

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Univerzitetni program Geodezija,
smer Prostorska informatika

Kandidat:

Peter Možina

Alogaritmi za analizo geomorfoloških značilnosti pri uporabi DMR

Diplomska naloga št.: 747

Mentor:

izr. prof. dr. Radoš Šumrada

Somentor:

dr. Tomaž Podobnikar

Ljubljana, 18. 4. 2008

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **PETER MOŽINA** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »ALGORITMI ZA ANALIZO GEOMORFOLOŠKIH ZNAČILNOSTI PRI UPORABI DMR«, ki je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske separatoteke FGG.

Ljubljana, 10. april 2008

(podpis)

ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se zahvaljujem somentorju dr. Tomažu Podobnikarju in mentorju izr. prof. dr. Radošu Šumradi.

Zahvalo želim izreči svojim staršema, ki sta me spodbujala in mi stala ob strani vsa leta mojega študija. Hvala tudi vsem prijateljem, ki so me bodrili pri mojem delu.

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

- UDK:** 004:528.9:551.4(043.2)
- Avtor:** Peter Možina
- Mentor:** izr. prof. dr. Radoš Šumrada
- Somentor:** doc. dr. Tomaž Podobnikar
- Naslov:** Algoritmi za analizo geomorfoloških značilnosti pri uporabi DMR
- Obseg in oprema:** 92 str., 80 sl., 2 pril.
- Ključne besede:** digitalni model reliefa, geomorfologija, prostorske analize, digitalna obdelava posnetkov, analiza lokalnih oken

Izvleček

Namen diplomske naloge je preizkus različnih algoritmov za analizo geomorfoloških značilnosti površja, kot so grebeni, doline, vrhovi, vrtače, z metodo lokalnega okna velikosti 3x3 in več celic na podlagi DMR zapisanega v rastrski oziroma matrični obliki. Postopek poteka tako, da lokalno okno sistematično pošiljamo po vsem območju DMR ter pri tem izvajamo določeno operacijo, kot je npr. obdelava z Laplaceovim filtrom. Izvajane so bile tehnike kartiranja geomorfoloških značilnosti, ki temeljijo na uporabi visokoprepustnih filtrov in lokalnem določanju ekstremnih vrednosti. Naslednja možnost je izračun histograma višin z določenim številom razredov glede na trenutno lokalno okno. Iskane značilnosti so izračunane z izločanjem vnaprej določenih kategorij histograma ali z analizo oblik histogramov, ki so aproksimirane z različnimi matematičnimi krivuljami. Analiza lokalnih histogramov omogoča naprednejše iskanje oblik površja. Uporabljen je bil DMR Slovenije različnih ločljivosti na testnem območju Kamniških Alp.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 004:528.9:551.4(043.2)
Author: Peter Možina
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Radoš Šumrada
Co-supervisor: Assist. Prof. Dr. Tomaž Podobnikar
Title: Algorithms for analysing geomorphological characteristics with using DTM
Notes: 92 p., 80 fig., 2 ann.
Key words: digital terrain model, geomorphology, spatial analysis, digital image processing, local window analysis

Abstract

The aim of this diploma thesis is a test of different algorithms for analysing geomorphological characteristics of surface as for instance ridges, valleys and peaks. Using local window of dimension 3 by 3 or more cells, which is moving over whole the DTM matrix, defined operation has been executed, for example operation with the Laplace filter. Techniques of mapping geomorphological characteristics have been researched, which are based on using high pass filters and local determination of extreme values. Another option is classifying values from temporary local window and calculating elevation histogram. With the analysis of a histogram shape and approximating different mathematical curves, advanced surface shapes can be determined. Different resolutions of DTM in the study area of Kamnik Alps in Slovenia have been used in this work.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	DIGITALNI MODELA RELIEFA IN GEOMORFOLOGIJA.....	3
2.1	Definicija digitalnega modela reliefa	3
2.2	Rastrski podatki.....	5
2.3	Pridobivanje DMR	8
2.4	Izdelki iz digitalnega modela reliefa	10
2.4.1	Perspektivni prikaz	11
2.4.2	Analitično senčenje reliefa	12
2.4.3	Izračun profilov in prečnih prerezov in prostornine	13
2.4.4	Izdelava kart vidnosti.....	15
2.4.5	Izračun naklona površja, ekspozicije, konveksnosti in konkavnosti površja	16
2.5	Geomorfologija	18
2.5.1	Definicija geomorfologije	18
2.5.2	Geomorfološke značilnosti reliefa	19
3	DIGITALNA OBDELAVA POSNETKOV	21
3.1	Operacije na digitalnih posnetkih	21
3.2	Filtriranje z uporabo lokalnega okna	22
3.3	Nizkoprepustni filtri	25
3.3.1	Filter povprečenja.....	27
3.3.2	Sredinski filter (mediana)	27
3.3.3	Gaussov filter	28
3.4	Visokoprepustni filtri	28
3.4.1	Gradientna metoda.....	30
3.4.2	Laplaceov operator	30
3.5	Filtri odkrivanja robov	31

4	IZDELAVA HISTOGRAMA	34
4.1	Razvrščanje podatkov v razrede	34
4.2	Izdelava histograma	36
5	ANALIZE GEOMORFOLOŠKIH ZNAČILNOSTI	39
5.1	Metodologija	39
5.2	Predvideni rezultati.....	39
5.3	Študijsko območje	39
5.4	Pregled globalnega histograma matrike DMR.....	40
5.5	Uporaba izbranih algoritmov	41
6	ALGORITMI ZA ISKANJE ROBOV	42
6.1	Testna območja	43
6.2	Uporabljeni filtri	43
6.2.1	Filter PRIMER1	44
6.2.2	Filter PRIMER2	45
6.2.3	Filter PRIMER3	45
6.2.4	Unsharp filter	47
6.2.5	Sharpen filter.....	48
6.2.6	Robertsov filter.....	51
6.2.7	Sobelov filter	54
6.2.8	Prewittov filter.....	55
6.2.9	Laplaceov filter.....	56
7	ALGORITMI ZA KARTIRANJE EKSTREMNIH VREDNOSTI.....	61
7.1	Primerjava sredinskega piksla s povprečjem	61
7.2	Kartiranje lokalnih minimumov in maksimumov	65
7.2.1	Odkrivanje antropogenih elementov na posnetku.....	68
7.3	Kartiranje izbranega odstotka pikslov	70
8	ALGORITMI ZA IZDELAVO LOKALNIH HISTOGRAMOV	73
8.1	Analiza histogramov	74
8.2	Prilagajanje krivulje lokalnemu histogramu	78
8.3	Rezultati metode lokalnih histogramov	81

9	ZAKLJUČEK	84
10	RAZLAGA STROKOVNIH IZRAZOV	86
	LITERATURA IN VIRI	90
	PRILOGE.....	93

KAZALO SLIK

Slika 2.1: Primer velikosti posamezne rastrske celice v naravi	5
Slika 2.2: Primer množice vrednosti v rastrskem oziroma matričnem zapisu	6
Slika 2.3: Primeri uporabe celične mreže	6
Slika 2.4: Perspektivni pogled zemeljskega površja	10
Slika 2.5: Perspektivni pogled površja – barvni ortofoto napet na sloj DMR	12
Slika 2.6: Analitično senčenje na podlagi DMR.....	13
Slika 2.7: Vzdolžni prerez reliefa	14
Slika 2.8: Vzdolžni prerez rečne struge	14
Slika 2.9: Algoritem iskanja vidljivosti	15
Slika 2.10: Simulacija vidnosti z oddajnika na Krimu glede na različne kakovosti slojev DMR	16
Slika 2.11: Nakloni površja v odstotkih.....	17
Slika 2.12: Ekspozicija površja s kontinuirano barvno lestvico	17
Slika 2.13: Izsek iz karte, ki prikazuje geomorfološke značilnosti kopnega in morskega dna	18
Slika 2.14: Primeri geometrijskih oblik reliefa (obravnava podolžne in prečne ukrivljenosti)	20
Slika 3.1: Centralni piksel v lokalnem oknu dimenzije 3×3	22
Slika 3.2: Premikanje lokalnega okna po celotnem posnetku.....	23
Slika 3.3: Primer filtriranja digitalnega posnetka s konvolucijo (Gaussov filter)	24
Slika 3.4: Razlika med korelacijo in konvolucijo pri obdelavi digitalnega posnetka.....	24
Slika 3.5: Nekaj primerov nizkoprepustnih filtrov	26
Slika 3.6: Primer prvotnega in glajenega DMV 100 z medianinim filtrom velikosti 7×7.....	26
Slika 3.7: Primer odstranjevanja šuma na posnetku s sredinskim filtrom	27
Slika 3.8: Primer izločanja robov z visokoprepustnim filtrom	28
Slika 3.9: Nekaj primerov visokoprepustnih filtrov.....	29
Slika 3.10: Prikaz delovanja gradientne metode in Laplaceovega operatorja na dano funkcijo	30
Slika 3.11: Primer določanja robov na posnetku z uporabo Robertsovega filtra.....	32
Slika 4.1: Prikaz vseh vrednosti v vzorcu s stolpčnim grafikonom	34
Slika 4.2: Histogram prikazuje frekvenco vrednosti po razredih.....	35
Slika 4.3: Primer histograma.....	37
Slika 4.4: Različne oblike histogramov	37
Slika 4.5: Aproksimacija histogramov z izbranimi krivuljami	38
Slika 5.1: Prikazan DMV 25 s hipsometrično barvno lestvico in analitičnim senčenjem	40
Slika 5.2: Histogram DMV 100, ki prikazuje razporeditev vrednosti po višinah.....	41
Slika 6.1: Prikaz analitičnega senčenja DMV 25 na levi in rezultat obdelave z Laplaceovim filtrom in senčenjem na desni strani, klasifikacija s sedmimi kvantili	42
Slika 6.2: Testni območji za preizkušanje različnih filtrov	43
Slika 6.3: Prikaz DMV 25 s hipsometrično lestvico na levi ter rezultat obdelave s filtrom PRIMER1 na desni strani.....	44
Slika 6.4: Prikaz DMV 25 s hipsometrično lestvico na levi ter rezultat obdelave s filtrom PRIMER2 na desni strani.....	45
Slika 6.5: Prikaz DMV 25 s hipsometrično lestvico na levi ter rezultat obdelave s filtrom PRIMER3 na desni strani.....	46

Slika 6.6: Prikaz DMV 25 s hipsometrično lestvico in senčenjem na levi ter negativ obdelave s filtrom PRIMER3 na desni strani.....	46
Slika 6.7: Prikaz DMV 100 s hipsometrično lestvico na levi in rezultat obdelave z unsharp filtrom na desni strani	47
Slika 6.8: Prikaz DMV 25 s hipsometrično lestvico na levi in rezultat obdelave z unsharp filtrom na desni strani	48
Slika 6.9: Prikaz DMV 100 s hipsometrično lestvico na levi in rezultat obdelave s sharpen filtrom na desni strani	49
Slika 6.10: Prikaz DMV 25 s hipsometrično lestvico na levi in rezultat obdelave s sharpen filtrom na desni strani	49
Slika 6.11: Prikaz DMV 100 s hipsometrično lestvico in senčenjem na levi in rezultat obdelave s sharpen filtrom in senčenjem na desni strani.....	50
Slika 6.12: Prikaz DMV 25 s hipsometrično lestvico in senčenjem na levi in rezultat obdelave s sharpen filtrom in senčenjem na desni strani	50
Slika 6.13: Prikaz DMV 25 s hipsometrično lestvico na levi in rezultat obdelave z Robertsovim filtrom na desni strani	51
Slika 6.14: Prikaz analitičnega senčenja DMV 25 na levi in rezultat obdelave z Robertsovim filtrom in senčenjem na desni strani	52
Slika 6.15: Prikaz obdelane matrike DMV 25 z Robertsovim filtrom s štirimi različnimi barvnimi lestvicami	53
Slika 6.16: Prikaz DMV 25 s hipsometrično lestvico na levi in rezultat obdelave s Sobelovim filtrom na desni strani	54
Slika 6.17: Prikaz analitičnega senčenja DMV 25 na levi in rezultat obdelave s Sobelovim filtrom in senčenjem na desni strani	55
Slika 6.18: Prikaz DMV 25 s hipsometrično lestvico na levi in rezultat obdelave s Prewittovim filtrom na desni strani	56
Slika 6.19: Prikaz DMV 100 s hipsometrično lestvico na levi in rezultat obdelave s Laplaceovim filtrom na desni strani	57
Slika 6.20: Prikaz DMV 25 s hipsometrično lestvico na levi in rezultat obdelave s Laplaceovim filtrom na desni strani	57
Slika 6.21: Prikaz analitičnega senčenja DMV 25 na levi in rezultat obdelave z Laplaceovim filtrom in senčenjem na desni strani	58
Slika 6.22: Prikaz obdelane matrike DMV 25 z Laplaceovim filtrom z različnimi barvnimi lestvicami.....	58
Slika 6.23: Prikaz filtriranega DMV 25 s kontinuirano barvno lestvico na levi in s klasifikacijo v razrede po metodi kvantilov na desni strani	59
Slika 6.24: Prikaz filtriranega DMV 25 s klasifikacijo po metodi standardnega odklona	60
Slika 7.1: Prikaz analitičnega senčenja DMV 100 na levi ter kartiranja vrednosti, ki so manjše od povprečja, z lokalnim oknom 7×7 in senčenjem na desni strani	62
Slika 7.2: Prikaz analitičnega senčenja DMV 100 na levi ter kartiranja vrednosti, ki so večje od povprečja, z lokalnim oknom 7×7 in senčenjem na desni strani	62
Slika 7.3: Prikaz analitičnega senčenja DMV 25 na levi ter kartiranja vrednosti, ki so manjše od povprečja, z lokalnim oknom 7×7 in senčenjem na desni strani	63
Slika 7.4: Prikaz analitičnega senčenja DMV 25 na levi ter kartiranja vrednosti, ki so večje od povprečja, z lokalnim oknom 7×7 in senčenjem na desni strani	63
Slika 7.5: Primerjava kartiranja vrednosti, ki so večje od povprečja, z lokalnim oknom 5×5 in 13×13 in senčenjem (DMV 25)	64
Slika 7.6: Primerjava matrike kartiranja visokih vrednosti na levi in maksimalne vrednosti na desni strani z uporabo lokalnega okna 3×3 in senčenjem (DMV 25)	66

Slika 7.7: Primerjava matrike kartiranja nizkih vrednosti na levi in minimalne vrednosti na desni strani z uporabo lokalnega okna 3×3 in senčenjem (DMV 25).....	66
Slika 7.8: Prikaz matrike kartiranja visokih vrednosti na DMV 25 z uporabo lokalnih oken 3×3 , 5×5 in 9×9 ter dodanim senčenjem.....	67
Slika 7.9: Prikaz kartiranja nizkih vrednosti z lokalnim oknom 3×3 na DMV 12,5 z dodanim senčenjem.....	68
Slika 7.10: Izsek istega območja iz karte DTK 50.....	69
Slika 7.11: Prikaz kartiranja 3% najnižjih vrednosti z lokalnim oknom 15×15 in 31×31 na DMV 100 in dodanim senčenjem	70
Slika 7.12: Primeri kartiranja 3% najnižjih vrednosti z lokalnimi okni velikosti 3×3 , 7×7 , 15×15 , 31×31 in 63×63 celic v negativu z dodanim senčenjem.....	72
Slika 8.1: Primer histograma za lokalno okno dimenzije 7×7	74
Slika 8.2: Značilna oblika histograma št. 1	75
Slika 8.3: Značilna oblika histograma št. 2	75
Slika 8.4: Značilna oblika histograma št. 3	76
Slika 8.5: Značilna oblika histograma št. 4.....	76
Slika 8.6: Značilna oblika histograma št. 5	77
Slika 8.7: Primer netipične oblike histograma	77
Slika 8.8: Prikaz prilagajanja različnih polinomov glede na dani histogram.....	78
Slika 8.9: Primer ocenjevanja kakovosti posameznih krivulj pri aproksimaciji.....	79
Slika 8.10: Histogram z izračunano linearno funkcijo.....	80
Slika 8.11: Prikaz analitičnega senčenja DMV 100 na levi in rezultat obdelave z metodo lokalnih histogramov in senčenjem na desni strani, uporaba lokalnega okna 9×9	81
Slika 8.12: Primeri obdelave z metodo lokalnih histogramov na DMV 25, velikosti lokalnega okna so 3×3 , 5×5 , 7×7 in 9×9 z dodanim senčenjem.....	82

KAZALO PRILOG

Priloga A: Uporabljena programska oprema	93
Priloga B: Opis postopkov obdelave sloja DMR.....	93

1 UVOD

S preučevanjem razgibanosti površja se ukvarjajo geografi in geomorfologi, merijo jo geodeti. Razvoj geografskih informacijskih sistemov (GIS) in digitalnih modelov reliefa (DMR) je prinesel nove možnosti analiz. Različne analize DMR so lahko v pomoč pri razpoznavanju in odkrivanju geomorfoloških značilnosti površja, kot so grebeni, vrhovi, doline, vrtače. Raznovrstni postopki (algoritmi) omogočajo razpoznavanje in določitev podrobnosti zemeljskega površja, kar omogoča boljše poznavanje določenih lastnosti naravnih značilnosti in pojavov (Podobnikar in Možina, 2008).

V začetku 90-ih let prejšnjega stoletja je računalniška tehnologija (predvsem strojna oprema) napredovala do te mere, da je DMR postal uporaben tudi pri geomorfoloških analizah. V povezavi z geomorfološkimi analizami našega dela velja omeniti dve sorodni študiji: prva obravnava testiranje različnih algoritmov za iskanje lokalnih ekstremov z uporabo DMR (Krevs, 1992), druga pa se ukvarja z analizo izbranega odstotka vrednosti iz lokalnega okna, ki omogoča določanje nekaterih značilnosti reliefa, kot so vrhovi in grebeni (Székely, 2001).

Namen naloge je predstaviti uporabnost različnih algoritmov, ki temeljijo na uporabi lokalnega okna in omogočajo prepoznavanje določenih geomorfoloških oblik, kot so na primer vrtače, doline, grebeni, vrhovi vzpetin itd. Prikazani so postopki obdelave DMR, ki omogočajo odkrivanje in klasifikacijo značilnih oblik zemeljskega površja. Obdelava DMR poteka z uporabo lokalnega okna oziroma matrike velikosti 3×3 , 5×5 , 7×7 in več. Takim operacijam pravimo filtriranje. Lokalno okno se pošlje po vseh celicah rastrskega zapisa DMR. Vrednosti iz okna se sortirajo in obdelajo, rezultat obdelave se zapiše v končno matriko. Preizkušeni so bili različni algoritmi, s katerimi so prepoznane določene geomorfološke oblike. Preizkušena je tudi metoda z obdelavo lokalnih histogramov. Pri tem postopku se vrednosti iz lokalnega okna razvrstijo v ustrezno število razredov in na podlagi tega se izdela histogram. Glede na obliko histograma, ki ga preučimo, sklepamo, za kakšno geomorfološko obliko gre.

V diplomu želimo predstaviti predvsem vizualno analizo delovanja različnih algoritmov na lokalnih oknih različnih dimenzij. Uporabljen je bil DMR različnih ločljivosti (DMV 100, DMV 25 in DMV 12,5, november 2005, © Geodetska uprava RS), ki zajema pravokotno območje velikosti 20×30 km z delom Kamniških Alp, od Domžal na jugu, do Logarske doline in Jezerskega na severu.

Naloga je razdeljena na dva dela. Najprej so podane teoretične osnove z naslednjimi sklopi: osnovne značilnosti digitalnega modela reliefa in njegova uporaba, opredelitev geomorfologije, digitalna obdelava posnetkov in uporaba različnih filtrov ter postopek izdelave lokalnih histogramov. V drugem delu naloge pa je teoretično znanje uporabljeno na praktičnem nivoju, kjer so bile na testnem območju preizkušene različne tehnike obdelave DMR.

2 DIGITALNI MODELA RELIEFA IN GEOMORFOLOGIJA

2.1 Definicija digitalnega modela reliefa

Model stvarnosti je vedno poenostavitev realnega pojava v naravi. V splošnem je modeliranje iskanje preprostejše, abstraktne predstavitve realnega sveta, ki vsebuje njegove bistvene lastnosti (Jurič, 2002). Tudi DMR je poenostavljen model, ki predstavlja obliko zemeljskega površja.

Izmed različnih digitalnih zapisov reliefa sta najpogosteje uporabljana predvsem DMV (digitalni model višin) in DMR (digitalni model reliefa). Pri DMV gre za enostaven zapis v dvorazsežno pravokotno celično mrežo z višinami, zapisanimi kot atributi. Pojem DMR pomeni precej več, in sicer kompleksno predstavitev površja, ki vsebuje višinske točke površja, značilne točke in črte ter druge geomorfološke značilnosti (Podobnikar, 2002a).

Obstaja mnogo različnih definicij DMR in DMV. Na tem mestu jih omenjamo samo nekaj.

DMR razumemo kot digitalni opis oblikovanosti zemeljskega površja. Definicija ne vsebuje le prikaza površja samega, ampak tudi njegov opis z nakloni, ekspozicijo ter plastnicami, padnicami, točkami vrhov ter z drugimi značilnimi črtami in točkami (Podobnikar, 2002a).

DMR je računalniško modelirana ploskev, ki povezuje posamezne točke z določeno (ponavadi absolutno) višino, vključuje pa višinske točke, značilne črte in točke terena ter geomorfološke značilnosti (Petrovič, 2001).

Izraz DMR lahko opišemo kot model izoblikovanosti površja. DMR je način računalniškega prikaza izoblikovanosti površja s števili, ki so običajno zemljepisne dolžine, zemljepisne širine ter nadmorske višine ali kako drugače izražene prostorske koordinate. DMR poleg nadmorskih višin vsebuje še druge prvine izoblikovanosti površja (Perko, 2001).

DMR niso samo podatki o legi in višini danih točk, temveč tudi sam način organizacije podatkov ter nabor vseh metod in tehnik za obdelavo podatkov (Petrović, 1988 cit. po Rihtaršič, 1990).

DMV je digitalna predstavitev reliefa oziroma zemeljske površine. Sestavljen je iz niza prostorskih točk, ki so dane z vsemi tremi prostorskimi koordinatami (npr. x , y , H). V računalniškem smislu je to določen način organizacije in hranjenja podatkov o reliefu, da je možna njihova računalniška obdelava in grafični prikaz (Rihtaršič, 1990).

DMV ali rastrski sloj višin vsebuje samo višinske točke, ki so najpogosteje zapisane v obliki kvadratne celične mreže in pogojno tvorijo ploskev zemeljskega površja (Podobnikar, 2002a).

Pri definiciji DMV je poudarek predvsem na točkovnih zapisih podatkov, definiranih kot del DMR. Jasno mejo med DMV in DMR je torej zelo težko postaviti, saj ju posamezni avtorji različno interpretirajo. Največ se jih omejuje le na rastrsko podan DMV. DMV je torej le eden izmed izvedenih slojev DMR, podobno kot npr. sloj naklonov površja (Podobnikar, 2002a).

Za izraza DMV in DMR se je med strokovnjaki in uporabniki udomačila poenostavljena kratica DMR (digitalni model reliefa), v angleščini pa predvsem DEM (digital elevation model). Glede na to, da definicija DMR v celoti vsebuje definicijo DMV, in zaradi zgodovinskega razvoja pojmov v Sloveniji, je raba izraza DMR kljub manjši pomenski nekorektnosti največkrat upravičena (Podobnikar, 2002a).

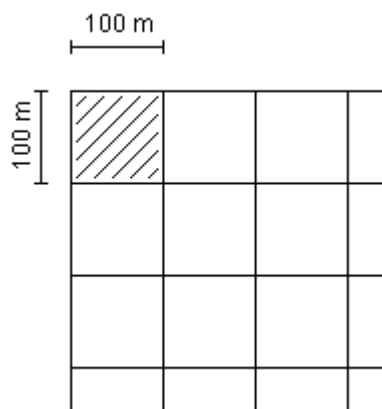
Na kratko lahko povzamemo in predstavimo še nekaj oblik digitalnih zapisov zemeljskega površja (Podobnikar, 2002a):

- **digitalni model višin (DMV) ali rastrski sloj višin** – vsebuje samo višinske točke, ki so najpogosteje zapisane v obliki kvadratne celične mreže in pogojno tvorijo ploskev zemeljskega površja (angl. digital elevation model – DEM),
- **digitalni model reliefa (DMR)** – je kompleksna digitalna predstavitev reliefa, ki poleg višinskih točk reliefa vključuje še značilne črte in točke terena (vsebinsko se ujema z angl. pojmom digital terrain model – DTM, v nekaterih primerih uporabe pa tudi z angl. pojmom digital relief model – DRM),

- **digitalni model terena (DMT)** – je model, ki poleg ploskve reliefa vsebuje tudi podatke o značilnostih naravne pokrajine,
- **digitalni model ploskve (DMP)** – je najbolj splošen izraz za opis ploskve (reliefa) brez dodatnih značilnosti, ki izhajajo iz matematike (angl. digital surface model – DSM). V smislu modeliranja površja Zemlje pa predstavlja DMP ploskev, ki jo dobimo, če upoštevamo tudi površino stavb, dreves ali drugih oblik nad 'golim' površjem. Ta način zapisa zemeljskega površja se uporablja pri laserskem skeniranju (LIDAR),
- **digitalni model pokrajine** – je model, ki poleg ploskve reliefa vsebuje tudi podatke o naravnih in družbenih značilnostih pokrajine (angl. digital landscape model).

2.2 Rastrski podatki

DMV uvrščamo med sloje z rastrskim oziroma matričnim zapisom podatkov. Rastrski podatki so dokaj enostavni in jih je lahko razumeti. Najlažje si jih predstavljamo kot funkcionalno povezano dvorazsežno pravokotno mrežo celic ali slikovnih elementov (pikslov), kjer je vsaki celici prirejena ena ali več vrednosti. Te številke dejansko pomenijo vrednost nekega parametra (v primeru DMV je to nadmorska višina), položaj določene celice v mreži pa geografski položaj danega parametra relativno glede na ostale vrednosti v celični mreži. Celotna celična mreža ima natančno opredeljen geografski položaj območja v naravi, ki ga predstavlja. Definirana je tudi ločljivost celice kot osnovnega elementa v celični mreži. Bistveno za rastrske podatke je, da jih lahko zelo enostavno in učinkovito obdelujemo (Žagavec, 2007).



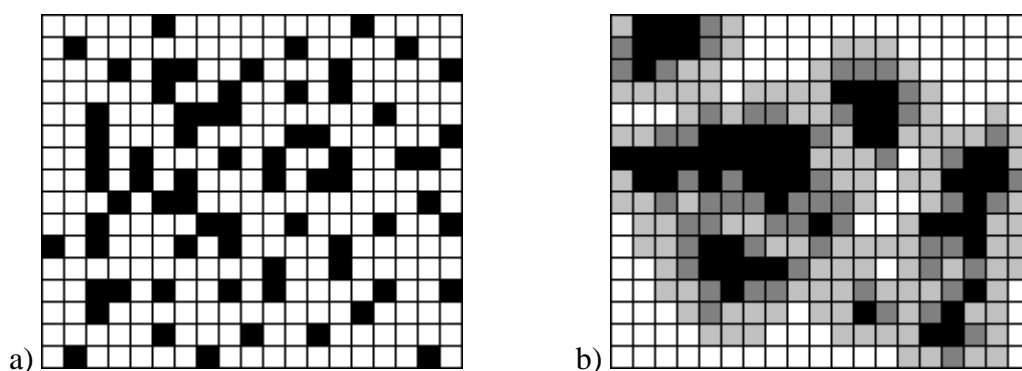
Slika 2.1: Primer velikosti posamezne rastrske celice v naravi

Celična mreža ima definirano ločljivost osnovnega elementa – celice (Slika 2.1). Pri rastrskih podatkih je pomembna izbira ločljivosti modela, saj to odločilno vpliva na natančnost določitve položaja objekta v celični mreži. Ko ločljivost rastrskega modela povečujemo, število podatkov narašča s kvadratom. Če na primer ločljivost povečamo za dvakrat, se število podatkov početrvi (Kvamme et al., 1997).

85	84	79	75	68	66	64	61	60	55
86	82	76	73	72	71	68	63	58	52
92	85	77	75	72	74	72	65	59	55
95	89	81	78	77	76	73	64	56	53
93	91	85	81	79	77	75	61	58	59
92	89	84	80	78	75	72	64	60	61
88	87	84	81	79	72	70	67	63	65
82	86	83	80	77	73	70	69	66	68

Slika 2.2: Primer množice vrednosti v rastrskem oziroma matričnem zapisu

V kvadratno celično mrežo lahko beležimo različne pojave v prostoru, v vsako celico se podatek zapiše kot atribut (Slika 2.2). Lahko evidentiramo prisotnost oziroma odsotnost pojava na nekem območju. To binarno prikažemo v rastru kot ničle in enice. Če evidentiramo kakovost oziroma gostoto pojava, pa podatke zabeležimo kot sivine, ponavadi so to cela števila v razponu vrednosti od 0 do 255 (Slika 2.3).



Slika 2.3: Primeri uporabe celične mreže

- a) evidentirana prisotnost/odsotnost obravnavanega pojava
- b) evidentirana koncentracija/gostota obravnavanega pojava

Rastrske podatke je enostavno obdelovati, saj so mreže podatkov topološko enostavnejše glede na vektorske podatke. Matematični postopki pri obdelavi rastrskih podatkov so že dolgo znani, zato so tovrstna orodja dobro izpopolnjena. Obdelava posnetkov daljinskega zaznavanja je poskrbela za velikanske zbirke algoritmov, s katerimi se uspešno obdeluje satelitske, letalske posnetke in ostale digitalne posnetke. Omeniti je treba tudi to, da skoraj vsak programski jezik vsebuje možnosti zapisa podatkov v matrično obliko, kar omogoča obdelavo rastrskih podatkov (Kvamme et al., 1997).

Z rastrskimi podatki je precej enostavneje izpeljati operacije, ki zahtevajo več različnih podatkov. To so operacije prekrivanja slojev, razvrščanja podatkov v razrede, algebra karte ali Boolove operacije. Ravno preprostost obdelave, kombiniranja in ustvarjanja novih podatkov je ena največjih prednosti rastrskih podatkov in eden od razlogov za njihovo veliko priljubljenost (Kvamme et al., 1997).

Rastrski podatki so primerni za hkratno obdelavo in združevanje poljubnega števila podatkovnih slojev (npr. logične operacije kot so presek ali unija). Še več, taki podatki se enako enostavno obdelujejo tako za točkovne, linijske ali ploskovne objekte. Prav to daje rastrskim sistemom prednost pri večini prostorskih analiz in modeliranju. Topologija rastrskih podatkov omogoča, da lažje delamo z zveznimi površinami (ploskvami), poleg tega pa omogoča tudi njihovo enostavnejše prikazovanje na zaslonu ali na papirju. Hkrati v take sisteme enostavno vključimo podatke, ki so rastrski že po naravi, recimo daljinsko zaznani posnetki ali skenirane fotografije (Kvamme et al., 1997).

Slabost rastrske strukture podatkov je v tem, da pogosto zahteva veliko količino pomnilnega prostora. Danes je ta problematika manj pomembna kot pred leti zaradi napredka tehnologije in večje cenovne dostopnosti. Obstaja tudi več načinov stiskanja podatkov, ki zahteve po pomnilnem prostoru močno zmanjšajo.

Natančnost rastrskega podatkovnega sistema je definirana z velikostjo celice. Če so celice dovolj majhne, lahko določene kategorične pojave prikažemo dokaj dobro. V primeru, da je ločljivost celic nekoliko manjša, pa hitro pride do prevelike generalizacije meja in objektov na posnetku, oblika in velikost posameznih razredov pa se lahko zelo spremeni (Kvamme et al., 1997).

Če celica v rastru prekriva kategorij, ji pripišemo vrednost prevladujoče kategorije. Podobno se dogaja tudi pri zveznih podatkovnih plasteh, kot je DMR. Manjšanje ločljivosti celic rastrske mreže povzroči generalizacijo površja. Majhne doline, vrhovi in podobne značilnosti površja celo izginejo (Kvamme et al., 1997).

2.3 Pridobivanje DMR

Načeloma lahko DMR izdelamo iz izvirnih terenskih meritev, snemanja po različnih metodah daljinskega zaznavanja ali pa podatke o reliefu povzamemo iz obstoječih kartografskih virov.

DMR lahko zajemamo na več načinov (Rozman, 2000):

- **posredno** – viri za zajem DMR so lahko obstoječe karte, aero in satelitski posnetki ali že obstoječi DMR. DMR zajemamo iz kartografskih virov z rastrsko ali vektorsko digitalizacijo. Natančnost in točnost teh podatkov je odvisna predvsem od natančnosti, točnosti in posodobljenosti vira,
- **neposredno** – v to skupino spadajo vsa terenska merjenja, merjenja iz stereoparov ter radarska, laserska in LIDAR snemanja. Natančnost podatkov, ki so pridobljeni z omenjenimi tehnikami, je lahko zelo visoka.

Izbira načina zajema je odvisna predvsem od namena uporabe DMR, konfiguracije terena, zahtevane natančnosti in zanesljivosti, opreme, potrebnega časa za izdelavo, razpoložljivih ustrezno izobraženih kadrov ter velikosti območja, ki ga želimo pokriti (Rozman, 2000).

Za izdelavo DMR lahko pridobimo podatke o višinah iz obstoječih kartografskih virov s pomočjo digitalizacije plastnic in višinskih kot. Določanje višin v celični mreži DMR poteka z uporabo algoritmov interpolacije digitaliziranih plastnic. Večina algoritmov v svoji osnovi temelji na tako imenovani prostorski korelaciji. Ta pravi, da je verjetnost, da so si višine v prostoru podobne, večja, če so položaji blizu skupaj. In nasprotno, če so višine med seboj oddaljene, je večja verjetnost, da se razlikujejo. Če uporabimo to načelo pri izračunu višin, naj bi si bile sosednje višine DMR podobne. Po teh načelih tudi interpolacijski algoritem za vsak kraj z neznano višino poišče najbližje znane višine in iz njih izračuna višino za izbran položaj.

Postopek se ponovi za vsako oglišče celične mreže, dokler ne izračunamo nadmorskih višin za vsa oglišča (Kvamme et al., 1997).

Pogosti metodi pridobivanja podatkov za izdelavo DMR sta fotogrametrija in daljinsko zaznavanje. Ti dve metodi omogočata pridobivanje podatkov za večja območja zemeljskega površja. Pri tem se uporablja digitalno slikovno korelacijo med posnetki, ki se med seboj delno prekrivajo. Daljinsko zaznavanje je tehnologija pridobivanja podatkov o površini Zemlje, ne da bi z njo prišli v neposredni stik. Pri tem izkorišča odbito ali sevano elektromagnetno valovanje, ki se ga zapiše in obdela (Oštir, 2001).

V zadnjih letih so se tehnologije na področju zajemanja podatkov o reliefu izrazito izboljšale in pocenile. Omeniti velja razvoj tehnologije laserskega skeniranja, ki omogoča zajem velike količine podatkov površja s položajno natančnostjo 10 cm ali manj in višinsko natančnostjo okrog 5 cm (Podobnikar in Mlinar, 2006a)

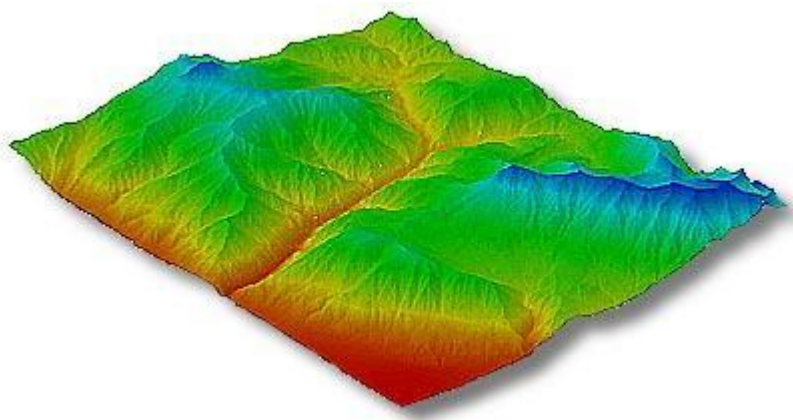
V letih 1998–2001 je bila razvita nova inovativna metoda izdelave DMR. Ker so različne inštitucije skozi daljše časovno obdobje zajele precej kakovostnih podatkov o reliefu in ti podatki vsebujejo lokalno boljše informacije o reliefu kot najboljši DMR za celotno državo, je iz takih podatkov možno izdelati model, ki je precej boljši od obstoječih modelov, in to brez vsakršnega novega zajemanja podatkov (Podobnikar in Mlinar, 2006b). Pogosto večina teh podatkov vsebuje grobe ali celo sistematične napake, metapodatki pa so večkrat težko primerljivi med seboj, ker niso standardizirani. Kljub temu pa metoda potrjuje hipotezo, da je možno s primerno obravnavo podatkov odpraviti grobe in sistematične napake ter izpostaviti najboljše lastnosti obstoječih virov in jih integrirati v model, ki je v celoti boljši od posameznega vira (Podobnikar in Mlinar, 2006b).

Pomembna prednost opisanega koncepta je v tem, da omogoča ekonomično izdelavo digitalnega modela reliefa visoke geomorfološko-vizualne in statistične kakovosti, kakršnega si želi večina uporabnikov. Posebej velja poudariti, da je pri ekonomiki pomembna tudi »živost« modela izdelave. Dobljeni model reliefa lahko namreč enostavno nadgrajujemo z novimi, boljšimi podatki (Podobnikar, 2002b). S pomočjo te tehnike je bil na Inštitutu za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU v letih od 2003 do 2005 izdelan za Slovenijo in

širšo okolico še natančnejši in bolj izpopolnjen Digitalni model reliefa Slovenije, ločljivosti 12,5 m (Podobnikar in Mlinar, 2006b).

2.4 Izdelki iz digitalnega modela reliefa

DMR je pri številnih uporabah GIS in raziskavah eden izmed najpomembnejših slojev. Iz njega je mogoče ustvariti vrsto podatkov o prostoru, kot so: naklon površja, ekspozicija, koeficient razgibanosti površja, položaj gorskih grebenov in vrhov, izdelava analitičnega senčenja, vidnost med posameznimi točkami. Verjetno je najenostavnejši namen uporabe DMR prikazovanje površja s perspektivnimi pogledi. Perspektivni pogledi zelo dobro predstavijo razgibanost obravnavanega območja (Slika 2.4).



Slika 2.4: Perspektivni pogled zemeljskega površja

http://www.scisoft-gms.com/wms_details/wms_details.html

DMR se uporablja tudi na naslednjih področjih (Rihtaršič, 1990; Kvamme et al., 1997; Podobnikar T., 2001):

- podpora pri kartografiji,
- podpora pri prostorskem planiranju,
- podpora pri meteorologiji,
- ocenjevanje stopnje tveganja nastanka plazov,
- predvidevanje poplavnih območij,
- izračun volumnov ob spremenjeni oblikovanosti zemeljskega površja,
- podpora pri avtomatizaciji aerotriangulacije,

- podlaga za izdelavo digitalnih ortofotov,
- določanje značilnih točk in linij površja (npr. grebeni, vrhovi, doline),
- analize razvodij (lahko iščemo razvodja, ki zamejujejo posamezna porečja),
- izračun osončenja in osenčenja zemeljskega površja,
- analiza prehodnosti terena,
- analiza pokritosti območja z radiosignali,
- podpora pri arheologiji,
- podpora pri načrtovanju gospodarske javne infrastrukture,
- podpora pri vodenju vojaških sistemov,
- simulacije letenja itd.

2.4.1 Perspektivni prikaz

V kartografiji so se pri upodabljanju reliefa na dvodimenzionalnih kartah razvile različne tehnike, ki naj bi človeku ponazarjale obliko reliefa v določenem merilu. Mnoge od teh tehnik, še posebej prikazi s plastnicami, s senčenjem in skalnimi šrafami ter s hipsometričnimi pasovi človeku vsaj delno dajejo občutek trirazsežnosti prikazanega območja. Z vidika predstavitve oblikovanosti površja določenega območja pa je še najbolj prepričljiv perspektivni pogled z uporabo digitalnega modela reliefa (Keresteš, 2000).

Pri prikazovanju pokrajine s perspektivnimi pogledom, si poljubno izberemo zorni kot gledanja, višino, s katere gledamo, in naklon gledanja. Na podlagi teh parametrov se oblikuje perspektivni pogled, ki nazorno predstavi obravnavano območje (Kvamme et al., 1997). Slabosti perspektivnega pogleda so, da merilo na prikazu ni enotno, da je prikaz nemetričen, jasnost prikaza je manjša, nekateri deli območja pa so lahko skriti (npr. za vzpetinami).

Tudi prikaz digitalnega ortofota, ki je napet na sloj DMR, ni več redkost. Pri 2,5 razsežnih prikazih prostora je DMR osnovni sloj, ki je nujno potreben. Na to podlago pa je mogoče napeti razne tematske sloje (Slika 2.5).



Slika 2.5: Perspektivni pogled površja – barvni ortofoto napet na sloj DMR

Vir: http://www.cgrit.it/en/products/modello_digitale.html

2.4.2 Analitično senčenje reliefa

Še nedavno tega je bilo analitično senčenje reliefa predvsem ročna tehnika, ki je temeljila na spretnosti in izkušnosti kartografa, da prikaže oblikovanost zemeljskega površja zgolj s sencami. Kartograf je sam ročno poskušal narisati sence na oleato, ki jo je prekril prek obstoječe karte plastnic. Danes pa se senčenje reliefa izdeluje z uporabo DMR in algoritmi, ki so vgrajeni v sisteme GIS (Kvamme et al., 1997).

Za vizualne prostorske analize je analitično senčenje DMR ena od pomembnih operacij. Pri tem je vselej upoštevan položaj svetlobnega vira in odbojnost svetlobe od površja. V primeru, da so izhodiščni podatki za izvedbo te operacije nadmorske višine, dobimo kot rezultat posnetek senčenja zemeljskega površja, ki nam omogoča dobro interpretacijo geomorfoloških značilnosti. Zaradi izrazitega vtisa plastičnosti spada senčenje med pomembnejše in najpogosteje uporabljene načine prikazovanja reliefa na različnih topografskih in tematskih kartah ter drugih prikazih zemeljskega površja (Fridl, 1999).

V praksi je pri analitičnem senčenju uporabljena osvetlitev s severozahodne strani neba, ki je sicer v nasprotju z dejanskim stanjem v naravi, vendar je znano, da v primeru osvetlitve z južne smeri dobimo vtis negativne slike. Rezultat pri senčenju površja je ta, da so za severozahodne lege površja izbrani najsvetlejši sivi toni, za jugovzhodne lege pa temnejši toni (Fridl, 1999).



Slika 2.6: Analitično senčenje na podlagi DMR

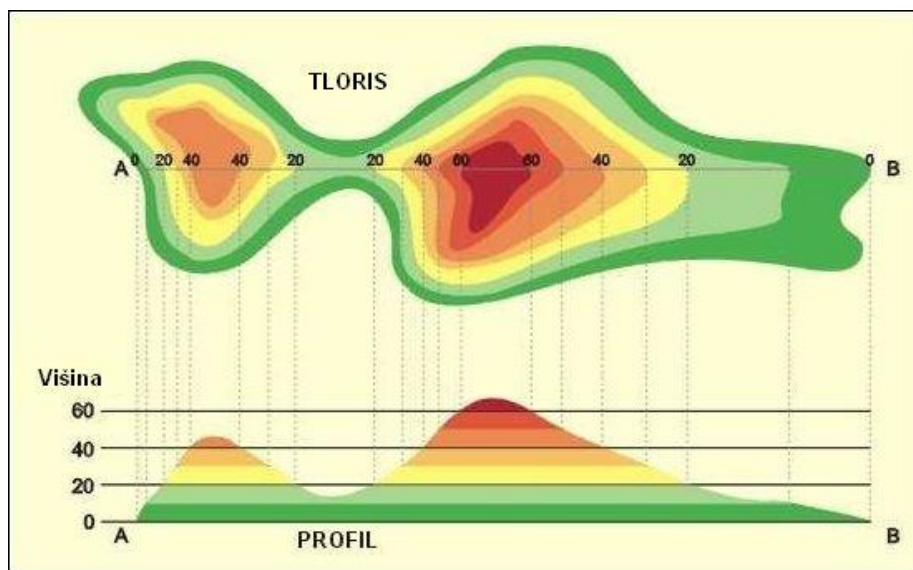
Vir: <http://www.hear.org/starr/maps/stock/hillshade.htm>

Za izračun analitičnega senčenja obstaja več različnih tehnik, na tem mestu pa je predstavljen le osnovni način izdelave tega sloja. Postopek poteka tako, da se za vsako celico matrike DMR izračuna odboj svetlobe. Na podlagi usmerjenosti in naklona površja ter položaja svetlobnega vira se za vse celice določi velikost odboja svetlobe. Odboj svetlobe je odvisen od velikosti kota med normalnim vektorjem površja in vektorjem svetlobnega vira, kar pomeni: manjši je kot med tema dvema vektorjema, večji je odboj svetlobe oziroma bolj kot je lega površja pravokotna na smer svetlobe, večji je odboj (Kvamme et al., 1997; Radovan, 2005).

2.4.3 Izračun profilov in prečnih prerezov in prostornine

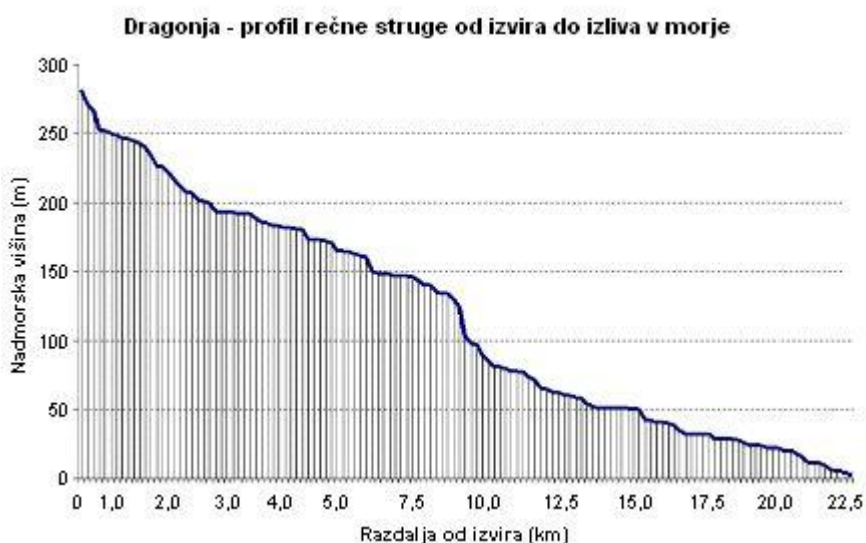
Pri velikem številu inženirskih problemov se računa profile površja ali pa prečne prereze na določenih trasah (cesta, reka). Namen teh izračunov je najpogosteje določanje količine

materiala, ki ga je treba pri nekaterih posegih v prostor odstraniti ali nasuti na določeno območje, da bi ga ustrezno pripravili za gradbene in druge posege (Slika 2.7). Pred posegom v prostor se najprej izdelata digitalni model reliefa. Na podlagi načrtov posegov se izračuna pričakovani novi model reliefa. Od slednjega nato odštejemo prvotni model in nato z numerično integracijo določimo količino materiala, ki ga je treba pripeljati ali odpeljati (Kvamme et al., 1997).



Slika 2.7: Vzdolžni prezek reliefa

Vir: http://www.empi2.pl/plyty/geolo1/geo1_ekran13.htm



Slika 2.8: Vzdolžni prezek rečne struge

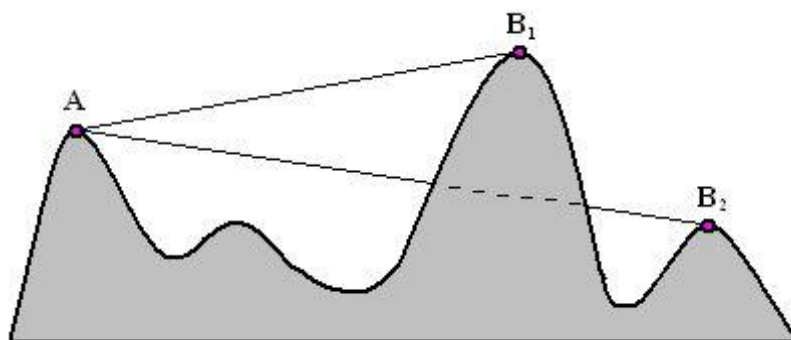
Vir: <http://www.burger.si/Obala/Dragonja/uvod.html>

DMR se uporablja tudi za načrtovanje tras cest in vodovoda. V tem primeru na podlagi normativov največjih ali najmanjših naklonov, radijev ukrivljenosti in podobnega izračunavamo najboljše trase cest ali vodovoda. Pri načrtovanju trase ceste je mogoče določiti optimalno varianto izvedbe s čim manj zemeljskih del (kopanje usekov, nasipanje). DMR pa omogoča tudi prikaz profilov terena po lomljeni črti, recimo po vsej reki ali cesti (Slika 2.8).

2.4.4 Izdelava kart vidnosti

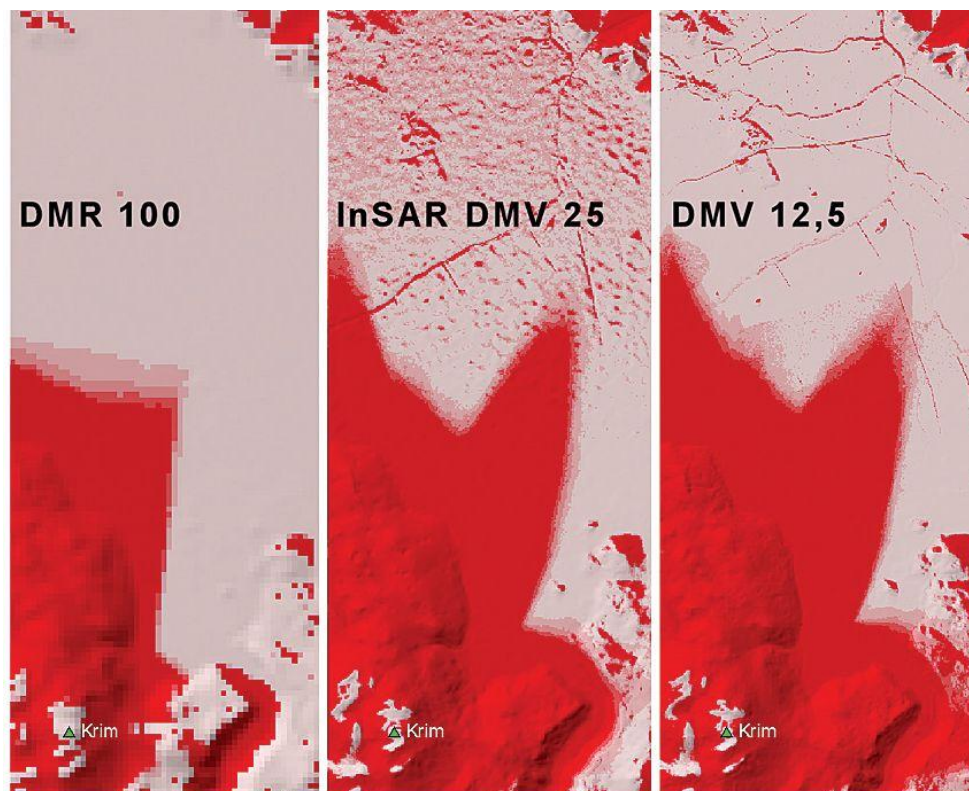
Zmožnost določanja vidnosti med različnimi točkami zemeljskega površja je zelo pomembna za načrtovanje radijskih in drugih brezžičnih zvez, načrtovanje vojaških operacij, preučevanje možnosti turističnih dejavnosti in različne študije prostora. Izdelava kart vidnosti na podlagi digitalnega modela reliefa je dokaj enostaven postopek.

Točko, za katero želimo poiskati vidno polje, moramo na modelu reliefa označiti, nato pa se iz nje v vse smeri pošljejo premice. Algoritem nato določi točke v pokrajini, ki zakrivajo pot premicam (Slika 2.9). Vse točke v pokrajini, za katere algoritem izračuna, da niso zakrite, se na določen način označijo in dobimo preprost digitalni prikaz vidnosti iz določene točke (Slika 2.10). Ker DMR ne vsebuje vseh podatkov, ki vplivajo na vidnost (npr. podatke o višinah stavb, višinah rastlinskega pokrova itd.), moramo biti pri uporabi tako izdelanih kart pazljivi (Kvamme et al., 1997).



Slika 2.9: Algoritem iskanja vidljivosti

Vir: Kvamme et al., 1997



Slika 2.10: Simulacija vidnosti z oddajnika na Krimu glede na različne kakovosti slojev DMR

Vir: Podobnikar, 2006

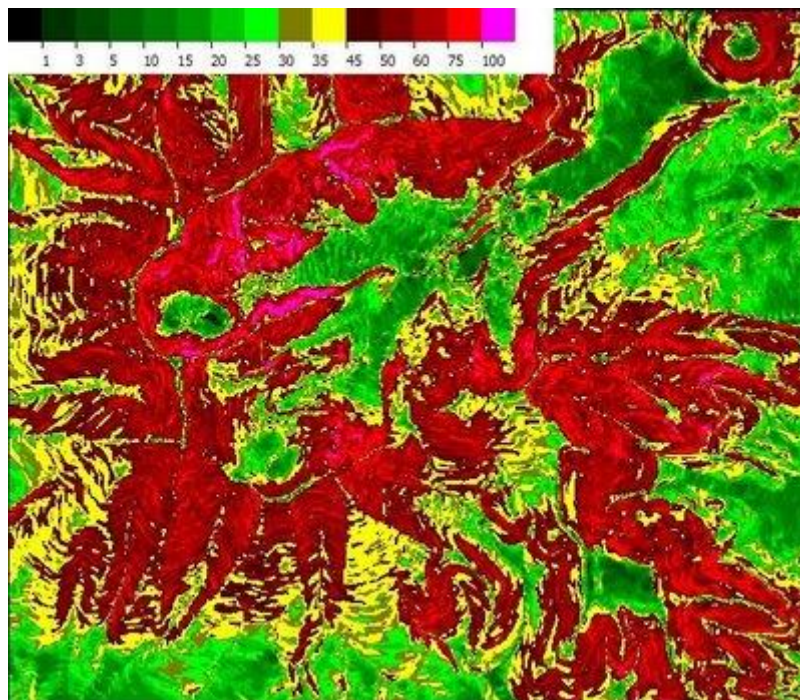
2.4.5 Izračun naklona površja, ekspozicije, konveksnosti in konkavnosti površja

Če imamo DMR, lahko z uporabo preprostih algoritmov, ki jih vsebuje vsak geografski informacijski sistem, hitro in enostavno izračunamo podatkovne sloje naklona površja, ekspozicije ter konveksnosti in konkavnosti površja.

Naklon površja v posamezni točki določata tangentna ravnina in normalni vektor, kar je mogoče izračunati s pomočjo gradienta modela reliefa. Naklon površja se izraža v kotnih stopinjah ali v odstotkih, včasih tudi v promilih (Slika 2.11). Ekspozicija površja pa predstavlja usmerjenost zemeljskega površja glede na azimut (Slika 2.12), kar tudi določimo preko gradienta.

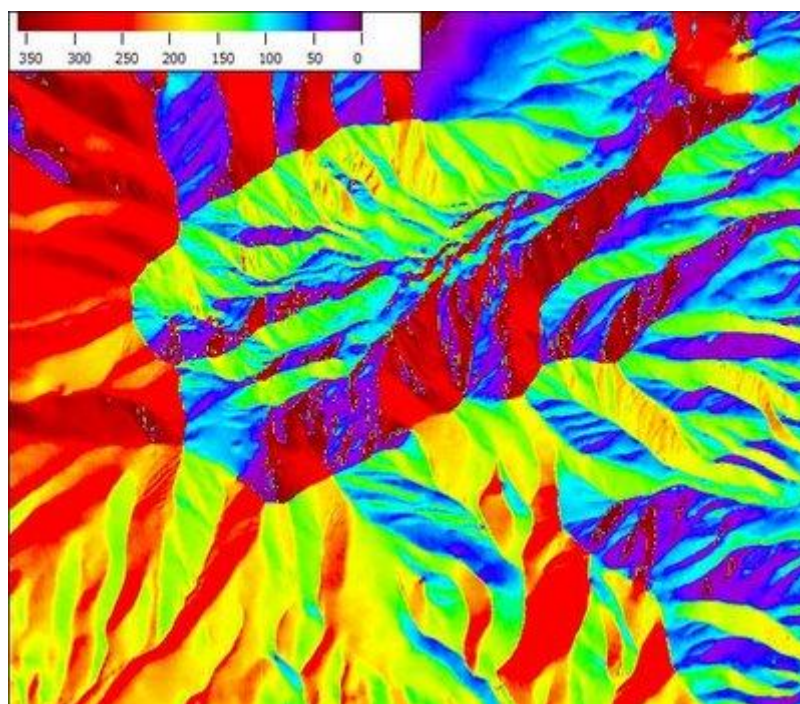
Gradient, ki predstavljata prvi odvod modela reliefa, za večino prostorskih analiz povsem zadošča. Včasih, predvsem pri geomorfoloških analizah, pa moramo uporabiti tudi druge odvode. Ti določajo stopnjo spreminjanja naklona, ki je lahko seveda naraščajoča ali padajoča. V prvem primeru so ploskve konveksne, v drugem pa konkavne. Odvode ploskev

ponavadi določamo krajevno za vsako celico višinske mreže. Pri tem uporabljamo lokalno okno velikosti 3×3 , ki ga zaporedno premikamo prek vse karte (Kvamme et al., 1997).



Slika 2.11: Nakloni površja v odstotkih

Vir: <http://freegeographytools.com/2007/terrain-slopeaspect-display-and-analysis>



Slika 2.12: Ekspozicija površja s kontinuirano barvno lestvico

Vir: <http://freegeographytools.com/2007/terrain-slopeaspect-display-and-analysis>

2.5 Geomorfologija

2.5.1 Definicija geomorfologije

Geomorfologija je veda o oblikovanosti in strukturi zemeljskega površja (reliefa) ter njenih spremembah na kopnem in morskem dnu (Podobnikar, 2001). Spada med geo-znanosti in je blizu zlasti geologiji in geografiji.

Zanimajo jo reliefne oblike, njihova razširjenost, vzroki in procesi nastanka ter njihova odvisnost od sil, ki ustvarjajo relief. Posebno pozornost posveča endogenim in eksogenim silam in procesom, ki neprenehoma, istočasno in v stalni medsebojni soodvisnosti oblikujejo relief. Preučevanje reliefa samega na sebi ni poglobljen cilj geomorfologije. Njen osnovni metodološki princip obstaja v tem, da raziskuje relief kot eno od komponent vsake pokrajine, vendar v tesni soodvisnosti in medsebojni pogojenosti z drugimi komponentami tega okolja (Vrišer, 2002).



Slika 2.13: Izsek iz karte, ki prikazuje geomorfološke značilnosti kopnega in morskega dna

Vir: <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/image/2minrelief.html>

Geomorfologijo lahko razdelimo na več smeri. Strukturna geomorfologija preučuje odnos med geološkimi strukturami in površinskimi oblikami, dinamična geomorfologija razlaga oblikovalne procese, klimatska geomorfologija se ukvarja z odvisnostjo teh procesov od podnebja, inženirska geomorfologija rešuje konkretne probleme, ki se dotikajo oblikovanja površja (Natek, 2003). Področji znotraj geomorfologije sta tudi geomorfografija, kar pomeni opisovanje oblik zemeljskega površja, in geomorfometrija, ki se ukvarja z merjenjem in matematično analizo oblik zemeljskega površja (Pavšič, 2006).

Geomorfološko delo je deljeno tudi glede na skupine pojavov, ki se jih preučuje in so značilni za določena okolja: fluvialna geomorfologija, kraška geomorfologija, ledeniška geomorfologija, periglacialna geomorfologija, obalna geomorfologija, geomorfologija puščav, geomorfologija visokogorja idr. (Natek, 2003).

Uporabna vrednost geomorfologije se izraža v predvidevanju različnih geomorfoloških procesov, na primer predvidevanje plazov in ukrepanju, pri varnostnih ocenah prostorskega načrtovanja, pri nadzoru vodnih tokov in sanaciji, odkrivanju tektonskih prelomov, varovanju obalnih predelov itd.

2.5.2 Geomorfološke značilnosti reliefa

Oblika zemeljskega površja je posledica zapletenega součinkovanja dveh osnovnih procesov: endogenih in eksogenih sil. Ti dve skupini sil sta si v nasprotju, saj prva izmed njih, v katero sodijo tektonika plošč, vodoravni in navpični premiki le-teh ter vulkanizem, višino površja v splošnem povečuje, medtem ko eksogene sile, to so erozijski, denudacijski in akumulacijski procesi, višino površja zmanjšujejo. Obstaja tesna povezanost med geološko strukturo, podnebjem in procesi preoblikovanja zemeljskega površja, kar ustvarja različne reliefne tipe in specifične značilnosti zemeljskega površja (Vrišer, 2002).

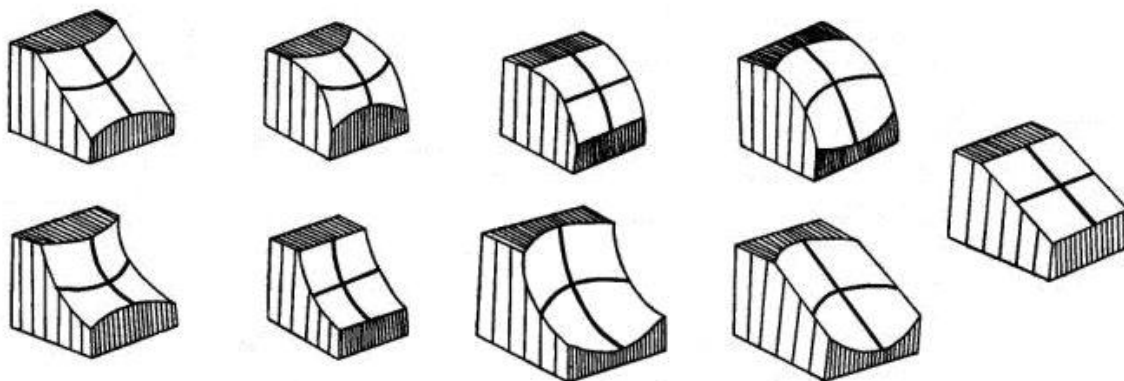
Po nastanku ločimo različne reliefne tipe zemeljskega površja (Natek, 2003):

- rečni (normalni) relief,
- kraški relief,
- strukturni relief,

- ledeniški relief,
- obalni relief,
- vetrni (eolski) relief.

Geomorfološki oziroma reliefni tipi površja se nanašajo na razgibanost in značilna območja. Na razgibanost površja kot najpomembnejši dejavnik vplivajo spremenljivke, kot so nakloni, ekspozicija, ukrivljenost in nadmorske višine. Razgibanost lahko klasificiramo na območja ravnin, gričevij, hribovij, gorovij ter visokih in nizkih planot (Podobnikar, 2001). Značilne oblike zemeljskega površja ali reliefne oblike pa so na primer doline, vrtače, vrhovi, grebeni, pobočja, sedla, vzpetine, ravnine, soteske, ježe, terase itd.

Pri geomorfoloških analizah se obravnavata dve ukrivljenosti reliefa, s katerima lahko opišemo oblike zemeljskega površja (Slika 2.14). Podolžna ukrivljenost je ukrivljenost reliefa po dolžini pobočij (padnicah). Veliko nam pove o dolžini in razgibanosti pobočja. V kombinaciji z naklonom površja je pomemben pri izračunih plazljivosti pobočij. Prečna ukrivljenost je ukrivljenost reliefa prečno po pobočjih (v smeri plastnic) in nam pomaga razbrati značilnosti in razgibanost reliefa.



Slika 2.14: Primeri geometrijskih oblik reliefa (obravnavata podolžne in prečne ukrivljenosti)

Vir: www.geka.univerzita.com/dokumenty/11eto/geomorfo.doc

3 DIGITALNA OBDELAVA POSNETKOV

Poleg metod, ki se uporabljajo samo za analize DMR (izračun naklona, ekspozicije, analitično senčenje ipd.), lahko DMR smatramo kot podatkovni sloj v rastrski obliki in pri tem za analizo uporabimo metode, ki se sicer uporabljajo za obdelavo digitalnih posnetkov (Podobnikar in Možina, 2008). Zato je pomembno podati nekaj osnov obdelave digitalnih posnetkov (angl. image processing).

Digitalni posnetek je pravzaprav matrika diskretne množice števil, ki je rezultat pridobitve podatkov o nekem objektu v naravi. Kljub zveznim prehodom v naravi se na posnetku izračuna povprečno stopnjo sivinskega odtenka za določeno območje, kar pomeni, da vsaki točki rastra dodelimo neko število. Sivino vsake rastrske celice na posnetku si lahko predstavljamo kot funkcijo položaja $f(x, y)$ za vsako celico posnetka (Kvamme et al., 1997).

Pri obdelavi digitalnega posnetka lahko dobimo tako metrične kot tudi semantične podatke. Pridobivanje metričnih podatkov pomeni, da želimo izmeriti razsežnosti nekega objekta na zemlji. Pri pridobivanju semantičnih podatkov pa je naš cilj natančno spoznati lastnost objekta.

3.1 Operacije na digitalnih posnetkih

Poznamo več tipov rastrskih operacij glede na obseg (Radovan, 2005):

- točkovne,
- lokalne,
- globalne,
- večslikovne.

Točkovne operacije delujejo na eni celici, medtem ko se lokalne operacije izvajajo tako, da se celica izračuna glede na njeno okolico. Globalne operacije spremenijo vrednosti vseh celic na posnetku (na primer razteg histograma). Večslikovne operacije pa delujejo tako, da obdelujejo hkrati več posnetkov.

Glede na funkcijo pa rastrske operacije ločimo na (Radovan, 2005):

- operacije s tonskimi vrednostmi,
- geometrične operacije,
- frekvenčne operacije,
- korelacija.

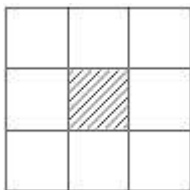
V tej nalogi bomo obravnavali operacije s tonskimi vrednostmi in frekvenčne operacije. Uporabljeni so algoritmi za lokalno obdelavo digitalnih posnetkov.

3.2 Filtriranje z uporabo lokalnega okna

Filtriranje je eno najuporabnejših orodij računalniške grafike, saj omogoča izločanje pomembnih podatkov iz posnetkov, izboljšanje kvalitete posnetkov, iskanje objektov na posnetkih in drugo. Nekateri postopki filtriranja močno spremenijo izgled izvirnega posnetka.

Da bi lahko ugotavljali značilnosti reliefa (geomorfološke značilnosti), ne moremo hkrati obravnavati celotnega območja DMR, temveč raziskujemo območje po delih. To najenostavneje storimo na ta način, da po celotnem rastru DMR pošljemo lokalno okno. Vrednosti v lokalnem oknu se primerno obdelajo, rezultat obdelave pa se zapiše v končno matriko. Po izvedbi operacije se lokalno okno premakne in postavi na naslednjo celico rastra DMR.

Lokalno okno je najpogosteje kvadratna matrika dimenzij 3×3 , 5×5 , 7×7 ali več. Taka struktura lokalnega okna ima centralni piksel in okolico (Slika 3.1), kar omogoča primerjavo centralnega piksla s celicami v njeni okolici.

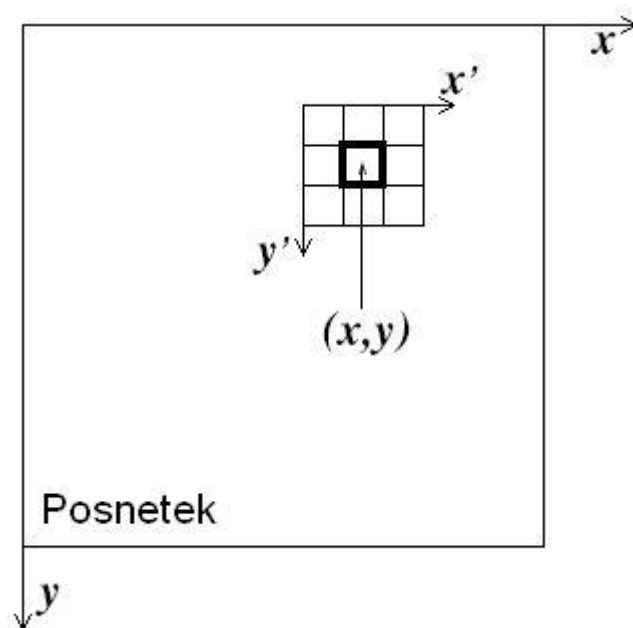


Slika 3.1: Centralni piksel v lokalnem oknu dimenzije 3×3

Velikost lokalnega okna je odvisna od namena, kakšno obdelavo posnetka želimo. Čim večja je velikost lokalnega okna, tembolj je rezultat odvisen od okolice centralnega piksla. Tudi ločljivost matrike DMR je pomembna pri izbiri velikosti lokalnega okna. Ni vseeno, če obdelujemo z enako velikim lokalnim oknom, na primer DMV 100 ali DMV 25, ker so na različnih modelih prisotne različne podrobnosti zemeljskega površja.

Lokalna okna so lahko tudi kvadratne matrike sodih dimenzij ali matrike z obliko pravokotnika, vendar v tem primeru nimamo več centralnega piksla.

Na Slika 3.2 je prikazano lokalno okno dimenzije 3×3 , ki se giblje po posnetku. Njegov centralni piksel se nahaja na koordinati (x, y) . Lokalno okno ima lastni lokalni koordinatni sistem (x', y') .



Slika 3.2: Premikanje lokalnega okna po celotnem posnetku

Vir: Csetverikov, 2007c

Obdelava vrednosti v lokalnem oknu lahko poteka na več načinov. Prvi način je ta, da vrednosti iz lokalnega okna preberemo, jih sortiramo in obdelamo ter rezultat zapišemo v končno matriko. Primeri tega so izračun aritmetične sredine, mediane, modusa, izračun minimalne ali maksimalne vrednosti v lokalnem oknu.

Drugi način obdelave vrednosti v lokalnem oknu je obdelava z izbrano matriko, ki jo imenujemo filter (ali maska). Dimenziji lokalnega okna in filtra sta enaki. V tem primeru se izračuna vsota produkta istoležnih elementov v matrikah in jo zapiše v izhodno matriko (Slika 3.3). Lokalno okno se nato premakne naprej po posnetku in postopek se ponovi.

3	2	8	7	8	8
2	2	7	8	7	7
2	3	9	9	8	8
1	2	9	9	7	8
2	2	8	8	8	8
2	3	7	7	9	7

 $\ast \frac{1}{16} \begin{matrix} \begin{matrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{matrix} \end{matrix} =$

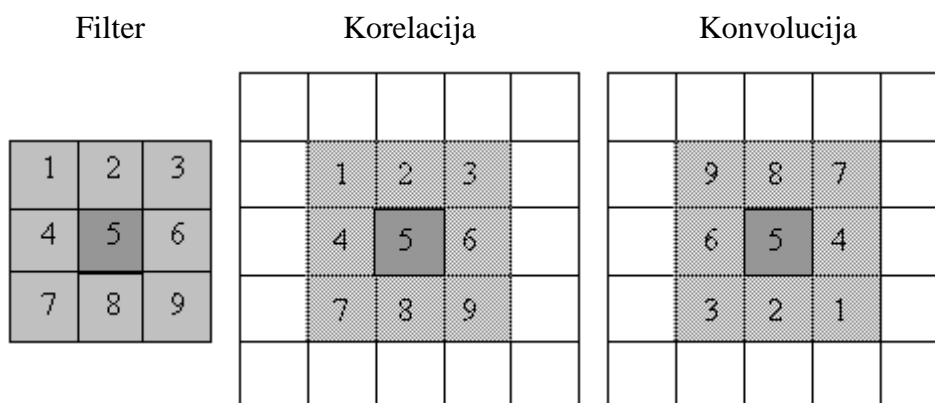
-	-	-	-	-	-
-	4	-
-	-
-	-
-	-
-	-	-	-	-	-

$$\frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2 + 8 \cdot 1 + 2 \cdot 2 + 2 \cdot 4 + 7 \cdot 2 + 2 \cdot 1 + 3 \cdot 2 + 9 \cdot 1}{16} = \frac{58}{16} \approx 4$$

Slika 3.3: Primer filtriranja digitalnega posnetka s konvolucijo (Gaussov filter)

Vir: Csetverikov, 2007c

Tukaj ne gre za množenje matrik med seboj, temveč za metodi korelacije ali konvolucije. Razlika med konvolucijo in korelacijo je ta, da imamo pri konvoluciji filter hkrati horizontalno in vertikalno zrcaljen (Slika 3.4). Ker je filter običajno simetrična matrika, se postopka med seboj ne razlikujeta.



Slika 3.4: Razlika med korelacijo in konvolucijo pri obdelavi digitalnega posnetka

Vir: <http://radonc.urmc.rochester.edu/wodell/courses/BMEgradLab/ImgProcOutline3.html>

Oblika filtra (vrednosti koeficientov v filtru) določa učinek filtra, ki ga ta povzroči na posnetku. Rezultat filtriranja je lahko:

- glajenje (nizkoprepustni filtri),
- ostrenje (visokoprepustni filtri),
- odkrivanje robov (filtri za odkrivanje robov).

Tretji način uporabe lokalnega okna je kartiranje določenih vrednosti iz lokalnega okna v končno matriko. V lokalnem oknu se preberejo vse vrednosti celic, ki se jih razvrsti po velikosti, lahko pa se vrednosti razvrsti tudi v razrede. Nato se kartira v končno matriko vrednosti, ki jih raziskujemo, na primer minimalno ali maksimalno vrednost v lokalnem oknu ali celo vrednosti iz izbranega razreda.

3.3 Nizkoprepustni filtri

Nizkoprepustni filtri (angl. low pass filter) so filtri, ki izvajajo glajenje in odpravljajo šum. To so filtri, ki prepuščajo komponente nizkih frekvenc, visoke pa zaustavijo. Torej prepuščajo počasno spreminjanje vrednosti med bližnjimi piksli na posnetku, odstranjujejo pa vrednosti pikslov, ki se močno razlikujejo od okolice (Vičič, 2007). Izstopajoče vrednosti pikslov se nadomestijo z neko povprečno vrednostjo okoliških pikslov.

Stopnja glajenja je določena z velikostjo filtra in vrednostmi koeficientov filtra. Večji kot je filter, bolj je posnetek glajen, saj piksli v okolici bolj vplivajo na centralni piksel (Vičič, 2007). Postopek glajenja je odvisen tudi od vrednosti koeficientov filtra, ki omogočajo učinke od močnega do šibkega glajenja. Močno glajenje se doseže takrat, ko imajo piksli v okolici večji pomen od centralnega piksela, šibkejšo glajenje pa takrat, ko ima centralni piksel večji pomen kot piksli v okolici (Kvamme et al., 1997).

Posnetek, ki ima veliko šuma, nizkoprepustni filter dobro obdela. Nizkoprepustni filtri so primerni za umirjanje preostrih in pregrobih posnetkov. Rezultat take obdelave posnetka so nekoliko zamegljeni objekti in nežnejših robov (Vičič, 2007).

Na Slika 3.5 je predstavljenih nekaj nizkoprepustnih filtrov, ki imajo različne učinke glajenja, od močnega do šibkega.

$$\text{a) } \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{b) } \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{c) } \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 4 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{č) } \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

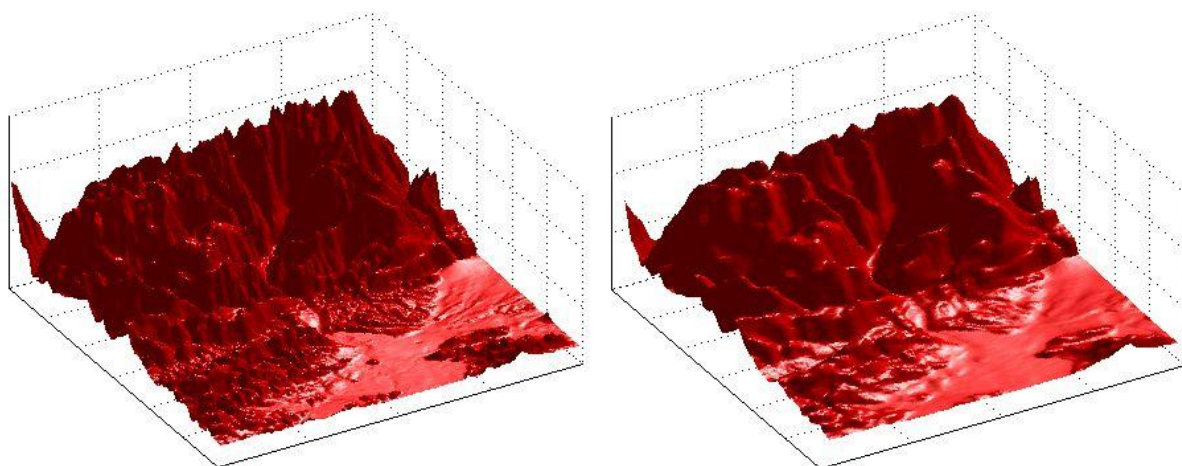
Slika 3.5: Nekaj primerov nizkoprepustnih filtrov

a) povprečje, b) Gaussov filter, c) uteženo povprečje, č) uteženo povprečje

Med nizkoprepustne filtre uvrščamo (Kvamme et al., 1997):

- filter povprečenja (aritmetična sredina),
- filtri uteženega povprečenja,
- sredinski filter (mediana),
- Gaussov filter.

Uporaba nizkoprepustnih filtrov pri DMR lahko pride v poštev, kadar so bili za izdelavo DMR uporabljeni neprimerni interpolacijski algoritmi. Tako izdelani DMR je nekoliko preveč robusten, geomorfološko nepravilen. Zaradi narave interpolacijskih algoritmov v izdelanem DMR pride do napak, ki so dobro vidne pri prikazovanju izdelanega DMR v perspektivnih pogledih. Po glajenju dobimo DMR, ki je precej bolj zvezen od prvotnega (Kvamme et al., 1997).



Slika 3.6: Primer prvotnega in glajenega DMV 100 z medianinim filtrom velikosti 7×7

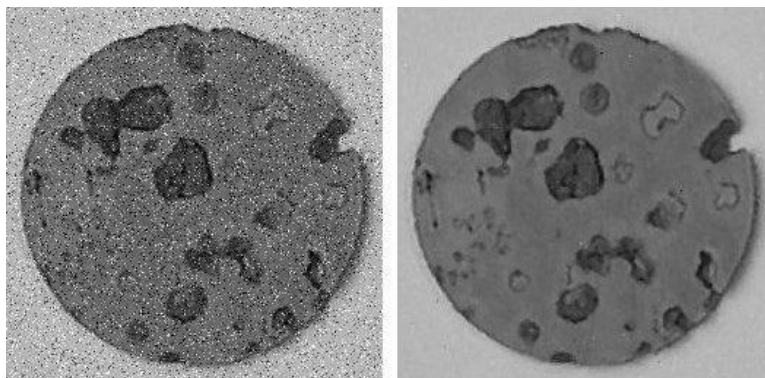
Poudariti je treba, da ima glajenje DMR tudi vrsto pomanjkljivosti, zato ga moramo zelo previdno uporabljati. Res je, da se prvotna grobost hribov, strmin in ravnin z glajenjem zmanjša. Vendar filter obenem spremeni tudi neizrazite grebene, dolinice, vrhove, jame in planote, tako da zmanjša višino gričev, zapolni jame in doline ter zaokroži grebene in planote (Kvamme et al., 1997).

3.3.1 Filter povprečenja

Filter povprečenja je enostaven in pogosto uporabljan filter. Temelji na predpostavki, da na vrednost končnega piksla enakovredno vpliva vrednost centralnega piksla in pikslov v njegovi okolici. Ta filter v mnogih primerih močno vpliva na robove objektov na sliki, zato ga je treba uporabljati precej previdno (Kvamme et al., 1997).

3.3.2 Sredinski filter (mediana)

V primerjavi s filtrom povprečenja, ki izračuna končno vrednost piksla kot povprečje vrednosti v lokalnem oknu, je sredinski filter nekoliko drugačen. Izhodni piksel je izračunana mediana vseh vrednosti v lokalnem oknu. S tem je omogočena večja ohranitev robov objektov na posnetku (Kvamme et al., 1997). Sredinski filter spada med nelinearne filtre in je zelo učinkovit pri odpravljanju šuma na posnetku.



Slika 3.7: Primer odstranjevanja šuma na posnetku s sredinskim filtrom

Vir: <http://tracer.lcc.uma.es/problems/mfp/mfp.html>

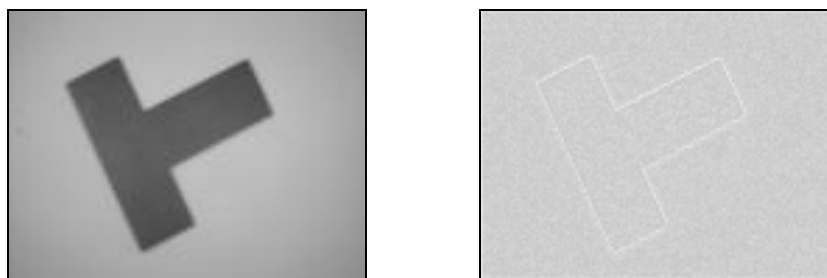
3.3.3 Gaussov filter

Gaussov filter je zelo učinkovit pri odstranjevanju naključnih napak na digitalnih posnetkih. Čeprav je matematična podlaga tega filtra dokaj zapletena, je njegova logika zelo enostavna. Filter predpostavlja, da je končna vrednost piksla odvisna od vseh celic v lokalnem oknu, vendar tako, da celice, ki so bližje centralnemu pikslu, vplivajo na rezultat močneje od tistih, ki so dlje (Kvamme et al., 1997).

3.4 Visokoprepustni filtri

Visokoprepustni filtri (angl. high pass filter) prepuščajo oziroma poudarijo podrobnosti na posnetku, poveča se kontrast in so vzporedni operaciji odvajanja (Oštir, 2005). Pri uporabi teh filtrov moramo paziti na šum, ki ga tudi poudarjajo. V to skupino visokoprepustnih filtrov spadajo tudi filtri odkrivanja robov (Csetverikov, 2007a).

Izpostavijo se visokofrekvenčne sestavine posnetka, kar pomeni izostritev linij, robov ter ostalih detajlov na posnetku. Tovrstni filtri omogočajo enostavno razpoznavanje in poudarjanje objektov na Slika 3.8.



Slika 3.8: Primer izločanja robov z visokoprepustnim filtrom

Vir: <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/unsharp.htm>

Ponavadi imajo visokoprepustni filtri visoke vrednosti centralnega piksla glede na ostale vrednosti v filtru. Vrednost piksla na območju velikih sprememb na posnetku je pomnožena z visoko vrednostjo centralnega piksla, sosednje celice pa manj vplivajo na vrednost novega piksla. Tako se poudarijo hitre spremembe na posnetku, ki ustrezajo robovom objektov (Vičič, 2007). Na Slika 3.9 je predstavljenih nekaj takih primerov visokoprepustnih filtrov.

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -7 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad
 \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad
 \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 9 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad
 \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ -2 & 12 & -2 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \\
 \begin{bmatrix} -1 & -4 & -1 \\ -4 & 26 & -4 \\ -1 & -4 & -1 \end{bmatrix} \quad
 \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad
 \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad
 \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 20 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

Slika 3.9: Nekaj primerov visokoprepustnih filtrov

Delovanje visokoprepustnih filtrov smo opisali za posnetke. Če jih pošljemo prek DMR, potem lahko pomeni odkrivanje robov in drugih oblik površja Zemlje, kot so grebeni, dolinske črte, vrhovi, vrtače in še kaj (Podobnikar in Možina, 2008).

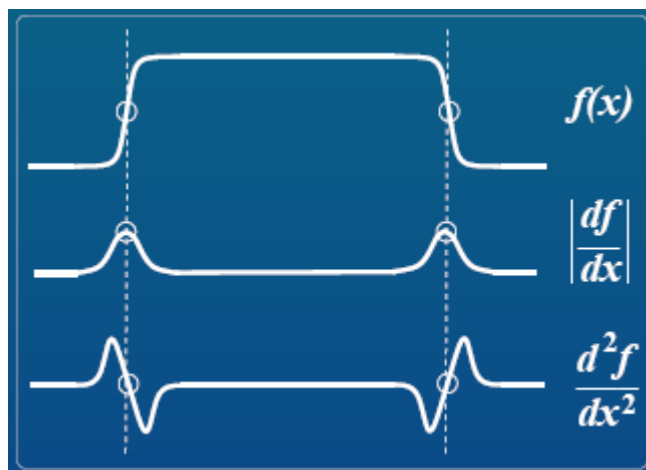
Med visokoprepustne filtre uvrščamo:

- Robertsov filter,
- Sobelov filter,
- Prewittov filter,
- Laplaceov filter,
- unsharp filter,
- sharpen filter,
- LoG filter,
- DoG filter.

Visokoprepustni filtri uporabljajo prostorske (dvodimenzionalne) odvode funkcije. S tem načinom se poveča izrazitost robov na matriki DMR in zmanjša intenzivnost območij s konstantno vrednostjo višin (Csetverikov, 2007a).

Poznamo dve metodi, ki jih uporabljajo visokoprepustni filtri (Csetverikov, 2007a):

- gradientna metoda (predstavlja prve odvode) in
- Laplaceov operator (predstavlja druge odvode).



Slika 3.10: Prikaz delovanja gradientne metode in Laplaceovega operatorja na dano funkcijo

Vir: Csetverikov, 2007a

3.4.1 Gradientna metoda

Gradient je vektor, sestavljen iz parcialnih odvodov prvega reda. Ta vektor daje smer in velikost največje spremembe funkcije f .

$$\nabla f(x, y) = \left(\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y} \right)$$

Filtri, ki delujejo po gradientni metodi, so sestavljeni iz dveh matrik, ki delujeta med seboj pravokotno (v smereh x in y ali tudi po diagonalah). Zato se izvorni DMR obdela dvakrat, torej z obema matrikama filtra. Rezultat obdelave sta dva sloja, ki predstavljata parcialni odvod posnetka v smeri x in y . Oba posnetka združimo tako, da seštejemo absolutne vrednosti celic iz obeh posnetkov. Tako dobimo končni posnetek, ki vsebuje robove v vseh smereh. Taki filtri so Roberts, Sobel in Prewitt. Podrobneje jih bomo obravnavali v poglavju 3.5.

3.4.2 Laplaceov operator

Laplaceov operator je skalar sestavljen iz parcialnih odvodov drugega reda. Filter poudarja robove v vseh smereh, zato prehaja lokalno okno DMR le enkrat, za razliko od filtrov po gradientni metodi, kjer se to zgodi dvakrat (Vičič, 2007).

$$\Delta f(x, y) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$

Laplaceov operator se veliko uporablja in ima več različnih variant zapisa v matrični obliki:

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Oblika maske je lahko enaka zgornjima dvema, vendar pomnožena s koeficientom -1 .

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

Bolj splošna oblika Laplaceove maske je naslednja (Gonzalez, 2004), kjer parameter α določa obliko Laplaceovega filtra in lahko zavzame vrednosti med 0 in 1:

$$\begin{bmatrix} \frac{\alpha}{1+\alpha} & \frac{1-\alpha}{1+\alpha} & \frac{\alpha}{1+\alpha} \\ \frac{1-\alpha}{1+\alpha} & \frac{-4}{1+\alpha} & \frac{1-\alpha}{1+\alpha} \\ \frac{\alpha}{1+\alpha} & \frac{1-\alpha}{1+\alpha} & \frac{\alpha}{1+\alpha} \end{bmatrix}$$

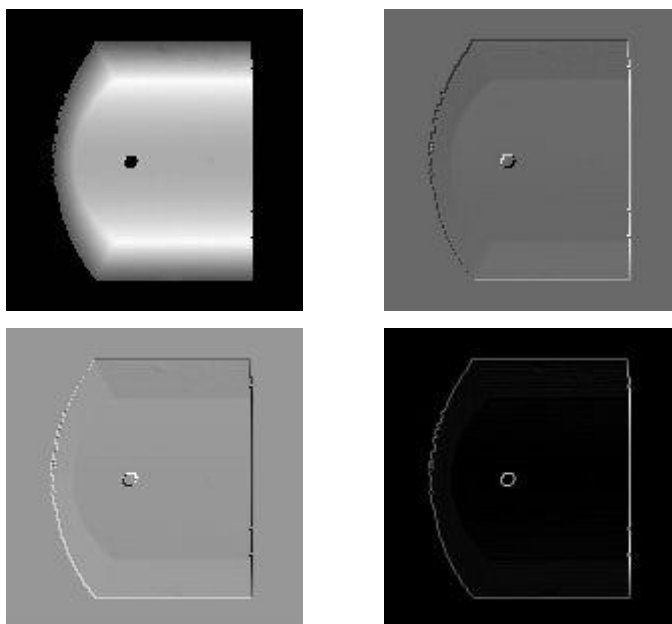
Laplaceov filter je tudi eden izmed možnih pristopov pri odkrivanju robov. Žal je Laplaceov filter zelo občutljiv za naključne napake na posnetkih (Kvamme et al., 1997).

3.5 Filtri odkrivanja robov

Filtri odkrivanja robov so visokoprepustni filtri. Pomembni so zato, ker digitalni posnetek z izpostavljenimi robovi lažje interpretiramo in je to prvi korak k prepoznavanju objektov (Kvamme et al., 1997). Iskanje robov pomeni iskanje nezveznosti na posnetku oziroma iskanje neke hitre spremembe med vrednostmi bližnjih pikslov. V naravi so ostri robovi pogosto povezani s človekovo dejavnostjo.

Kot je bilo že omenjeno, robove pridobimo z odvajanjem matrike posnetka. Filtri, ki delujejo po gradientni metodi, so sestavljeni iz dveh matrik, ki delujeta med seboj pravokotno. V okolici vsakega piksla se izračuna sprememba vrednosti pikslov v smeri x in y . Rezultat te obdelave sta dva nova posnetka, ki predstavljata parcialni odvod posnetka v smeri x oziroma y (Slika 3.11b, c). Nova posnetka prikazujeta robove objektov izvirnega posnetka, vsak v dani smeri.

Na koncu lahko robove obeh smeri združimo v nov posnetek, na katerem dobimo dobro razvidne robove objektov v vseh smereh na posnetku (Slika 3.11č). To storimo tako, da seštejemo **absolutne** vrednosti pikslov iz obeh posnetkov.



Slika 3.11: Primer določanja robov na posnetku z uporabo Robertsovega filtra
a) originalni posnetek, b) robove v horizontalni smeri, c) robove v vertikalni smeri,
č) združeni robove objekta iz obeh smeri

Zavedati se moramo, da tako filtriranje lahko zamakne robove na posnetku. Izračunani robove na posnetku, nujno ne sovpadajo s fizičnimi robovi v naravi (Csetverikov, 2007b).

Nekateri najbolj znani robni filtri so (Kovačič, 2005):

- Robertsov filter,
- Sobelov filter,
- Prewittov filter,
- Cannyjev filter,
- Laplaceov filter.

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Sobelov filter}$$

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Prewittov filter}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{Robertsov filter}$$

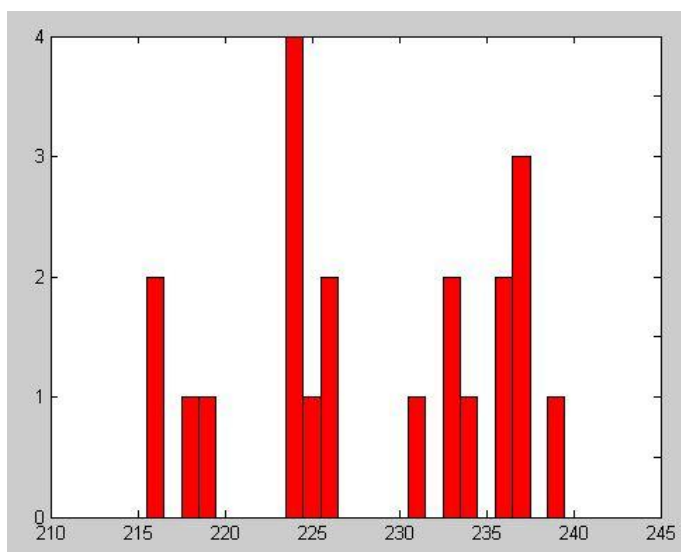
$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{Laplaceov filter}$$

4 IZDELAVA HISTOGRAMA

4.1 Razvrščanje podatkov v razrede

Pri obdelavi množice podatkov je zelo pomembno, kako razvrščamo podatke v razrede. Od metod razvrščanja podatkov je pogosto odvisna tudi nadaljnja uspešnost raziskovanja. V tej nalogi se statistično obdelujejo nadmorske višine iz lokalnega okna, ki se premika po matriki DMR.

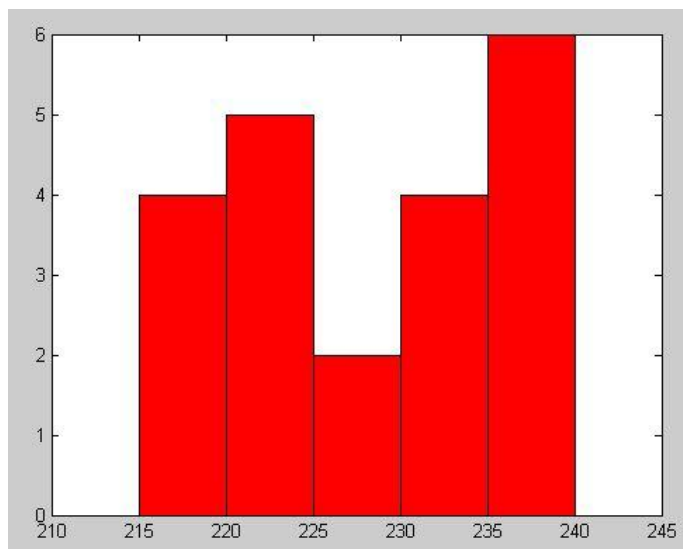
V primeru, ko imamo malo podatkov (vzorec je majhen), jih lahko prikažemo posamezno. Ko pa vzorec obsega večje število podatkov, njegovo prikazovanje po posameznih elementih ni več pregledno (Slika 4.1).



Slika 4.1: Prikaz vseh vrednosti v vzorcu s stolpčnim grafikonom

Na Slika 4.1 vsak stolpec predstavlja posamezno vrednost in s svojo višino kaže na število ponovljenih enakih vrednosti v vzorcu. Vrednosti v vzorcu so lahko zelo raznolike. Obstajajo določeni deli zaloge vrednosti, kjer se vrednosti bolj zgoščujejo, medtem ko so drugi deli zaloge vrednosti redkeje zastopani.

Da bi bilo mogoče zaznati neko zakonitost pri tem vzorcu, je treba sorodne vrednosti razvrstiti v skupine oziroma razrede. Razredov naj bo toliko, da ostane prikaz podatkov pregleden, razredi pa niso premajhni (Slika 4.2). Vsak razred ima točno določeno spodnjo in zgornjo mejo in vsaka vrednost lahko pripada samo enem razredu.



Slika 4.2: Histogram prikazuje frekvenco vrednosti po razredih

Po razvrstitvi podatkov v razrede vsebuje vsak razred določeno število elementov, čemur pravimo frekvenca razreda. Lahko pa izračunamo tudi relativno frekvenco razreda, ki pove, kolikšen delež vseh podatkov pomeni posamezna frekvenca razreda. Podamo jo v odstotkih.

Število razredov lahko določimo na več načinov. Pogosto uporabljena je Sturgesova formula: $k = 1 + \log_2 n \approx 1 + 3.32 \cdot \log n$, kjer je k število razredov, n pa število elementov, ki jih želimo uvrstiti v razrede. Sturgesova formula temelji na predpostavki o normalni porazdelitvi. Če porazdelitev ni normalna ali pa je velikost vzorca relativno velika (npr. $n > 200$), Sturgesova formula ni primerna in moramo število razredov določiti drugače (Drobne in Turk, 2002).

Obstaja več različnih metod razvrščanja (klasifikacije) podatkov v razrede (ArcGIS, 2007):

- metoda enakih intervalov (angl. equal interval),
- metoda s kvantili (angl. quantile),
- metoda naravnih mej (angl. natural breaks),
- metoda geometričnih intervalov (angl. geometrical interval),
- metoda s standardnim odklonom (angl. standard deviation).

Pri metodi enakih intervalov imajo vsi razredi enako širino. Metoda je uporabna za enakomerne porazdelitve, kjer želimo poudariti razlike med razredi.

S klasifikacijo po metodi kvantilov obsega vsak razred enako število podatkov (elementov). Če imamo na primer pet razredov, vsebuje vsak razred petino vrednosti vseh podatkov. Metodo uporabljamo, če so podatki enakomerno porazdeljeni in želimo poudariti relativni položaj med elementi.

Metodo naravnih mej se uporablja pri podatkih, ki se kopičijo skupaj v več gruč. Meje razredov potekajo med posameznimi gručami podatkov, da se vsako gručo zbere v en razred. To metodo uporabimo, če je razporeditev podatkov neenakomerna.

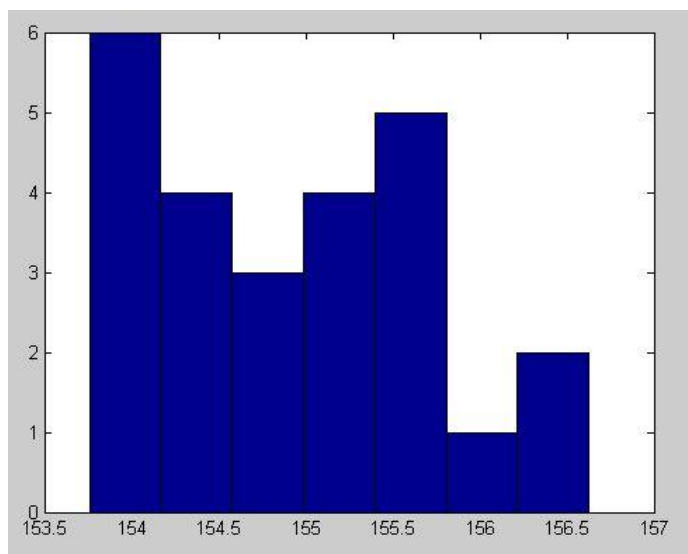
Pri metodi geometričnih intervalov temelji obseg razredov na geometrijski vrsti. Prednost te metode je, da deluje dobro za podatke, ki niso normalno porazdeljeni.

S klasifikacijo po metodi standardnega odklona so meje razredov postavljene navzgor in navzdol glede na aritmetično sredino vseh podatkov. Meje se oblikujejo na intervalih 1, 1/2, 1/3 ali 1/4 standardnega odklona od aritmetične sredine, dokler niso vsi podatki vključeni v razrede (ArcGIS, 2007).

Glede na izbiro metode razvrščanja podatkov v razrede so širine razredov med seboj enake ali različne. Zaradi večje preglednosti ter nadaljnje statistične analize največkrat uporabljamo enako širino razredov. V takih primerih določamo meje razredov z metodo enakih intervalov na osnovi izbranega števila razredov.

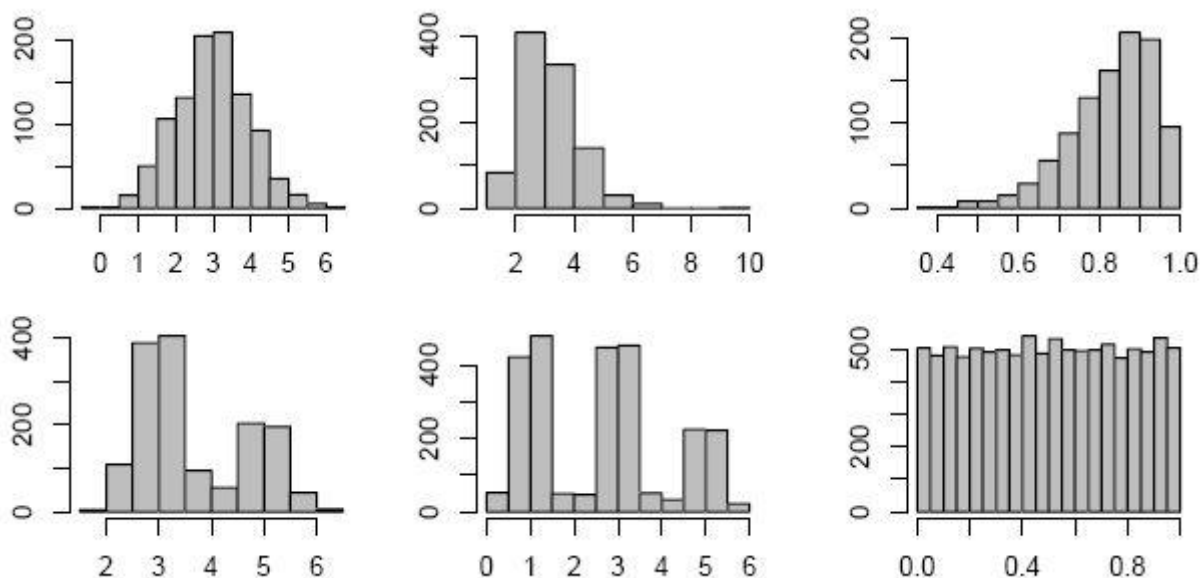
4.2 Izdelava histograma

Ko podatke razvrstimo v razrede in za vsak razred izračunamo frekvenco, te rezultate grafično prikažemo s histogramom oziroma stolpčnim grafikonom (Slika 4.3).



Slika 4.3: Primer histograma

Histogram je grafični prikaz, vrsta grafikona, ki prikazuje frekvenčno porazdelitev. V pravokotnem koordinatnem sistemu v smeri abscisne osi so nanesene vrednosti iz vzorca, v smeri ordinatne osi pa velikosti frekvence razredov. Za zvezno frekvenčno porazdelitev nad vsakim razredom narišemo pravokotnik, katerega širina je enaka širini razreda, njegova višina pa je enaka frekvenci razreda (Jesenko, 2001).



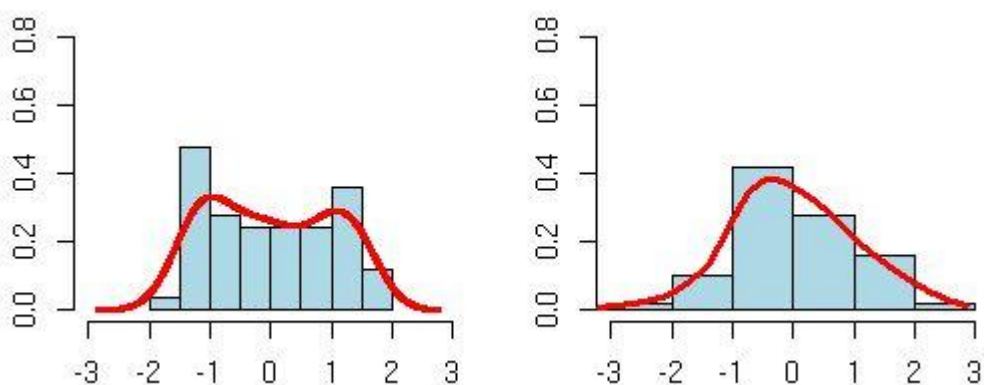
Slika 4.4: Različne oblike histogramov

- a) simetričen/unimodalen, b) asimetričen v levo, c) asimetričen v desno, č) bimodalen,
d) multimodalen, e) pravokoten

Vir: <http://www.math-inf.uni-greifswald.de/~boogaart/SV07/SV07Skript2.pdf>

Glede na to, kako se razporejajo vrednosti v vzorcu, je možno opredeliti več oblik histogramov. Najpomembnejše oblike prikazuje Slika 4.4. Histogrami se po obliki ločijo tudi po tem, koliko vrhov imajo. Tako poznamo histograme z enim vrhom (unimodalni), z dvema vrhoma (bimodalni) in histograme z več vrhovi (multimodalni).

Stolpci histograma pogosto prikazujejo nek trend, kako se razporejajo vrednosti. Ta trend je mogoče predstaviti z ustrežno krivuljo (polinomom), ki se najboljše prilega obliki histograma (Slika 4.5).



Slika 4.5: Aproksimacija histogramov z izbranimi krivuljami

Vir: http://zoonek2.free.fr/UNIX/48_R/03.html

5 ANALIZE GEOMORFOLOŠKIH ZNAČILNOSTI

5.1 Metodologija

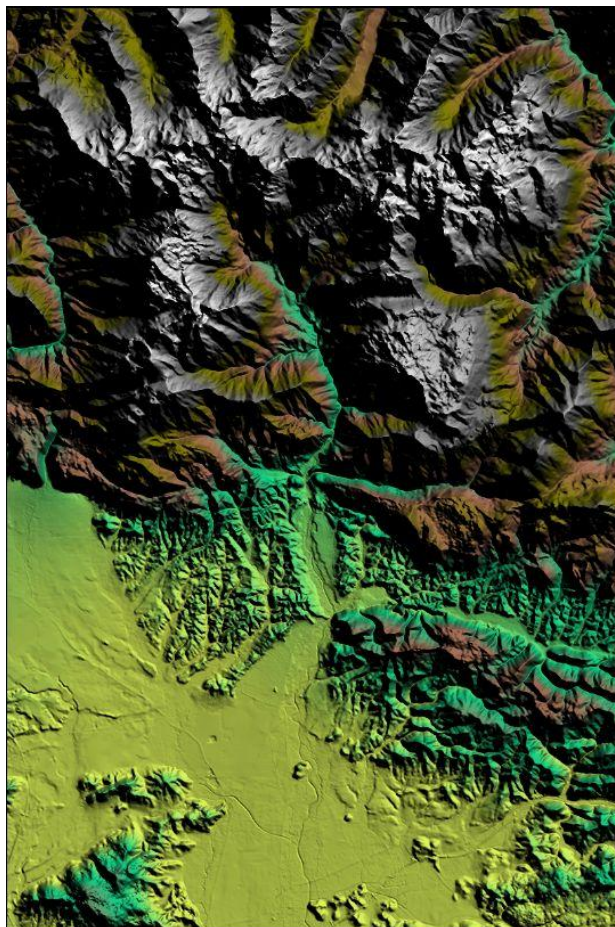
Glavna ideja naloge je preizkusiti različne algoritme za obdelavo DMR z namenom odkrivanja značilnih oblik zemeljskega površja. Preko konstrukcije lokalnih oken velikosti 3×3 , 5×5 , 7×7 in več, s katerimi se obdeluje matrika DMR, je mogoče na testnem območju ugotoviti različne geomorfološke oblike. Podlaga za delo so rastrski podatkovni sloji DMR ločljivosti 100, 25 in 12,5 m. Preveriti je treba primernost izbranih algoritmov za odkrivanje geomorfoloških struktur in preizkusiti vpliv ločljivosti digitalnega modela reliefa na učinkovitost algoritmov.

5.2 Predvideni rezultati

Rezultati naloge so ugotovitve, kateri algoritmi so bolj učinkoviti pri identificiranju posameznih geomorfoloških oblik in kateri postopki niso primerni za omenjeno rabo. Predvidevamo, da so nekateri algoritmi učinkovitejši pri DMR večje ločljivosti, drugi algoritmi pa pri DMR manjših ločljivostih. To predpostavko bo potrebno preveriti. Po drugi strani pa lahko sklepamo, da nek algoritem ni najprimernejši za iskanje vseh geomorfoloških oblik, ampak samo za neko specifično obliko površja.

5.3 Študijsko območje

Pri izdelavi diplomske naloge je bil uporabljen DMR različnih ločljivosti (DMV 100, DMV 25 in DMV 12,5, november 2005, © Geodetska uprava RS), ki obsega pravokotno območje 20×30 km od Domžal na jugu do Logarske doline in Jezerskega na severu. Območje zajema tudi del Kamniških Alp. Podatki DMR so bili pridobljeni na Geodetski upravi Republike Slovenije.

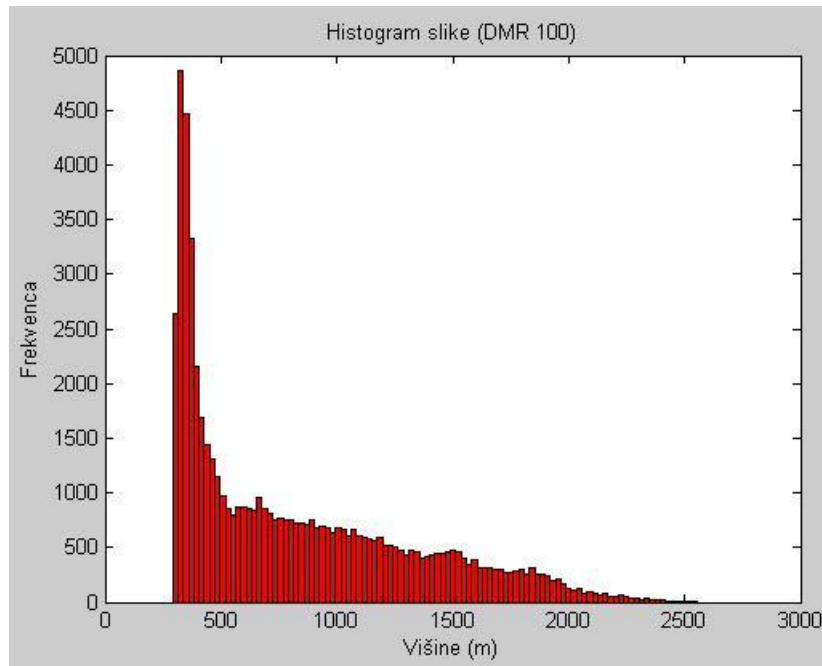


Slika 5.1: Prikazan DMV 25 s hipsometrično barvno lestvico in analitičnim senčenjem

Vir: Geodetska uprava Republike Slovenije

5.4 Pregled globalnega histograma matrike DMR

Globalni histogram digitalnega posnetka je frekvenčna porazdelitev posameznih vrednosti na posnetku (Kosmatin Fras, 2004). Izdelan je bil histogram obravnavanega območja, kar pomeni, da so v ta prikaz vključene vse vrednosti višin DMV 100. Vrednosti so razvrščene v 100 razredov, da je globalni histogram bolj nazoren (Slika 5.2). Iz histograma je mogoče razbrati, da je veliko vrednosti v razredih do 500 metrov nadmorske višine, potem pa frekvenca v razredih vztrajno pada. Najnižja vrednost višine v matriki je 292 m, najvišja vrednost pa 2553 m.



Slika 5.2: Histogram DMV 100, ki prikazuje razporeditev vrednosti po višinah

5.5 Uporaba izbranih algoritmov

V okviru te naloge je preizkušenih več skupin algoritmov, ki se razlikujejo po načinu obdelave matrike DMR. To so:

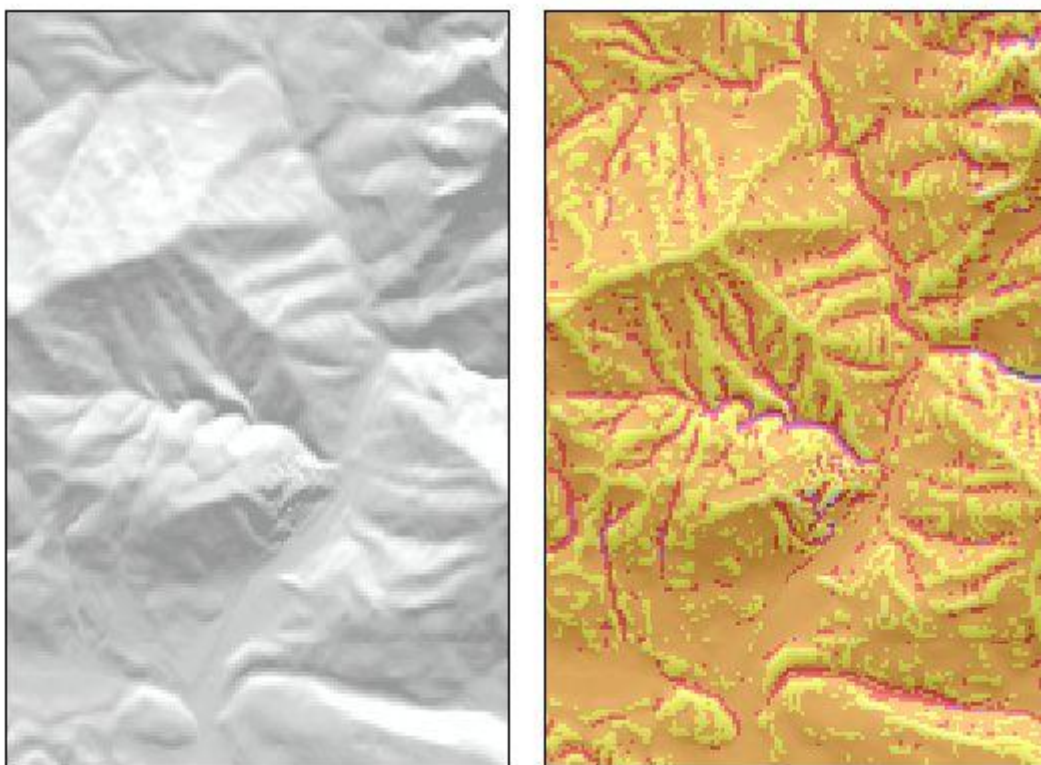
- algoritmi za iskanje robov,
- algoritmi za kartiranje ekstremnih vrednosti,
- algoritmi za izdelavo lokalnih histogramov.

Vsi našteti algoritmi spadajo med lokalne operacije obdelave rastrskih podatkov, kar pomeni, da se obdelava celice vrši z upoštevanjem njene okolice, kar izvajamo z lokalnim oknom ustrezne velikosti. Vsi algoritmi poskušajo iz podatkov DMR izluščiti informacije o oblikovanosti zemeljskega površja.

6 ALGORITMI ZA ISKANJE ROBOV

Filtri, omenjeni v tem poglavju, so koristni na ta način, da filtrirajo matriko DMR, tako da je vizualno lažje razpoznavati geomorfološke oblike. Filtrirano matriko DMR lahko prikažemo z različnimi barvnimi lestvicami, kar omogoča enostavnejšo interpretacijo.

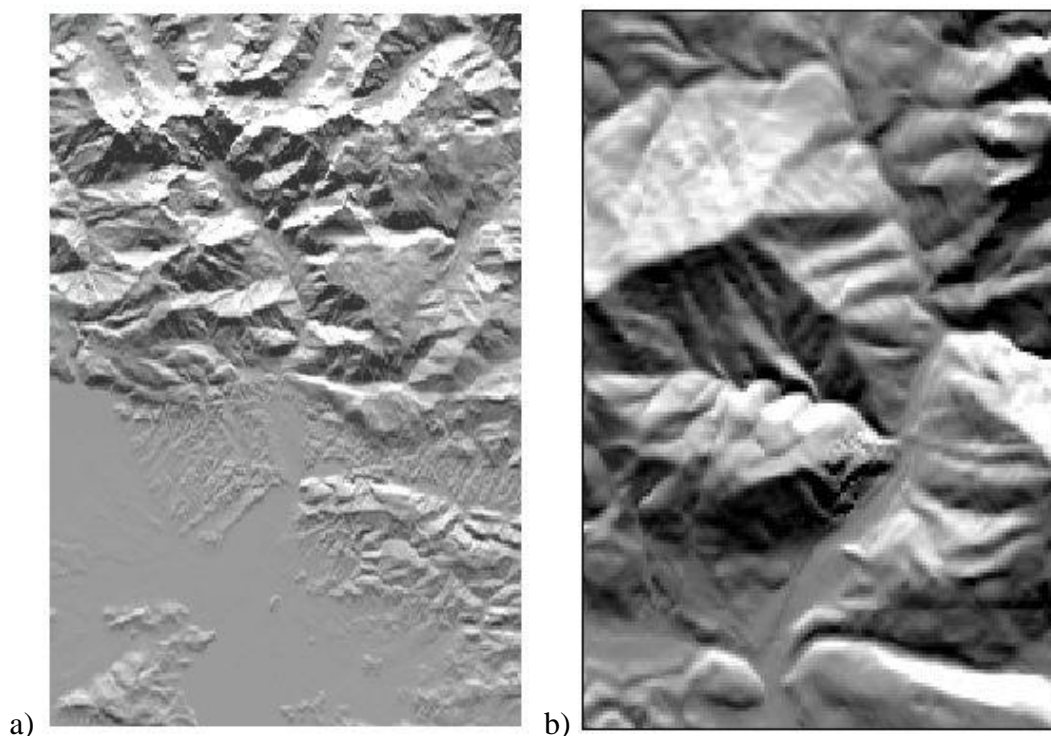
Pri obdelavi z nekaterimi filtri je mogoče vrednosti v končni matriki tudi klasificirati v razrede, kateri lahko predstavljajo različne geomorfološke oblike. Spodaj je podan primer take klasifikacije (Slika 6.1), kjer je mogoče razpoznati doline v rdeči barvi in grebene v rumeni barvi.



Slika 6.1: Prikaz analitičnega senčenja DMV 25 na levi in rezultat obdelave z Laplaceovim filtrom in senčenjem na desni strani, klasifikacija s sedmimi kvantili

6.1 Testna območja

Pri preizkušanju različnih filtrov sta bili uporabljeni dve testni območji: večje območje 20×30 km pri uporabi DMV 100, ki obsega območje od Domžal na jugu do Logarske doline in Jezerskega na severu, in manjše območje 3320×5000 m pri uporabi DMV 25, ki obsega območje okrog naselja Stahovica.



Slika 6.2: Testni območji za preizkušanje različnih filtrov

a) DMV 100 v merilu 1: 300 000, b) DMV 25 v merilu 1: 50 000

6.2 Uporabljeni filtri

V nadaljevanju bodo predstavljeni naslednji filtri:

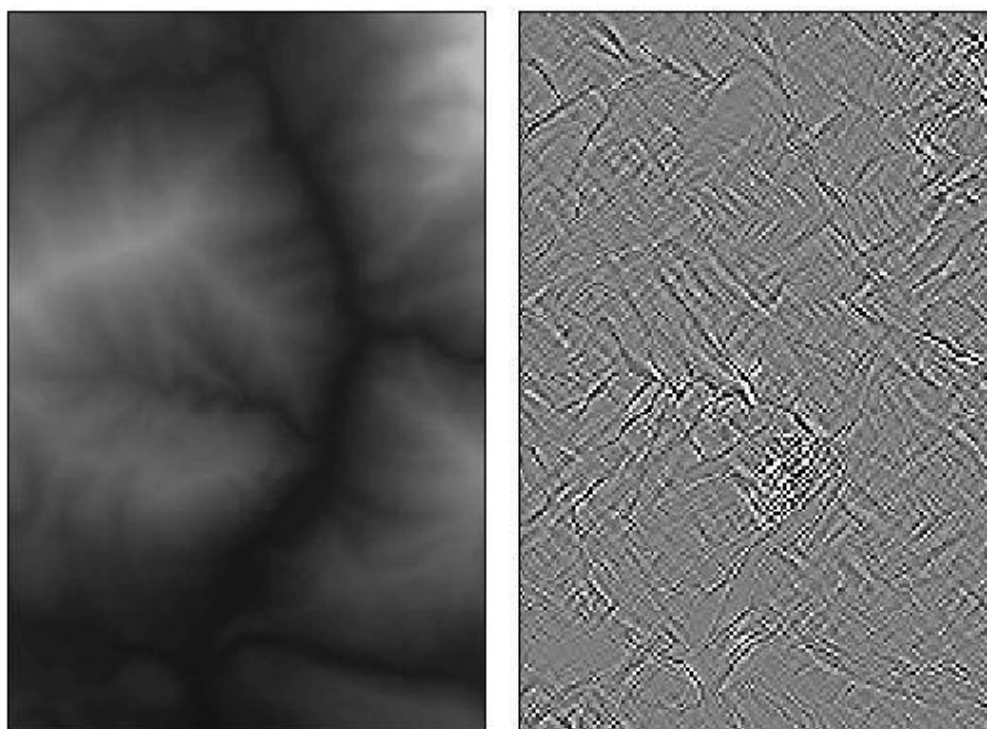
- filter PRIMER1,
- filter PRIMER2,
- filter PRIMER3,
- filter Unsharp,
- filter Sharpen.

Uporabljal sem tudi različne filtre za iskanje robov:

- Robertsov filter,
- Sobelov filter,
- Prewittov filter,
- Laplaceov filter.

6.2.1 Filter PRIMER1

Oblika filtra:
$$\begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 4 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix}$$

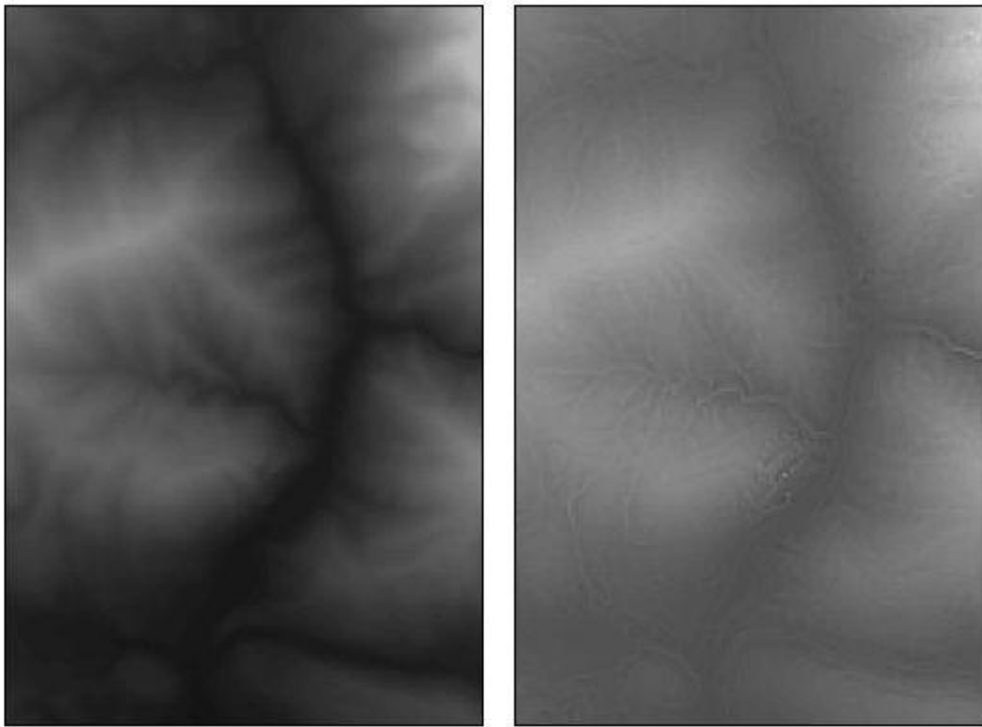


Slika 6.3: Prikaz DMV 25 s hipsometrično lestvico na levi ter rezultat obdelave s filtrom PRIMER1 na desni strani

Na posnetku, pridobljenem z uporabo filtra PRIMER1, je vidnih veliko lokalnih značilnosti, izpostavljeni so najbolj razgibani deli zemeljskega površja oziroma njegovi robovi.

6.2.2 Filter PRIMER2

Oblika filtra:
$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -7 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

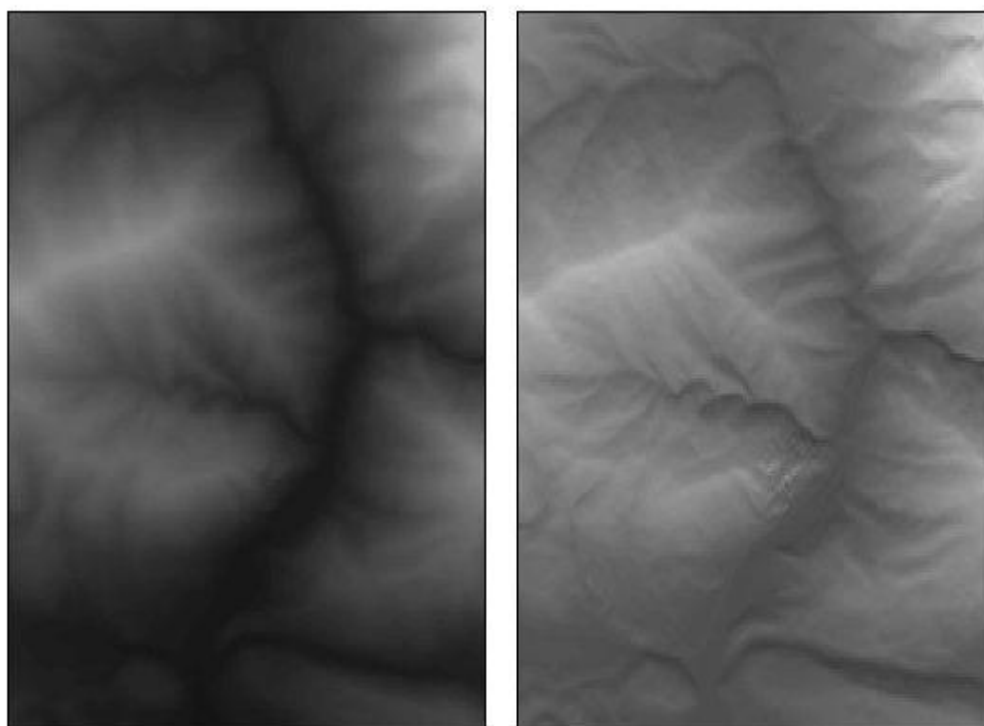


Slika 6.4: Prikaz DMV 25 s hipsometrično lestvico na levi ter rezultat obdelave s filtrom PRIMER2 na desni strani

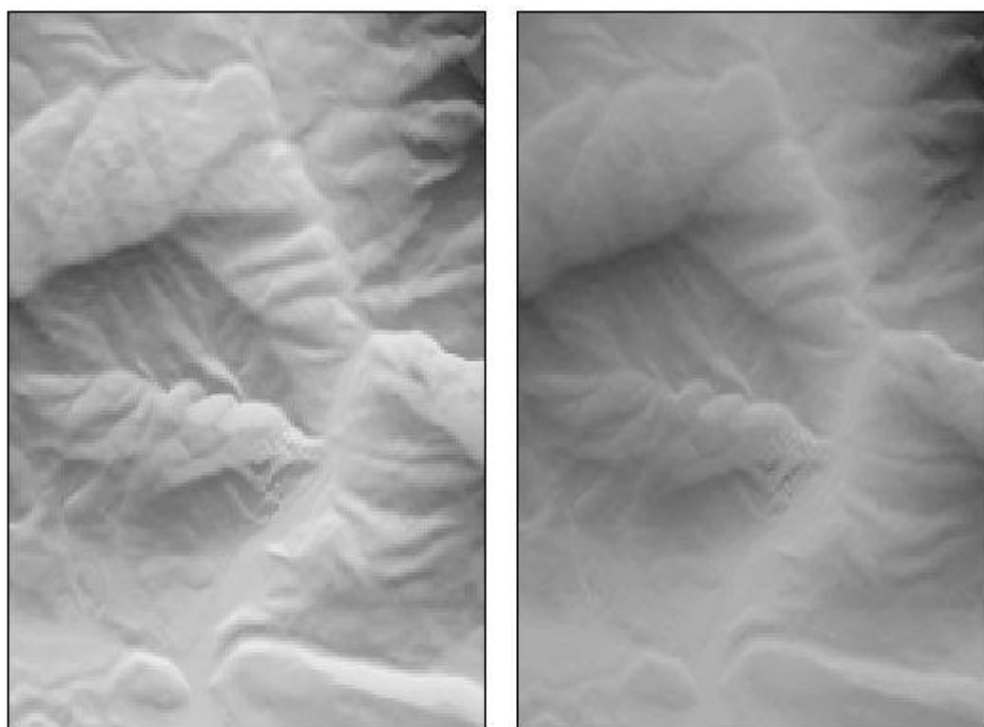
Filter se po obliki bliža Laplaceovemu filtru, razlika je le v tem, da ima centralni piksel v filtru nižjo vrednost koeficienta. Ta filter že poudari določene značilnosti zemeljskega površja, bolj izrazito so poudarjena dna dolin.

6.2.3 Filter PRIMER3

Oblika filtra:
$$\begin{bmatrix} -1 & 8 & -1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \end{bmatrix}$$



Slika 6.5: Prikaz DMV 25 s hipsometrično lestvico na levi ter rezultat obdelave s filtrom PRIMER3 na desni strani



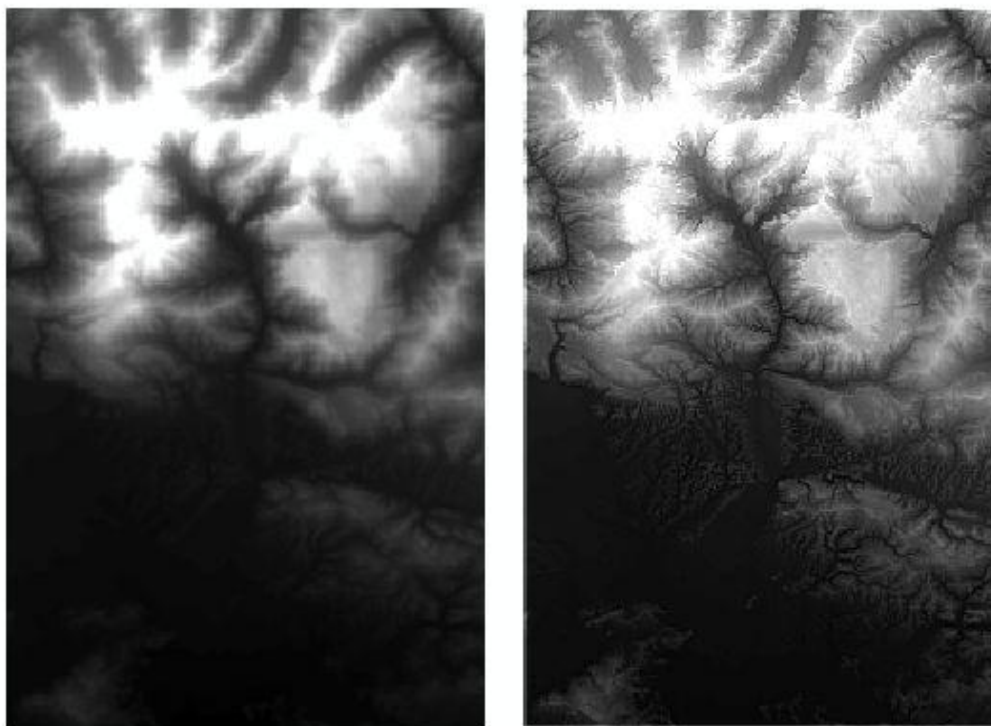
Slika 6.6: Prikaz DMV 25 s hipsometrično lestvico in senčenjem na levi ter negativ obdelave s filtrom PRIMER3 na desni strani

Pri uporabi tega filtra je rezultat neke vrste senčenje matrike DMR (Slika 6.5). Na posnetku so dobro vidni poteki dolin, grebenov in oblikovanost pobočij. Zemljsko površje se močneje poudari, ko prekrijemo filtriran posnetek s slojem analitičnega senčenja DMR.

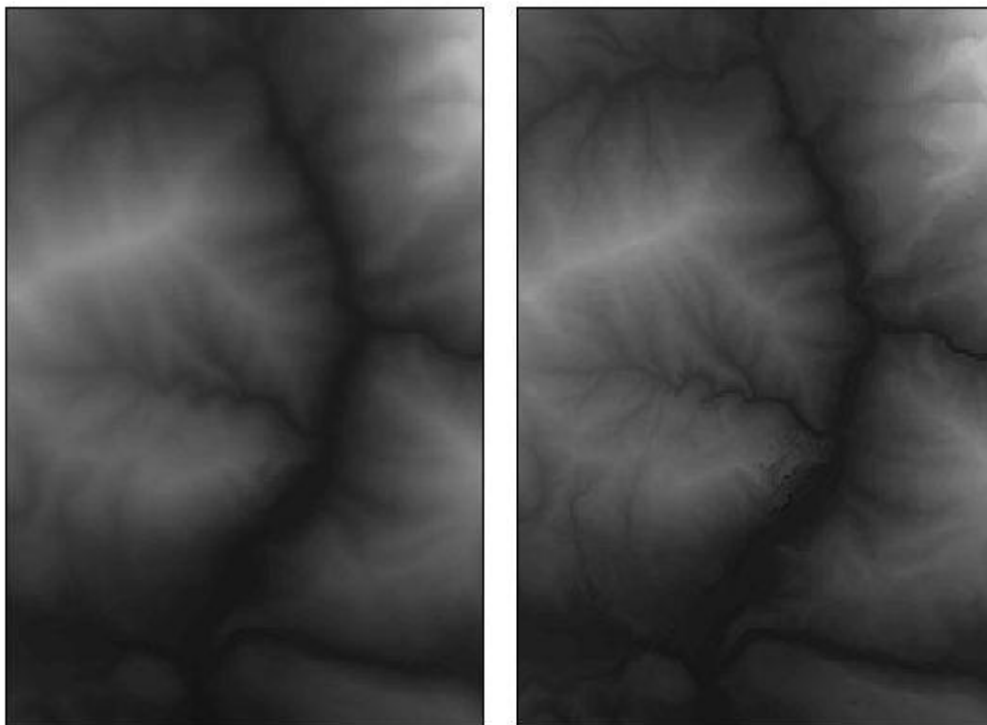
Na Slika 6.6 je predstavljena primerjava med DMV 25 z dodanim senčenjem in negativom obdelave s filtrom PRIMER3. Opaziti je mogoče precejšnjo podobnost med posnetkoma, kljub temu pa je desni posnetek manj izrazit in slabše prikazuje oblikovanost zemeljskega površja.

6.2.4 Unsharp filter

Unsharp filter je filter ostrenja, ki poudarja robove in druge visoke frekvence na posnetku. Obdelava posnetka s tem filtrom deluje v dveh korakih. Najprej se izvornemu posnetku odšteje glajen posnetek, s čimer pridobimo visokofrekvenčne sestavine posnetka. Tej razliki posnetkov se na koncu prišteje še prvoten posnetek (Fisher et al., 2003). Rezultat obdelave z navedenim filtrom je izostren posnetek.



Slika 6.7: Prikaz DMV 100 s hipsometrično lestvico na levi in rezultat obdelave z unsharp filtrom na desni strani



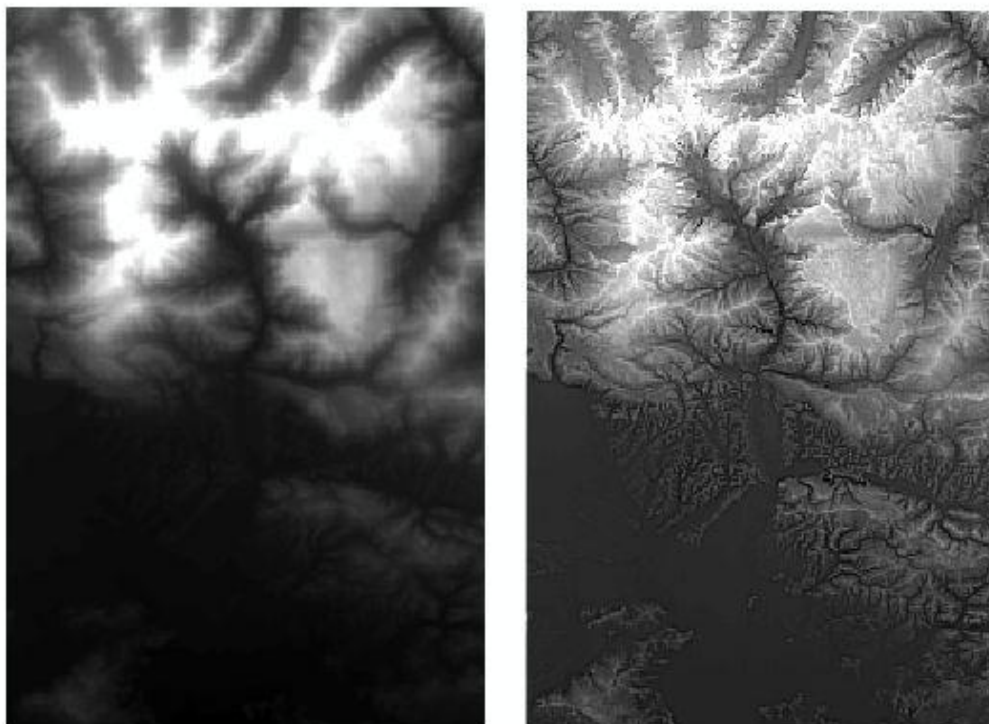
Slika 6.8: Prikaz DMV 25 s hipsometrično lestvico na levi in rezultat obdelave z unsharp filtrom na desni strani

Pri uporabi filtra na sloju DMV 100 so razlike dobro vidne. Močnejše se izpostavi oblikovanost zemeljskega površja. Pri uporabi filtra na DMV 25 se posnetek tudi nekoliko izostri, vendar po pokritju s slojem analitičnega senčenja ni očitnejše spremembe. Pri uporabi DMV 12,5 ni opaznih razlik.

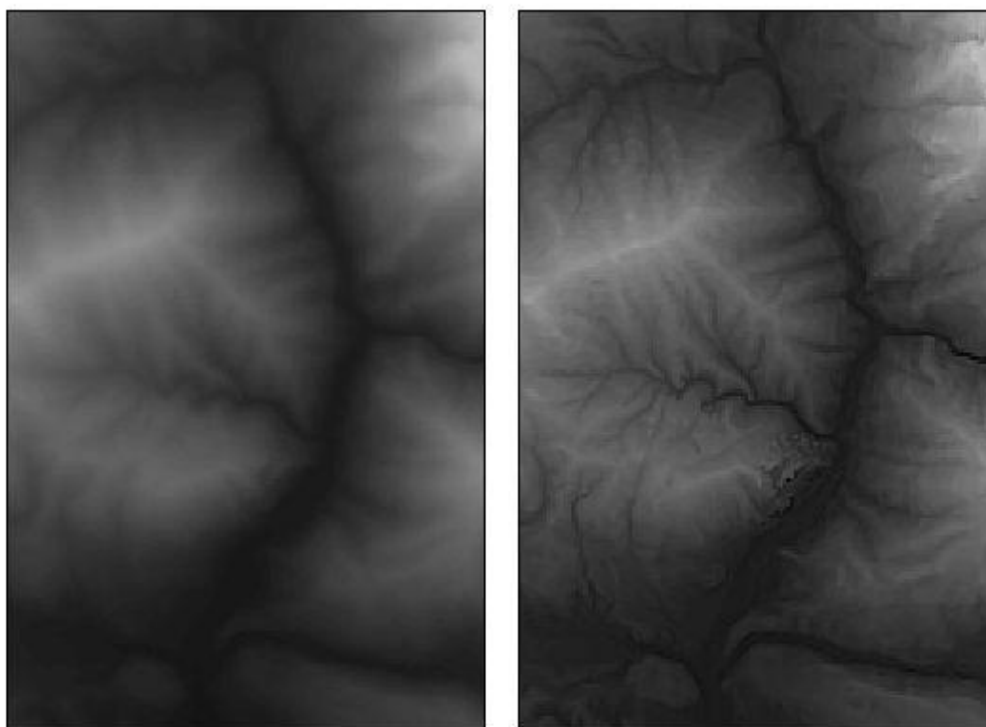
6.2.5 Sharpen filter

Oblika filtra:
$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -9 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

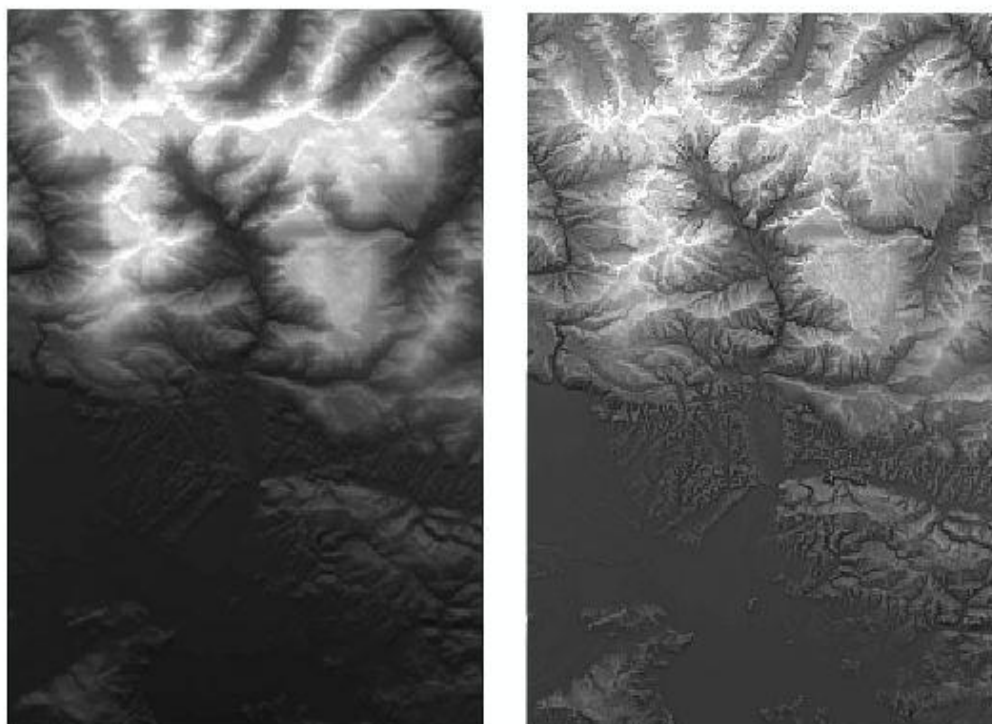
Sharpen filter je preprost visokoprepustni filter dimenzije 3×3 , katerega učinek je poudarjanje robov. Po obdelavi s tem filtrom so značilnosti DMR znatno bolj poudarjene in delujejo ostreje (Vandevenne, 2004).



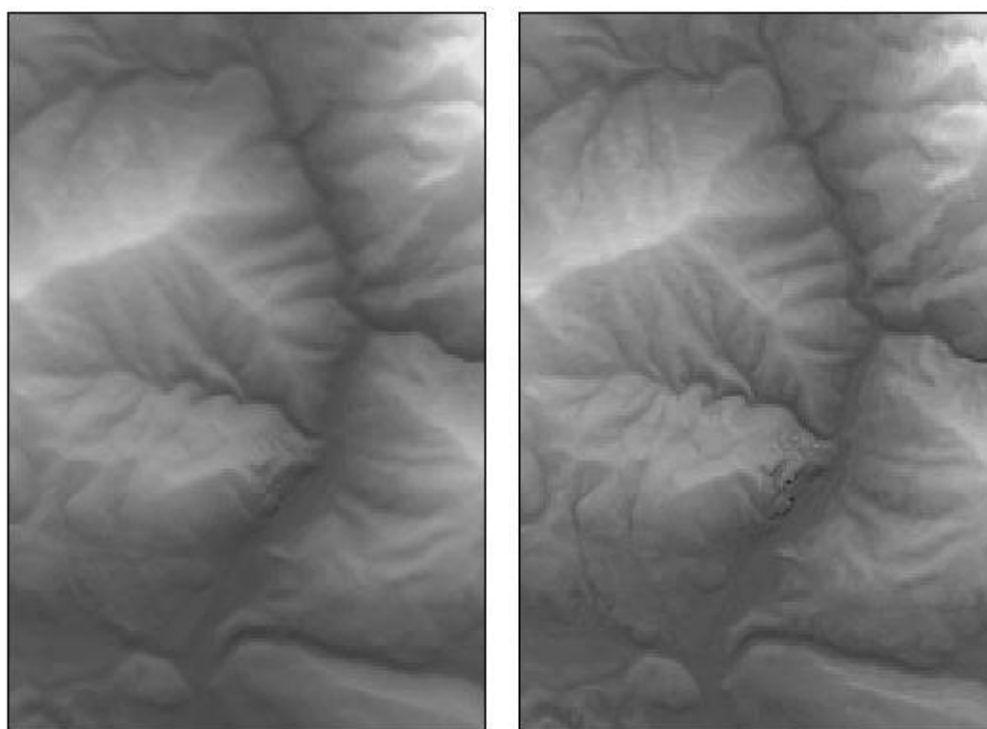
Slika 6.9: Prikaz DMV 100 s hipsometrično lestvico na levi in rezultat obdelave s sharpen filtrom na desni strani



Slika 6.10: Prikaz DMV 25 s hipsometrično lestvico na levi in rezultat obdelave s sharpen filtrom na desni strani



Slika 6.11: Prikaz DMV 100 s hipsometrično lestvico in senčenjem na levi in rezultat obdelave s sharpen filtrom in senčenjem na desni strani



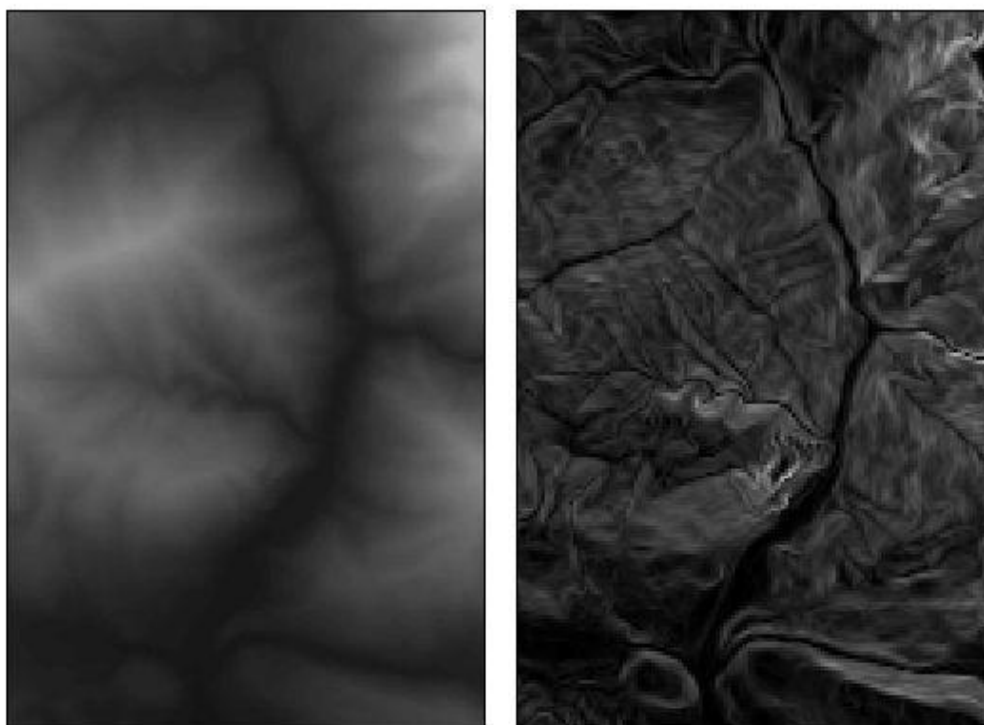
Slika 6.12: Prikaz DMV 25 s hipsometrično lestvico in senčenjem na levi in rezultat obdelave s sharpen filtrom in senčenjem na desni strani

Pri uporabi tega filtra lahko bolje razpoznamo razgibanost površja in izločimo razne geomorfološke oblike. Na sloju DMV 100 je razlika očitna. Močno se izpostavi oblikovanost zemeljskega površja (Slika 6.9). Tudi pri obdelavi DMV 25 s tem filtrom se posnetek precej izostrí, pri uporabi DMV 12,5 pa posnetek ostaja skoraj nespremenjen (Slika 6.10).

Sharpen filter je zelo uporaben, saj vizualno izostrí sloj DMR. Če prekrijemo še s slojem analitičnega senčenja, je prikaz zemeljskega površja veliko bolj jasen in prepričljiv (Slika 6.11 in Slika 6.12). Bolje lahko vidimo razgibanost površja in opazimo doline, grebene ter druge geomorfološke oblike. Sicer pa sharpen filter izvorni posnetek (v našem primeru DMR) le izostrí in ga ne spremeni bistveno.

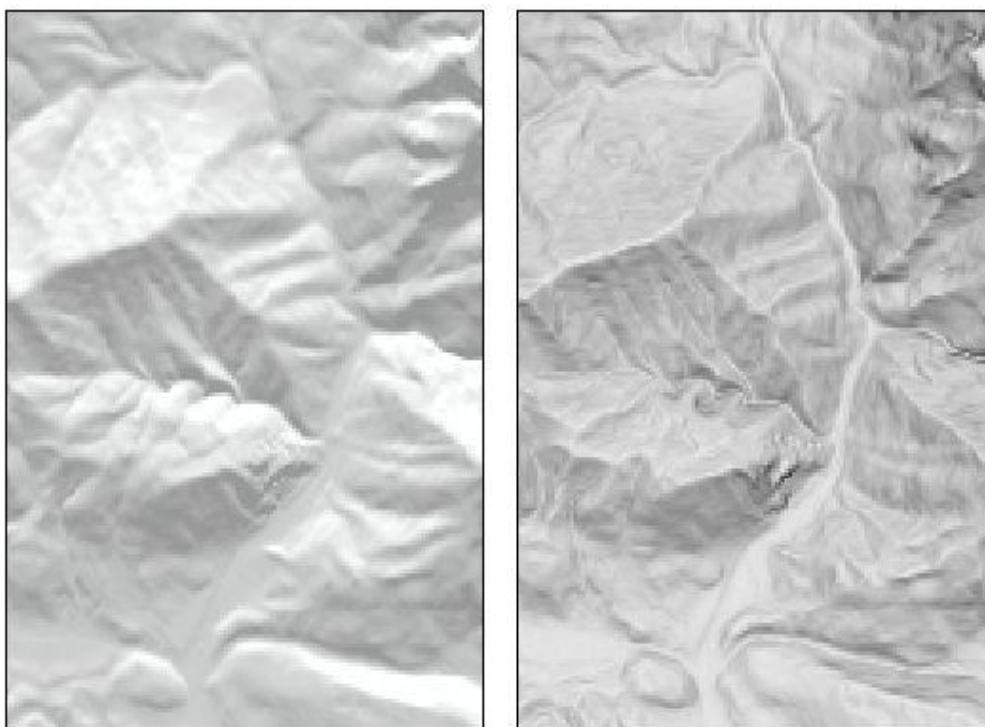
6.2.6 Robertsov filter

Oblika filtra: $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$



Slika 6.13: Prikaz DMV 25 s hipsometrično lestvico na levi in rezultat obdelave z Robertsovim filtrom na desni strani

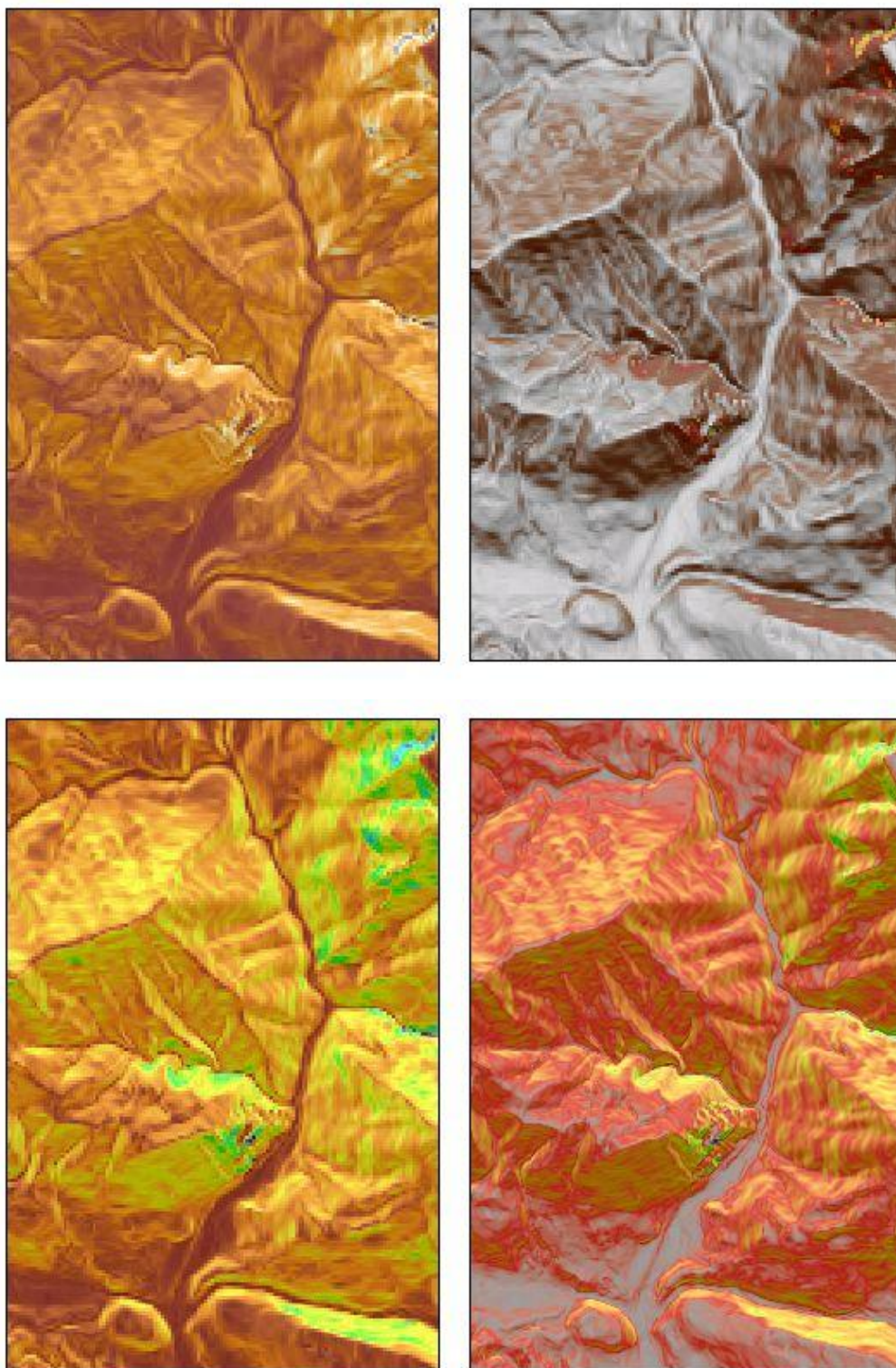
Na tem mestu so predstavljeni trije filtri odkrivanja robov (Roberts, Sobel, Prewitt), ki povzročijo izostritev robov, linij ter ostalih detajlov na posnetku. Filtri izpostavljajo hitre spremembe med vrednostmi bližnjih pikslov oziroma zaznavajo spreminjanje oblike zemeljskega površja. Vsi trije filtri dajejo dokaj podobne rezultate. Robertsov filter manj poudari robove kot ostala dva filtra. Učinek Prewittovega in Sobelovega filtra je močnejše izpostavljanje robov, končni rezultat pa je pri obeh filterih praktično enak, saj je tudi oblika filtrov zelo podobna.



Slika 6.14: Prikaz analitičnega senčenja DMV 25 na levi in rezultat obdelave z Robertsovim filtrom in senčenjem na desni strani

Robertsov filter dobro poudarja geomorfološke značilnosti zemeljskega površja (Slika 6.14). Tako se na filtriranem posnetku z dodanim senčenjem jasno odražajo dna dolin, grebeni, vzpetine, pobočja, ravnine itd.

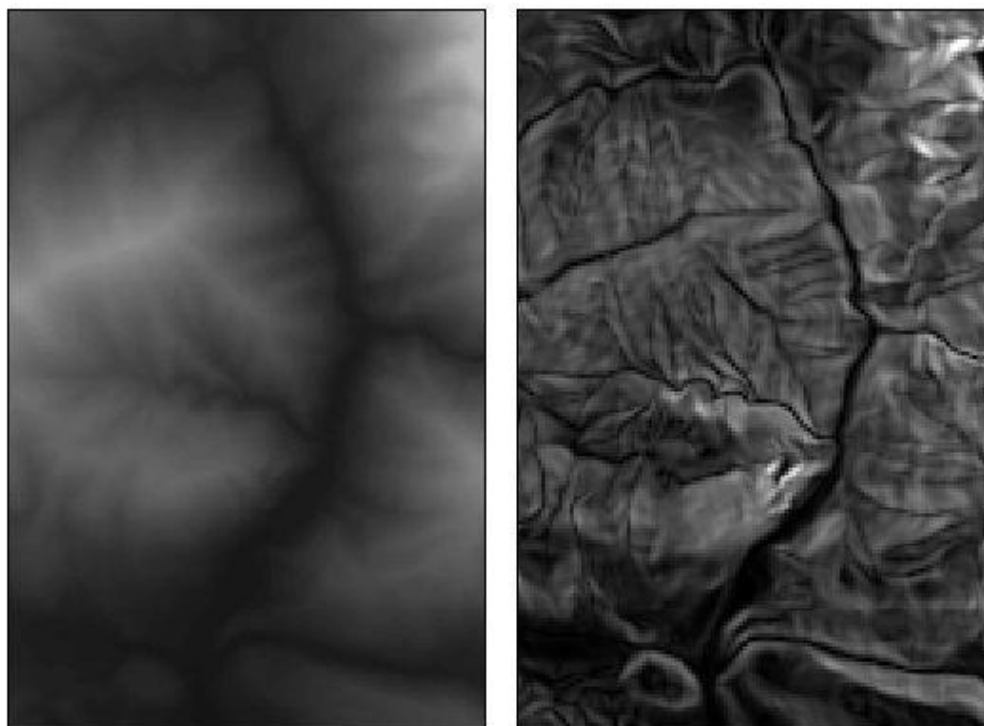
Če želimo prepoznavati značilnosti filtriranih posnetkov, je pogosto zelo pripravna uporaba različnih barvnih lestvic. Slika 6.15 predstavlja obdelan DMV 25 z Robertsovim filtrom, ki je prikazan v štirih različnih barvnih lestvicah. Na ta način se posamezne podrobnosti na posnetku bolj poudarijo.



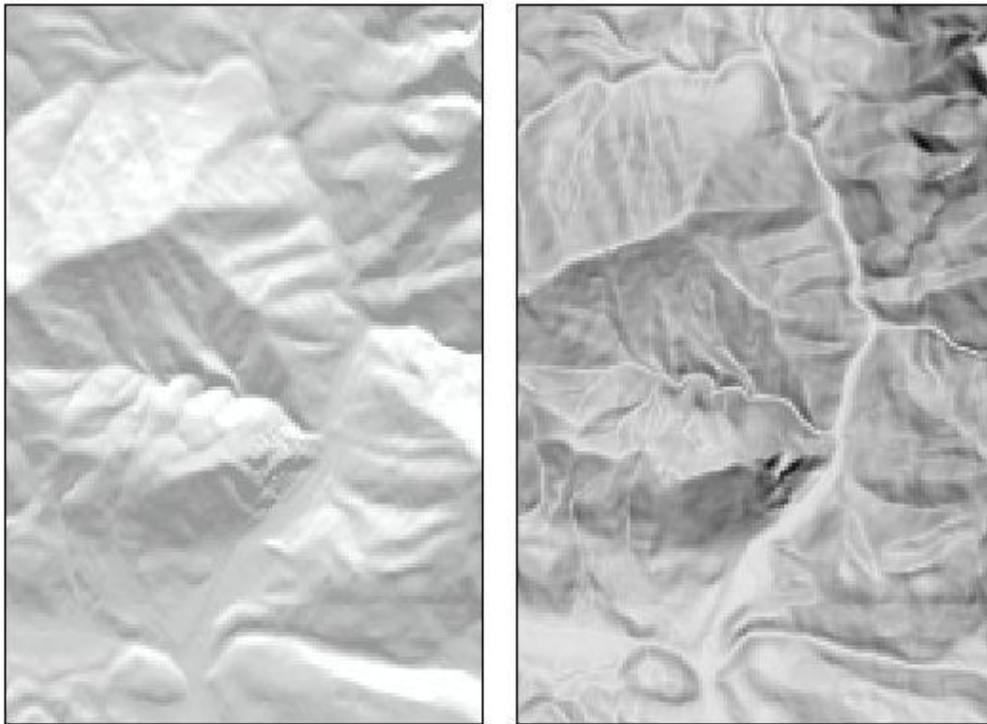
Slika 6.15: Prikaz obdelane matrike DMV 25 z Robertsovim filtrom s štirimi različnimi barvnimi lestvicami

6.2.7 Sobelov filter

Oblika filtra: $\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$



Slika 6.16: Prikaz DMV 25 s hipsometrično lestvico na levi in rezultat obdelave s Sobelovim filtrom na desni strani

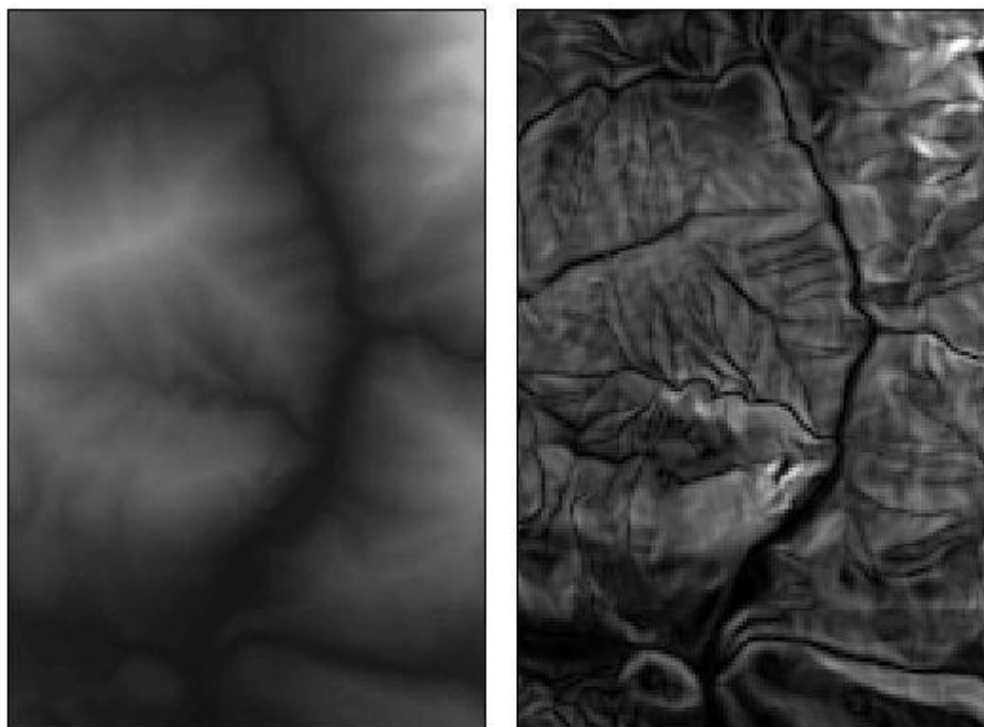


Slika 6.17: Prikaz analitičnega senčenja DMV 25 na levi in rezultat obdelave s Sobelovim filtrom in senčenjem na desni strani

Sobelov filter odkrivanja robov še bolje poudari geomorfološke značilnosti zemeljskega površja kot Robertsov filter. Tudi na tem posnetku z dodanim senčenjem je mogoče prepoznati dna dolin, grebene, vzpetine, pobočja, ravnine itd.

6.2.8 Prewittov filter

Oblika filtra:
$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$



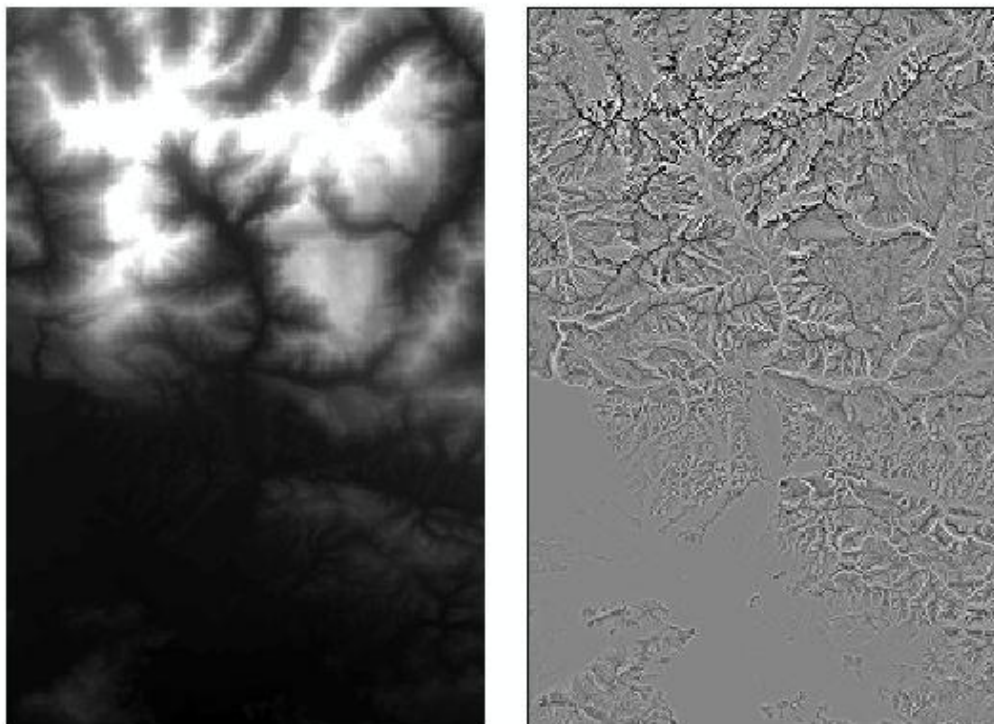
Slika 6.18: Prikaz DMV 25 s hipsometrično lestvico na levi in rezultat obdelave s Prewittovim filtrom na desni strani

6.2.9 Laplaceov filter

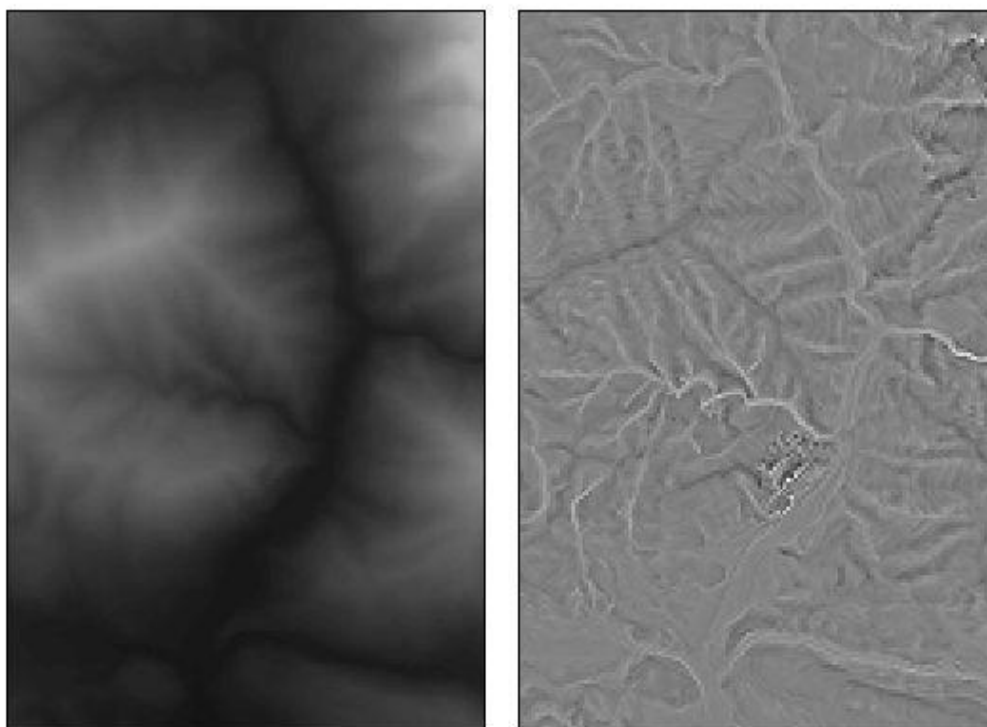
Oblika filtra:
$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -4 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Laplaceov filter je pogosto uporabljan visokoprepustni filter, ki služi odkrivanju robov in je podoben matematični operaciji drugega odvoda. Preizkušenih je bilo več variant Laplaceovega filtra, kljub temu pa so si rezultati med seboj zelo podobni. Na tem mestu so predstavljeni rezultati samo ene variante filtra.

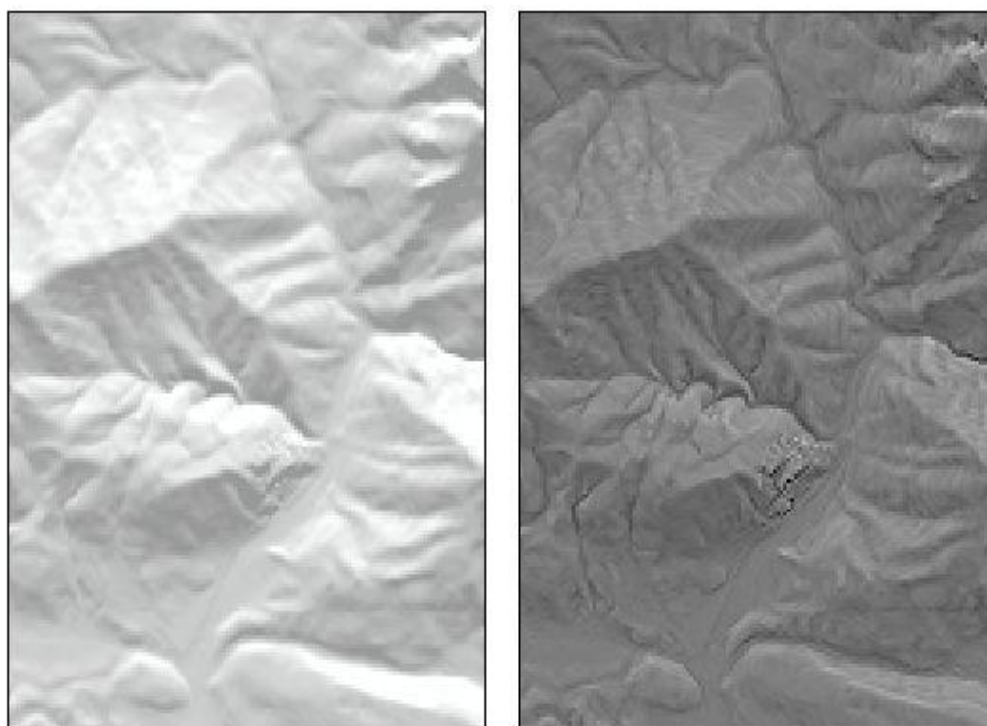
Laplaceov filter zelo dobro izpostavlja robove in s tem poudarja razgibanost zemeljskega površja. Na Slika 6.19 in 6.20 je mogoče videti dna dolin (temnejši odtenki), oblikovanost pobočij in potek grebenov (svetlejši odtenki). Značilnosti površja postanejo še bolj prepoznavne, ko prekrijemo posnetek s slojem analitičnega senčenja DMR.



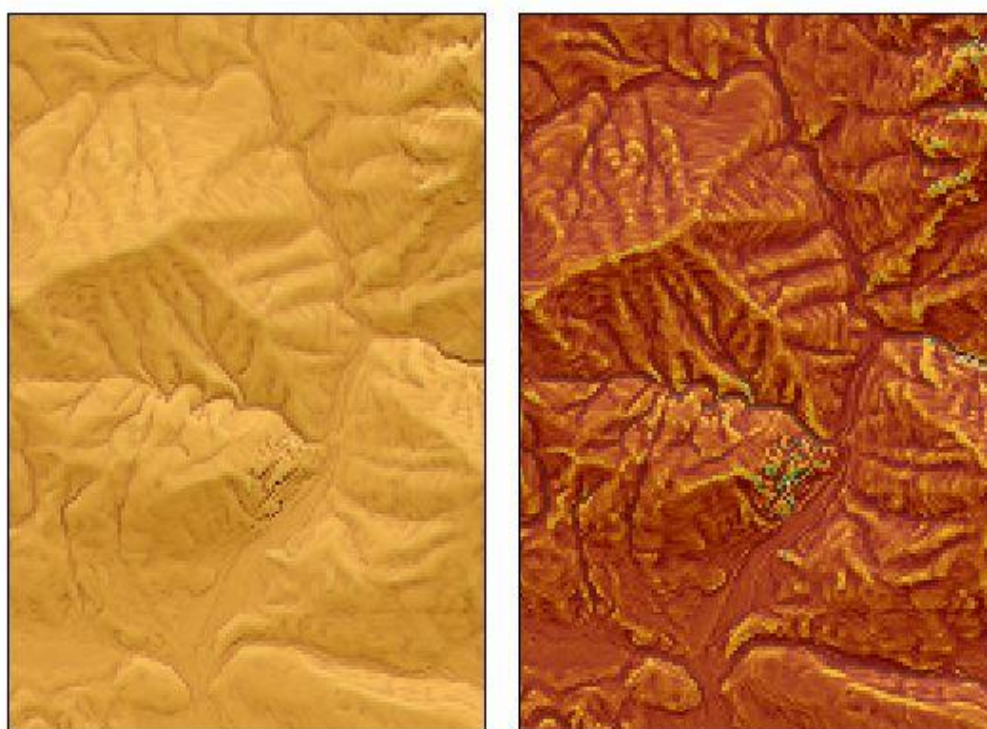
Slika 6.19: Prikaz DMV 100 s hipsometrično lestvico na levi in rezultat obdelave s Laplaceovim filtrom na desni strani



Slika 6.20: Prikaz DMV 25 s hipsometrično lestvico na levi in rezultat obdelave s Laplaceovim filtrom na desni strani

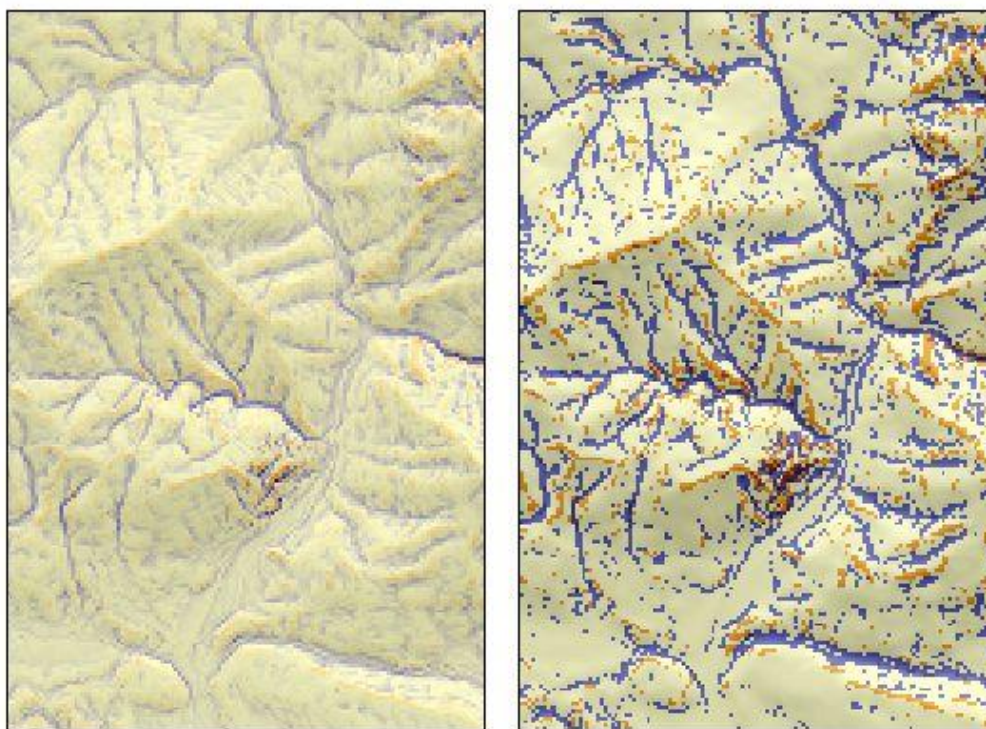


Slika 6.21: Prikaz analitičnega senčenja DMV 25 na levi in rezultat obdelave z Laplaceovim filtrom in senčenjem na desni strani



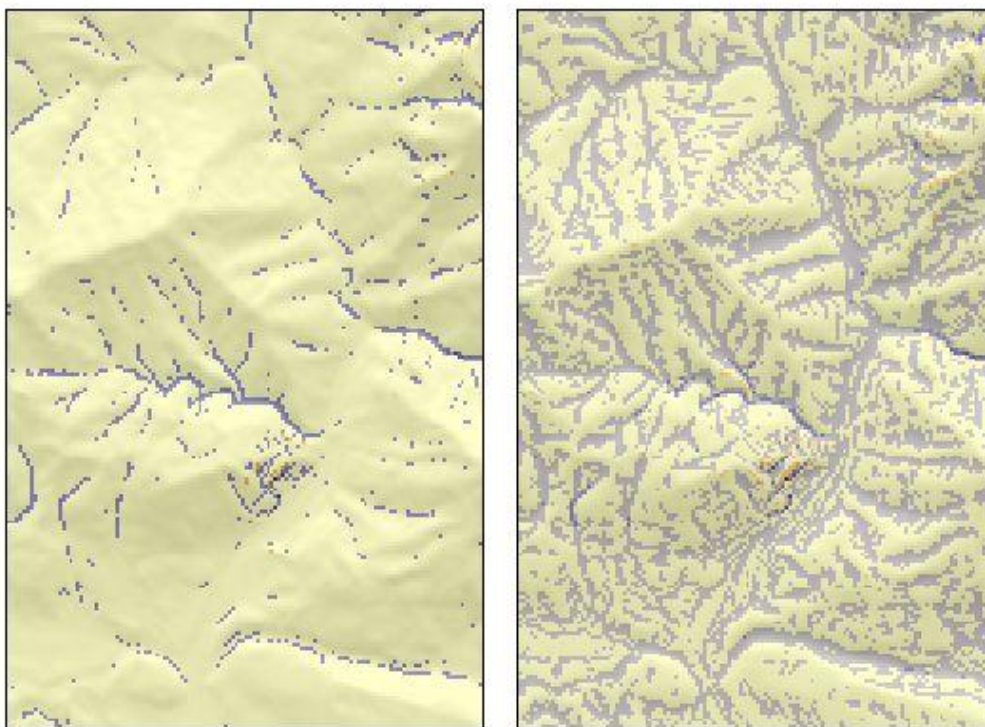
Slika 6.22: Prikaz obdelane matrike DMV 25 z Laplaceovim filtrom z različnimi barvnimi lestvicami

Posnetek, obdelan z Laplaceovim filtrom, je mogoče tudi klasificirati na več različnih načinov, kjer pridobimo osnovne poteze oblikovanosti zemeljskega površja, kot so dna dolin in grebeni. Najbolj uporabni metodi za klasifikacijo sta v tem primeru metoda kvantilov in metoda standardnega odklona.



Slika 6.23: Prikaz filtriranega DMV 25 s kontinuirano barvno lestvico na levi in s klasifikacijo v razrede po metodi kvantilov na desni strani

Na zgornji sliki (Slika 6.23) lahko vidimo dva prikaza filtriranega DMV 25 z Laplaceovim filtrom. Oba posnetka uporabljata isto barvno lestvico, razlika pa je v tem, da je levi posnetek prikazan s kontinuirano barvno lestvico, desni posnetek pa je klasificiran v pet razredov po metodi kvantilov. Če primerjamo posnetka, nam desni posnetek bolj izrazito predstavi določene značilnosti površja. Z oranžno barvo so prikazani grebeni in bolj izbočeni deli površja, z modro barvo so prikazane doline in vbočeni deli površja, rumene barve pa so pobočja.



Slika 6.24: Prikaz filtriranega DMV 25 s klasifikacijo po metodi standardnega odklona
(meje razredov so oblikovane na intervalih 1 oziroma 1/2 standardnega odklona)

Na Slika 6.24 sta prikazana dva posnetka, obdelana z Laplaceovim filtrom in klasificirana po metodi standardnega odklona. Na levem posnetku je širina razredov vrednost celotnega standardnega odklona. Tukaj je mogoče prepoznati samo nekatere doline in vbočene dele zemeljskega površja, ne pa vseh. Na desnem posnetku pa je širina razredov polovična vrednost standardnega odklona. Ta posnetek bolje prikazuje značilnosti, kot so doline in vbočene dele površja, žal pa ne prepozna vrhov in grebenov.

7 ALGORITMI ZA KARTIRANJE EKSTREMNIH VREDNOSTI

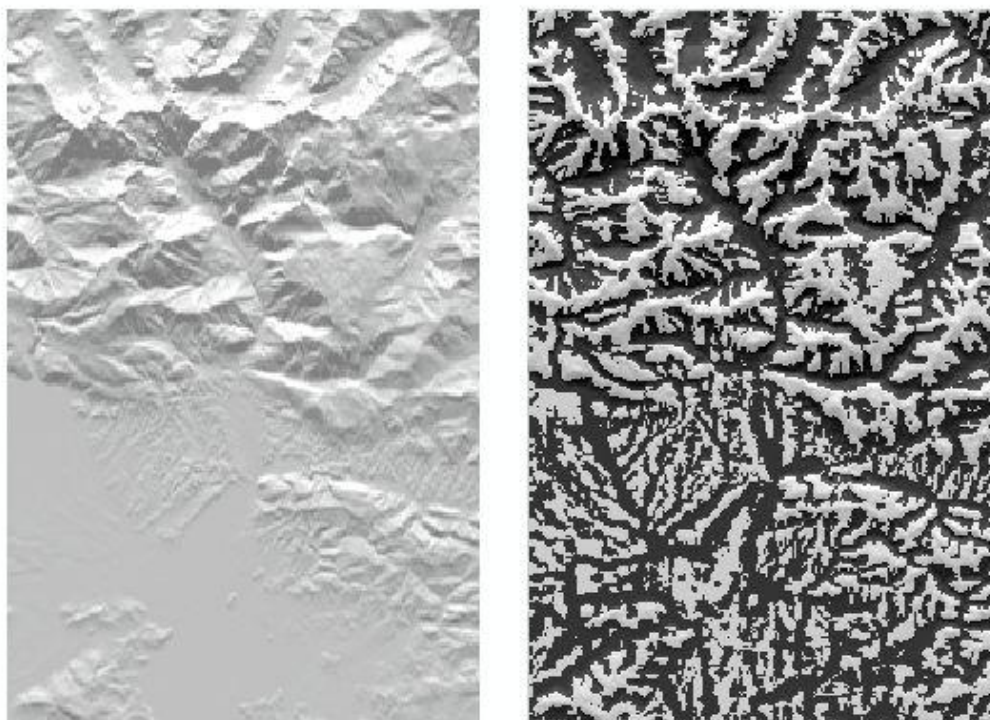
V tem poglavju so obravnavane tri tehnike kartiranja vrednosti v lokalnem oknu:

- primerjava sredinskega piksla s povprečjem,
- kartiranje minimumov in maksimumov,
- kartiranje izbranega odstotka pikslov.

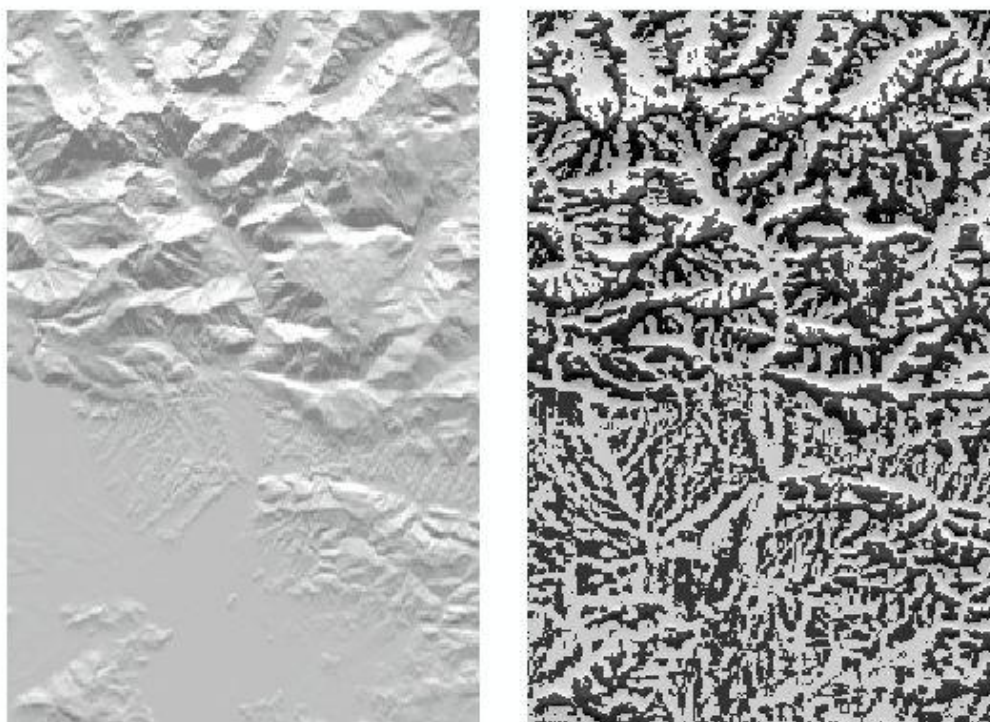
7.1 Primerjava sredinskega piksla s povprečjem

Ta metoda temelji na postopku, kjer se sredinski piksel primerja s povprečjem vseh vrednosti pikslov v lokalnem oknu. Omogoča prikazovanje lokalno višjih oziroma nižjih območij, kar pomeni izpostavljanje bodisi grebenov in izbočenih področij bodisi dolin in vbočenih predelov površja.

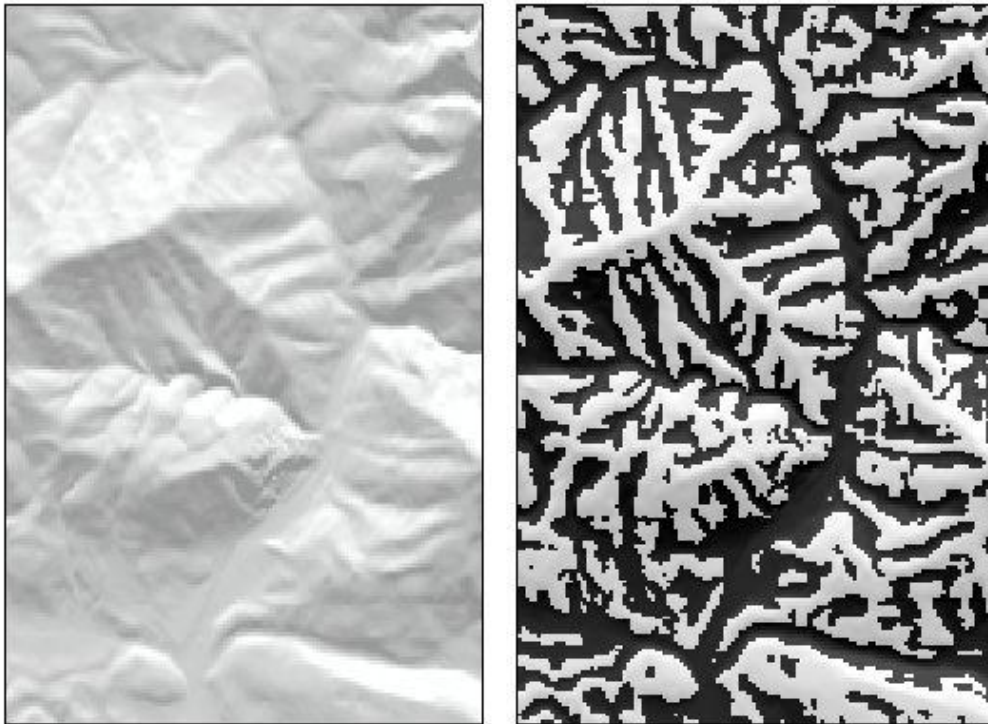
Lokalno okno ustrezne velikosti se pošlje po vsej matriki DMR, kjer se preverja vrednost sredinskega piksla s povprečno vrednostjo vseh pikslov v oknu. Če je vrednost sredinskega piksla večja od povprečja v oknu, se v končno matriko zapiše vrednost 1, v nasprotnem primeru pa se zabeleži vrednost 0. Tako pridobimo binarno matriko, ki prikazuje lokalno višja oziroma lokalno nižja območja.



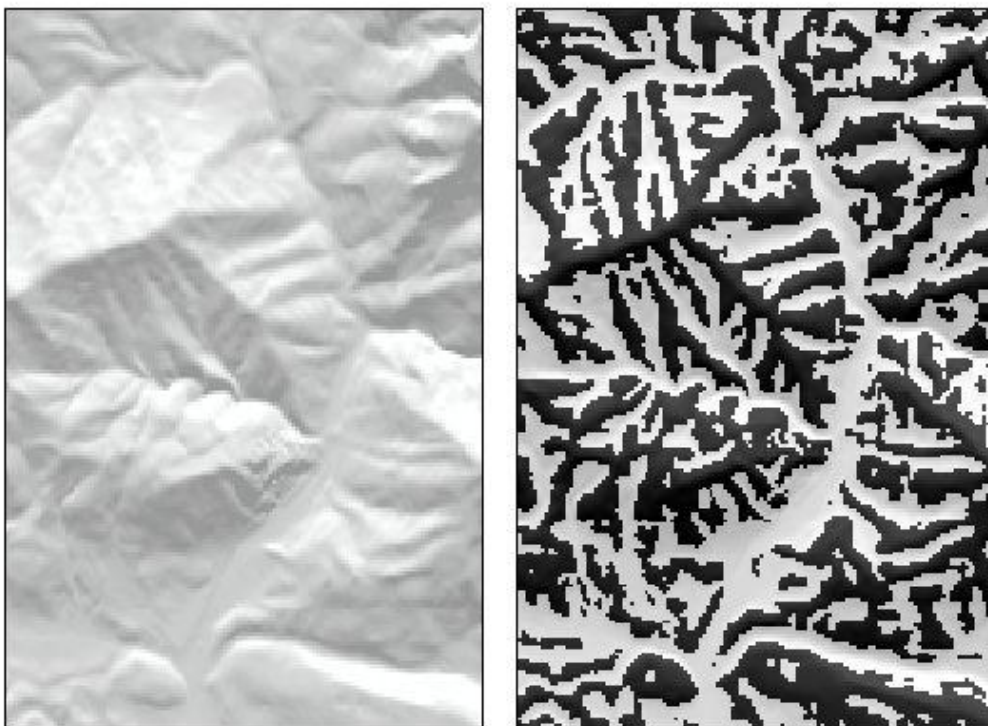
Slika 7.1: Prikaz analitičnega senčenja DMV 100 na levi ter kartiranja vrednosti, ki so manjše od povprečja, z lokalnim oknom 7×7 in senčenjem na desni strani



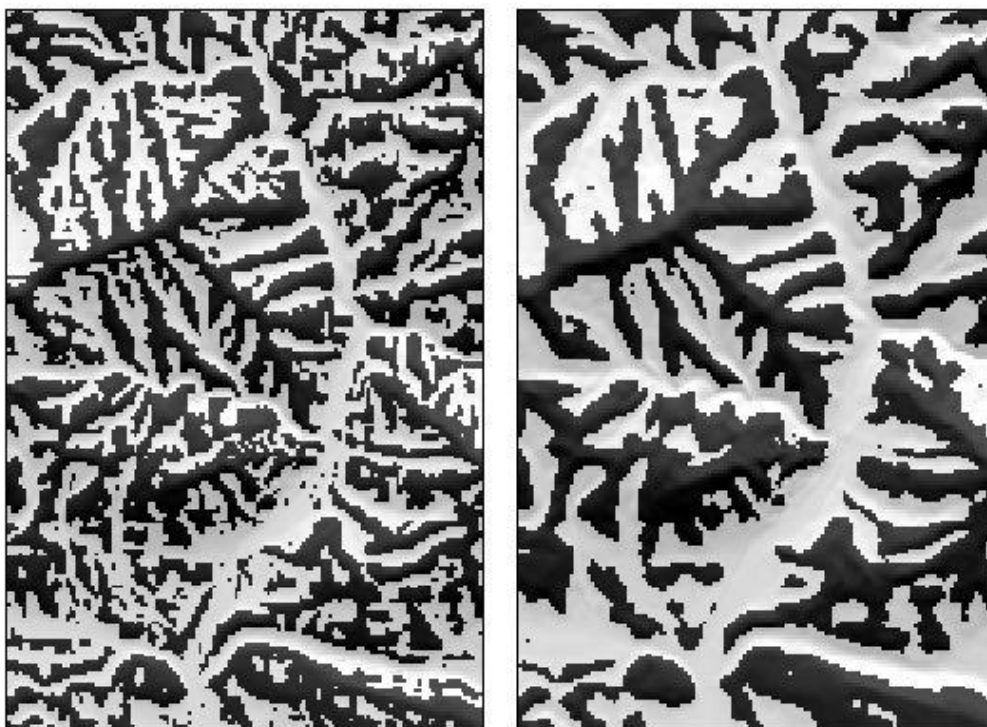
Slika 7.2: Prikaz analitičnega senčenja DMV 100 na levi ter kartiranja vrednosti, ki so večje od povprečja, z lokalnim oknom 7×7 in senčenjem na desni strani



Slika 7.3: Prikaz analitičnega senčenja DMV 25 na levi ter kartiranja vrednosti, ki so manjše od povprečja, z lokalnim oknom 7×7 in senčenjem na desni strani



Slika 7.4: Prikaz analitičnega senčenja DMV 25 na levi ter kartiranja vrednosti, ki so večje od povprečja, z lokalnim oknom 7×7 in senčenjem na desni strani



Slika 7.5: Primerjava kartiranja vrednosti, ki so večje od povprečja, z lokalnim oknom 5×5 in 13×13 in senčenjem (DMV 25)

Metoda je bila preizkušena na lokalnih oknih različnih velikosti. Pri obdelavi matrike z manjšimi lokalnimi okni so lokalno višja oziroma nižja področja prikazana precej razpršeno in nepovezano, pri večjih lokalnih oknih pa se ta območja povezujejo v bolj strnjene površine. Dober primer je Slika 7.5, kjer je prikazana primerjava med rezultati obdelave z lokalnim oknom velikosti 5×5 oziroma 13×13 . Kartirana so območja na DMR, ki so lokalno višja in bolj izbočena (konveksna). Izkazalo se je, da je za ugotavljanje grebenov in dolin najprimernejša velikost lokalnega okna dimenzije 7×7 .

7.2 Kartiranje lokalnih minimumov in maksimumov

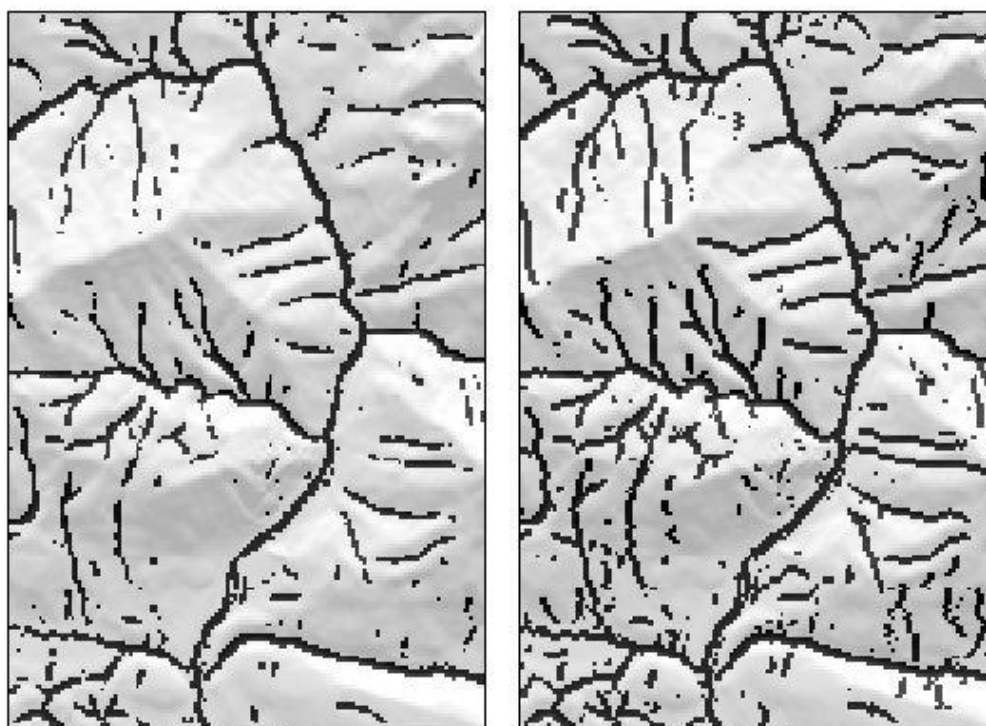
Postopek za kartiranje lokalnih minimumov in maksimumov deluje tako, da se lokalno okno pošlje po vsej matriki DMR ter se ob vsakem premiku lokalnega okna poišče minimalno oziroma maksimalno vrednost, ki se jo kartira v izhodno matriko. Kartiranje v izhodno matriko se izvede, tako da se vrednost celice, ki ima npr. maksimalno vrednost v lokalnem oknu, prepíše na isto mesto, kot je v izvorni matriki, druge celice pa ostanejo v izhodni matriki prazne.

Na podoben način delujeta tudi postopka za kartiranje nizkih in visokih vrednosti. Lokalno okno se pošlje po vsej matriki DMR ter se ob vsakem premiku lokalnega okna izvede naslednje opravilo: Vrednosti v lokalnem oknu se razvrstijo v izbrano število razredov (v našem primeru 10) po metodi enakih intervalov. Nato se v izhodno datoteko kartira celice, katerih vrednosti so bodisi v prvem razredu za nizke vrednosti bodisi v zadnjem razredu za visoke vrednosti.

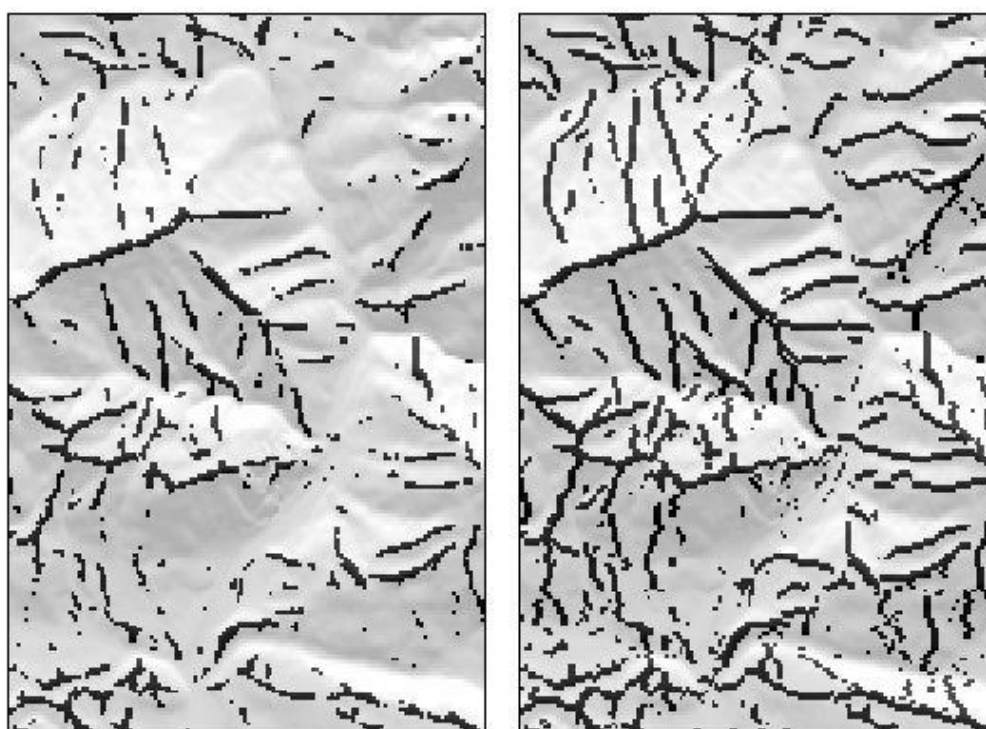
Omenjene metode omogočajo prikazovanje lokalno višjih oziroma nižjih področij, kar pomeni izpostavljanje bodisi grebenov in izbočenih (konveksnih) področij bodisi dolin in vbočenih (konkavnih) predelov površja.

Pridobljenim končnim matrikam se nato izdela negativ. Razlog te operacije je v tem, da se pri kartiranju rezultatov večina matrike zapolni. To pomeni, da je na primer pri kartiranju visokih vrednosti v končni matriki večina celic opredeljena kot visoke vrednosti, manjši del celic, ki ostanejo, pa potem lahko opredelimo kot nizke vrednosti in to da končno uporabno vrednost tej metodi. Torej iz matrik kartiranja visokih vrednosti ali maksimalne vrednosti pridobimo območja dolin in vbočenih delov površja, iz matrik kartiranja nizkih vrednosti ali minimalnih vrednosti pa dobimo območja grebenov in izbočenih delov površja.

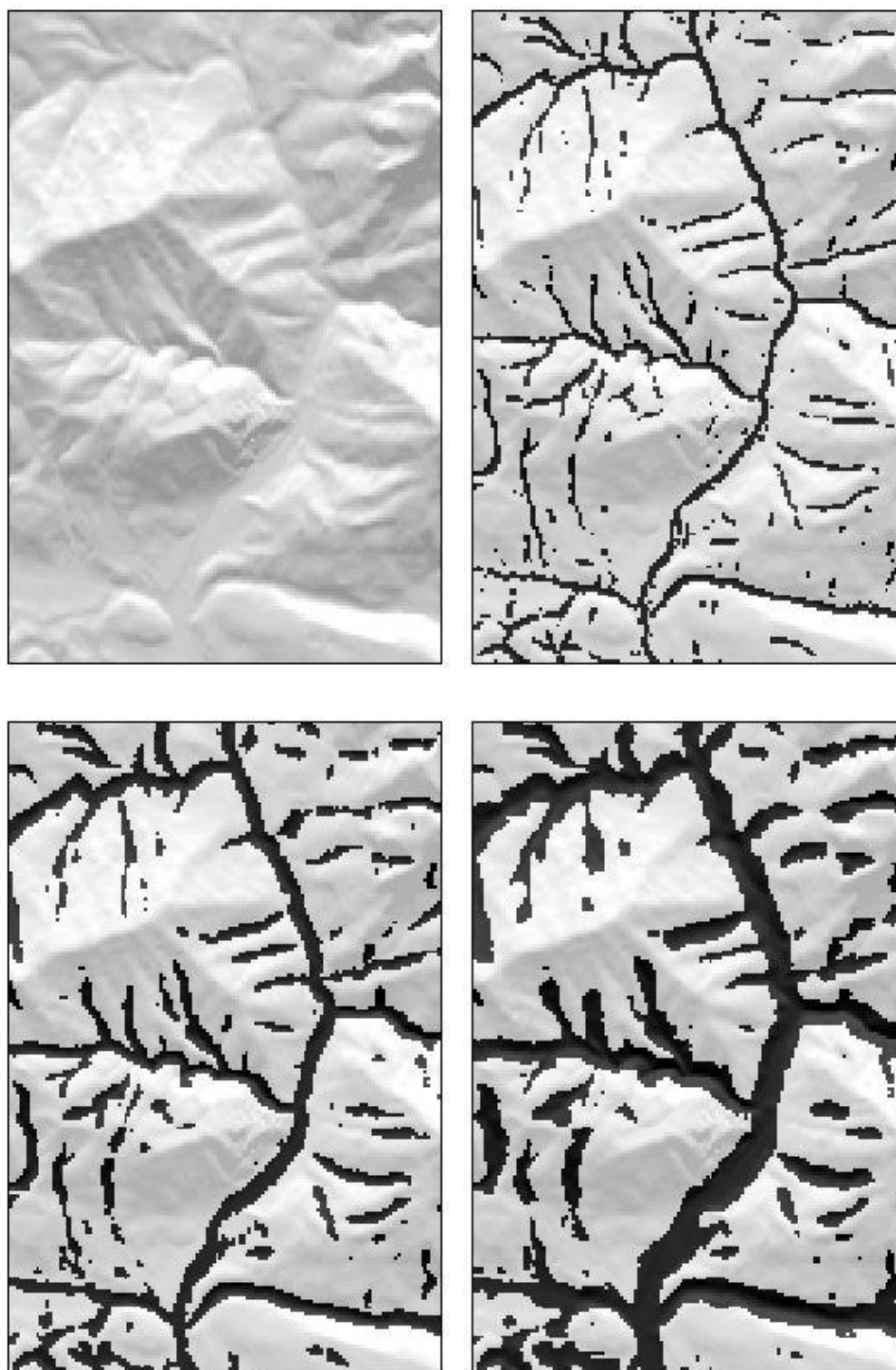
Spodaj so prikazani rezultati vseh štirih metod, ki jih tukaj obravnavamo. Slika 7.6 prikazuje kartiranje visokih vrednosti in maksimalne vrednosti. Rezultat te obdelave so dna dolin in vbočeni deli površja na posnetku. Slika 7.7 prikazuje kartiranje nizkih vrednosti in minimalne vrednosti. Tukaj je mogoče prepoznati grebene in izbočene dele zemeljskega površja.



Slika 7.6: Primerjava matrike kartiranja visokih vrednosti na levi in maksimalne vrednosti na desni strani z uporabo lokalnega okna 3×3 in senčenjem (DMV 25)



Slika 7.7: Primerjava matrike kartiranja nizkih vrednosti na levi in minimalne vrednosti na desni strani z uporabo lokalnega okna 3×3 in senčenjem (DMV 25)



Slika 7.8: Prikaz matrike kartiranja visokih vrednosti na DMV 25 z uporabo lokalnih oken 3×3 , 5×5 in 9×9 ter dodanim senčenjem

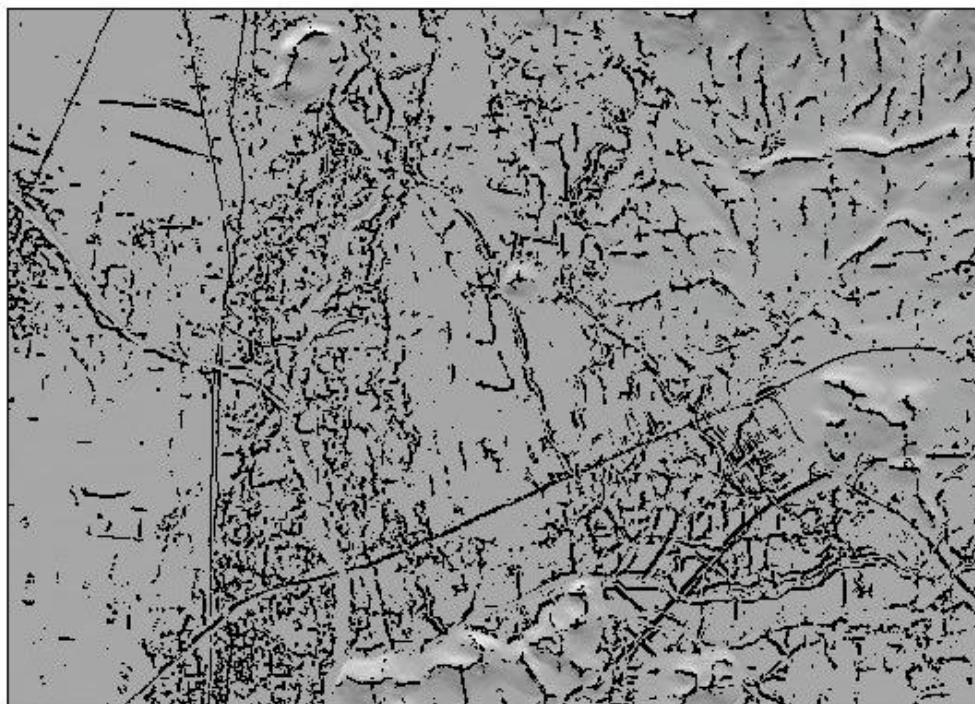
Slika 7.8 prikazuje nizke vrednosti z uporabo različno velikih lokalnih oken, ki so bile pridobljene z negativom matrike visokih vrednosti. Zelo očitno je, da so na posnetkih

kartirane doline in vbočena področja. Najbolj primerna se zdi uporaba metode kartiranja z velikostjo lokalnega okna 3×3 , kjer so lepo nakazane značilne linije (dna dolin). Podobno z negativom matrice nizkih vrednosti pridobimo visoke vrednosti na posnetku. Te vrednosti prikazujejo grebene in izbočene dele površja.

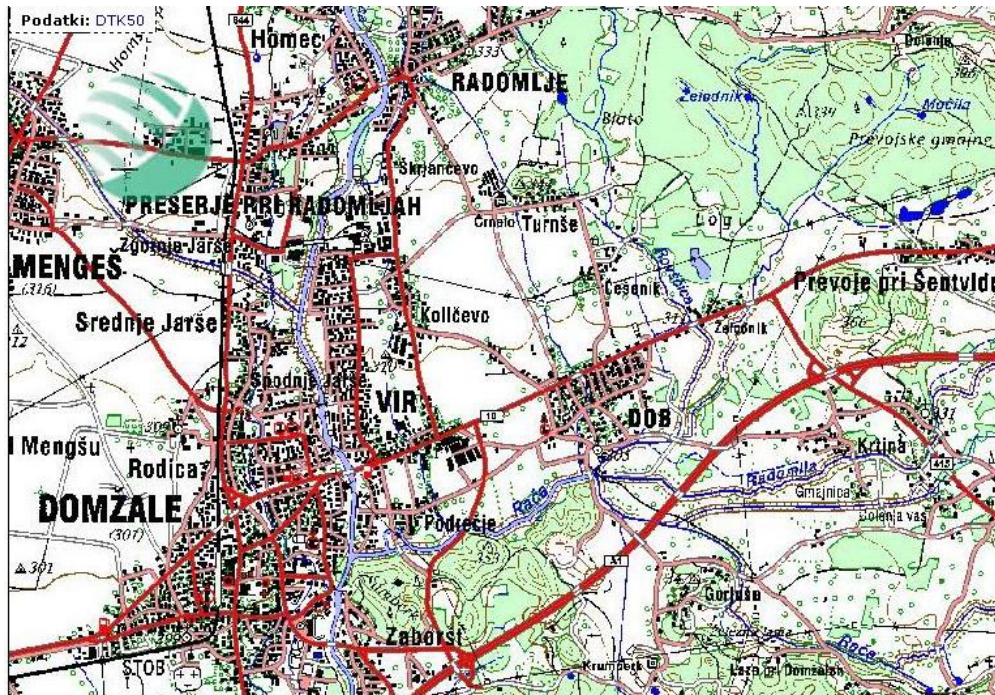
Opozoriti je potrebno na previdno uporabo metod lokalnih ekstremov z upoštevanjem okolice, ker se dogaja, da na ravninah in blago spreminjajočih se površinah metoda najde hkrati minimume in maksimume (Krevs, 1992)

7.2.1 Odkrivanje antropogenih elementov na posnetku

Pri uporabi DMR višje ločljivosti, kot je DMV 12,5, je mogoče z metodo kartiranja nizkih vrednosti razpoznavati nekatere antropogene elemente, kot so npr. ceste, železniške proge in naselja. Na Slika 7.9 so prikazani dvignjeni deli površja v okolici Domžal. Podobne značilnosti lahko zaznamo tudi pri obdelavi DMR z visokoprepustnimi filtri, kot je na primer Laplaceov filter.



Slika 7.9: Prikaz kartiranja nizkih vrednosti z lokalnim oknom 3×3 na DMV 12,5 z dodanim senčenjem



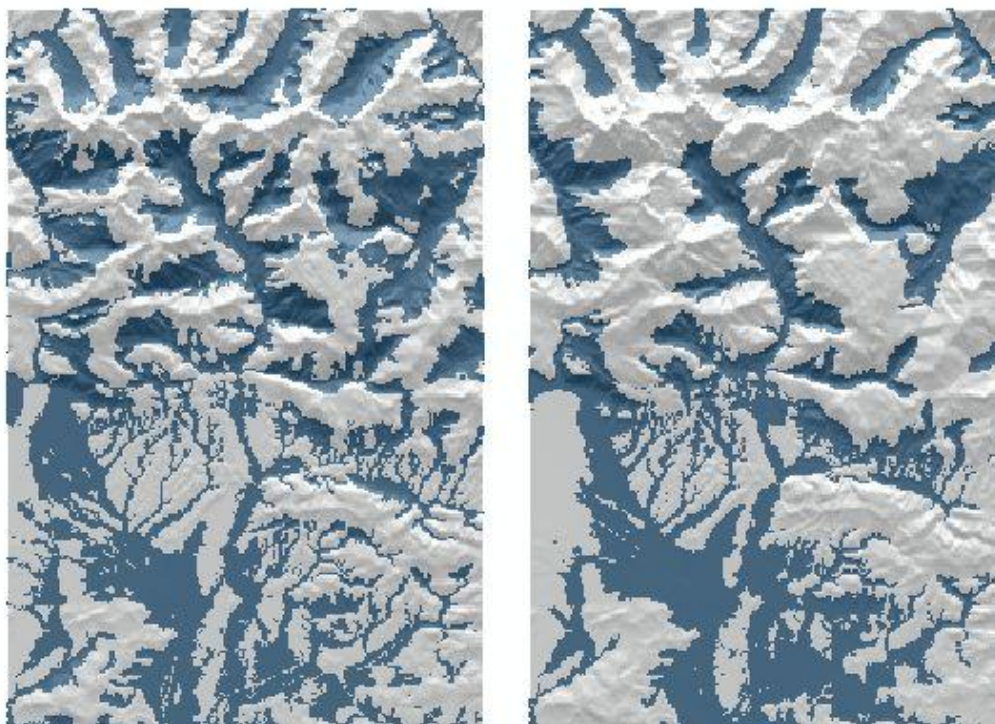
Slika 7.10: Izsek istega območja iz karte DTK 50

Vir: <http://prostor.gov.si/iokno/iokno.jsp>

Če primerjamo zgornji dve sliki, vidimo, da je iz obdelane matrike DMR mogoče prepoznati železniško progo Ljubljana–Kamnik, cesto iz Domžal proti Kamniku, državno cesto iz Domžal proti Trojanam in delno tudi avtocesto Ljubljana–Trojane.

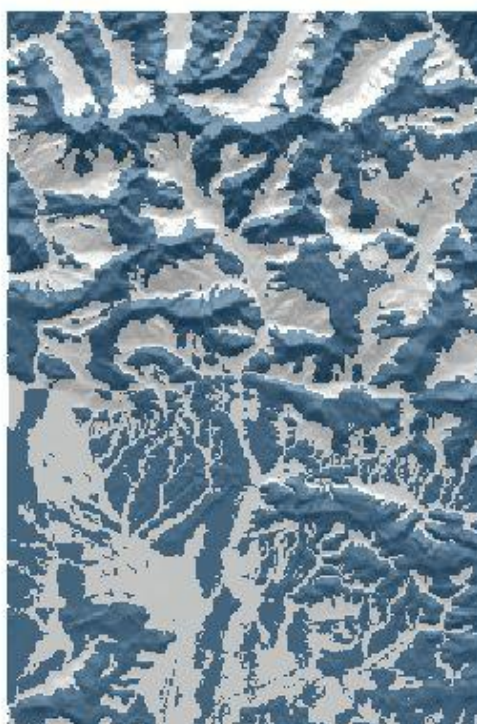
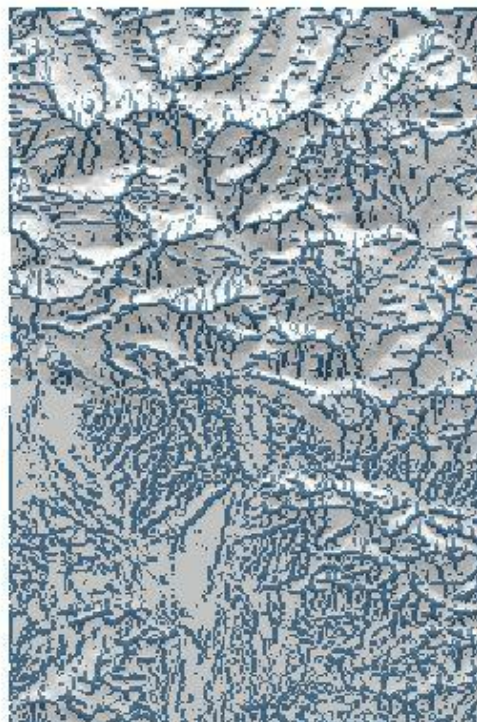
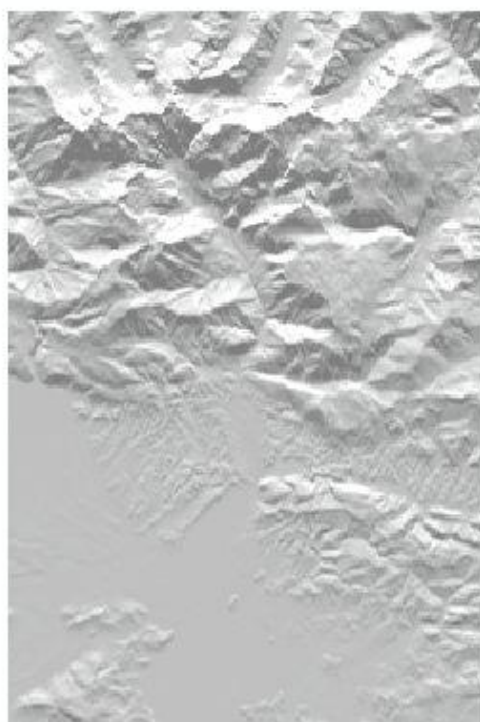
7.3 Kartiranje izbranega odstotka pikslov

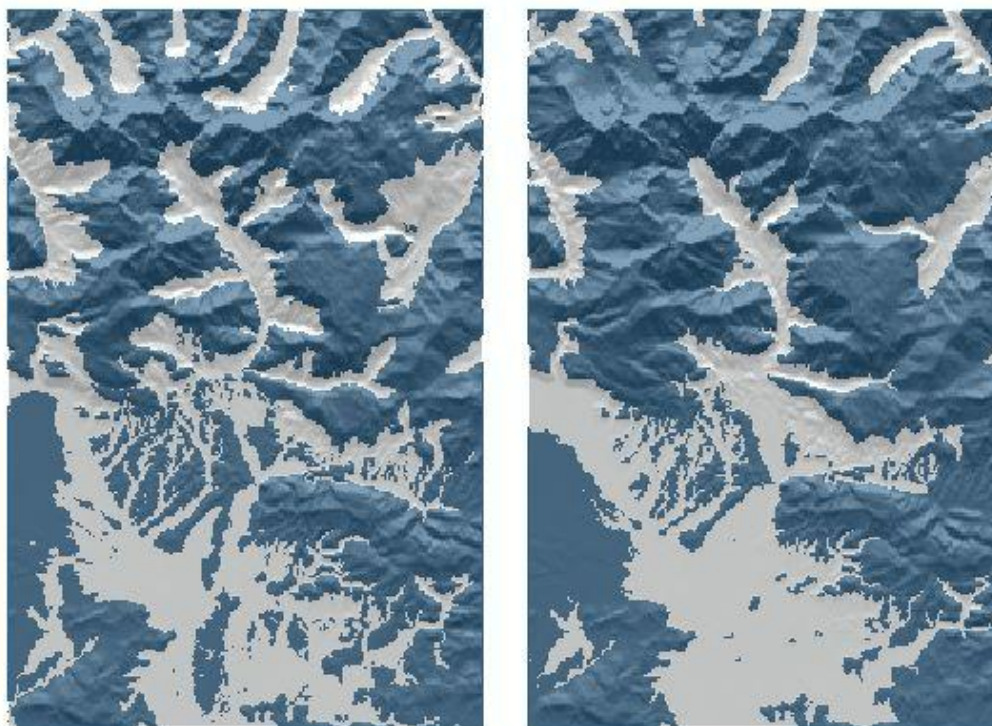
Metoda kartiranja izbranega odstotka vrednosti iz lokalnega okna omogoča določanje nekaterih značilnosti reliefa, kot so vrhovi in grebeni ali doline (Székely, 2001). Postopek deluje tako, da se lokalno okno pošlje po vsej matriki DMR ter se ob vsakem premiku okna odbere določen odstotek najvišjih ali najnižjih vrednosti v lokalnem oknu. Te vrednosti se kartirajo v izhodno matriko, tako da se prepisejo na isto mesto, kot so v izvorni matriki, ostale celice pa ostanejo v izhodni matriki prazne. Lokalna okna so pri tej metodi lahko zelo različnih velikosti, preizkušene pa so bile dimenzije lokalnih oken 3×3 , 7×7 , 15×15 , 31×31 in 63×63 . Delež odbranih pikslov v lokalnem oknu lahko poljubno določimo, najbolje pa je nekje med 1% in 5% pikslov.



Slika 7.11: Prikaz kartiranja 3% najnižjih vrednosti z lokalnim oknom 15×15 in 31×31 na DMV 100 in dodanim senčenjem

Slika 7.11 prikazuje kartiranje 3% najnižjih vrednosti z lokalnim oknom dimenzije 15×15 in 31×31 . Predstavljena so območja, ki so lokalno nižja, torej predvsem ravnine in doline.





Slika 7.12: Primeri kartiranja 3% najnižjih vrednosti z lokalnimi okni velikosti 3×3 , 7×7 , 15×15 , 31×31 in 63×63 celic v negativu z dodanim senčenjem

Na Slika 7.12 so izdelani primeri negativov kartiranja 3% najnižjih vrednosti z lokalnimi okni zelo različnih velikosti. V nasprotju s prejšnjo Slika 7.11 pa so tukaj prikazani vsi izbočeni deli zemeljskega površja, kot so gore, planote, hribi in višje ležeči deli ravnin.

8 ALGORITMI ZA IZDELAVO LOKALNIH HISTOGRAMOV

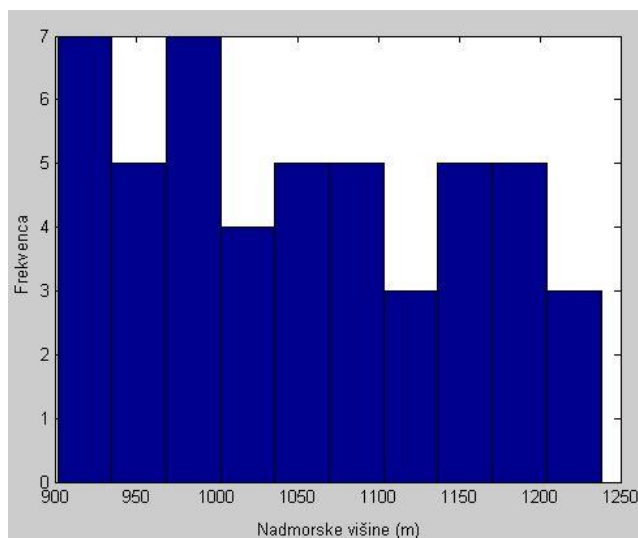
Lokalne histograme izdelamo na podlagi vrednosti v lokalnem oknu. V povezavi z obliko histograma lahko opišemo določene geomorfološke oblike površja. Metoda temelji na predpostavki, da so glede na različne geomorfološke oblike različne tudi oblike histogramov (Székely, 2001).

Pri algoritmih za izdelavo lokalnega histograma najprej lokalno okno pošljemo po matriki DMR. Pri vsakem premiku okna algoritem prebere vse vrednosti in zapiše v vektor. Vrednosti v tem vektorju se sortirajo po velikosti od najmanjše do največje. Število vrednosti je odvisno od velikosti lokalnega okna, ki je lahko različnih dimenzij: 3×3 , 5×5 , 7×7 ali 9×9 . Pri lokalnih oknih dimenzij več od 11×11 pa so rezultati vedno bolj grobi in so primerni le za analize zelo generaliziranih reliefnih oblik.

Za izdelavo histograma je treba niz vrednosti razvrstiti v razrede. Pojavi se vprašanje, po katerem načelu določiti število razredov. Sturgesova formula za določitev števila razredov ne pride v poštev, ker vemo, da vrednosti višin v lokalnem histogramu načeloma niso razporejene normalno. Po poizkušanju uporabe različnega števila razredov je ugotovljeno, da je najprimernejša razvrstitev v deset razredov. Odločitev za razvrščanje vrednosti v razrede po metodi enakih intervalov pa je smotrna zaradi enostavnega izračuna.

Za vsak premik lokalnega okna se širina in meje razredov na novo določijo, saj se tudi razpon vrednosti v lokalnem oknu spreminja. Čeprav se širina in meje razredov spreminjajo, ostaja njihovo število konstantno.

Veliko bolje si predstavljamo, če razvrstitev elementov po razredih grafično predstavimo. To nam omogoča stolpčni grafikon ali histogram (Slika 8.1). Na abscisni osi je prikazan razpon vrednosti iz lokalnega okna, na ordinatni osi pa je frekvenca, ki prikazuje število elementov v posameznem razredu.



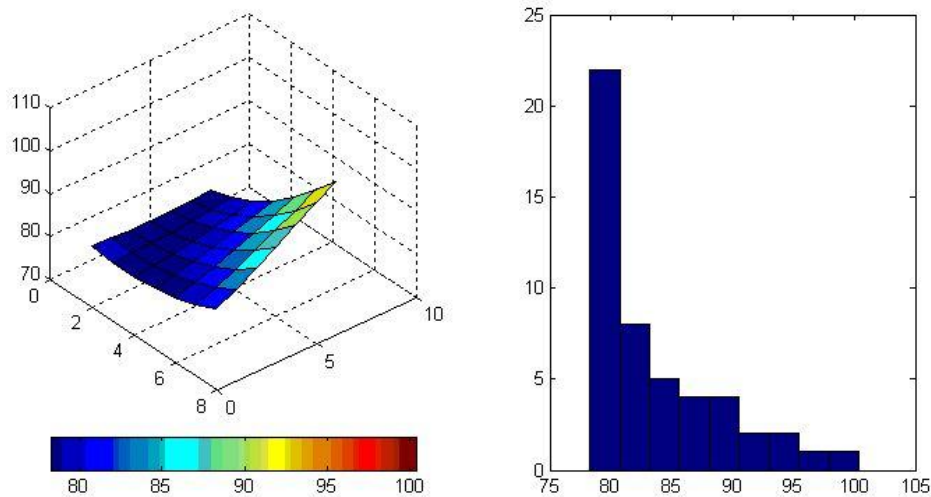
Slika 8.1: Primer histograma za lokalno okno dimenzije 7×7

Iz histograma lahko razberemo, kje se koncentrirajo vrednosti; ali so vrednosti enakomerno razporejene po vseh razredih v histogramu ali pa je na nekem delu histograma frekvenca občutno večja. Preverili bomo, ali je mogoče iz oblike histograma ugotoviti, kakšne so geomorfološke značilnosti obravnavanega lokalnega območja. Preizkusiti potrebno tudi zanesljivost navedene metode. Če se izkaže metoda kot verodostojna, je naslednja zamisel ta, da se samodejno prepozna obliko histogramov, kar posledično pripelje do samodejnega prepoznavanja oblik zemeljskega površja.

8.1 Analiza histogramov

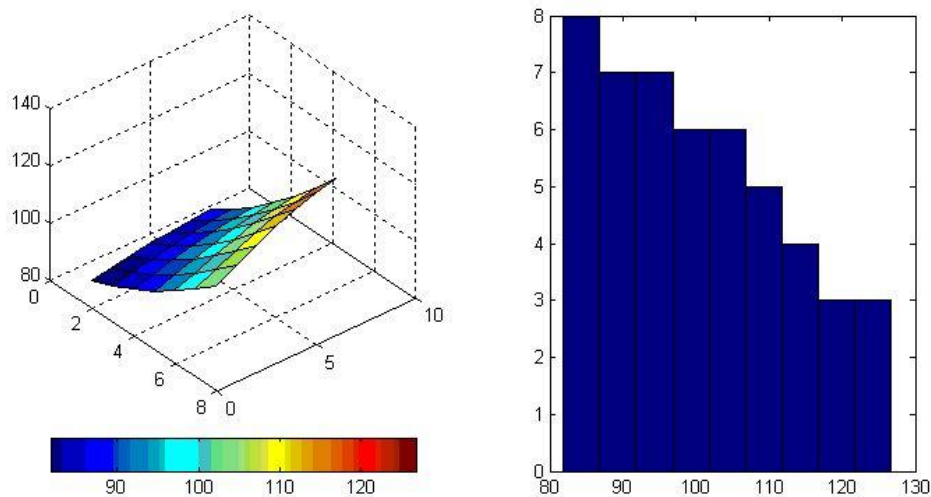
V tem podpoglavju so prikazane različne oblike histogramov. Ob vsakem histogramu je izrisana tudi ploskev površja, na podlagi katere je bil izdelan histogram. Tako je mogoče ugotavljati povezavo med obliko površja (ki ga zajema lokalno okno) in obliko histograma.

Iz velikega števila vzorcev je bilo prepoznanih nekaj značilnih oblik histogramov, ki so predstavljeni spodaj.



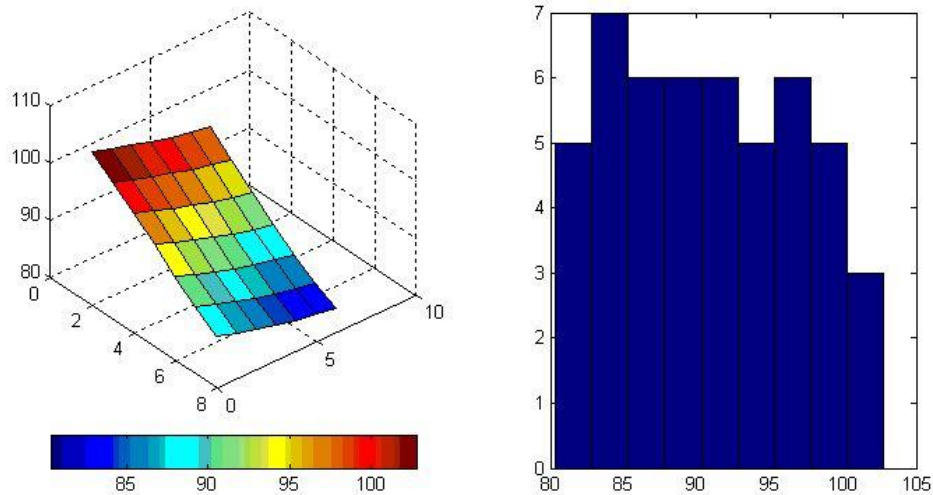
Slika 8.2: Značilna oblika histograma št. 1

V histogramu na Slika 8.2 je frekvenčna porazdelitev izrazito padajoča po stolpcih. Prvi stolpec ima občutno večjo frekvenco od ostalih stolpcev, kar pomeni, da prevladujejo nižje vrednosti. Taka oblika histograma predstavlja v naravi nekakšno dolinsko dno. Ploskev je konkavna.



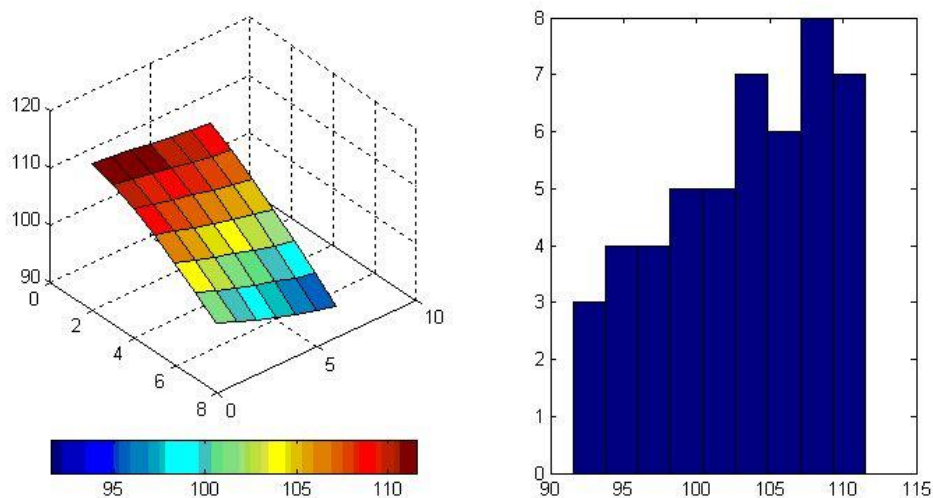
Slika 8.3: Značilna oblika histograma št. 2

Tudi v histogramu na Slika 8.3 prevladujejo nižje vrednosti, vendar ne toliko kot pri prejšnjem primeru. Vrednosti so veliko bolj enakomerno razporejene po vseh razredih, porazdelitev je enakomerno padajoča. Take vrste histogram predstavlja površje, ki iz doline prehaja v pobočje. Ploskev je konkavna.



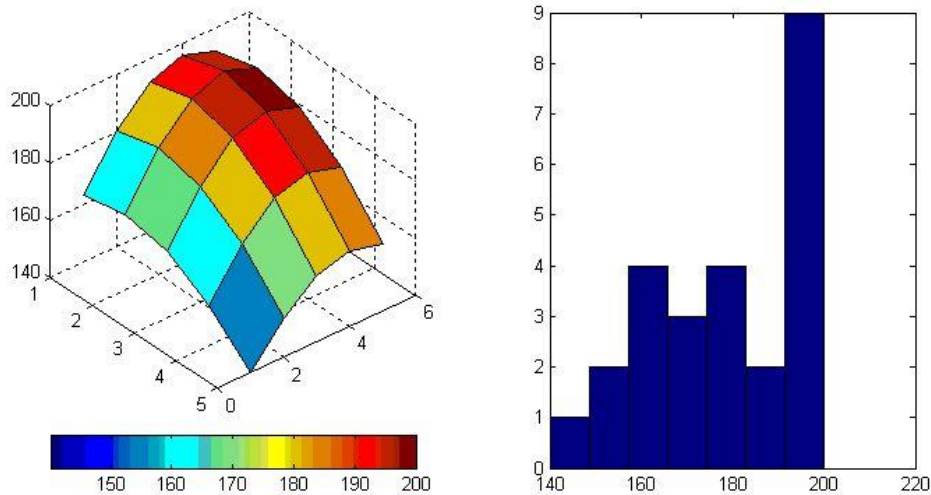
Slika 8.4: Značilna oblika histograma št. 3

V histogramu na Slika 8.4 je razvidna enakomerna frekvenčna porazdelitev, saj je frekvenca v vseh razredih skoraj enaka. Tak histogram predstavlja enakomerno nagnjeno površje, torej pobočje. Za ploskev tukaj ne moremo gotovo reči, ali je konveksna ali konkavna.



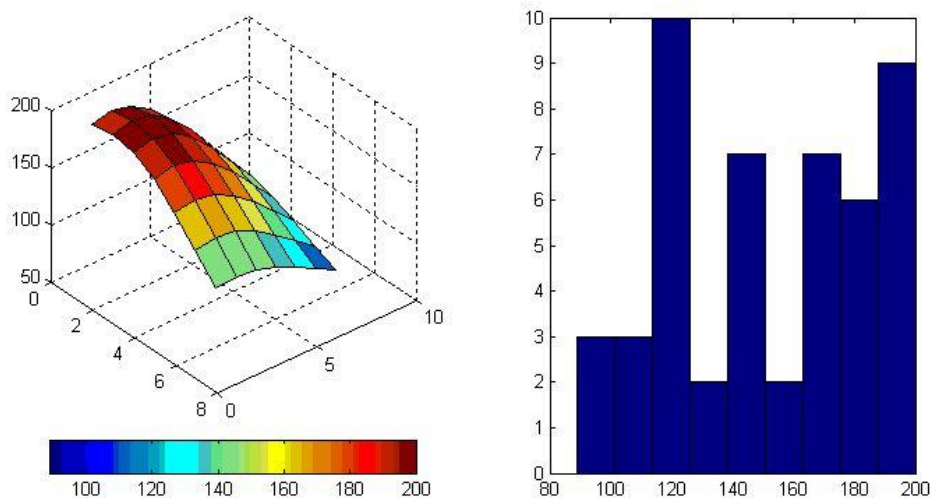
Slika 8.5: Značilna oblika histograma št. 4

Histogram na Slika 8.5 predstavlja enakomerno naraščajočo porazdelitev, saj se v višjih razredih frekvenca povečuje. Ploskev tukaj prehaja iz pobočja proti kopastemu vrhu, zato prevladujejo visoke vrednosti nad nizkimi. Ploskev je konveksna.



Slika 8.6: Značilna oblika histograma št. 5

V histogramu na Slika 8.6 izstopa zadnji stolpec, kjer je frekvenca daleč največja. Torej ploskev vsebuje veliko več visokih vrednosti kot nizkih, iz česar lahko sklepamo, da gre za nekakšen kopast vrh. Ploskev je konveksna.



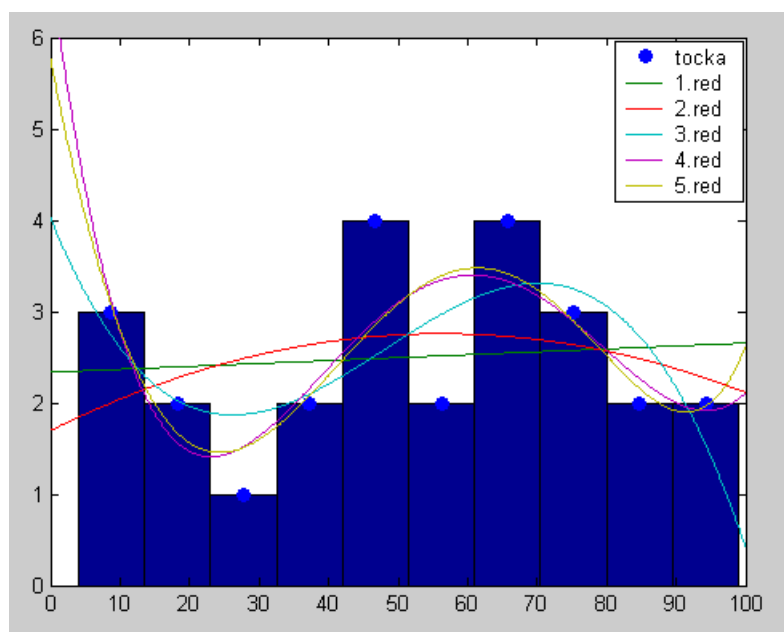
Slika 8.7: Primer netipične oblike histograma

Veliko oblik histogramov težko uvrstimo v katero od zgoraj naštetih skupin, kakor na primer histogram na Slika 8.7. Frekvenca v več stolpcih močno izstopa od ostalih stolpcev. Take oblike histogramov je težje razumeti in niso ugodne za samodejno prepoznavanje oblik histogramov.

8.2 Prilagajanje krivulje lokalnemu histogramu

Za vsako lokalno okno se izdela histogram, kjer ima vsak razred v histogramu določeno frekvenco. Če želimo samodejno razpoznavati oblike histogramov, si lahko pomagamo z aproksimacijo krivulj, ki najbolj opisujejo obliko histogramov.

Za prilagajanje krivulj na obliko histogramov so najprimernejši polinomi. Poleg nekaj drugih vrst krivulj, ki so bile ugotovljene kot manj zanesljive, so bili preizkušeni polinomi od prve do pete stopnje (Slika 8.8). Pomembno je, da krivulja ne dela odvečnih vrhov ali dolin, kar je bilo ugotovljeno pri nekaterih krivuljah. Seveda mora krivulja dovolj verodostojno predstavljati obliko histograma. Rezultati prilagajanj polinomov histogramu so bili preverjeni analitično in grafično. Pri polinomskih funkcijah velja, da večja kot je stopnja polinoma, bolj se prilega danim točkam oziroma obliki histograma.



Slika 8.8: Prikaz prilagajanja različnih polinomov glede na dani histogram

Izvedeno je bilo analitično preverjanje, katere krivulje se najbolj prilegajo histogramom. Na spodnji Slika 8.9 so predstavljeni parametri, na podlagi katerih se ocenjuje kakovost aproksimacije krivulj. Oznaka SSE izraža vsoto kvadratov popravkov razlike med histogramom in dano krivuljo. Oznaka R-square predstavlja kvadratno vrednost korelacije, ki zavzema vrednosti med 0 in 1. Bliže je vrednosti 1, bolj se polinom prilagaja histogramu.

Name	Type	SSE	R-square	RMSE
1. red	Polynomial	8.42424	0.00891	1.02617
2. red	Polynomial	7.93939	0.06595	1.06499
3. red	Polynomial	5.31702	0.37447	0.94137
4. red	Polynomial	4.05828	0.52256	0.90092
5. red	Polynomial	4.01212	0.52799	1.00151

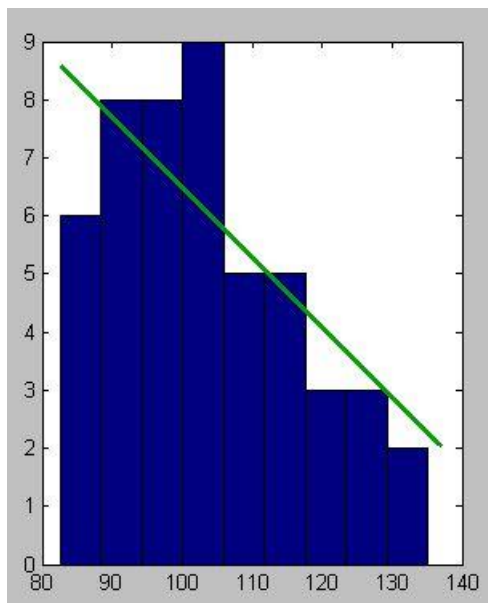
Slika 8.9: Primer ocenjevanja kakovosti posameznih krivulj pri aproksimaciji

Na podlagi parametrov kakovosti je bilo ugotovljeno, da polinomi višjih stopenj bolje izražajo frekvenčno porazdelitev v histogramu. Tudi vizualno je mogoče ugotoviti, da se polinomi višjih stopenj bolje prilegajo histogramu kot polinomi nižjih stopenj (Slika 8.8).

Linearna funkcija ima (pogosto) največjo vrednost SSE, saj se pojavljajo največje razlike med histogramom in funkcijo. Aproksimacija z linearno funkcijo je torej precej posplošena, kljub temu pa v veliko primerih dobro nakaže frekvenčno porazdelitev histograma. Pomemben dejavnik pri izbiri ustrezne aproksimacije je tudi hitrost in enostavnost izračuna, kar za linearno funkcijo lahko rečemo, medtem ko se z uvajanjem polinomov višjih stopenj količina obdelave občutno poveča.

Predvsem zaradi enostavnosti obdelave podatkov je bila za aproksimacijo lokalnih histogramov uporabljena linearna funkcija. Poskusili smo tudi s polinomi višjih stopenj, vendar je obdelava bolj zapletena in dolgotrajna zaradi izračuna več koeficientov, pojavljajo pa se tudi nepojasnjene napake pri izračunu koeficientov polinomov. Zaradi tovrstnih težav rezultatov polinomov višjih stopenj ni bilo mogoče analizirati, lahko pa predvidevamo, da gre pri tem za prepoznavanje zapletenejših geomorfoloških oblik.

Ko se lokalnemu histogramu izračuna ustrezno linearno funkcijo – premico (Slika 8.10), se v končno matriko zapiše vrednost koeficienta naklona te linearne funkcije. To se zgodi za vsak premik lokalnega okna, ki potuje po celotni matriki DMR. Ko se spreminja oblikovanost zemeljskega površja, se spreminjajo tudi oblike histogramov in s tem tudi naklonski koeficienti naklona, ki se zapišejo v končno matriko.



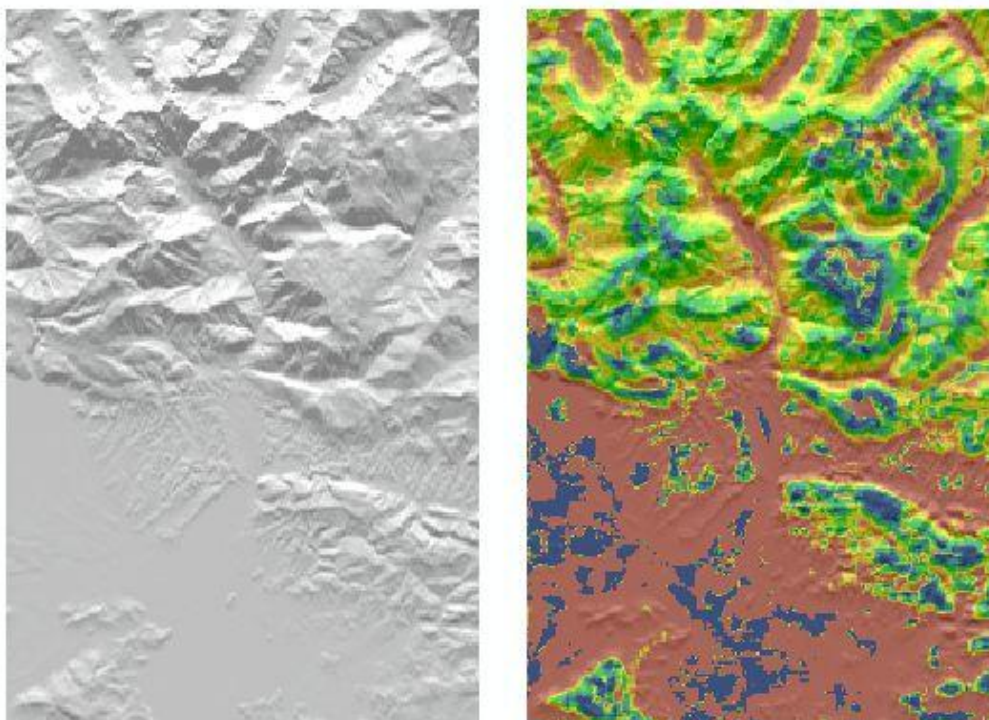
Slika 8.10: Histogram z izračunano linearno funkcijo

Naklonski koeficienti izračunane premice so pri različnih histogramih zelo različni. Premica je lahko naraščajoča, padajoča ali nekako uravnana (horizontalna). Glede na to pridobimo vrednost naklonskega koeficienta premice, ki je lahko pozitiven, negativen ali se giblje v bližini ničle.

Od naklona premice je odvisno, kakšna atributna vrednost se bo pripisala določeni celici v izhodni matriki, ki predstavlja določeno značilnost zemeljskega površja. Kjer je premica naraščajoča, tam je več visokih vrednosti in lahko sklepamo, da gre za območja (kopastih) vrhov in širših grebenov. Pri padajoči premici je več nizkih vrednosti, kar pomeni, da tam lahko pričakujemo doline in vrtače. Ko pa je premica nekako uravnana, so vrednosti v histogramu enakomerno razporejene in lahko tam predvidevamo pobočja ali ravnine.

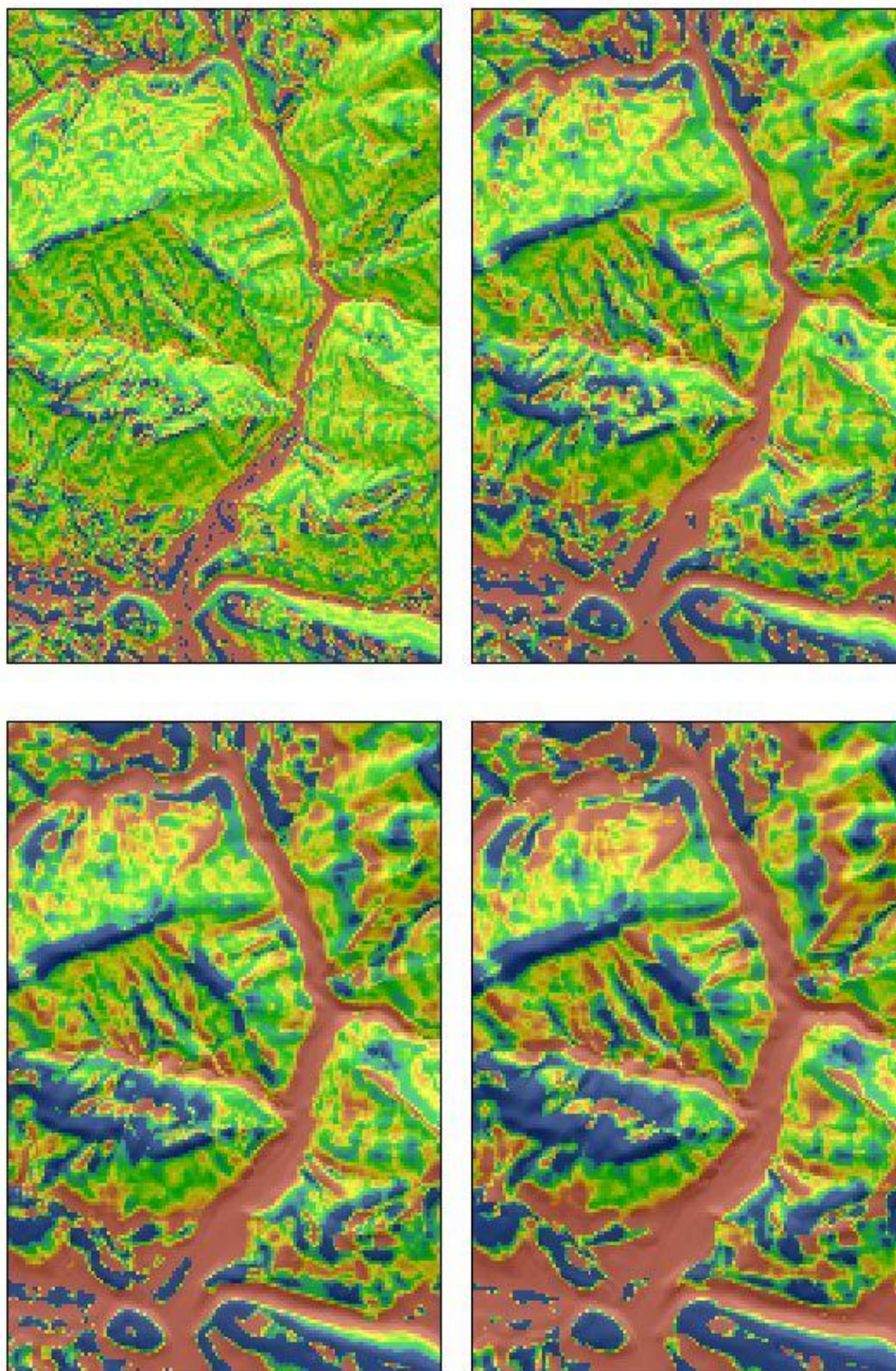
8.3 Rezultati metode lokalnih histogramov

Metoda lokalnih histogramov se izvaja tako, da lokalno okno pošljemo po matriki DMR. Pri vsakem premiku okna algoritem prebere vse vrednosti, jih sortira po velikosti, razvrsti v izbrano število razredov ter na podlagi tega izdelava histogram. Lokalnemu histogramu se izračuna najboljšo prilagoditev s premico, naklonski koeficient premice pa se zapiše v končno matriko. Torej se pri obdelavi matrike DMR z metodo lokalnih histogramov v končno matriko zapisujejo vrednosti naklonskih koeficientov premic, ki so bile prilagojene histogramom.



Slika 8.11: Prikaz analitičnega senčenja DMV 100 na levi in rezultat obdelave z metodo lokalnih histogramov in senčenjem na desni strani, uporaba lokalnega okna 9×9

Na Slika 8.11 so rezultati obdelave z metodo lokalnih histogramov. Območja s podobnimi naklonskimi koeficienti so na posnetku prikazana v podobnih odtenkih barv. Rezultati so prikazani z barvno lestvico, ki dobro izpostavlja značilnosti slojev. Tako je mogoče razpoznati nekatere lastnosti: doline so rjave barve, rahlo vzpenjajoči se relief je rumene barve, bolj strmi relief je zelen, planote in ravnine pa so obarvane modro.



Slika 8.12: Primeri obdelave z metodo lokalnih histogramov na DMV 25, velikosti lokalnega okna so 3×3 , 5×5 , 7×7 in 9×9 z dodanim senčenjem

Slika 8.12 prikazuje rezultate analize lokalnih histogramov pri uporabi DMV 25. Na sliki je uporabljena barvna lestvica, primerna za interpretacijo rezultatov te metode. Širše doline so rjave barve, pobočja so rumene in zelene barve, modre barve pa so širši grebeni, kopasti vrhovi ali planote. Vendar so rezultati manj zanesljivi, saj te ugotovitve veljajo le v grobem. Nekatera manjša območja so npr. v rjavih odtenkih, pa se nahajajo na pobočjih in ne predstavljajo dolin. Torej ne moremo posplošiti, da določen barvni odtenek (ali sivina) označuje neko geomorfološko obliko površja. Za metodo lokalnih histogramov ni mogoče reči, da je zelo zanesljiva pri razpoznavanju določenih geomorfoloških značilnosti. Daje le grobo oceno, ki je med drugim odvisna tudi od velikosti lokalnega okna. Predvidevamo, da bi lahko pridobili boljše in natančnejše podatke o določenih zapletenejših geomorfoloških oblikah z aproksimacijo oblike histograma pri uporabi polinoma druge stopnje.

9 ZAKLJUČEK

Diplomska naloga predstavlja raznovrstne metode za prepoznavanje oblik zemeljskega površja, ki temeljijo na analizi lokalnih oken različnih dimenzij. V tem okviru so bili preizkušeni trije sklopi algoritmov: algoritmi za iskanje robov, algoritmi za kartiranje ekstremnih vrednosti in algoritmi za izdelavo lokalnih histogramov. Nekatere metode so se izkazale kot manj uporabne pri odkrivanju geomorfoloških značilnosti, druge pa so pokazale obetavne rezultate.

Algoritmi za iskanje robov so se izkazali kot zelo dobri pri odkrivanju in razpoznavanju geomorfoloških značilnosti zemeljskega površja, kot so grebeni, doline in oblike pobočij. Med njimi sta zelo uporabna Robertsov in Sobelov filter, ki odlično predstavita robove na DMR in omogočita interpretacijo geomorfoloških značilnosti. Podobno je Laplaceov filter odkrivanja robov zelo koristen pri analiziranju oblike površja, hkrati pa omogoča tudi klasifikacijo posnetka za izločanje dolin in grebenov.

Uporabnost metode kartiranja ekstremnih vrednosti v lokalnem oknu se kaže v tem, da algoritem samodejno kartira določene značilne linije površja, kot so doline in vbočeni deli površja ter grebeni in izbočeni deli površja. Zanimivo je, da pri DMR višje ločljivosti algoritem zazna celo antropogene elemente v prostoru, kot so na primer ceste in železniške proge. Podobno tudi filtri za iskanje robov odkrijejo na DMR nekatere človekove posege v prostor.

Kot zadnji sklop je predstavljena metoda za izdelavo lokalnih histogramov, ki je po težavnosti od vseh metod najbolj zapletena. Na podlagi vrednosti iz lokalnega okna se izdelava histogram, ki se mu prilagodi linearno funkcijo. Glede na obliko histograma se predvideva oblikovanost zemeljskega površja. Metoda je zanimiva, vendar daje le grobo oceno pri razpoznavanju določenih geomorfoloških značilnosti in jo lahko opredelimo kot nekoliko manj zanesljivo. Predvidevamo, da bi lahko pridobili boljše in natančnejše podatke o določenih bolj zapletenih geomorfoloških oblikah z aproksimacijo oblike histograma s polinomi višjih stopenj.

Predstavljene metode omogočajo razpoznavanje izbranih geomorfoloških oblik površja, kot je npr. greben, na različne načine. Rezultati takih analiz seveda niso popolnoma identični. Naslednja naloga na tem področju je lahko primerjalna analiza rezultatov posameznih metod, delujočih na podlagi lokalnega okna, in metod, ki omogočajo določanje geomorfoloških oblik po drugih postopkih (npr. določanje grebenov na podlagi ukrivljenosti površja). Več metod omogoča medsebojno kontrolo rezultatov in hkrati prikaz večje intenzivnosti določenih geomorfoloških pojavov. Nadgradnja opisanih metod in medsebojna kombinacija bo omogočila tudi natančnejšo klasifikacijo geomorfoloških oblik in s tem učinkovitejše razumevanje določenih značilnosti površja (Podobnikar in Možina, 2008).

10 RAZLAGA STROKOVNIH IZRAZOV

V tem poglavju so razloženi mnogi strokovni izrazi, ki so bili uporabljeni v diplomski nalogi. Razlaga je povzeta iz več virov, pretežno pa sem se naslonil na knjigo Geografski informacijski sistemi (Kvamme et al., 1997) in doktorsko disertacijo dr. Tomaža Podobnikarja (Podobnikar T., 2001).

Analiza (angl. analysis) je sklop urejenih procesnih dejavnosti, kjer se izvaja ugotavljanje sestavnih delov nekega pojava, razčlenjevanje in kritično vrednotenje. Njeno nasprotje je sinteza.

Digitalni model reliefa (DMR) (angl. digital terrain model – DTM) je kompleksna predstavitev zemeljskega površja, ki vsebuje višinske točke površja, značilne točke in linije ter druge geomorfološke značilnosti.

Daljinsko zaznavanje (angl. Remote Sensing) je znanost (v določeni meri tudi umetnost) pridobivanja informacij o površini Zemlje, ne da bi z njo prišli v neposredni stik. Pri tem zaznavamo in zapisujemo odbito ali sevano elektromagnetno valovanje, ga obdelujemo, analiziramo in uporabimo v različnih aplikacijah.

Digitalni model višin (DMV) (angl. digital elevation model – DEM) je enostaven način zapisa točk reliefa, največkrat rastrski, v pravilni mreži kvadratnih celic, kakršen je primeren za uporabo v orodjih GIS. DMV je pomensko ožji od DMR in vsebuje samo višine točk.

Digitalna obdelava slik (angl. image processing) je vsaka oblika obdelave, kjer je vhodni podatek slika oziroma posnetek. Rezultat obdelave posnetka pa je lahko bodisi nov posnetek bodisi nabor parametrov, ki se nanašajo na posnetek.

Digitalni posnetek, slika (angl. image) je matrika številskih vrednosti, s katero predstavimo objekte in pojave na zemeljskem površju. Vsak objekt iz stvarnega sveta je predstavljen z nizom celic. Natančnost posnetka je odvisna od velikosti celic, ki sestavljajo rastrsko sliko.

Ekspozicija (angl. aspect) predstavlja usmerjenost zemeljskega površja glede na azimut.

Filtriranje (angl. filtering) je iskanje in odstranjevanje napak, redukcija podatkov, glajenje. Z obdelavo posameznih vrednosti ali skupin pikslov pridobivamo informacije iz rastrskih posnetkov. Postopke obdelave skupin pikslov rastrskih podatkovnih slojev imenujemo filtriranje. Poznamo mnogo vrst filtrov, kot so odkrivanje robov, zmanjševanje šuma ter filtri za pridobivanje novih informacij.

Geografski informacijski sistem (GIS) (angl. geographic information system – GIS) je del informacijske tehnologije. V širšem smislu je to sistem za zajemanje, shranjevanje, obdelavo, povezovanje, analiziranje in predstavitev geokodiranih prostorskih podatkov. GIS sestavljajo strojna oprema, sistemska in specifična programska oprema, uporabniške aplikacije, integrirana zbirka prostorskih podatkov, vzdrževalci in uporabniki informacijskega sistema. Poudarek pri GIS je analiza prostorskih podatkov.

Geomorfologija (angl. geomorphology) je veda o oblikovanosti in strukturi zemeljskega površja in njenih spremembah.

Informacija (angl. information) je miselni pomen, ki ga ljudje pripisujejo podatkom z znanimi uporabljenimi načini njihove interpretacije in predstavitve. Ljudje lahko iz istih podatkov interpretiramo različne informacije.

Klasifikacija, delitev v razrede (angl. classification) je določanje meja razredov, členitev. Analitična operacija združevanja zveznih ali tematskih vrednosti v razrede.

Ločljivost, resolucija (angl. resolution) je merilo, ki podaja razmerje med velikostjo rastrske celice v zbirki podatkov in v naravi. Ločljivost lahko opredelimo tudi kot najmanjšo razdaljo med dvema predmetoma, ki ju med seboj lahko ločimo, ali kot velikost detajla, ki ga lahko razločimo v prostoru, času ali tematiki. V GIS pogosto govorimo o prostorski ločljivosti.

Lokalno okno (angl. car box, moving window) je najpogosteje kvadratna matrika dimenzij 3×3 ali več, ki potuje po vsem rastru posnetka. Pri vsakem premiku lokalnega okna se vrednosti iz okna obdelajo in zapišejo v končno matriko. Načeloma velja, da večja lokalna okna povzročajo večje spremembe na posnetku kot manjša lokalna okna.

Model (angl. model) je nadomestilo, ki ga sestavlja opisna in grafična predstavitev stvarnosti in podaja preslikavo (modeliranje) fizičnega okolja v smiselni in interpretirani model. Pri tem gre lahko za prostorsko ali neprostorsko modeliranje.

Mrežna celica (angl. grid cell) je najmanjši nedeljivi ravninski, navadno kvadratni element celične mreže, katerega velikost v naravi določi uporabnik glede na želeno podrobnost (ločljivost) podatkov, ki se geometrično nanašajo na notranjost (središče) ali vogale posameznih celic, vsebinsko pa povprečno stanje objektov ali pojavov znotraj celice.

Nadmorska višina (angl. height above sea level, elevation) je ortometrična višina H . To je višina, merjena po težiščnici med dano točko in ustrežno točko na ničelni nivojski ploskvi geoida. Ploskev geoida je določena glede na srednji nivo morja.

Objekt (angl. object) je entiteta, predmet; pojav ali fizični objekt; karkoli obstoječega (fizično ali abstraktno), kar ima lastno identiteto in značilnosti.

Oleata je tematska plast ali prosojnica, ki predstavlja niz geografskih atributnih (opisnih) in grafičnih podatkov, ki opisujejo prostorsko variacijo ene značilnosti na obravnavanem geografskem območju. Na oleati so podatki predstavljeni s točkovnimi, linijskimi in območnimi objekti. Danes so oleate nadomestili tematski sloji v računalniškem GIS okolju, ki jih je mogoče med seboj prekrivati, združevati in obdelovati.

Piksel, slikovni element (angl. pixel, picture element) je najmanjši element digitalnega posnetka oziroma rastra, navadno kvadratne oblike, ki podaja eno samo tonsko vrednost, lega v slikovni matriki pa je določena z vrstico in stolpcem.

Podatek (angl. data) je predstavitev dejstev, zamisli in navodil na način, ki je primeren za sporazumevanje, interpretacijo ali obdelavo. Podatki so lahko tudi znaki ali simboli, shranjeni v računalniškem polnilniku, ki predstavljajo osnovo za ustvarjanje informacij.

Raster (angl. raster) se nanaša na način zapisa podatkov v matriko vrednosti. Najpreprostejši način shranjevanja enobarvne slike je zapis njenih vrednosti v matriko binarnih števil (0 ali 1).

Relief (angl. terrain) je oblikovanost zemeljskega površja, ki je nastala zaradi vpliva notranjih (endogenih) in zunanjih (eksogenih) sil. Je eden najpomembnejših geografskih elementov, ki daje temeljne značilnosti Zemlje in je osnova topografije.

Senčenje površja (angl. hill shading) je plastična metoda prikaza površja s sivimi toni, ki ponazarjajo osvetlitev površja glede na njegovo ekspozicijo. Senčenje površja je eden najbolj realističnih prikazov oblikovanosti zemeljskega površja.

Topologija (angl. topology) veja matematike in obravnava sosedska razmerja ter medsebojne povezave med lokacijami posameznih geografskih enot (točke, linije, areali). V GIS se nanaša na proučevanje lege in odnosov med geografskimi enotami in podaja ustrezne sosedske asociacije.

Značilna črta, linija (angl. characteristic line) je skeletna, strukturna oziroma lomna črta. To so črte, ki lomijo ploskev površja. To so lahko prelomnice, razvodnice, dolinske črte, grebenske črte.

Značilna točka (angl. characteristic point) je točka, ki jo določijo geodeti in ima nek geomorfološki pomen. To so vrhovi, sredine oziroma dna vrtač in uval, sedelne točke itd.

LITERATURA IN VIRI

Uporabljeni viri

- ArcGIS 9.2 Desktop Help, 2007. Classification methods
http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=Classification_methods
(28. 1. 2008)
- Csetverikov, D. 2007a. Basic Algorithms for Digital Image Analysis: a course
http://ssip2003.info.uvt.ro/lectures/chetverikov/edge_detection.pdf (14. 1. 2008)
- Csetverikov, D. 2007b. Basic Algorithms for Digital Image Analysis
http://visual.ipan.sztaki.hu/ELTEfoliak/1-in-page/lec01_intro_intrf_prn.pdf (14. 1. 2008)
- Csetverikov, D. 2007c. Basic Algorithms for Digital Image Analysis
http://visual.ipan.sztaki.hu/ELTEfoliak/1-in-page/lec02_filter1_prn.pdf (14. 1. 2008)
- Drobne, S., Turk, G. 2002. Statistika. Vaje. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 5-18.
- Fisher, R. et al. 2003. Image Processing Operator: Digital Filters.
<http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/unsharp.htm> (23. 11. 2007)
- Fridl, J. 1999. Metodologija tematske kartografije nacionalnega atlasa Slovenije. Ljubljana, Geografski inštitut Antona Melika, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti: 135 str.
- Gonzalez, Rafael C. 2004. Digital image processing: Using Matlab. Upper Saddle River : Pearson Prentice Hall: 609 str.
- Jesenko, J. 2001. Statistika in verjetnost. Prosojnice. Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede.
http://www1.fov.uni-mb.si/jesenko/stat_in_verjet/STATISTIKA%20%20in%20VERJETNOST1.ppt
- Jurič, Matjaž B., 2002. Sistemi za podporo odločanju. Prosojnice. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko.
http://lisa.uni-mb.si/student/predmeti/mos/doc/mos_teorija.pdf (26. 11. 2007)
- Keresteš, K. 2000. Izdelava anaglifne karte. Geodetski vestnik 44, 1-2: 23-28.
- Kovačič, S. 2005. Osnovno o obdelavi slike. Prosojnice. Laboratorij za slikovne tehnologije.
<http://vision.fe.uni-lj.si/classes/SV/Sv-2004-2005/Predavanja/MV08-15-Februar-2005-01.ppt>
- Krevs, M. 1992. Iskanje lokalnih reliefnih ekstremov na DMR. Geografski vestnik 64: 205-218.

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

Natek, K. 2003. Geomorfologija. Študijsko gradivo za predmet Geomorfologija. Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo: 217 str.

Oštir, K. 2001. Daljinsko zaznavanje, Programska zasnova in priprava gradiv za izvedbo strokovnega dela izpita iz geodetske stroke. Ljubljana, Matična sekcija inženirjev geodezije, Inženirska zbornica Slovenije (IZS): 30 str.

http://www.izs.si/fileadmin/dokumenti/strokovni_izpiti/msgeo/topo_in_karto.pdf

Oštir, K. 2005. Daljinsko zaznavanje. Zapiski s predavanj. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo.

Pavšič, J. (Ur.). 2006. Geološki terminološki slovar. Ljubljana, Znanstvenoraziskovalni center SAZU: 331 str.

Perko, D. 2001. Analiza površja Slovenije s stometriskim digitalnim modelom reliefa. Ljubljana, Geografski inštitut Antona Melika, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti: 229 str.

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

Podobnikar, T. 2002a. Model zemeljskega površja – DMR ali DMV? Geodetski vestnik 46, 4: 347-353.

Podobnikar, T. 2002b. Koncept izdelave novega digitalnega modela reliefa Slovenije. Geografski vestnik, 74, 1: 87-98.

Podobnikar, T. 2006. Digitalni model reliefa iz različnih podatkov. Revija Življenje in tehnika, april 2006: 20-27.

Podobnikar, T., Mlinar, J. 2006a. V: Perko et al. (ur.). Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2005-2006. Ljubljana, Inštitut za antropološke in prostorske študije, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti.

Podobnikar, T., Mlinar, J. 2006b. Izdelava in vzdrževanje digitalnega modela reliefa Slovenije z integracijo obstoječih virov. Geodetski vestnik 50, 3: 472-480.

Podobnikar, T., Možina, P. 2008. Analiza geomorfoloških značilnosti pri uporabi lokalnega okna. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2007-2008. Ljubljana, Inštitut za antropološke in prostorske študije, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti.

Radovan, D. 2005. Kartografija II. Zapiski s predavanj. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo.

Rihtaršič, M. 1990. DMR - stanje in razvojni trendi pri nas in v svetu. Diplomska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani, oddelek za geodezijo: 131 str.

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

Székely, B. 2001: On the surface of the eastern Alps a DEM study. Tübinger Geowissenschaftliche Arbeiten. Universität Tübingen, Institut und Museum für Geologie und Paläontologie: 63-69.

Vandevenne, L. 2004. Image Filtering.
<http://student.kuleuven.be/~m0216922/CG/filtering.html> (18. 1. 2008).

Vičič, J. 2007. Algoritmi za digitalno obdelavo slik.
<http://www.pef.upr.si/~jernej/diploma/diploma.htm> (4. 1. 2008)

Vrišer, I. 2002. Uvod v geografijo. Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo: 414 str.

Žagavec, D. 2007. Osnove GIS-a.
http://users.volja.net/damijan/osnove_gis-a.htm (26. 11. 2007)

PRILOGE

Priloga A: Uporabljena programska oprema


Uporabljal sem naslednjo programsko opremo: ArcGIS 9.1 in Matlab 6.5. Večina svojega dela sem opravil v programskem orodju Matlab, kjer sem programiral razne postopke. Orodje ArcGIS pa je bilo uporabno predvsem za prikazovanje rezultatov, ki sem jih izvedel v Matlabu. V programu ArcGIS je zelo elegantno pregledovati množico slojev, ki sem jih izdelal.

Matrike DMV, ki sem jih obdeloval v orodju Matlab, so dokaj velike: matrika velikosti 300×200 za DMV 100, 1200×800 za DMV 25 in 2400×1600 za DMV 12,5. Zato je obdelava DMV s posamezno metodo trajala od nekaj minut (za DMV 100) do ene ure in pol (za DMV 12,5). Torej je bilo za obdelavo DMV različnih ločljivosti z vsemi obravnavanimi tehnikami, ki so bile predstavljene v tej diplomski nalogi, porabljenega veliko časa.

Priloga B: Opis postopkov obdelave sloja DMR

Tukaj je naveden opis obdelave DMR; od uvoza pridobljenega DMR v GRID formatu do obdelave sloja v programu Matlab in pregledovanja rezultatov v programu ArcGIS.

Uvoz podatkov v ArcGIS

- Uvoz DMR v GRID formatu – To izvedemo z ukazom *Add data*  in vstavimo ustrezen sloj DMR.
- Izvozimo naložen DMR sloj v ASCII format (ArcToolbox – Conversion Tools – From Raster – Raster to ASCII)

V programu TextPad obdelam ASCII datoteko

- V datoteki pobrišemo prvih šest vrstic, ki vsebujejo podatke o velikosti matrike DMR, o lokaciji DMR ter ločljivosti celice DMR. Sedaj datoteka vsebuje le podatke o višinah, ki so v matrični obliki.
- Zamenjamo tip ločila; vse vejice zamenjamo s pikami.

V Matlab-u se prebere vhodna ASCII datoteka, ki smo jo izdelali v programu ArcGIS in obdelali v programu TextPad.

Uporaba Matlaba

- Zaženemo Matlabovo datoteko z navodili za obdelavo matrike DMR.
- ASCII datoteka se uvozi.
- Obdelajo se podatki z ustreznimi algoritmi in se grafično izrišejo na več načinov.
- Rezultat, ki je končna matrika, se zapiše v izhodno ASCII datoteko.

Izhodno datoteko odprem v programu TextPad

- V datoteko dodamo prvih šest vrstic, ki smo jih pred obdelavo izbrisali. Pri tem upoštevamo, da se je pri obdelavi datoteke število vrstic in stolpcev zmanjšalo, pa tudi območje matrike je manjše, kar pomeni spremembo lokacije robov območja DMR.

ArcGIS

- Uvozimo končno datoteko v ASCII formatu v raster (ArcToolbox – Conversion Tools – To Raster – ASCII to Raster); pri tem uporabimo parameter *output data type = FLOAT*.
- V programu ArcGIS enostavno prekrivamo različne izhodne sloje in presojava učinkovitost raznih algoritmov, ki smo jih uporabili v programu Matlab.