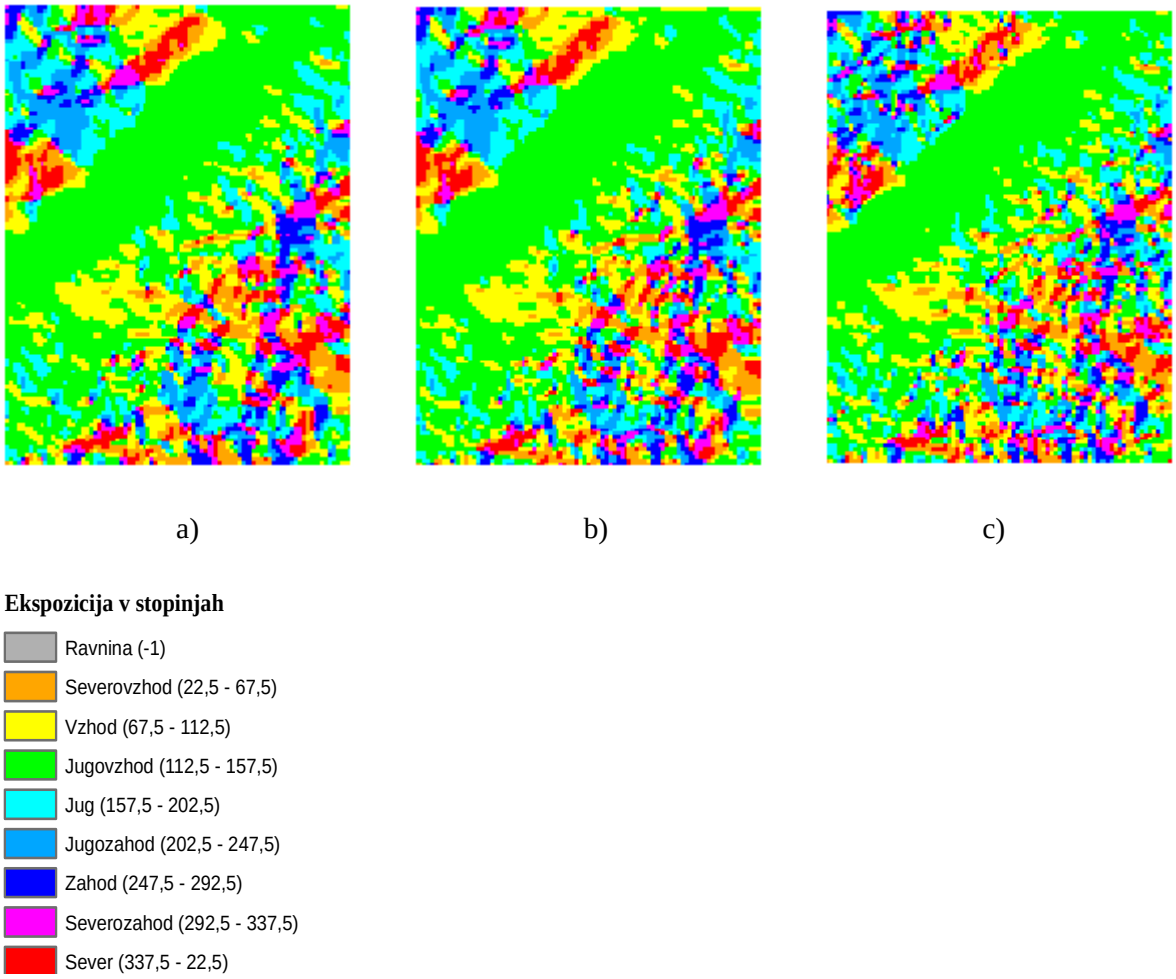
Največjo konveksnost (–2,580) in konkavnost (2,910) opazimo pri lidarskem DMR-ju (preglednica 26). Konveksnost se vizualno opazi kot največ prisotne zelene barve. Srednja vrednost je pri tej ločljivosti povsod negativna. Prevzorčenje na ločljivost 50 m, da predvsem bolj enakovreden prikaz konveksnosti in veliko podobnost med slojema DMV 12,5 in DMV 5 (sliki 66 in 68).



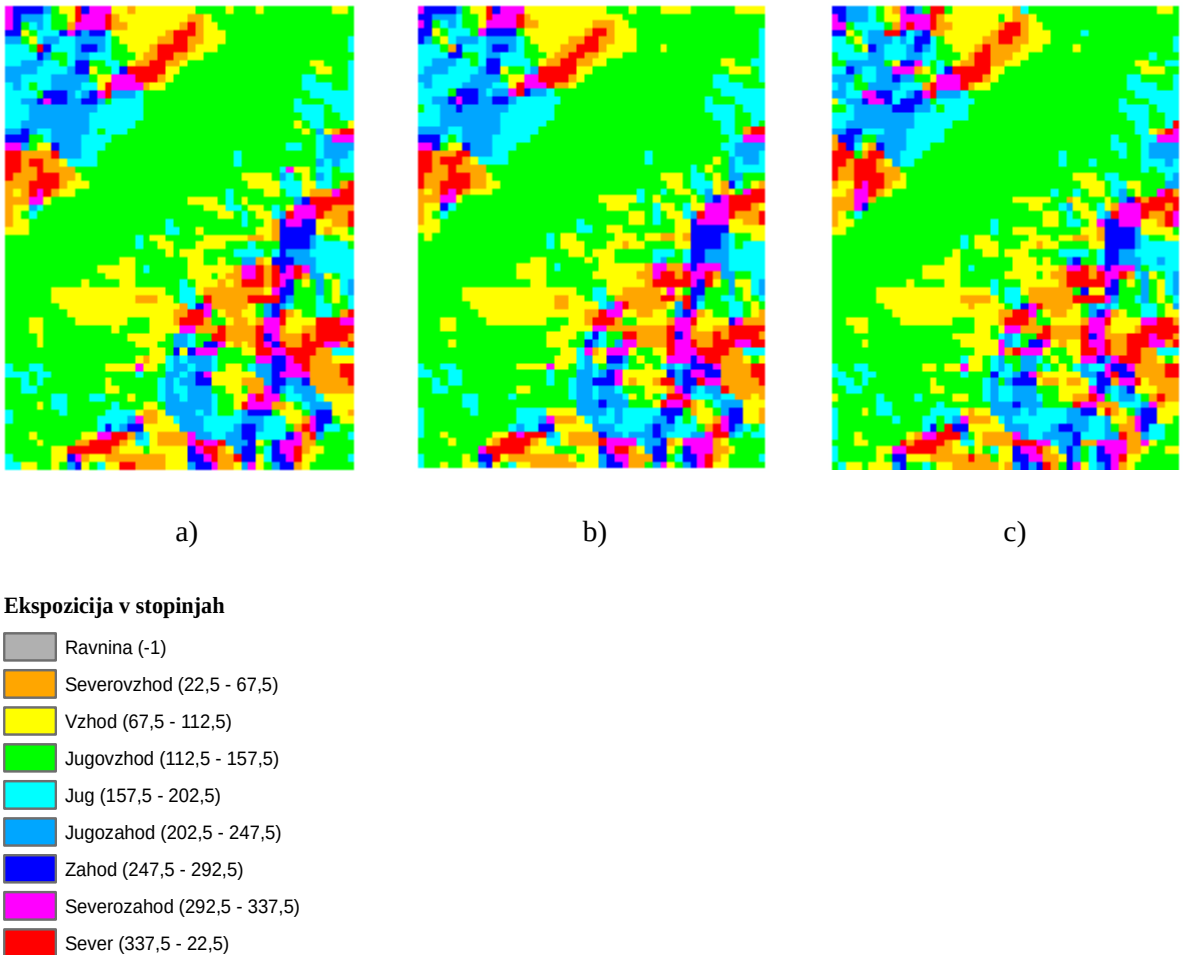
Slika 69: Prikaz ekspozicije prevzorčenih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) na ločljivost 25 m



Slika 70: Prikaz ekspozicije prevzorčenih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) na ločljivost 50 m



Slika 71: Prikaz ekspozicije generaliziranih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) na ločljivost 25 m



Slika 72: Prikaz ekspozicije generaliziranih slojev DMV 12,5 (a), DMV 5 (b) in lidarskega DMR-ja (c) sloja na ločljivost 50 m

Preglednica 30: Opisna statistika ekspozicije prevzorčenih slojev pri ločljivosti 25 m

Opisna statistika	DMV 12,5	DMV 5	lidarski DMR
Minimum (°)	0,0	0,1	0,0
Maksimum (°)	359,9	359,9	359,9
Srednja vrednost (°)	149,3	150,3	150,9
Standardni odklon (°)	75,3	76,4	77,7

Preglednica 31: Opisna statistika ekspozicije prevzorčenih slojev pri ločljivosti 50 m

Opisna statistika	DMV 12,5	DMV 5	lidarski DMR
Minimum (°)	0,6	0,1	0,4
Maksimum (°)	359,4	359,8	359,3
Srednja vrednost (°)	146,4	146,2	146,1
Standardni odklon (°)	71,9	71,7	72,8

Preglednica 32: Opisna statistika ekspozicije generaliziranih slojev pri ločljivosti 25 m

Opisna statistika	DMV 12,5	DMV 5	lidarski DMR
Minimum (°)	0,1	0,1	0,1
Maksimum (°)	359,9	359,9	359,9
Srednja vrednost (°)	149,5	150,4	150,9
Standardni odklon (°)	75,9	76,8	77,9

Preglednica 33: Opisna statistika ekspozicije generaliziranih slojev pri ločljivosti 50 m

Opisna statistika	DMV 12,5	DMV 5	lidarski DMR
Minimum (°)	0,1	0,1	0,0
Maksimum (°)	359,9	359,7	359,4
Srednja vrednost (°)	146,2	145,9	145,8
Standardni odklon (°)	71,9	71,7	72,3

Prikaz ekspozicije je pri ločljivosti 25 m zelo enakovreden, kar kažejo tudi vrednosti v opisni tabeli 30 in 32. Pri ločljivosti 50 m se prikaz posploši, izgubijo se nekatere smeri, vendar bistvenih razlik tako vizualno kot po vrednostih opisne statistike (preglednici 31 in 33), med sloji ne opazimo. Ravnega območja z vrednostjo (–1°) ne zaznamo (sliki 70 in 72).

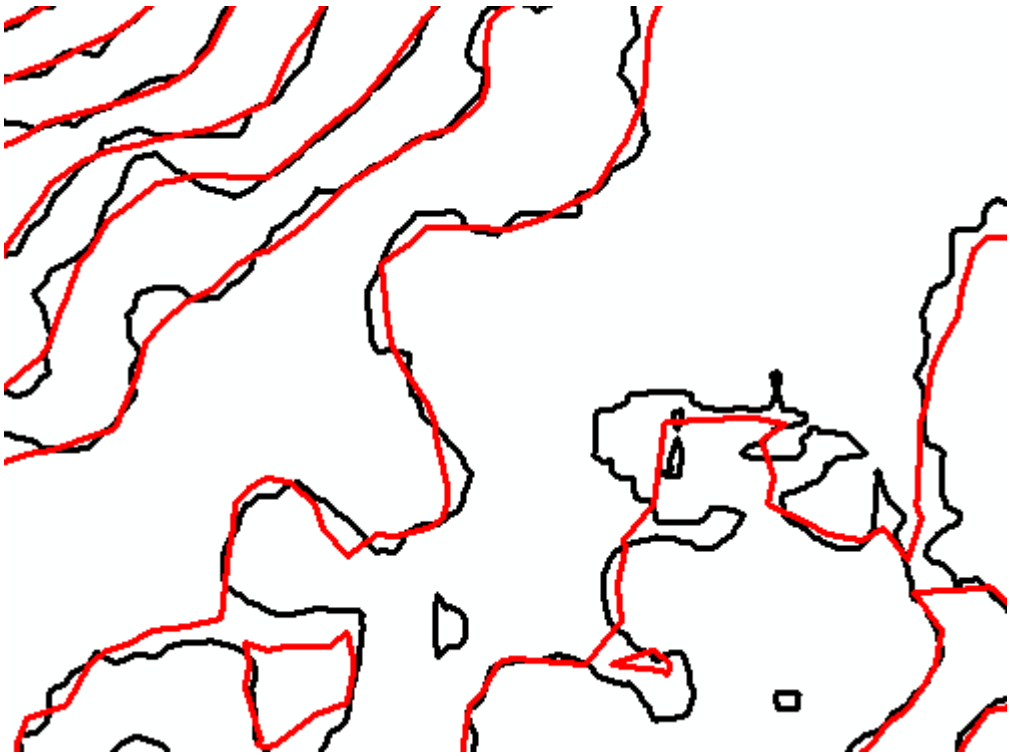
Izmed osnovnih analiz v GIS-ih so pri generalizaciji najmanj občutljivi sloji ekspozicije, saj že vizualno težko opazimo nekatere razlike med vzorčenimi in nevzorčenimi sloji, še posebej je to izrazito pri ločljivosti 50 m. Veliko boljše razlike dajo izračuni naklonov tako pri ločljivosti 25 m kot 50 m, kjer so razlike precej opazne pred in po generalizaciji. Predvsem v zmanjševanju razredov največjih naklonov. Pri ukrivljenosti se dovolj dobro razlike vidijo pri ločljivosti 25 m, kjer tudi vizualno opazimo razlike v konkavnosti in konveksnosti. Najmanj razlik opazimo pri tlorisni ukrivljenosti.

5.5.3 Interpretacija v smislu kakovosti DMR-ja

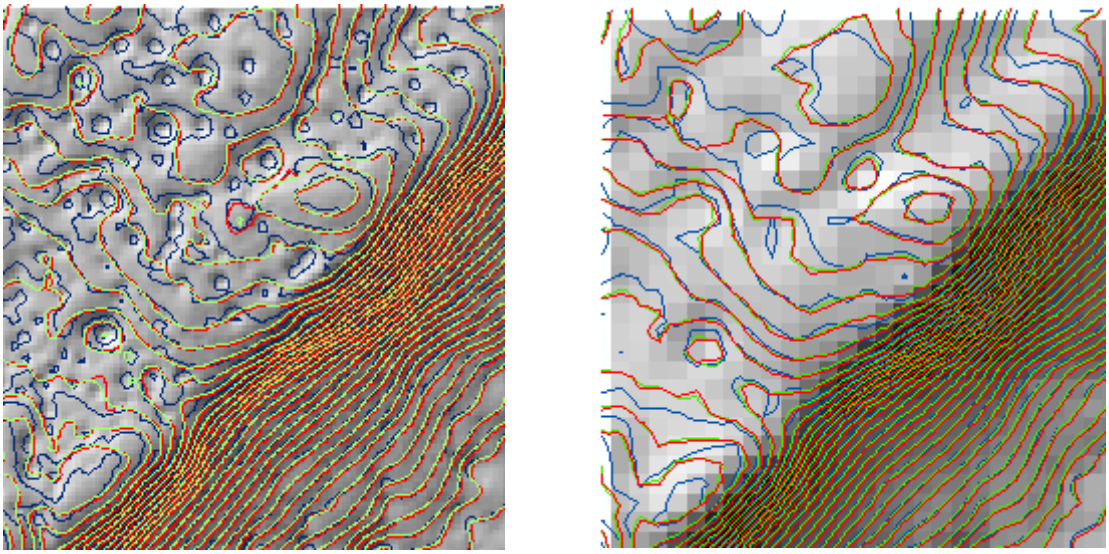
Kakovosti DMR-ja ocenjujemo pred in po opravljenimi postopki generalizacije, tako da kakovost rezultatov primerjamo s standardnim modelom, ki ga ustvarimo glede na naše želje in cilje. Elemente kakovosti DMR-ja ocenjujemo glede na:

- vertikalno natančnost; opazujemo vertikalne spremembe natančnosti višin glede na različne postopke generalizacije

- spremembo ločljivosti mreže; iščemo pojave grobih napak, ki se zgodijo ob generalizaciji, primerjamo kakovost generiranja plastnic glede na kakovost osnovnih slojev in kakovosti prikazov pred in po generalizaciji.
- stopnjo prepoznavanja detajlov; pri prevzorčenju plastnice v detajlnih predelih spremenijo obliko, postanejo preprostejše in bolj zaobljene, kraške kotanje izginejo, majhni vrhovi se združijo



Slika 73: Primerjava plastnic lidarskega DMR-ja (črna barva) in plastnic prevzorčenega lidarskega DMR-ja (rdeča barva) na ločljivost 50 m za ravninski predel

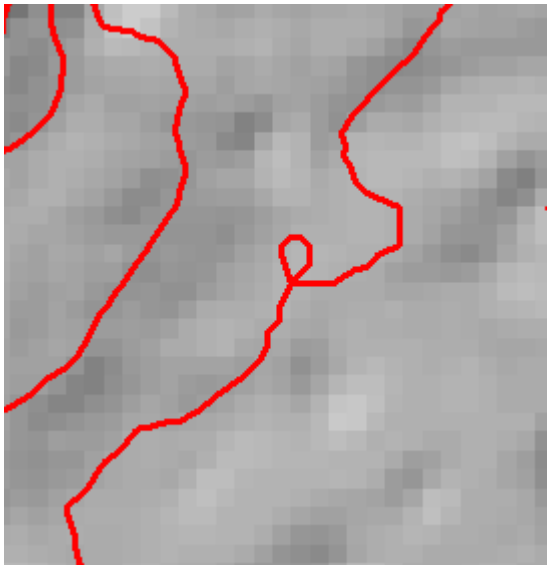


a) b)

Slika 74: Primerjava plastnic za ravninski (a) in hribovit predel (b) pred in po generalizaciji

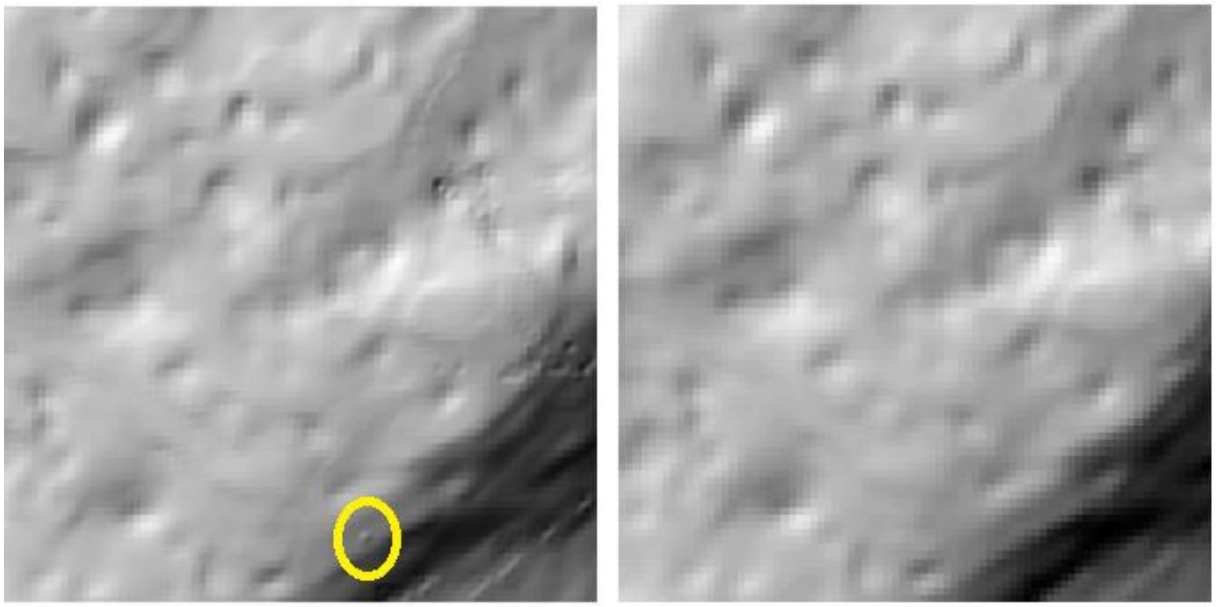
Nekatere plastnice pri generalizaciji spremenijo obliko ali izginejo, kar kaže na spremembo vertikalne natančnosti višin po generalizaciji in hkrati spremembo kakovosti elementov DMR-ja (sliki 73 in 74)

Pogosto se pri generaliziranih slojih pojavijo napake, ki zmanjšujejo kakovost DMR-ja.



Slika 75: Zanka plastnice, ki je nastala pri prevzorčenju iz 12,5 m na ločljivost 25 m na DMV 5 sloju

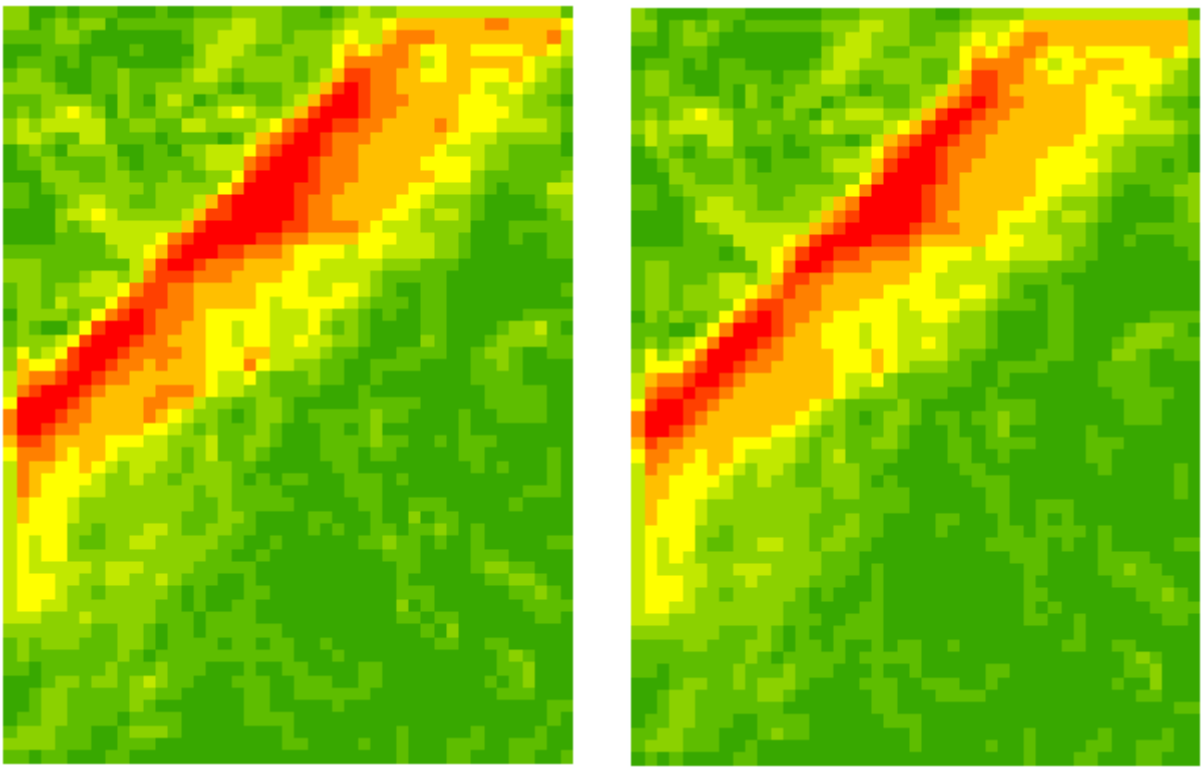
Primer zanke, ki je nastala ob prevzorčenju na manjšo ločljivost zaradi nedodelanega algoritma, kar kaže na kakovost uporabljenega algoritma (slika 75).



a) b)

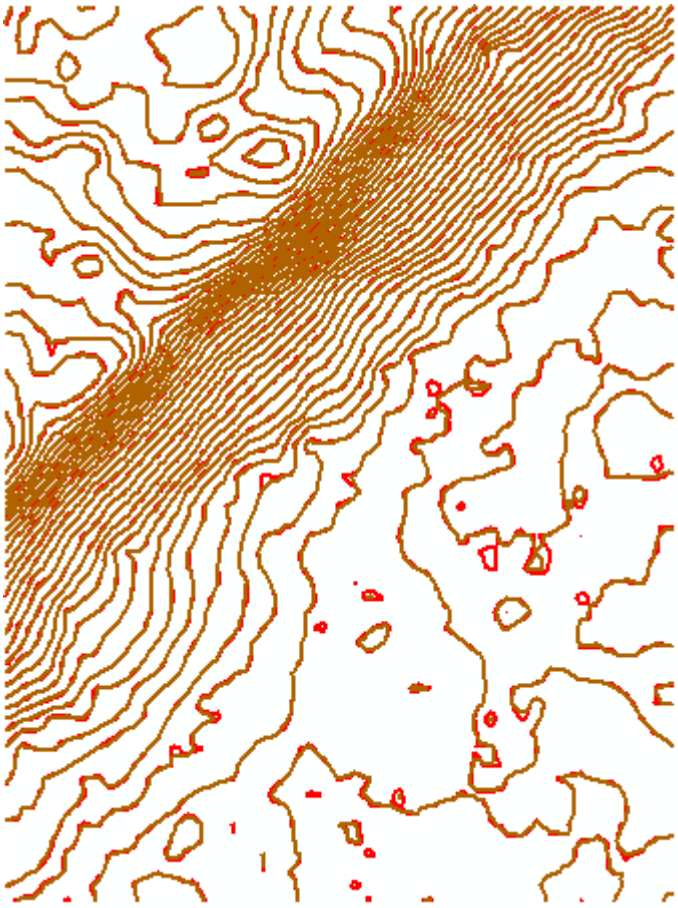
Slika 76: Primerjava prevzorčenega sloja DMV12,5 (a) na ločljivost 1 m in nevzorčenim slojem DMV12,5 (b)

S prevzorčenjem na večjo 'boljšo' ločljivost iščemo napake na prvotnih uvoženih slojih in ugotavljamo njihovo kakovost (slika 76).



a) b)

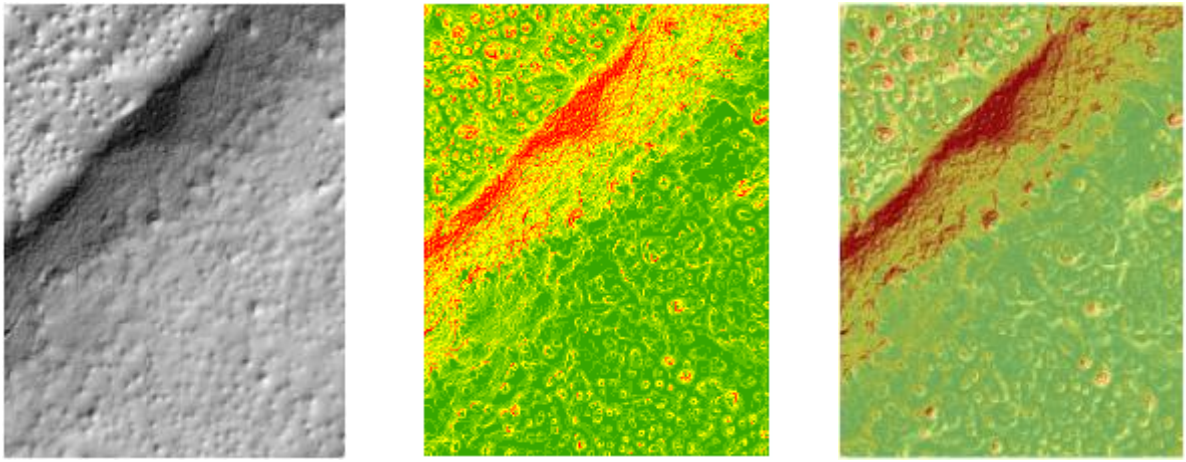
Slika 77: Primerjava naklonov neposredno vzorčenega sloja (a) in posredno vzorčenega sloja DMV 5 (b) na ločljivost 50 m



Slika 78: Primerjava plastnic med neposredno prevzorčenim slojem (rdeča barva) in posredno prevzorčenim slojem DMV 5 (rjava barva) na ločljivost 50 m

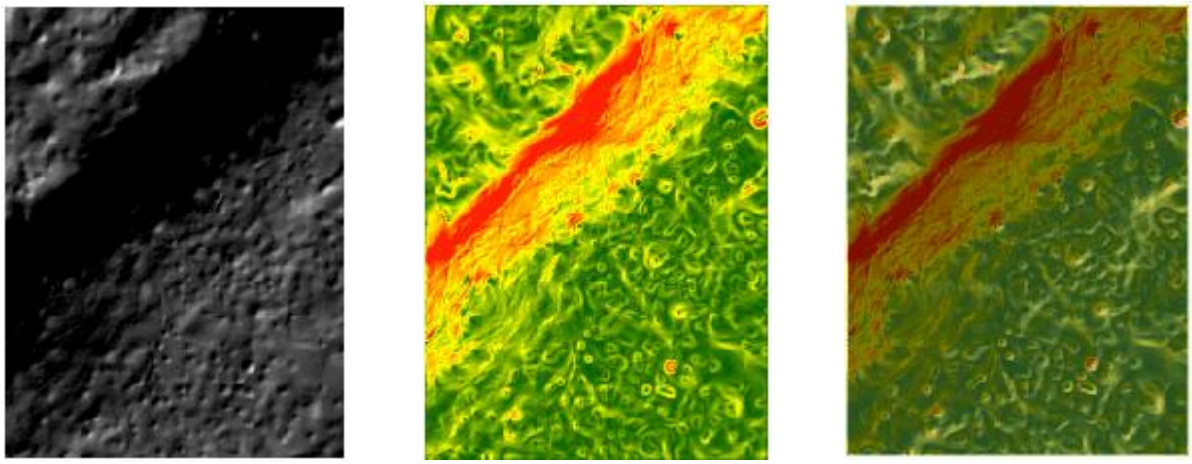
Pri posredno vzorčenih slojih, kar pomeni, da sem vzorčil iz ločljivosti 12,5 m na 25 m in nato iz 25 m na ločljivost 50 m, opazimo, da je tovrstno vzorčenje še nekoliko bolj izrazito kot neposredno. Primerjava naklonov med posrednim in neposrednim vzorčenjem kaže še večjo generalizacijo naklonov na višinskem predelu (slika 77). Primerjava plastnic (slika 78) kaže večje razlike prevzorčenosti na ravninskem sloju. Na splošno so plastnice pri posredno vzorčenem sloju še bolj zaobljene.

S kombiniranjem prikazov več slojev hkrati odpravimo nekatere podrobnosti , ki se odražajo predvsem vizualno, kar pomeni, da sloju izboljšamo kakovost prikazov, nekatere sloje pa naredimo bolj razumljive.



a) b) c)

Slika 79: Prekrivanje sloja naklona (a) in senčenega lidarskega DMR-ja (b) pod vertikalnim kotom 45° in azimutom 315° in prikaz kombinacije (c)



a) b) c)

Slika 80: Prekrivanje sloja naklona (a) in senčenega sloja DMV 5 (b) pod vertikalnim kotom 10° in azimutom 315° in prikaz kombinacije (c)

Na sliki 79 vidimo kako s prekrivanjem izboljšamo kakovost prikaza. Izboljšane so predvsem značilne točke površja (kotanje, izrazitejši rob med ravninskim in hribovitim predelom). Slika 80 prikazuje kako se s prekrivanjem skrijejo nekatere napake senčenja pod ostrim kotom (dolge sence).

Analitično senčenje DMR-ja za uporabnika ustvari zelo realistične prikaze in mu omogoča hitro zaznavanje značilnosti površja in ugotavljanje kartografske kakovosti pri generalizaciji in spremembah

merila. Kakovost prikaza senčenega DMR-ja je poleg merila odvisna od kota in azimuta osvetlitve. Za podrobnejšo analiza površja oziroma podatkov o DMR-ju izdelamo osnovne analize v GIS-ih. Izračuni naklona, ukrivljenosti (tlorisne in profilne) ter ekspozicije dajejo numerične rezultate, ki jih lahko tudi vizualno prikažemo. Ti rezultati izražajo kakovost DMR-ja pri različnih merilih in procesu generalizacije, z njimi pa lahko tako številsko kot vizualno ugotavljamo razlike med posameznimi sloji npr. z medsebojnim odštevanjem. Iskanje grobih napak na prevzorčenih DMR-jih pomeni tudi ugotavljanje kakovosti DMR-jev pri različnih merilih. S preverjanjem kakovosti virov, kakovosti uporabljenih analiz in algoritmov ter kakovosti prikazov lahko ugotovimo zakaj in kje je do napak prišlo, hkrati pa imamo s poznavanjem vseh omenjenih kakovosti možnost njihovega odpravljanja in izboljšave podatkov DMR-ja.

6 ZAKLJUČEK

V nalogi sem obravnaval tri vrste prostorskih podatkov DMV 12, 5, DMV 5 in lidarski DMR. V osnovi velja, da je najbolj kakovosten sloj lidarski DMR, kar se je izkazalo s primerjanjem rezultatov med sloji pri vseh osnovnih analizah izračunov naklona, ekspozicije in ukrivljenosti ter senčenju, iskanjem napak, iskanjem vertikalne natančnosti in stopnje detaljnosti slojev. Kakovost med posameznimi sloji sem ugotavljal tudi z odštevanjem slojev naklonov, ekspozicije in ukrivljenosti, kjer se je izkazalo, da sta sloja DMV 12,5 in DMV 5 skladna predvsem na ravninskem predelu, DMV 5 in lidarski DMR pa bolj v hribovitem predelu. Za vse tri sloje sem opravil analitično senčenje pod tremi različnimi azimuti 315°, 135° in 45° ter pod vertikalnima kotoma 45° in 10°. Posebne prikaze sem dobil pri azimutu 135°, kjer so hriboviti predeli postali dolina in obratno. Pri azimutu 45° sem dobil prikaze, kjer se značilne oblike površja (hribi, kotanje) zakrijejo. Ostri vertikalni kot 10° prinese v prikaz dolge sence, ki predvsem za hribovitimi predeli zakrijejo dolino. Različno kakovost podatkov je pokazalo tudi generiranje plastnic preko vseh treh slojev. Najboljše plastnice sem dobil iz lidarskega DMR-ja, najmanj kakovostnejše iz sloja DMV 12,5. Razlika v kakovosti se je izkazala predvsem za ravninski predel. S prekrivanjem slojev sem primerjal kakovost med sloji. Druga lastnost prekrivanja pa je izboljšanje kakovosti prikazov. Z medsebojnim prekrivanjem več slojev hkrati lahko izboljšamo kakovost vizualizacije prikazov. Za generalizacijo prostorskih podatkov sem uporabil bilinearno metodo interpolacije rastrskih podatkov in metodo agregacije s katerima sem prevzorčil omenjene sloje na manjšo ločljivost iz 12,5 m na 25 m in 50 m. Rezultati prevzorčenja so pokazali, da se zmanjša kakovost prikaza detajlov, vendar pa tri različne sloje s prevzorčenjem na manjšo ločljivost spravimo na dostojno enakovredne podatkovne sloje za nadaljnje analize. Po prevzorčenju sem generiral plastnice za sloje pri različni ločljivosti in jih primerjal med seboj. Izkazalo se je, da se spreminjajo in postajajo preprostejše predvsem plastnice na ravninskem delu, na malih kotanjah, medtem ko v hribovitem delu ostajajo podobne kakovosti. Lastnosti prevzorčenja so se pokazale tudi pri generalizaciji plastnic, kar je očitno pri primerjavi plastnic pri vzorčenih in nevzorčenih slojih. Pri primerjavi obeh metod sem ugotovil, da je stopnja generalizacije pri agregaciji v primerjavi se prevzorčenjem še nekoliko višja, kar kažejo osnovne statistike slojev, vidne pa so tudi razlike pri vizualni oceni kakovosti. S posebnimi primeri sem dodatno interpretiral kakovost. S prevzorčenjem na boljšo ločljivost lahko preverjamo kakovost oziroma iščemo napake na prvotnih podatkovnih slojih, druga ugotovitev pa je, da posredno vzorčenje še nekoliko bolj prevzorči podatke, kakor neposredno

Naloga predstavlja tri temeljne načine interpretacije postopkov generalizacije: kartografska interpretacija, interpretacija GIS analiz in interpretacija kakovosti. Najpomembneje področje predstavlja kakovost, ki s postopki generalizacije in s tem zmanjševanjem količine prostorskih podatkov, pada. Ni pa nujno, da je to vedno slaba stran generalizacije. Z generalizacijo lahko

odstranimo podatke, ki so za uporabnikovo zaznavanje nepomembni, jih ne potrebuje, pa vseeno vidi tisto, kar hoče. Mogoče se s tem kakovost celo na nek način poveča. Tukaj bi lahko veljalo načelo " manj je več ". V današnjem svetu smo obkroženi z veliko podatki, pravzaprav preveč. Preveč reklam, hrupa, cestne svetlobe, avtomobilov, smeti, preglasne poceni glasbe v lokalih in drugih prenasičenih pojavov. Mogoče bi bilo smiselno in pomembno, da tudi na drugih življenjskih področjih občasno opravimo postopke generalizacije, da bi videli in doživeli bistvo.

VIRI

Ai, T. 2007. The drainage network extraction from contour lines for contour line generalization. ISPRS Journal of Photogrammetry and remote sensing: 93–103.

Arun, P. V. 2013. A comparative analysis of different DEM interpolation methods. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences 16: 133–139.

Bajec, A. et al. 2000. Slovar slovenskega knjižnega jezika. Založba ZRC, Ljubljana.

Brassel, K. 1974. 'A Model for Automatic Hill-Shading' , The American Cartographer, 1: 15 – 27.

Chang, T. 2016. Introduction to geographic information systems, osma izdaja. New York, Mc-Graw Hill Education, 429 str.

Childs, C. 2004. Interpolating surfaces in ArcGIS spatial analyst. ArcUser, July-September: 32 – 35.

Drobne, S., Podobnikar, T. 1999. Osnovni pojmi v geografskih informacijskih sistemih. Študijsko gradivo.

Čeh, M. 2003. Semantična integracija zbirk prostorskih podatkov. Ljubljana. Inštitut za antropološke in prostorske študije, Založba ZRC: 151 str.

El-Sheimy, N. et al. 2005. Digital terrain modeling. Boston/London, Artech House remote sensing library: 257 str.

Gosar, A. 2007. Letalsko lasersko skeniranje idrijskega in ravenskega preloma v zahodni Sloveniji. UJMA, 27: 139 – 144.

Guilbert, E. et al. 2014. Članek Terrain generalization iz knjige Abstracting geographic information in a data rich world, Methodologies and Applications of Map Generalisation. Springer international publishing Switzerland: 227- 258.

Kennelly, P.J.2009. Hill-shading techniques to enhance terrain maps.

Kennelly, P. J. 2009. Hill-shading Techniques to Enhance Terrain Maps, in 24th International Cartographic Conference. Santiago Chile, November:15–21.

Komac, M. 2000. Primerjava digitalnega modela reliefa (DMR), senčenega z monokromatsko svetlobo iz stacionarnega in multispektralno senčenega DMR iz več smeri na območju Slovenije. Geologija 43,2 : 293 – 299 str.

Kosmatin Fras, M. 2009. Zračno lasersko skeniranje. Gradivo za strokovne izpite.

Kvamme, K. et al. 1997. Geografski informacijski sistemi. Ljubljana, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti: 476 str.

Leonowicz, A., Jenny, B.2008. Generating Hypsometric Layers from GTOPO30 for Small-Scale Mapping. Proceedings of the 6th ICA Mountain Cartography Workshop,11-15 February, Lenk, Switzerland: 139–146 str.

Ludwig, J. 2010. Image convolution. Satelite Digital Image Analysis, Portland State University: Powerpoint presentation: 8 str.

Luhmann, T. et al. 2014. Close – range photogrammetry and 3D imaging, druga izdaja. Berlin,De Gruyter: 684 str.

MacMillan, R. A., Shary, P. A. 2009. Landforms and Landform Elements in Geomorphometry. V. T. Hengl, H. I. Reuter (ur.) Geomorphometry - Concepts, Software, Applications. Oxford: Elsevier.

Oštir, K. 2006. Daljinsko zaznavanje. Ljubljana, Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU: 250 str.

Podobnikar, T. 2001. Digitalni model reliefa iz geodetskih podatkov različne kakovosti. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 343 str .

Podobnikar, T. 2006. Digitalni model reliefa iz različnih podatkov. Življenje in tehnika,4: 20 – 27.

Podobnikar, T., Mlinar, J. 2006. Izdelava in vzdrževanje digitalnega modela reliefa Slovenije z integracijo obstoječih virov (Production and maintenance of Digital Elevation Model of Slovenia with data integration). Geodetski vestnik 50, 3: 472 – 480.

Podobnikar, T. 2008. Nadgradnja modela reliefa Slovenija z visokokakovostnimi podatki. Geodetski vestnik 52, 4: 834 – 853.

Podobnikar, T. 2009. Methods for visual quality assessment of digital terrain model. S.A.P.I.EN.S, 2, 2, special issue: 40 str.

Podobnikar, T. 2012. Multidirectional visibilty index for analitical shading enhanecement. The cartographic journal 49, 3: 195 – 207.

Popelka, S., Brychotva A. 2013. Eye-tracking Study on Different Perception of 2D and 3D

Terrain Visualisation. The Cartographic Journal 50, 3: 240 – 246.

Radovan, D. 2002. Digitalni model reliefa, digitalni model višin, grid. Geodetski vestnik 46,4: 353 - 356.

Radovan, D. 2005. Kartografija 2. Zapiski iz predavanj.

Rihtaršič,M., Fras, Z. 1991. Digitalni model reliefa. 1. del teoretične osnove in uporaba DMR. Univerza v Ljubljani, FAGG - KFK: 135 str.

Rozman, J. 2000. Digitalni model in satelitske ortofoto karte. Geodetski vestnik 44, 3: 185 –195.

Rudiger M., Petschek, P. 2010. Visualization of Digital Terrain and Landscape Data. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag: 365 str.

Stoter, J.,Van Altena, V,. Post, M. 2014. Automated map generalization. GIM international. The

Cartographic Journal, 46, 3: 214 – 227.

Stuart Shea, K., McMaster, R.1992. Generalization in digital cartography. Washington, The Association of American Geographers.

Šumrada, R. 2005. Tehnologija GIS. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 330 str.

Šumrada, R. 2015. Uvodni pregled analiz rastrskih prostorskih podatkov. Študijsko gradivo za področje geoinformatike.

Švab Lenarčič, A.2009. Uporaba lidarskih podatkov za klasifikacijo pokrovnosti. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo : 135 str.

Toskić, A. 2013. Kartografska generalizacija. Predavanja za prvi in drugi semester raziskovalnega študija geografije. Univerza v Zagrebu. Geografski oddelek. Powerpoint predstavitev: 46 str.

Triglav Čekada, M. 2010. Zračno lasersko skeniranje in nepremičninske evidence. Geodetski vestnik 54,2: 181 – 194.

Troy, A., Zhou, W. 2008. Fundamentals of Gis: More Raster and Surface Analysis in Spatial Analyst.U. S. Department of interior, U. S. Geological Survey. 2010. Digital elevation model (DEM) Creation and analysis : Science education lesson.

Zakšek, K., Podobnikar, T.2005. An effective DEM generalization with basic GIS operations 8th ICA WORKSHOP on Generalization and Multiple Representation. A Coruńa, July 7-8th.

Spletni viri:

http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/cartography-toolbox/an-overview-of-the-generalization-toolset.htm (Pridobljeno 8.4.2016)

http://support.esri.com/en/knowledgebase/GISDictionary/term/nearest%20neighbor%20resampling (Pridobljeno 16.4.2016)

http://support.esri.com/en/knowledgebase/GISDictionary/term/resampling (Pridobljeno 16.4.2016)

http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/an-overview-of-the-generalization-tools.htm (Pridobljeno 20.4.2016)

ftp://ftp.fgg.uni-lj.si/Sendable/R%20Sumrada/GIG%20Ma%20APP/obdelave%20rastrov/Analize%20rastrskih%20slojev%20-%20uvod.pdf (Pridobljeno 3.5.2016)

http://support.esri.com/en/knowledgebase/GISDictionary/term/relief (Pridobljeno 12.5.2016)

http://icaci.org/mission/ (Pridobljeno 13.5.2016)

http://www.ronthedon.com/VFX/houdini-dem-based-terrain-modelling/ (Pridobljeno 13.5.2016)

https://www.gislounge.com/generalization-gis/ (Pridobljeno 13.5.2016)

http://nptel.ac.in/courses/105108077/module4/lecture16.pdf (Pridobljeno 23.5.2016)

http://zgnl.si/slovar/index.php/136-piksel-pixel (Pridobljeno 25.5.2016)

http://www.e-prostor.gov.si/si/zbirke_prostorskih_podatkov/topografski_in_kartografski_podatki/digitalni_model_visin/digitalni_model_visin_z_locljivostjo_dmv_125_dmv_25_dmv_100/ (Pridobljeno 25.5.2016)

http://support.esri.com/other-resources/gis-dictionary/term/DEM (Pridobljeno 7.6.2016)

https://blogs.esri.com/esri/arcgis/2014/07/14/introducing-esris-next-generation-hillshade/ (Introducing Esri's Next Generation Hillshade, ArcGIS Blog, (Pridobljeno 20.6.2016)

https://tusharucla.wordpress.com/2012/11/ (Pridobljeno 25.6.2016)

http://searchstorage.techtarget.com/definition/restore (Pridobljeno 27.5.2016)

http://geomalgorithms.com/a16-_decimate-1.html (Pridobljeno 30.6. 2016)

http://www.geo.unizh.ch/~annal/Hypsometric%20tinting.html (Pridobljeno 2.7.2016)

http://gisgeography.com/raster-resampling/ (Pridobljeno 3.8.2016)

http://www.mathsisfun.com/accuracy-precision.html (Pridobljeno 8.8.2016)

KAZALO PRILOG:

PRILOGA A : Opis postopkov pri testiranju v programu ArcGIS-u 1
A1: Uvoz podatkov v ArcGIS 1
A2: Obrezovanje podatkov 1
A3: Enostavne analize površja pri uporabi DMR: naklon, ukrivljenost, ekspozicija 2
A4: Naklon (slope) 2
A5: Ukrivljenost (curvature) 3
A6: Ekspozicija ali usmerjenost površja (aspect) 3
A7: Analitično senčenje DMR-ja 4
A8: Postopek prevzorčenja 4
A9: Odštevanje slojev naklona, ekspozicije in ukrivljenosti 5
A10: Generiranje plastnic preko višinskega sloja 5
A11: Generalizacija z orodjem aggregate 5

PRILOGA A : Opis postopkov pri testiranju v programu ArcGIS

A1: Uvoz podatkov v ArcGIS

Podatki, ki sem jih dobil, vsebujejo 270.000 *x, y ,z* koordinat in so shranjeni v ASCII datoteki. Zato moramo datoteko, preden jo uvozimo v ArcGIS shraniti v txt. datoteko. Nato v programu ArcGIS odpremo sledeče:

odpremo Arc Toolbox -> Conversation tools -> to dBASE -> table to tBASE, da dobimo datoteko s končnico dbf.

Nato v zavihku File pod Add data kliknemo na Add *XY* data odpremo dobljeno DMR datoteko s končnico .dbf in nastavimo parametre:

x = field 1, *y* = field 2, *z* = field 3

Nadaljujemo s postopkom uvažanja preko Conversation tools -> To raster -> Point to raster. V pojavnem oknu nastavimo parametre: vhodno datoteko, kjer nastavimo Value field na field 3, ime izhodne datoteke, v razdelku Cell assignment nastavimo most frequent, v razdelku Priority field nastavimo none in vpišemo velikost izhodnih celic v razdelku Cellsize.

Da sem iz vseh treh slojev dobil enako velikost, sem povsod velikost celic nastavil na 12.5 m.

A2: Obrezovanje podatkov

Po uvozu sem podatke lidarskega DMR-ja obrezal na velikost DMV 5 oz. DMV 12,5, saj je bilo območje lidarskega DMR-ja zaradi različne razdelitve listov nekoliko večje.

To sem opravil po naslednjem postopku:

Odpremo Arc Toolbox -> Data management tools -> Raster -> Raster processing -> Clip

Nastavimo vhodni raster in oknu Output extent velikost glede na ostale podatke. Nato izberemo še ime novega obrezanega rastra.

A3: Enostavne analize površja pri uporabi DMR: naklon, ukrivljenost, ekspozicija

Opis enostavnih analiz sem povzel iz dokumentacije ArcGIS-a.

Enostavne analize površja kot so naklon, ukrivljenost, ekspozicija spadajo v kategorijo geomorfometričnih analiz, kjer je rezultat analiz izražen s številsko vrednostjo in je izmerljiv. Enostavne analize delujejo v vsaki posamezni celici in njeni neposredni okolici, ki jo predstavlja celično okno v velikosti 3 x 3. Če center celice z njeno neposredno okolico predstavlja vrednost NoData, izračun analiz ne steče, kar se pokaže v izhodnem rastrskem sloju kot vrednost NoData. Kadar zaradi spremembe koordinatnega sistema ali spremembe velikosti celice v izhodnem rastrskem sloju potrebujemo prevzorčen vhodni sloj, to opravimo z bilinearno metodo prevzorčenja.

Enostavne analize opravljamo v orodnem oknu Arc toolbox. Če jih ni, jih moramo predhodno vključiti:

Customize -> Extensions -> Spatial analyst tools.

A4: Naklon (slope)

Naklon predstavlja gradient oziroma stopnjo največje spremembe višine h za vsako celico v rastrskem sloju. Uporaba višine *h*, je nujna za pravilen izračun naklona, kjer so višine h izražene z različnimi enotami od ravninskih *x, y* enot. Vrednost naklona v izhodnem rastrskem sloju lahko izrazimo na dva načina:

v stopinjah v vrednosti od 0° do 90°

v odstotkih, kjer ravno območje oziroma 0° predstavlja 0 %, 45° pa 100 %

Izračun naklona opravimo tako, da:

odpremo Arc toolbox -> Spatial analyst tools -> Surface -> Slope

V pojavnem oknu nastavimo parametre: vhodno datoteko, ime izhodne datoteke, v razdelku Output measurement lahko izberemo med Degree (v stopinjah) ali Percent_rise (v odstotkih) in nastavimo Z faktor = 1. V nalogi sem podal vrednosti naklonov v stopinjah.

A5: Ukrivljenost (curvature)

Pri izračunu ukrivljenosti dobimo tri izhodne datoteke. Prva datoteka predstavlja profilno ukrivljenost (profile curvature), druga tlorisno ukrivljenost (plan curvature) ter tretja, ki je kompozit obeh. Vse tri vrste ukrivljenosti izražamo kot stotinko višine oziroma 1/100 *h* enote. Pozitivna vrednost v sloju ukrivljenosti kaže na konveksnost površja v smeri navzgor, negativna pa na konkavnost v smeri navzgor.

V izhodnem sloju profilne ukrivljenosti negativna vrednost kaže na konkavnost površja v smeri navzgor, pozitivna pa na konveksnost v smeri navzgor.

V izhodnem sloju tlorisne ukrivljenosti negativna vrednost kaže na konveksnost površja v smeri navzgor, pozitivna pa na konkavnost v smeri navzgor.

V vseh treh primerih kaže vrednost 0 na ravno površje.

Pričakovane vrednosti za vse tri vrste ukrivljenosti za gričevnato površje navadno variirajo med – 0,5 in 0,5, za ostro odsekano in strmo površje pa variirajo med – 4 in 4.

V ArcGIS-u poteka izračun ukrivljenosti po sledečem postopku:

odpremo Arc toolbox -> Spatial analyst tools -> Surface -> Curvature

V pojavnem oknu nastavimo parametre: vhodno datoteko, ime izhodne datoteke, z faktor = 1, ime datoteke profilne ukrivljenosti, ime datoteke tlorisne ukrivljenosti.

A6: Ekspozicija ali usmerjenost površja (aspect)

Ekspozicija identificira smer maksimalne spremembe višine *h*. Izražamo jo v pozitivnih vrednostih stopinj od 0° do 359,9° in je merjena v smeri urinega kazalca od severa. Celice, ki so v izhodnem rastrskem sloju ravne, so izražene z vrednostjo –1.

Ekspozicijo površja dobimo po sledečem postopku:

Odpremo Arc Toolbox -> Spatial analyst tools -> Aspect (3D analyst)

V pojavnem oknu nastavimo parametra: vhodno datoteko, ime izhodne datoteke.

A7: Analitično senčenje DMR-ja

Program ArcMap izdela raster senčenega reliefa iz DMV-ja. Senčeni raster vsebuje barvno lestvico od vrednosti 0 do 255. Na voljo imamo dve možnosti analitičnega senčenja:

onemogočena je možnost modela senc (Model shadows), kar pomeni, da je uporabljen samo lokalni kot osvetlitve

omogočen model senc, pomeni, da izhodni raster vsebuje efekte lokalnega kota osvetlitve in sence

Analize senčenja so opravljene z obravnavo efektov lokalnega horizonta za vsako celico. Rastrske celice v senci dobijo vrednost 0 (Dokumentacija ArcGIS-a).

Pri nalogi sem uporabil prvo možnost analitičnega senčenja in sicer brez uporabe modela senc.

Postopek analitičnega senčenja DMR datoteke v ArcMap programu:

Odpremo Arc Toolbox -> Spatial analyst tools -> Surface -> Hillshade.

V pojavnem okno nastavimo parametre: vhodno rastrsko datoteko, ime izhodne datoteke, azimut (azimuth), kot osvetlitve (altitude), z faktor =1. Odkljukamo možnost Model shadows.

A8: Postopek prevzorčenja

Če hočemo pred postopkom analitičnega senčenja izboljšati vhodno rastrsko datoteko DMR to storimo s postopkom prevzorčenja:

Odpremo Arc Toolbox -> Data management tools -> Raster -> Raster processing -> Resample

V pojavnem oknu nastavimo parametre: vhodno rastrsko datoteko, ime izhodne datoteke, izhodni koordinatni sistem, izberemo tehniko prevzorčenja za zvezne ploskve, kakršno predstavlja relief: bilinearno ali kubično, ter velikost izhodne celice. V nalogi sem uporabil bilinearno metodo prevzorčenja.

Z dobljeno prevzorčeno datoteko še enkrat ponovimo postopek senčenja.

A9: Odštevanje slojev naklona, ekspozicije in ukrivljenosti

Da sem pri analizi dobil razlike sem odštel posamezne sloje po naslednjem postopku:

Odpremo Arc Toolbox -> Spatial analyst tools -> Map algebra -> Raster calculation

V pojavnem oknu vnesemo sloja, ki ju želimo odšteti, vmes dodamo znak za odštevanje in vnesemo ime izhodne datoteke.

A10: Generiranje plastnic preko višinskega sloja

Za primerjavo med posameznimi sloji sem generiral plastnice po naslednjem postopku:

Odpremo Arc Toolbox -> Spatial Analyst Tools -> Surface -> Contour

V pojavnem oknu vnesemo vhodni sloj višin, izberemo ime izhodnega sloja, nastavimo ekvidistanco, ki je v moji nalogi 10 metrov in Z faktor = 1.

A11: Generalizacija z orodjem aggregate

Programsko orodje ArcGIS vsebuje več orodij za generalizacijo rastrskih podatkov. Ena od teh je aggregate, ki je že opisana v razdelku 5.1. in sem jo uporabil v nalogi po naslednjem postopku:

Odpremo Arc Toolbox -> Spatial Analyst Tools -> Generalization -> Aggregate