

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 Vodarstvo in
komunalno inženirstvo

Kandidatka:

Ajda Cilenšek

Uporaba podatkov pridobljenih z LIDAR tehnologijo za določanje hidrografske mreže

Diplomska naloga št.: 128

Mentor:
prof. dr. Franc Steinman

Somentor:
doc. dr. Primož Banovec

Ljubljana, 14. 10. 2009

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana **AJDA CILENŠEK** izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom:
»UPORABA PODATKOV PRIDOBLJENIH Z LIDAR TEHNOLOGIJO ZA DOLOČANJE HIDROGRAFSKE MREŽE«.

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

Ljubljana, 5.10.2009

IZJAVE O PREGLEDU NALOGE:

Nalogo so si ogledali učitelji študija Vodarstva in komunalnega inženirstva:

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	004.42:556.3(043.2)
Avtor:	Ajda Cilenšek
Mentor:	dr. Franci Steinman
Somentor:	dr. Primož Banovec
Naslov:	Uporaba podatkov pridobljenih z LIDAR tehnologijo za določanje hidrografske mreže
Obseg in oprema:	71 str., 12 pregl., 55 sl., 2 en.
Ključne besede:	Hidrografska mreža, LIDAR , Manifold

IZVLEČEK

Zajem prostorskih podatkov z LIDAR tehnologijo omogoča detajlni zajem višinskih točk terena, zato je zelo privlačna alternativa tradicionalnim tehnikam. Tehnologija ponuja številne prednosti v primerjavi s konvencionalnimi metodami zbiranja podatkov kot so višja gostota zajetih točk, večja višinska natančnost, možnost prodiranja skozi vegetacijo do tal, manj časa za zbiranje in obdelavo podatkov, vremenska in svetlobna neodvisnost in hitra dosegljivost podatkov v digitalnem formatu. Z izboljšanjem tehnologije se je močno izboljšala tudi uporabnost LIDAR podatkov, ki se širi na vedno nova področja, kot je na primer tudi upravljanje z vodami.

Diplomska naloga prikazuje možnost avtomatskega pridobivanja hidrografskih značilnosti porečja s pomočjo visokoresolucijskih digitalnih modelov reliefa (DMR). S pomočjo programskega orodja Manifold smo izdelali mrežo vodotokov na več manjših območjih in jo primerjali z že obstoječimi hidrografskimi mrežami. Osredotočili smo se predvsem na hidro sloj iz DTK 5, ki predstavlja trenutno najnatančnejšo mrežo vodotokov v Republiki Sloveniji.

BIBLIOGRAPHIC – DOKUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 004.42:556.3(043.2)
Author: Ajda Cilenšek
Supervisor: dr. Franci Steinman
Co-supervisor: dr. Primož Banovec
Title: Use of LIDAR data for defining a hydrographic network
Notes: 71 p., 12 tab., 55 fig., 2 eq.
Key words: Hydrographic network, LIDAR , Manifold

ABSTRACT

Acquisition of spatial data with LIDAR technology enables detailed capture of terrain elevation points, therefore is a very attractive alternative to traditional technologies. This technology offers many advantages compared with conventional data collection methods such as higher density of covered points, greater height accuracy, the ability of penetration through the vegetation to the ground, the less time for data collection and processing, weather and light independence and immediate availability of data in digital format. With the improvement of technology the usefulness of LIDAR data is spreading to new fields of applications which includes several aspects of water management.

Diploma work shows the possibility of automatic extraction of hydrographic basin characteristics with the help of high-definition digital terrain models. We used software Manifold to develop a network of watercourses, which we compared with existing hydrographic networks. We focused mainly on hydro layer of DTK 5, which is currently the most accurate hydrographic network in Slovenia.

ZAHVALA

Zahvaljujem se doc. dr. Primožu Banovcu in prof. dr. Franciju Steinmanu za prevzem mentorstva in pomoč pri izdelavi diplomske naloge.

Posebna zahvala gre staršem, ki sta mi skozi vsa leta študija nudila pomoč. Hvala tudi ostalim, ki so kakorkoli pripomogli k nastanku tega diplomskega dela.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	HIDROGRAFSKA MREŽA	2
2.1	Generalizirana kartografska baza – GKB 25	3
2.1.1	GKB 25 - HIDRO	4
2.1.1.1	Linijski sloj GKB 25	5
2.1.1.2	Poligonski sloj GKB 25	9
2.1.1.3	Točkovni sloj GKB 25	10
2.2	Državna topografska karta 1 : 5.000 – DTK 5.....	11
2.2.1	HIDROGRAFIJA	14
2.2.1.1	Vodna površina DTK 5	14
2.2.1.2	Os vodotoka DTK 5	15
2.2.1.3	Pojavi na vodah DTK 5	18
3	PROSTORSKI PODATKI	19
3.1	Rastrski objekti.....	19
3.2	Sistem LiDAR	22
3.2.1	Zgradba sistema LIDAR.....	23
3.2.2	Delovanje sistema LIDAR.....	23
3.2.3	Natančnost sistema LIDAR	26
3.2.4	Obdelava podatkov.....	27
3.3	Digitalni model reliefa (DMR).....	29
3.3.1	Lasersko skeniranje – potencial za izboljšavo DMR-ja	30
4	PROGRAMSKO ORODJE ZA AVTOMATIČNO DOLOČANJE HIDROGRAFSKE MREŽE Z UPORABO LIDAR PODATKOV	32
4.1	Programska oprema Manifold System	32
4.1.1	Funkcija Povodje (Watershed).....	33
4.1.1.1	Najmanjši pretok (<i>Minimum Flow</i>)	35

4.1.1.2	Ustvarjanje tokov (<i>Creating Streams</i>)	38
4.1.1.3	Primer tokov	39
4.1.1.4	Ustvarjanje povodij (<i>Creating Watershed</i>).....	41
4.1.1.5	Primer povodij	41
4.1.1.6	Identifikacija odtoka.....	45
4.1.1.7	Gorvodna območja.....	46
4.1.1.8	Polnjenje kotanj	48
5	UPORABA METODE AVTOMATIČNEGA DOLOČANJA HIDROGRAFSKE MREŽE Z UPORABO DMR IZ LIDAR PODATKOV...	50
5.1	Reka Reka.....	51
5.2	Tok vode v bližini objektov na Pšati.....	57
5.3	Odstopanja obstoječe hidrografske mreže na Tunjici.....	59
5.4	Hidromelioracijska infrastruktura	61
5.5	Cestne vodogradnje.....	63
6	UGOTOVITVE	65
7	ZAKLJUČEK.....	68
8	VIRI.....	70

KAZALO PREGLEDNIC:

Preglednica 1: Prikaz HL1332d.dbf datoteke - prvih 20 vrstic	6
Preglednica 2: Opis tipa vodotoka.....	6
Preglednica 3: Opis vira, iz katerega so bili zajeti podatki	7
Preglednica 4: Opis vrste vodne površine	9
Preglednica 5: Opis vira, iz katerega so bili zajeti podatki	10
Preglednica 6: Opis tipa objekta.....	10
Preglednica 7: Predpisana kakovost podatkov za posamezen vir.....	12
Preglednica 8: Prikaz HLE2410.dbf datoteke (prvih 20 vrstic)	16
Preglednica 9: Predstavitev izvedbenih prednosti in slabosti rastrskega pristopa.....	22
Preglednica 10: Opis kontrol iz pogovornega okna Watershed	34
Preglednica 11: Atributni podatki linijskega elementa nastalega z ukazom Create streams....	39
Preglednica 12: Atributni podatki elementa površine nastalega z ukazom Create watersheds	41

KAZALO SLIK

Slika 1: Površina in gostota hidrografske mreže za glavna porečja	3
Slika 2: Prikaz enega izmed listov (shp datoteka) z oznako HL1332d na ortofoto podlagi v okolici naselja Šentvid pri Lukovici.....	7
Slika 3: Prikaz vseh listov hidrografskega linijskega sloja GKB25 na ortofoto podlagi, ki kažejo celotno pokritost Slovenije.....	8
Slika 4: Prikaz več listov na ortofoto podlagi na območju Ljubljanje in njene okolice, kjer je razviden drug način zajema podatkov	8
Slika 5: Slika pokritosti Slovenije s topografskimi podatki DTK 5 – maj 2009	13
Slika 6: Prikaz lista (shp datoteka) z oznako HLE2410 na ortofoto podlagi v okolici Lukovice pri Domžalah	16
Slika 7: Prikaz več listov hidrografskega linijskega sloja GKB 25 (črne linije) in DTK 5 (rumene linije) na ortofoto podlagi.....	17
Slika 8: Prikaz vseh listov hidrografskega linijskega sloja GKB 25 (črne linije) in DTK 5 (rumene linije) na ortofoto podlagi.....	17
Slika 9: Rastrski podatkovni model.....	20
Slika 10: Sistem LIDAR.....	24
Slika 11: Prerez oblaka točk zajetih s tehnologijo LIDAR	24
Slika 12: Smer leta skupaj z obliko snemalnega vzorca.....	26
Slika 13: Primer večkratnega odboja laserja od drevesa	28
Slika 14: Pogovorno okno ukaza Watershed.....	34
Slika 15: Povečan del vzorca površja Montara Mountain, ki prikazuje tok vode po pikslih ...	35
Slika 16: Prikaz toka, če je vrednost Min flow enaka 20	36
Slika 17: Prikaz toka, če je vrednost Min flow enaka 4	37
Slika 18: Osem sosednjih celic v pravokotni mreži – levo in zapolnjenje vdolbin – desno	38
Slika 19: Način določanja reda toka	39
Slika 20: Površje Montara Mountain in risba Streams – levo in prikaz novo nastale risbe Streams - desno.....	40
Slika 21: Prikaz atributne tabele risbe Streams	40
Slika 22: V map oknu prikazano površje Montara Mountain in risba Watersheds – levo in prikazano površje Montara Mountain, risba Watersheds in na vrhu risba Streams – desno....	42

Slika 23: V map oknu prikazano površje Montara Mountain, risba Watersheds in na vrhu risba Streams z označenim "praznim" povodjem – levo in povečan, s puščico označen izsek – desno	42
Slika 24: Povečan izsek Slike 23 z dodanim novim slojem tokov.....	43
Slika 25: Prikaz atributne tabele risbe Watershed	43
Slika 26: Prikaz povodij, če je vrednost Min flow 2000 – levo in prikaz povodij, če je vrednost Min flow 500 - desno	44
Slika 27: Prikaz površja in sloja, ki vsebuje 3 točke.....	45
Slika 28: Pogovorno okno Watersheds z izpolnjenimi ukazi za izračun	45
Slika 29: V map oknu prikazano površje Montara Mountain in novo nastala risba "Streams from Points"	46
Slika 30: Prikaz površja in risbe, ki vsebuje točke, za izračun gorvodnih območij – levo in pogovorno okno Watersheds z izpolnjenimi ukazi za izračun gorvodnih območij - desno	47
Slika 31: V map oknu prikazano površje Montara Mountain in novo nastali sloj "Upstream regions"	47
Slika 32: Prikaz akumulacijskega jezera Pilarcitos na površju Montara Mountain, ki predstavlja kotanjo na površini	48
Slika 33: Prikaz nastalih povodij, kadar možnost polnjena kotanj ni upoštevana – levo in prikaz nastalih povodij, če je izbrana možnost polnjena kotanj - desno.....	49
Slika 34: Programsko orodje Manifold – prikaz vmesne faze za reko Reko.....	51
Slika 35: Legenda (levo) in prikaz celega površja območja reke Reke (desno).....	52
Slika 36: Prikaz hidrografske mreže določene z VRDMR skupaj s hidro slojem iz DTK 5 na področju gozda na ortofoto podlagi (zgoraj) in na DMR-ju (spodaj) – detajl A	52
Slika 37: Prikaz hidrografske mreže, določene z VRDMR, skupaj s hidro slojem iz DTK 5 na področju gozda na ortofoto podlagi (levo) in na DMR-ju (desno)	53
Slika 38: Prikaz hidrografske mreže, določene z VRDMR, skupaj s hidro slojem iz DTK 5 v okolici objektov na ortofoto podlagi (levo) in na DMR-ju (desno).....	53
Slika 39: Prikaz hidrografske mreže, določene z VRDMR, skupaj s hidro slojem iz DTK 5 v okolici objektov na ortofoto podlagi (levo) in na DMR-ju (desno) – obkrožena je okolica mostu.....	54
Slika 40: Prikaz hidrografske mreže, določene z VRDMR, skupaj s hidro slojem iz DTK 5 v okolici objektov ter v široki strugi na prosojnim sloju površja, ki je dodan nad ortofoto podlago.....	55
Slika 41: Prikaz hidrografske mreže, določene z VRDMR, skupaj s hidro slojem iz DTK 5 v okolici objektov na ortofoto podlagi (zgoraj) in na DMR-ju (spodaj) – detajl A.....	55
Slika 42: Prikaz hidrografske mreže določene z VRDMR skupaj s hidro slojem iz DTK 5 na prosojnim sloju površja, ki je dodan nad ortofoto podlago.....	56
Slika 43: Prikaz hidrografske mreže, določene z VRDMR, skupaj s hidro slojem iz DTK 5 na ortofoto podlagi (levo) in na DMR-ju (desno).....	56
Slika 44: Legenda (levo) in prikaz celega površja območja reke Pšate (desno).....	57
Slika 45: Prikaz hidrografske mreže, določene z VRDMR, skupaj s hidro slojem iz DTK 5 in GKB 25 v okolici objekta na ortofoto podlagi.....	58
Slika 46: Prikaz hidrografske mreže, določene z VRDMR, skupaj s hidro slojem iz DTK 5 v okolici objekta na prosojnim sloju površja, ki je dodan nad ortofoto podlago	58
Slika 47: Legenda (levo) in prikaz celega obravnavanega površja območja reke Tunjice (desno).....	59

Slika 48: Prikaz hidrografske mreže, določene z VRDMR, skupaj s hidro slojem iz DTK 5 na prosojnem sloju površja, ki je dodan nad ortofoto podlago	60
Slika 49: Prikaz hidrografske mreže, določene z VRDMR, skupaj s hidro slojem iz DTK 5 in GKB 25 na prosojnem sloju površja, ki je dodan nad ortofoto podlago	60
Slika 50: Legenda (levo) in prikaz celega površja območja Malega grabna (desno).....	61
Slika 51: Prikaz hidrografske mreže, določene z VRDMR, skupaj s hidro slojem iz DTK 5 na območju melioracijskih jarkov prikazanih na ortofoto podlagi.....	62
Slika 52: Legenda (desno) in prikaz celega površja območja razcepa Malence (levo).....	63
Slika 53: Prikaz hidrografske mreže, določene z VRDMR, skupaj s hidro slojem iz DTK 5 na območju odvodnje s cest prikazan na ortofoto podlagi	63
Slika 54: Prikaz prevojnih točk na AC, določenih z VRDMR, na območju odvodnje kot pomembne informacije za odvodnjo s cest, prikazane na ortofoto podlagi	64
Slika 55: Prikaz prevojnih točk na AC, določenih z VRDMR, na območju odvodnje kot pomembne informacije za odvodnjo s cest, prikazane na ortofoto podlagi	64

KAZALO ENAČB

Enačba 1: Razdalja med senzorjem in površjem	23
Enačba 2: Natančnost merjenja razdalje.....	24

1 UVOD

Zaradi obilice padavin je voda v Sloveniji prevladujoč pokrajinski dejavnik in pomemben naravni vir. Svojevrsten preplet podnebnih, reliefnih, kamninskih, pedoloških in bioloških procesov alpskih, predalpskih, sredozemskih, dinarsko-kraških in panonskih pokrajin se odraža v pestrosti vodnih režimov in hidromorfologiji našega vodovja. Tem naravnogeografskim značilnostim se je človek skozi čas prilagajal s sistemom poselitve, rabo voda in površja, kar zaznamuje pokrajinsko strukturo, ki jo doživljamo tudi kot podobo Slovenije.

Interakcija med poselitvijo in rabo voda zahteva učinkovito upravljanje z vodami. Za potrebe upravljanja in gospodarjenja z vodami je natančna rečna mreža izjemno pomembna. Potrebna je tako za hidrološke modele, kot za hidravlične analize, poleg tega pa še za druge namene vezane na gospodarjenje z vodami oziroma upravljanje s povodji.

V Republiki Sloveniji obstajata dve kartografiji hidrografske mreže, ki obe temeljita na osnovi klasičnega kartiranja: rečna mreža na osnovi generalizirane topografske karte v merilu 1:25.000 (GKB 25) in rečna mreža iz državne topografske karte v merilu 1:5.000 (DTK 5). Slednja ne pokriva celotnega območja Republike Slovenije. Zaradi načina njune izdelave prihaja pri praktični uporabi navedenih rečnih mrež do niza omejitev. Obe hidrografski mreži je izdelala in jih vzdržuje Geodetska uprava RS.

Namen diplomske naloge je, da pokaže možnost avtomatskega pridobivanja hidrografskih značilnosti s pomočjo visokoresolucijskih digitalnih modelov reliefa (DMR). Ta tehnika postaja vedno bolj razširjena z razpoložljivostjo podatkov pridobljenih s tehnologijo LIDAR. Hidrografske značilnosti, ki izhajajo iz DMR-ja, niso le točne, ampak pospešijo tudi hitrost izdelave. To je predvsem pomembno pri projektih kot so npr. upravljanje z vodnimi viri in modeliranje poplavne ogroženosti. Vsi hidrološki modeli se opirajo na simulacijo toka vode po površju in prepoznavi strukture razvodnic.

2 HIDROGRAFSKA MREŽA

Celotno ozemlje Slovenije prejema s padavinami in dotokom več vode kot je porabi, kar pomeni, da ima pozitivno letno vodno bilanco. Višek odteče po površju in tvori hidrografsko mrežo. Ta se začneja s stalnimi ali občasnimi izviri različne izdatnosti, nadaljuje s hudourniki in potoki, ki se združujejo v vedno večje reke. Hidrografska mreža Slovenije je najpodrobneje prikazana na kartah Geodetske uprave RS v merilu 1:5.000 do 1:25.000. Dolžina vseh vodotokov je ocenjena na 28.000 km (tukaj so všteti tudi grajeni kanali in večji melioracijski jarki), kar pomeni gostoto približno $1,4 \text{ km/km}^2$. Več kot polovica vodotokov je vsaj občasno brez vode. Ob izjemnih sušah bi bila dolžina neizsušenih vodotokov celo manjša od 12.000 km ($0,6 \text{ km/km}^2$) [Bat et al., 2003].

Tekoče vode so naravni vodotoki kot so hudourniki, potoki in reke, ne glede na to, ali imajo stalen ali občasen pretok. K tekočim vodam prav tako spadajo vodotoki, ki so nastali zaradi prestavitve naravnega vodotoka, njegove zaježitve ali ureditve [ZV-1, 2002].

Hidrografska mreža po Sloveniji ni enako gosta, kar je predvsem posledica hidrogeoloških in ne toliko podnebnih razmer. Dinarska Slovenija ima redkejšo mrežo; celo brez nje pa so visoke kraške planote. Le te spadajo med najbolj namočena področja države. Vodnobilančni presežek teh delov odteka proti njihovem obrobju, kjer napaja izdatne kraške izvire. Hidrografska mreža je redka tudi v osrednjih delih prodnih polj z globoko podzemno vodo (npr. Kranjsko, Sorško in Ljubljansko polje v Ljubljanski kotlini ter Dravsko in Ptujsko polje). Drugod je hidrografska mreža gosta. Korita vodotokov oziroma struge se neprestano spreminjajo in prilagajajo razmeram v lokalnem kroženju vode. Spremembe so lahko bolj postopne (zakrasevanje, izsušitev zaradi upadanja gladine podzemne vode) ali pa tudi hitre, če se ob visokih vodah spremeni oblika ali potek korita. Ljudje tudi neposredno ali posredno vplivamo na spreminjanje oblike rečne mreže [Bat et al., 2003].

Slovenija leži ob Jadranskem morju in je od Črnega morja oddaljena več kot 1.000 km, a kljub temu večji delež ozemlja (81%) pripada Črnomorskemu povodju (oz. porečju Donave). Tolikšna nesomernost je nastala zaradi mlade tektonike in paleogeografskega razvoja. Večji del jadransko – črnomorske razvodnice na ozemlju Slovenije poteka zelo blizu Jadrana po

vodoprepustnih kamninah in se je niti s sledenjem podzemnih voda ne da povsem zanesljivo določiti.



Slika 1: Površina in gostota hidrografske mreže za glavna porečja (Kolbezen et al., 1998)

Donavsko povodje se na prvem nivoju deli na 4 hidrografska območja (slika 1). To so porečja Drave, Kolpe, Mure in Save. Povodje Jadranskega morja pa se deli na porečji Soče in Obale [Bat et al., 2003].

2.1 Generalizirana kartografska baza – GKB 25

Geodetska uprava Republike Slovenije je začela v letu 1994 vzpostavljati bazo topografskih podatkov za raven merila 1:25.000 in jo končala 2 leti kasneje. Od takrat dalje se baza redno vzdržuje. Osnovni vir za zajem so bili skanogrami reprodukcijskih originalov državne topografske karte v merilu 1 : 25.000. Vsebina posameznega skanograma je digitalizirana in zapisana v vektorski obliki. Vsakemu objektu v bazi so dodani tudi osnovni atributi objekta. Ker so podatki zajeti iz državnih topografskih kart, so bili nekateri elementi že delno

generalizirani, kar je za to merilo ustrezno. Baza je oblikovana tako, da se lahko preko identifikatorjev posameznih objektov, ki so zajeti v bazi, povezuje z drugimi bazami podatkov.

Zajete so štiri skupine objektov in sicer:

- Ceste - Sloj cest vsebuje osi cest, ki so prikazani na viru. Osi cestnih odsekov imajo linijsko strukturo podatkov. Podatkovni niz prikazuje cestno omrežje in opisuje najosnovnejše lastnosti cest.
- Vode - Sloj vode vsebuje linijske (osi vodotokov), točkovne (izvire, slapove, jezove itd.) in poligonske objekte (jezera, mlake itd.).
- Plastnice - Sloj plastnic vsebuje plastnice, ki so prikazane na viru. Podatek o nadmorski višini posamezne plastnice je zajet kot atributni podatek.
- Železnice - Sloj železnic vsebuje linijske (osi železnic), točkovne (postajne objekte) in poligonske objekte (območje železniške postaje). Podatkovni niz prikazuje železniško omrežje in opisuje najosnovnejše lastnosti železnic.

Vsak objekt vsebuje poleg splošnih opisov (vir podatkov, upravljavec podatkov, datum zajema, datum zadnjega popravka itd) še posebne opise, ki so določeni v standardih za zajem podatkov. Baza je namenjena širšemu krogu uporabnikov kot osnovna geoinformacijska infrastruktura, ki jo lahko uporabnik nadgradi po svojih potrebah in zahtevah.

2.1.1 GKB 25 - HIDRO

Osnovni topografski vektorski podatki pokrivajo celotno območje Slovenije. Podatkovni niz prikazuje hidrografsko mrežo na območju, ki je bilo vektorizirano iz oleat "hidrografija" državne topografske karte merila 1 : 25.000 in opisuje tudi najosnovnejše lastnosti vodotokov. Hidrografija v GKB 25 vsebuje tri sloje, in sicer: linijskega (vodotoki), poligonskega (jezera in ostale vodne površine) in točkovnega (izviri, ponori, itd.). V letu 2001 je bil osnovnemu linijskemu sloju hidrografije (vodotoki) dodan tudi sloj "nevod", oz. tistih občasnih vodotokov, ki so na kartah prikazani s prekinjeno linijo. V letu 2002 so bili ažurirani podatki za vzhodni del Slovenije in dopolnjeni podatki točkovnega in poligonskega sloja hidrografije

za celo Slovenijo. Podatke podatkovnega niza je mogoče uporabljati za potrebe digitalne kartografije.

Vir podatkov za nastavitev podatkovnega niza so bili skanogrami reprodukcijskih originalov (oleate "hidrografija") topografske karte v merilu 1 : 25.000. Podatki so permanentno vzdrževani ob reambulaciji DTK 25 in DTK 50. Celotna pozicijska natančnost je +/- 15 m.

2.1.1.1 Linijski sloj GKB 25

Odsek na vodah je del hidrografske mreže (vodotok s pritoki), ki poteka od vozlišča (izvir, izliv, sotočje, ponor,..., sprememba atributa) do vozlišča. Tekoče vode so naravni vodotoki, kot so hudourniki, potoki in reke, ne glede na to, ali imajo stalen ali občasen pretok. Tekoče vode so tudi vodotoki, ki so nastali zaradi prestavitve naravnega vodotoka, njegove zaježitve ali ureditve [V25, 2004]. Odseki na vodah so bili vektorizirani za 201 list in so bili ažurirani ob izdelavi DTK 50. Občasni vodotoki so vektorizirani neposredno s kart TK 25 (in ne s skanogramov DTK 25) in naknadno združeni z ostalimi vodotoki. Kakovost zajema občasnih vodotokov je slabša od zajema ostalih vodotokov. Količina digitalnih podatkov znaša cca 8 Mb za cover in export format E00 (0.04 Mb/list DTK 25) ter cca 46 Mb za DXF format (0.23 Mb/list DTK 25). Imena datotek hidrografskega linijskega sloja se začnejo s HL.

Atributi linijskega sloja hidrografije so:

- ID – Enolični identifikator vodotoka (1, 2, 3,...,143370).
- VOD_MID – Enolični identifikator vodotoka iz šifranta vodotokov, ki je v pristojnosti GU (0000 NIMA IMENA, 0001 SAVA, 0002 LJUBLJANICA,...).
- VRSTA – Tip vodotoka (po kartografskem ključu).
- IME_VOD – Zemljepisno ime vodotoka.
- VIR – Opis vira.
- DATUM – Datum zajema podatkov.

Pokritost z imeni je na žalost zelo slaba, kar je razvidno tudi v preglednici 1. To zmanjša uporabnost sloja, saj si s poizvedbami po imenih skoraj ne moremo pomagati.

Preglednica 1: Prikaz HL1332d.dbf datoteke - prvih 20 vrstic (GKB 25, GURS, 2009)

ID	VOD_MID	VRSTA	IME_VOD	VIR	DATUM
101767	29497	85	ni imena	3	19961028
68868	29497	20	ni imena	2	19941024
68101	20869	20	ni imena	2	19951220
101793	20894	85	ni imena	3	19961028
54397	0	4	ni imena	1	20030524
124771	20820	1	Oševak	1	20030524
101788	20888	85	Hruševka	3	19961028
54464	0	4	ni imena	1	20030524
54402	0	4	ni imena	1	20030524
54400	0	4	ni imena	1	20030524
101789	20888	85	Hruševka	3	19961028
101792	20893	85	ni imena	3	19961028
101713	20822	85	ni imena	3	19961028
101837	20889	85	ni imena	3	19961028
101838	20891	85	ni imena	3	19961028
68879	20888	20	Hruševka	2	19941024
101791	20892	85	ni imena	3	19961028
68881	20889	20	ni imena	2	19941024
101790	20890	85	ni imena	3	19961028
68870	20865	20	ni imena	2	19941024

Preglednica 2: Opis tipa vodotoka

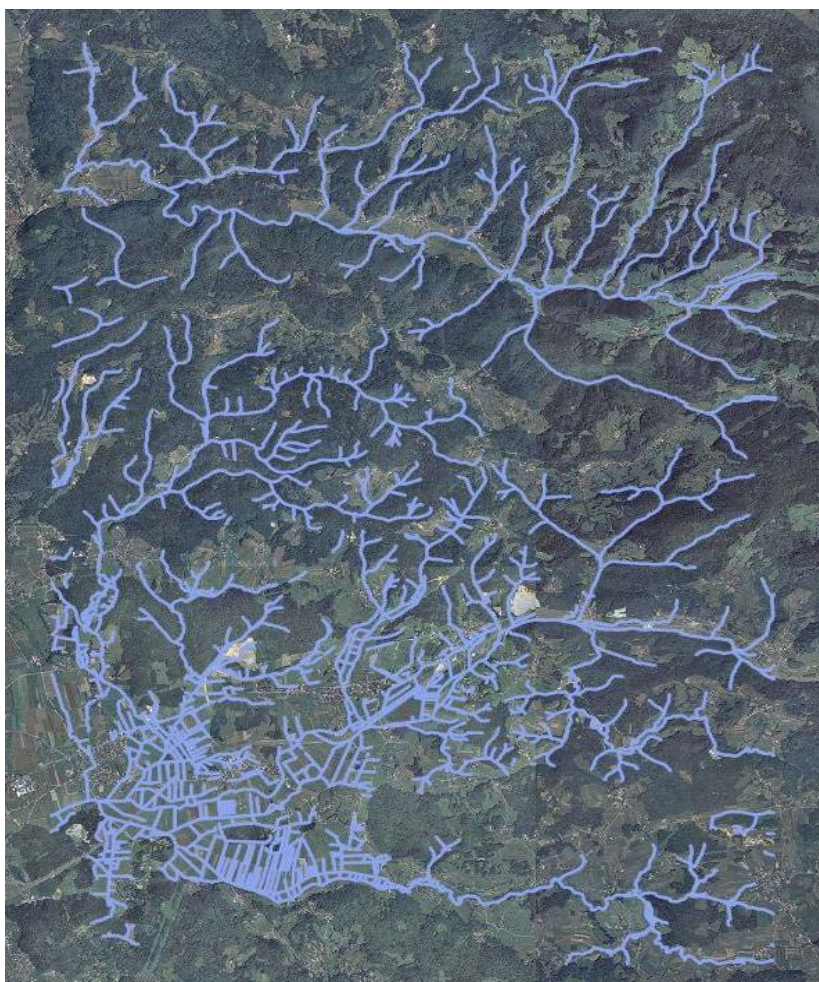
(http://prostor.gov.si/vstop/fileadmin/vzorci/GKB25_HIDRO.zip)

TIP_VOD	OPIS TIPRA	TIP_VOD	OPIS TIPRA
10	reka (širša od 5m)	60	ponikalnica (enaka ali ožja od 5m)
20	reka (enaka ali ožja od 5m)	70	reka ali kanal občasno brez vode (širši od 5 m)
1	naravni vodotok, ožji ali enak 2.5 m	80	reka ali kanal občasno brez vode (enak ali ožji od 5 m)
2	naravni vodotok, širši od 2.5 m	85	nestalni vodotok
30	kanal (širši od 5m)	90	na karti neviden potek vodotoka
40	kanal (enak ali ožji od 5m)	91	križanje vodotokov na več nivojih
3	kanal, širši od 2.5 m	91	križanje vodotokov na več nivojih
4	kanal, ožji od 2.5 m	99	navidezna povezava
50	ponikalnica (širša od 5m)	215	kanal podzemnega namakalnega sistema

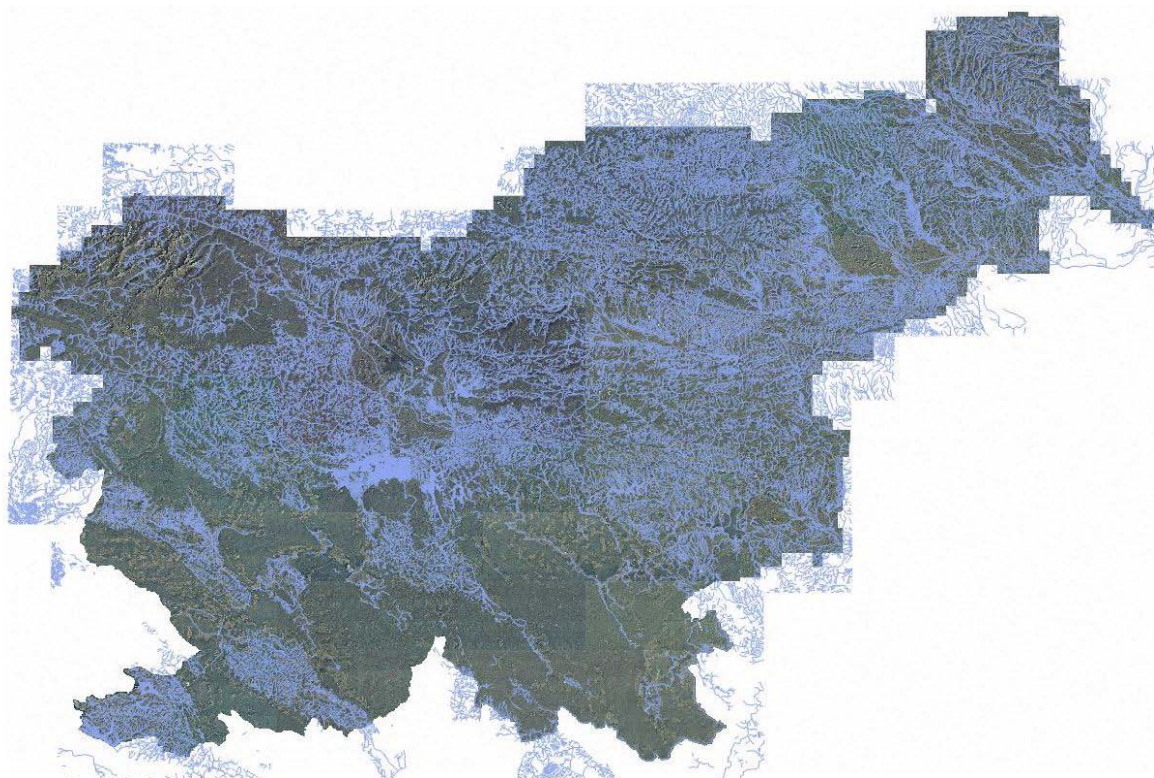
Za razvrščanje vodotokov v kategorije šifranta, ki je prevzet po kartografskem ključu Topografski znaki iz leta 1981, se meri širina gladine na karti. Opis vira pa predstavlja kartografski vir, iz katerega so bili zajeti podatki. Šifrant je v pristojnosti GU in razviden iz standardov za GKB 25 (V25, 2004).

Preglednica 3: Opis vira, iz katerega so bili zajeti podatki
(http://prostor.gov.si/vstop/fileadmin/vzorci/GKB25_HIDRO.zip)

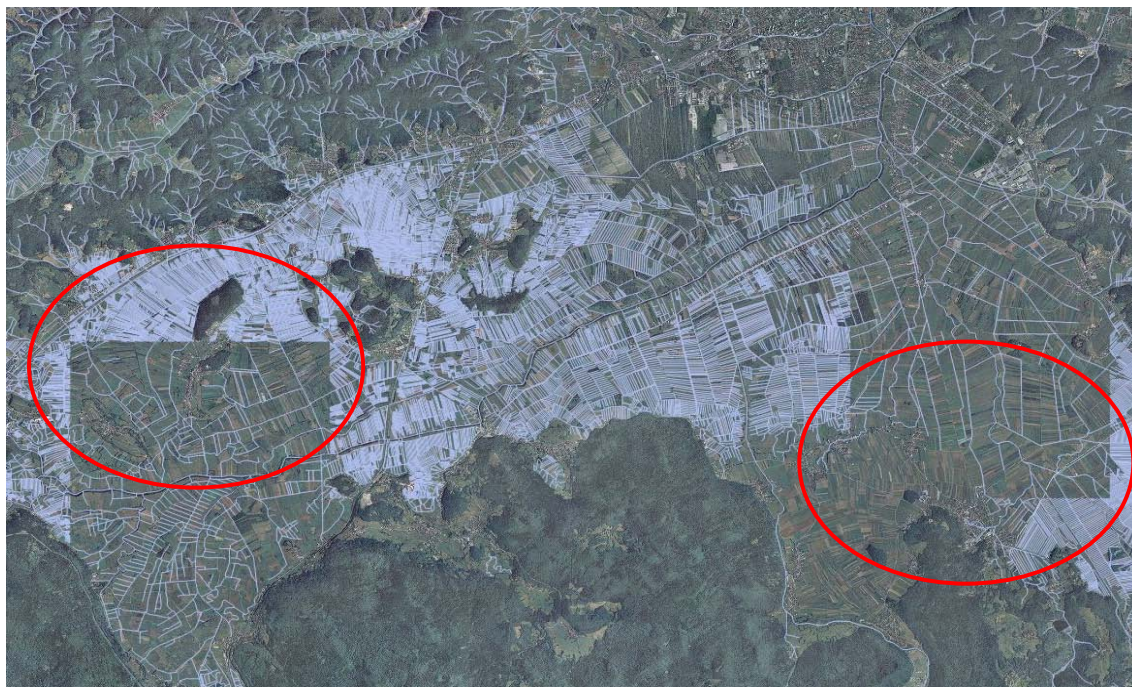
Šifra	Opis vira
1	DTK5
2	TOPO25
3	vektORIZACIJA DTK25
4	DTK50



Slika 2: Prikaz enega izmed listov (shp datoteka) z oznako HL1332d na ortofoto podlagi v okolici naselja Šentvid pri Lukovici (GKB 25, GURS, 2009)



Slika 3: Prikaz vseh listov hidrografskega linijskega sloja GKB25 na ortofoto podlagi, ki kažejo celotno pokritost Slovenije (GKB 25, GURS, 2009)



Slika 4: Prikaz več listov na ortofoto podlagi na območju Ljubljanje in njene okolice, kjer je razviden drug način zajema podatkov (GKB 25, GURS, 2009)

2.1.1.2 Poligonski sloj GKB 25

Ploskovni objekt na vodah predstavlja zemljišče, na katerem se stalno ali občasno zadržuje večja količina vode. Stoječe vode so naravna jezera, vključno s presihajočimi, ribniki, mlake, močvirja in drugi naravni vodni zbiralniki, ki imajo stalen ali občasen pretok ali odtok tekočih ali podzemnih voda. Stoječe vode so tudi vodni zbiralniki, ki so nastali z zaježitvijo tekočih voda, njihovo ureditvijo ali zaradi drugega posega v prostor [ZV-1, 2002]. Poligonski objekt se zajema po obodu ploskovnega objekta [V25, 2004]. Ploskovni objekti na vodah so vektorizirani za 201 list TK 25 in ažurirani ob izdelavi DTK50. Količina digitalnih podatkov znaša cca 2 Mb za cover, export format E00 in DXF format (0.01 Mb/list DTK 25). Imena datotek hidrografskega poligonskega sloja se začnejo s HP.

Atributi poligonskega sloja hidrografije so:

- ID – Enolični identifikator objekta (1, 2, 3, ..., 7395).
- VRSTA – Tip vodne površine (po kartografskem ključu).
- IME_VOD – Zemljepisno ime objekta.
- VIR – Opis vira.
- DATUM – Datum zajema podatkov.

Preglednica 4: Opis vrste vodne površine

(http://prostor.gov.si/vstop/fileadmin/vzorci/GKB25_HIDRO.zip)

ŠIFRA	OPIS VRSTE
200	kopno obdano z vodno površino
210	jezero
220	večja reka z otokom
230	soline
240	močvirje (s trstičjem, brez trstičja)
250	morje

Preglednica 5: Opis vira, iz katerega so bili zajeti podatki

(http://prostor.gov.si/vstop/fileadmin/vzorci/GKB25_HIDRO.zip)

Šifra	Vir
1	DTK5
2	TOPO25
3	DTK50

Opis vira predstavlja kartografski vir, iz katerega so bili zajeti podatki. Šifrant je v pristojnosti GU in razviden iz standardov za GKB 25 (V25, 2004).

2.1.1.3 Točkovni sloj GKB 25

Objekti na vodah so naravni ali zgrajeni fizični objekti. To so npr. slap, jez in izvir. Zajeta se je sredina kartografskega znaka za objekte na hidrografiji. Točkovni objekti na vodah so vektorizirani za 201 list TK 25. Količina digitalnih podatkov znaša cca 2 Mb za cover, export format E00 in DXF format (0.01 Mb/list DTK 25). Imena datotek hidrografskega točkovnega sloja se začnejo s HT.

Atributi točkovnega sloja hidrografije so:

- ID – Enolični identifikator točkovnega objekta (1, 2, 3, ..., 15923).
- VRSTA – Opis tipa objekta.
- IME_VOD – Zemljepisno ime objekta.
- VIR – Opis vira (Preglednica 5).
- DATUM – Datum zajema podatkov.

Preglednica 6: Opis tipa objekta

(http://prostor.gov.si/vstop/fileadmin/vzorci/GKB25_HIDRO.zip)

TIP_OBJ	OPIS TIPA OBJEKTA
60	Ponikalnica
110	Jez (betonski jez, povozni betonski jez, zemeljski jez, povozni zemeljski jez, jez prikazan izven merila)
120	Slap (slap, kaskada)

»se nadaljuje...«

»... nadaljevanje«

130	Izvir (močnejši izvir, šibkejši izvir)
140	Svetilnik
150	Boje (boje, sidrne boje)
160	Sidrišča za plovila (sidrišča za velika plovila, za manjša plovila)
170	Prepovedano sidranje
180	Vodohran
181	Vodnjak (objekt za pridobivanje pitne vode iz globin zemlje s pomočjo sile človeških rok)
182	Vodnjak z vzvodom
183	Zajetje večje zmogljivosti
184	Zajetje manjše zmogljivosti
185	Cisterna z občasno pitno vodo
186	Vodohran na stolpu (zaradi ustvarjanja padca)
187	Črpalka
188	Cisterna s stalno pitno vodo
189	Čer
190	Čistilna naprava
191	Prepust z električno zapornico
192	Zapornica
193	Pregrada (betonska)
194	Kaskada
195	Vodni bazen
196	Ribogojnica
197	Bazen
198	Ponor
199	Termalni ali mineralni vrelec

Vsi šifranti sloja GKB 25 – HIDRO so prevzeti po kartografskem ključu iz knjige Topografski znaki iz leta 1981. Klasifikacijske kategorije ne kažejo neke usklajenosti, morda pa je prepoznavna potreba po klasifikaciji za vojaške namene. Nobena klasifikacija do sedaj ni temeljito uveljavljena, zato bi bila primerna popolnoma nova klasifikacija, ki bi temeljila na tipologiji objektov, kot je npr. klasifikacija EVON (vir: Inštitut za vodarstvo, d.o.o., 2009).

2.2 Državna topografska karta 1 : 5.000 – DTK 5

Zajem topografskih podatkov DTK 5 (zbirka topografskih podatkov homogene natančnosti, ki ustreza ravni merila 1 : 5.000) se izvaja iz stereoparov posnetkov cikličnega aerosnemanja. Vsi objekti, ki se zajamejo na novo, so zajeti tri-dimenzionalno. Lahko se uporabijo tudi drugi viri, ki so opredeljeni v kataložnih obrazcih. Tematski atributi so interpretirani iz stereoparov

cikličnega aerosnemanja ali pa so privzeti iz drugih zbirk in evidenc oz. se interpretirajo iz drugih virov. Podatki, ki se privzamejo iz drugih zbirk podatkov, se popravijo in lokacijsko uskladijo s podatki pridobljenimi s fotogrametričnim zajemom. Namen zajema podatkov za DTK 5 je vzpostavitev zbirke topografskih podatkov natančnosti in podrobnosti merila 1:5.000, prednostno za ureditvena območja naselij. Podatke podatkovnega niza je mogoče uporabljati za geolociranje drugih podatkov v prostoru, kot podlago za prikaz grafičnih delov občinskih prostorskih planskih aktov in za potrebe digitalne kartografije. Možno jih je navezati na podatkovne nize različnih resorjev. Matematična osnova za geometrijo vseh zajetih podatkov je državna kartografska projekcija in Gauss-Krügerjev koordinatni sistem.

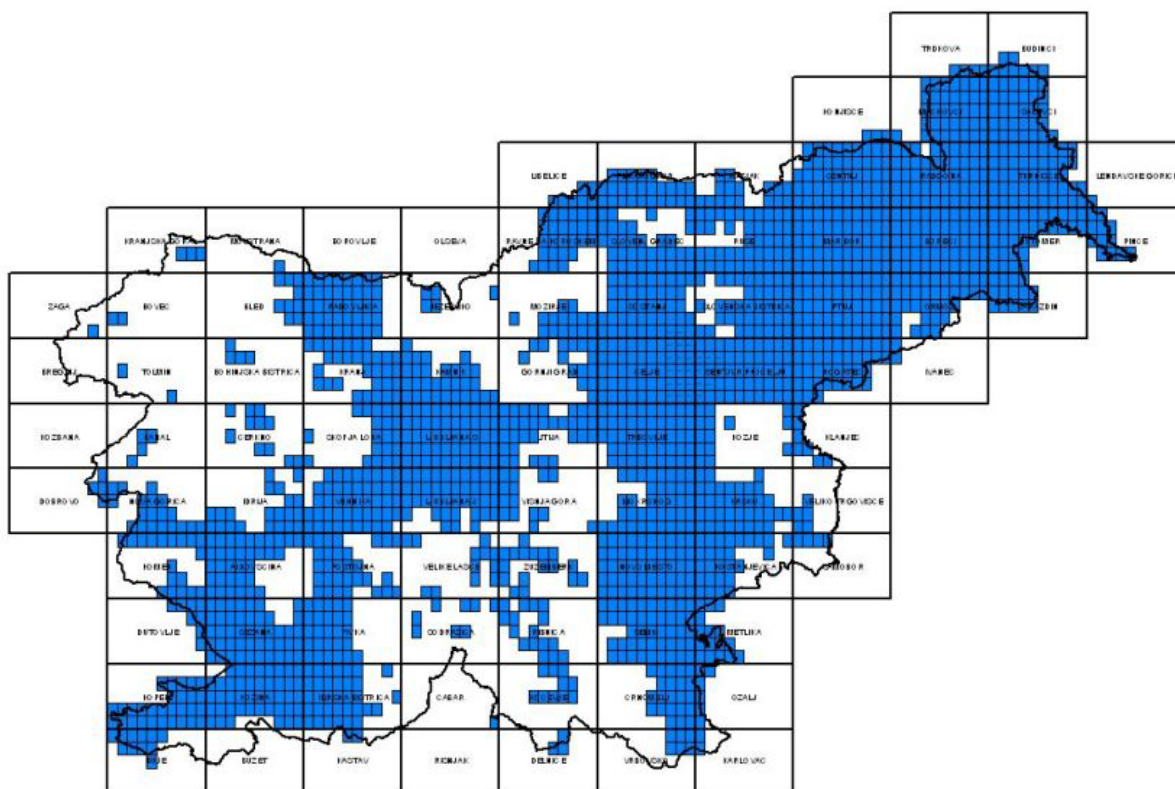
Preglednica 7: Predpisana kakovost podatkov za posamezen vir (DTK5, 2007)

Vir	Planimetrična natančnost	Višinska natančnost	Tematska natančnost	Časovna natančnost	Popolnost	Logična usklajenost
Stereopari Cikličnega aerosnemanja Slovenije	+/- 1m	+/- 1m	100 %	Obvezno se uporabijo najnovejši posnetki cikličnega aerosnemanja	Zajem vseh objektov po kriteriju	100%
TTN	Natančnost vektorizacije vira	Natančnost višinskih podatkov na načrtu oz. natančnost interpolacije podatka	100 %	Enaka časovni natančnosti vira	Zajem vseh objektov po kriteriju	100 %
Privzeti podatki iz drugih zbirk podatkov	Kakovost podatkov je enaka kakovosti podatkov v izvorni zbirki podatkov. Morebitna odstopanja od opredeljene kakovosti pridobljenih podatkov izvajalec sporoči izvajalcu nadzora izvajanja del.					

Podatki se praviloma zajemajo za najmanj en list TTN, razen v primeru, ko to iz objektivnih razlogov ni možno. Podatki so zajeti za 58% ozemlja Slovenije in pokrivajo območja večine naselij.

DTK 5 je vektorska zbirka podatkov, ki ima svoj grafični in opisni del. Vsebinsko je razdeljena v štiri objektna področja, ki so nadalje razdeljena na objektno tipe [DTK5, 2007]:

- Zgradbe – Objektni tipi, ki jih področje zajema, so stavbe, osi elektrovida (različnih napetosti) in visoki objekti (dimniki, RTV ali PTT stolpi, vodohrani in razgledni stolpi).
- Promet – Objektni tipi, ki jih področje zajema, so ceste (različnih kategorij), železniške proge in osi žižnic.
- Pokritost tal – Objektni tipi, ki jih področje zajema, so vegetacija in zemljišča v posebni rabi (športne površine, pokopališča, odlagališča odpadkov, kamnolomi, itd.)
- Hidrografija - Objektni tipi, ki jih področje zajema, so vodne površine, osi vodotokov in pojavi na vodah.



Slika 5: Slika pokritosti Slovenije s topografskimi podatki DTK 5 – maj 2009

([http://prostor.gov.si/vstop/index.php?id=493&no_cache=1&tx_simpltabs_pi1\[tab\]=496#tabs](http://prostor.gov.si/vstop/index.php?id=493&no_cache=1&tx_simpltabs_pi1[tab]=496#tabs))

2.2.1 **HIDROGRAFIJA**

Kako se je izdelala hidrografska plast, opisuje naslednje navodilo. »Kadar se lahko iz stereo zajema topografskih podatkov identificira le najmanjši del vodotoka, se celoten preostali potek zajame s TTN in tako lukenj v poteku posameznega vodotoka ne sme biti, če pa ni mogoče zanesljivo interpretirati obstoja vodotoka, se zajem s TTN opusti. Daljši odseki vodotoka (ploskovni in linijski, ki so daljši od 50 m), ki se ne vidijo, se zajamejo z navidezno osjo vodotoka - kot zveznica končnih točk sosednjih odsekov, da se zagotovi topološka pravilnost. To ne velja za krajše odseke vodotokov pod cestami in mostovi (preput). Ti so zajeti kot normalni vodotok. Kriterij za zajem umetnih vodnih površin je 200 m², po presoji tudi manj (npr. manjši bazeni ob ribogojnicah)« [DTK 5, 2007, str. 63].

Načini zajema vodotokov na zalistanem terenu tj. poraslem z listavci [DTK 5, 2007]:

- Stereoskopsko se zajame vse vidne odseke. Manjkajoče odseke se zajame iz skanogramov TTN.
- Stereoskopsko se popravijo tako zajeti objekti, da se čim bolj približa dejanskemu stanju. Težava je v tem, da je bil ortofoto za stereoskopski zajem posnet v juliju 2006, torej v času, ko je veliko vegetacije.
- Občasne vodotoke po grapah, pri katerih se zaradi zalistanja ne vidijo posamezni odseki, izvajalec zajema zajame iz skanogramov merila 1:5.000. Poda se predlog za terensko potrditev njihovega obstoja.

Metoda zajema predstavlja uporabljeno metodo za zajem posameznega podatka: 1 - posamični postopki; 2 - terenski (množični) zajem; 3 - fotogrametrični zajem (tudi minimalni zajem iz digitalnega ortofota); 4 - kombinirani zajem (fotogrametrični in terenski zajem); 5 - zajem iz drugih evidenc (zajem iz TTN).

2.2.1.1 Vodna površina DTK 5

Objektni tip vodna površina predstavlja v naravi vse vodne površine tekočih in stoječih voda in je v zbirki topografskih podatkov predstavljen s ploskvijo (geometrija) in tematskimi

atributi. Fotogrametrični zajem je izdelan iz stereoparov cikličnega aerosnemanja, dopolnilni viri so TTN in podatki terenskega ogleda. Za močvirja, bajerje in brakične vode so potrebni drugi viri, ki omogočajo interpretacijo in geolokacijo (se zajame, če izvajalec zajema prejme podatke kot vhodno gradivo).

Atributi sloja vodne površine [DTK 5, 2007] so:

- LINK_ID.
- VRSTA (1 obalno morje; 2 jezero, mrtvi rečni rokav ; 3 bajer, kal, mlaka, loka; 4 močvirje, barje; 5 soline; 6 rečna površina; 7 brakične vode).
- DVIR (datum vira).
- MET_ZAJ (metoda zajema).

2.2.1.2 Os vodotoka DTK 5

Os vodotoka je v zbirki predstavljena z navidezno srednjo linijo, ki je sestavljena iz odsekov in poteka na sredini površine vodotoka, od izvira do izliva (geometrija) in s tematskimi atributi. Atributi sloja osi vodotokov [DTK 5, 2007] so:

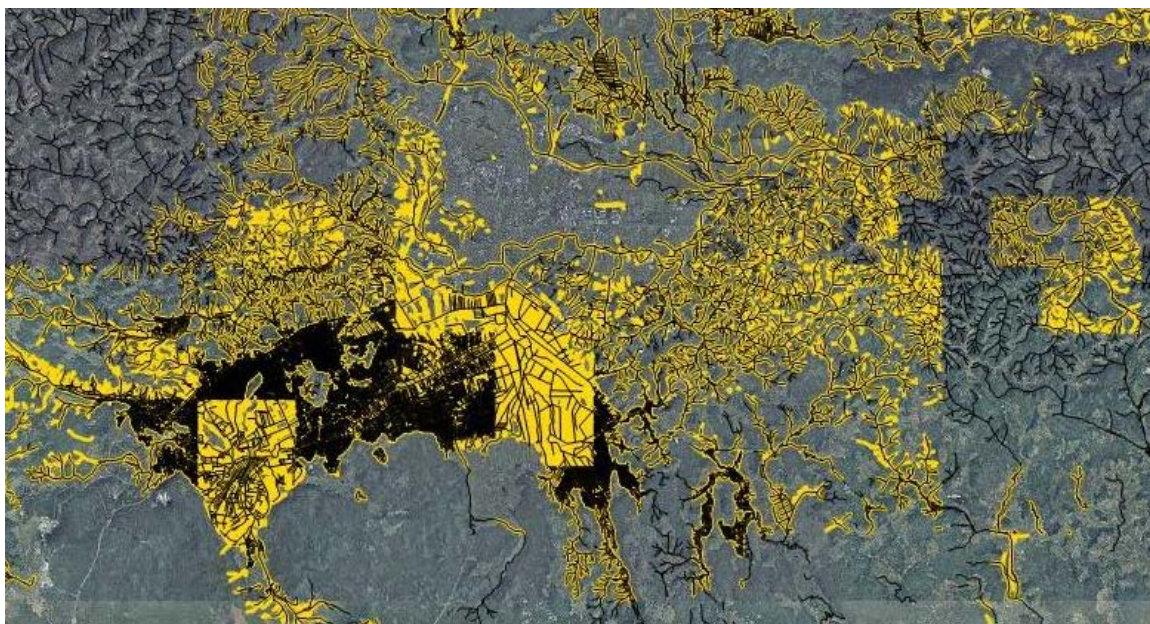
- LINK_ID.
- VRSTA (1 naravni vodotok, ožji ali enak 2,5 m; 2 naravni vodotok, širši od 2,5 m; 3 kanal, širši od 2,5 m; 4 kanal, ožji od 2,5 m).
- STALNOST (1 stalen vodotok; 2 občasen vodotok).
- STANJE (1 os zajema; 2 os zajema – navidezna).
- DVIR (datum vira).
- MET_ZAJ (metoda zajema).

Tukaj je zanimiva informacija, da ime vodotoka sploh ni predvideno. Glede na izkušnje pri delu s prostorskimi objekti pa je upravljanje z imeni sicer naporno delo, vendar potrebno.

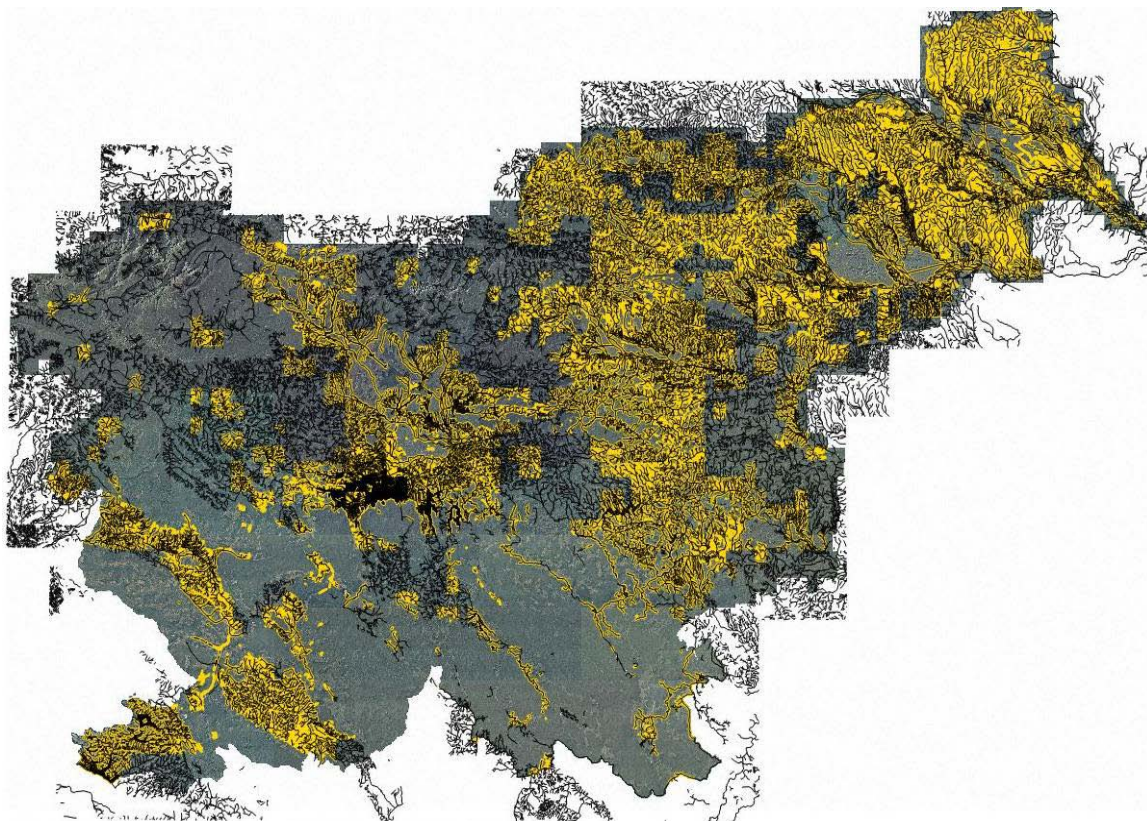
Preglednica 8: Prikaz HLE2410.dbf datoteke (prvih 20 vrstic) (DTK 5, GURS, 2009)

LINK_ID	VRSTA	STALNOST	STANJE	DVIR	MET_ZAJ
0	1	1	1	20010403	3
0	1	1	1	20010403	3
0	1	1	1	19681231	5
0	1	2	1	19681231	5
0	1	2	1	19681231	5
0	4	2	1	20010403	3
0	1	1	1	20010403	3
0	1	1	1	20010403	3
0	1	1	1	20010403	3
0	1	2	1	19681231	5
0	1	2	1	19681231	5
0	1	1	1	19681231	5
0	4	2	1	20010403	3
0	4	2	1	20010403	3
0	4	2	1	20010403	3
0	4	2	1	20010403	3
0	1	1	1	19681231	5
0	4	2	1	19681231	5
0	4	2	1	20010403	3
0	4	2	2	20010403	3

**Slika 6: Prikaz lista (shp datoteka) z oznako HLE2410 na ortofoto podlagi v okolici Lukovice pri Domžalah (DTK 5, GURS, 2009)**



Slika 7: Prikaz več listov hidrografskega linijskega sloja GKB 25 (črne linije) in DTK 5 (rumene linije) na ortofoto podlagi na območju Ljubljane in njene okolice (GKB 25, DTK 5, GURS, 2009)



Slika 8: Prikaz vseh listov hidrografskega linijskega sloja GKB 25 (črne linije) in DTK 5 (rumene linije) na ortofoto podlagi (GKB 25, DTK 5, GURS, 2009)

Na slikah s prejšnje strani se lepo vidi, katera območja so zajeta v sklopu topografskih podatkov DTK 5. Večina listov DTK 5 obsega večjo količino podatkov kot GBK 25, ponekod pa je ujemanje slojev GKB 25 in DTK 5 celo popolno. Presenetljivo pa je, da nekateri DTK 5 listi vsebujejo manj podatkov kot isto območje pri GKB 25, čeprav bi zaradi večjega merila pričakovali nasprotno.

2.2.1.3 Pojavi na vodah DTK 5

Objektni tip pojavi na vodah v naravi predstavljajo izviri, ponori, slapovi ter termalni in mineralni vreli ter so v zbirki predstavljeni s točko - centroidom pojava (geometrija) in tematskimi atributi.

Atributi sloja vodne površine [DTK 5, 2007] so:

- LINK_ID.
- VRSTA (1 slap; 2 izvir; 3 ponor; 4 termalni ali mineralni vrelc).
- DVIR (datum vira).
- MET_ZAJ (metoda zajema).

V poglavju sta bili predstavljeni obe obstoječi hidrografski mreži, ki sta bili izdelani in sta vzdrževani s strani Geodetske uprave RS. Prednost hidro sloja iz GKB 25 pred hidro slojem iz DTK 5 je zagotovo, da pokriva celotno ozemlje Slovenije. V prid sloju iz GKB 25 je tudi, da vsebuje vsaj nekatera zemljepisna imena vodotokov, kljub temu, da je pokritost z imeni zelo slaba.

3 PROSTORSKI PODATKI

Prostorski podatki imajo posebne značilnosti in odražajo stanje pojavov v stvarnem prostoru. Obdelava teh podatkov poteka z orodji GIS, s pomočjo katerih so tudi grafično upodobljeni. Opisni podatki so v obliki tabel (atributi so podani v stolpcih, posamezni objekti s pripadajočimi atributi pa v vrsticah) in so pogosto pomembnejši od grafičnega prikaza.

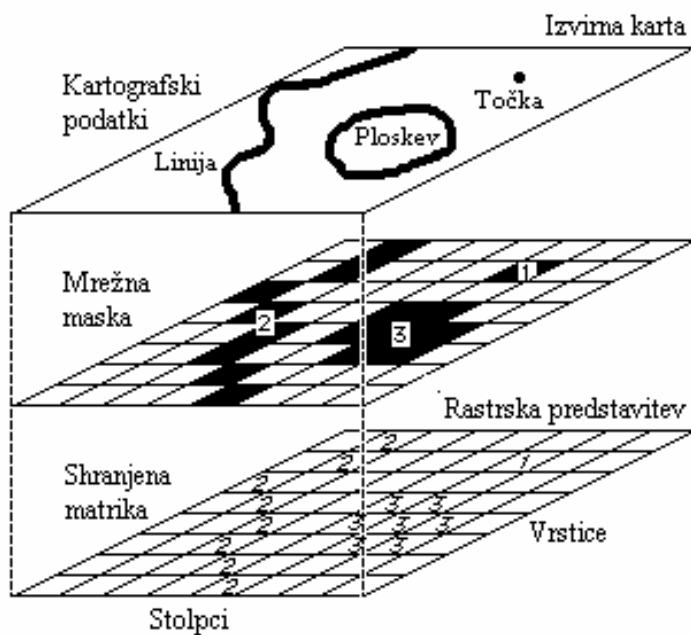
»Geografski informacijski sistem (GIS) služi za zajemanje, shranjevanje, vzdrževanje, obdelavo, povezovanje, analiziranje in predstavitev geokodiranih podatkov. Sestavljajo ga strojna oprema, posebna programska oprema, uporabniške aplikacije, baza prostorskih podatkov, vzdrževalci in predvsem uporabniki informacijskega sistema« [Šumrada, 2005b, str. 75].

Osrednji del v sistemih GIS je posebej organizirana grafična podatkovna baza. V njej so shranjeni razni lokacijski, grafični in topološki podatki, ki opisujejo zlasti položaj, povezljivost, obliko, izgled in sosedstvo geografskih objektov. Tradicionalni kartografski podatkovni model je osnova orodij GIS. Temeljno načelo je razstavitev obravnavanega področja na tematske plasti ali dvorazsežne podatkovne sloje. Vsak sloj obravnava določeno lastnost območja, ki je poenostavljen in opredeljen kot model izbranega dela stvarnosti [Šumrada, 2005a].

3.1 Rastrski objekti

Rastrska struktura grafičnih podatkov je sestavljena iz matrike gridnih celic enake oblike. Položaj vsake posamezne celice v modelu je enolično določen s številko vrstice in stolpca v gridni mreži ali matriki. Vsaka celica lahko vsebuje tudi podatek o atributu, ki ga prikazuje. Točka je predstavljena z eno samo celico, linijo pa tvori določeno število sosednjih celic z enako vrednostjo, ki so razvrščene v določeni smeri. Območje predstavlja množica sosednjih celic z enako vrednostjo opazovanega atributa. Ločljivost (resolucija) rastrskih podatkov je merilo, ki podaja razmerje med velikostjo gridne celice v bazi podatkov in velikostjo celice v naravi [Šumrada, 2005a].

Digitalni modeli višin (DMV), ki so izdelani za različne države in temeljijo na mreži celic 100 x 100 metrov, 25 x 25 metrov, itd., so pridobljeni iz raznovrstnih virov ter z različnimi metodami zajemanja. Višine so določene za vsako celico posebej v njenih ogliščih. Predpostavljeno je tudi, da je teren znotraj celic enakomeren in konstantnega naklona glede na oglišča [Šumrada, 2005a].



Slika 9: Rastrski podatkovni model (Šumrada, 2005a)

V sistemih GIS se rastrski podatki uporabljajo predvsem v naslednjih petih primerih [Šumrada, 2005a, str. 43]:

- v podatkovnih modelih za predstavitev in opis področja obravnave kot dela stvarnega sveta z uniformno celično mrežo,
- pri obdelavi podatkovnih slojev za ponazoritev ploskovnega (3D) modela stvarnosti (denimo model višin),
- pri prikazu digitalnih skeniranih podob obstoječih analognih kart in načrtov,
- pri obdelavi digitalnih satelitskih podob in drugih z daljinsko zaznavo dobljenih podob (digitalna fotogrametrija, lasersko skeniranje itd.),

- pri običajnem prikazovanju na vseh računalniških rastrskih izhodnih napravah (grafični zaslon, tiskalnik, rastrski risalnik itd.).

Gridne celice lahko predstavljajo različne prostorske pojave [Šumrada, 2005a, str.47]:

- fizične spremenljivke v prostoru, na primer topografije (DMV, DMT in DMR),
- upravna, administrativna in statistična območja enote,
- rabo tal, kjer vrednosti gridnih celic predstavljajo in ponazarjajo klasifikacijski sistem,
- izžarevanje, odboj oziroma absorpcijo določene energije ali sevanja kot funkcijo valovne dolžine (osončenje, satelitsko zaznavanje različnih spektrov svetlobe itd.),
- neposredna povezava koordinatnih vrednosti z ustreznim šifrantom (pedologija, geologija, mineralogija, gozdarstvo, meteorologija, ekologija itd.),
- različne izračunane vrednosti celic, ki so izvedene iz drugih vrednosti oziroma atributov (naklon, vidnost, osončenost, razdalje od objektov, cone in varnostni pasovi, prehodnost itd.).

Vsaki gridni celici se lahko pripiše ena sama vrednost določenega atributa. Zato se morajo različni objekti oziroma različni atributi registrirati na različnih tematskih plasteh (podatkovnih slojih). Zaradi osnovne razlike v načinu, kako se atributni podatki lahko dodeljujejo prostorskim objektom, ima rastrski GIS navadno mnogo več podatkovnih slojev kakor vektorski GIS. V vektorskem podatkovnem modelu se lahko različni atributi neposredno pripisujejo objektom. V rastrskem modelu GIS pa velja nepisano pravilo, da je število tematskih plasti enako številu vseh atributov prostorskih objektov [Šumrada, 2005a].

Rastrski podatkovni model ne more zadovoljivo predstaviti vseh stvarnih pojavov. Obdelava digitalnih višinskih modelov in satelitskih ali skeniranih podob je temeljni poudarek v rastrskih GIS. V primerjavi z vektorskim podatkovnim modelom so morda glavne pomanjkljivosti rastrskega dostopnost do podatkov, njihova velika količina in potrebne predobdelave. Preglednica 9 podaja glavne prednosti in slabosti rastrskega pristopa [Burrough et al., 1998, cit. po Šumrada, 2005a].

Preglednica 9: Predstavitev izvedbenih prednosti in slabosti rastrskega pristopa [Šumrada, 2005a]

Rastrski pristop	
<i>Prednosti</i>	<i>Slabosti</i>
Dobra predstavljivost pojavnega pristopa	Zapletena obdelava realnih števil
Zgoščena sestava in majhna količina podatkov	Neizvedljive prostorske analize notranjosti poligonov brez dodatnih podatkov
Vgrajena izrecna (2D) topološka pravila	Problemi s prekrivanjem in preseki poligonov
Točna grafična predstavljivost v vseh merilih	Oblikovna raznolikost vektorskih objektov
Enostavno iskanje in posodabljanje podatkov	Zapletena sestava kakovostnih predstavitev
Odlične možnosti za mrežne analize	Počasni (obnavljanje) in zahtevni izrisi
Površinske analize in 3D predstavljivost	Problemi določanja vidnosti in prekrivanja
Generalizacija in povezovanje podatkov	Zahtevne časovne simulacije procesov

Rastrska in včasih prevladujoča vektorska orodja GIS so nekoč veljala kot tehnološko nezdržljiva pristopa, sedaj pa sodobna orodja GIS omogočajo sočasno prikazovanje ter obdelavo vektorskih in rastrskih podatkov. Rastrski pristop je bil primernejši za razne prostorske analize s prekrivanjem podatkovnih slojev, kjer točna kartografska predstavitev rezultatov ni bila temeljno merilo uspešnosti. Ob prehodu iz prikrite vojaške v splošno civilno domeno so se razvile možnosti za množično zajemanje rastrskih podob z daljinskim zaznavanjem. Tehnologija laserskega skeniranja oziroma lidarskega snemanja, tako iz zraka kot s terestričnimi sistemi, kot eden izmed pristopov daljinskega zaznavanja z aktivnim senzorjem, se tako vedno bolj uveljavlja kot ena od najboljših metod za zajem prostorskih podatkov [Šumrada, 2005a].

3.2 Sistem LiDAR

LIDAR je bil v prvi vrsti razvit za vojaške potrebe, a se je njegova uporaba kasneje razširila tudi na civilno področje. Tehnologija temelji na daljinskem zaznavanju s pomočjo laserskega tipala [Rak, 2008]. LIDAR je kratica za Light Detection And Ranging oziroma svetlobno zaznavanje in merjenje razdalj ali Laser Imaging Detection And Ranging oziroma lasersko snemanje, zaznavanje in merjenje razdalj. S pomočjo LIDARja se določa razdalje do objektov ali površin z uporabo laserskih pulzov. S pošiljanjem kratkih laserskih pulzov in

opazovanjem njihovega odboja pridobiva zelo natančne podatke o površju in predstavlja trenutno najbolj natančno tehniko za izdelavo digitalnih modelov višin [Oštir, 2006].

Princip uporabe laserja za merjenje razdalj je znan že iz 60. letih 20. stoletja. Istočasno so ljudje začeli razmišljati o uporabi laserja iz zraka za merjenje zemeljskih koordinat, a to ni bilo možno vse nekje do konca osemdesetih let. To je omogočil šele razvoj novejših in natančnejših inercialnih navigacijskih kontrol ter predvsem GPS-a, saj pred tem ni bilo možno določiti točne lokacije senzorja. LIDAR sistemi so sedaj zmožni velike točnosti in natančnosti in so v uporabi na veliko različnih področjih.

3.2.1 Zgradba sistema LIDAR

Sestavni deli sistema laserskega zaznavanja iz zraka so komponente na plovilu in komponente za obdelavo podatkov. Sistem na plovilu je sestavljen iz laserskega tipala, radarske antene, GPS (Global positioning system), INS (inertial navigation system) in video kamera ali fotografski aparat za dokumentiranje drugih lastnosti površine. Za lasersko tipalo se šteje laserski oddajnik, sprejemnik, detektor signala, ojačevalec in ostale elektronske komponente. Če je LIDAR pritrjen na helikopter, je omogočeno nižje in počasnejše letenje ter posledično večja gostota izmerjenih koordinat; kar pomeni da so meritve natančnejše [Oštir, 2006].

3.2.2 Delovanje sistema LIDAR

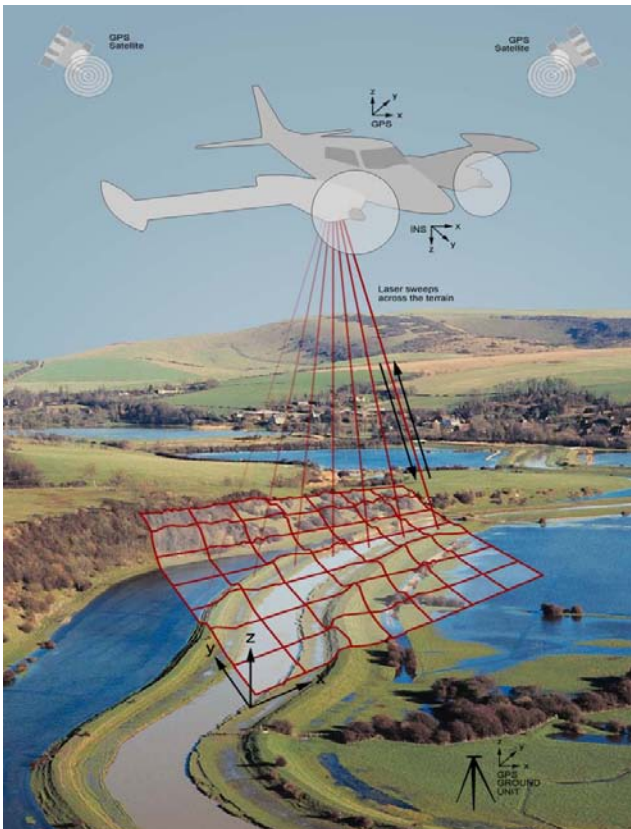
LIDAR je aktivni senzor, ki proti Zemlji pošilja lastno valovanje (oddan in sprejet impulz). Meri čas potovanja elektromagnetnega impulza med senzorjem in opazovanim predmetom z natančnostjo 10^{-10} sekunde. Razdaljo R med senzorjem in površjem lahko izračunamo, saj poznamo čas potovanja valovanja t_L in hitrost svetlobe c_0 [Oštir, 2006].

Razdalja med senzorjem in površjem:

$$t_L = \frac{2R}{c_0} \quad (1)$$

Natančnost merjenja razdalje ΔR je v povezavi s časovno ločljivostjo Δt_L :

$$\Delta R = \frac{c \cdot \Delta t_L}{2} \quad (2)$$



Slika 10: Sistem LIDAR (www.vls-inc.com)



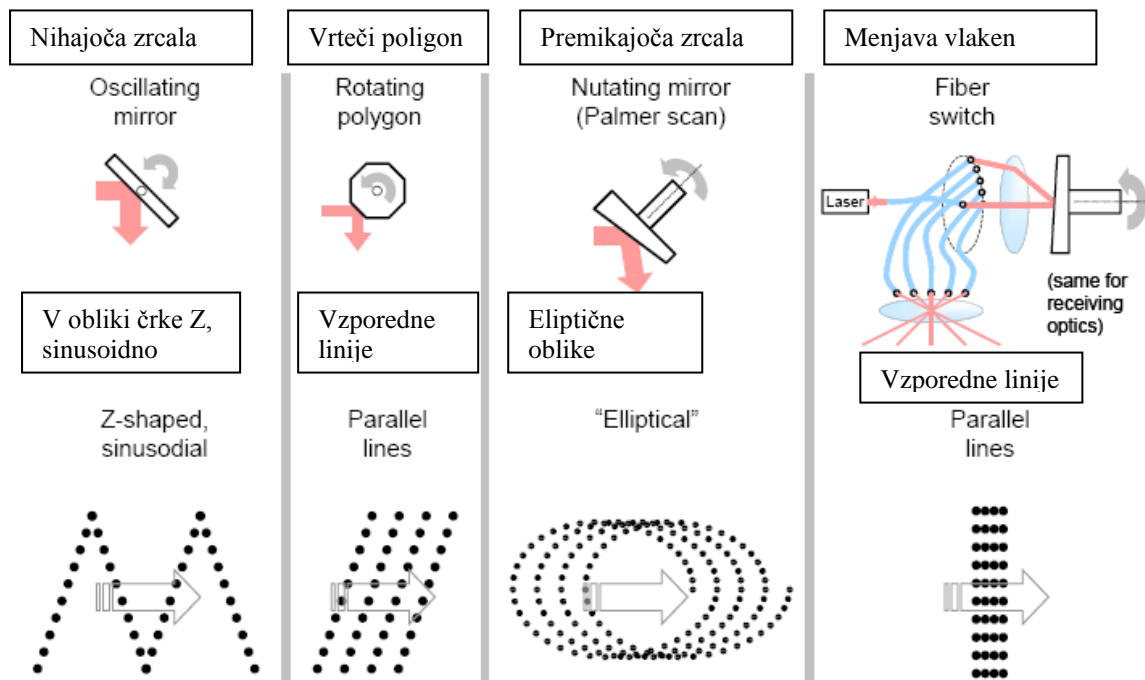
Slika 11: Prerez oblaka točk zajetih s tehnologijo LIDAR (Rak, 2008)

Za določanje natančne pozicije višinometra se uporablja naprava GPS, katerega natančnost je močno odvisna od števila satelitov, ki so na območju meritev na voljo. Hkrati z GPS napravo na letalu ali helikopterju se vedno uporablja še dodatni prejemnik, ki je lociran na površini Zemlje. Lokacija naprave je določena z referenčnimi točkami na zemeljskem površju. Oba sprejemnika skupaj sestavljata DGPS sistem (differential global positioning system), ki zagotavlja natančnejše določeno pozicijo. Naklon letala in laserskega tipala je merjen s sistemom INS, s katerim so omogočene korekcije meritev laserskega tipala. S poznavanjem razdalje med plovilom in površjem ob vsakem pulzu ter natančne pozicije letala s pomočjo kombinacije treh sistemov dobi vsaka izmerjena točka absolutne koordinate v tri-razsežnem prostoru [Rak, 2008].

LIDAR pri snemanju, poleg merjenja časa potovanja laserskega žarka, vedno pogosteje meri tudi jakost odboja na površju. Jakost je odvisna od deleža energije, ki ga določena ovira prestreže, od njenih odbojnih lastnosti (reflektivnost, površinska morfologija) ter od absorpcije v atmosferi. Interakcija s površjem se zgodi, ko elektromagnetno valovanje, ki se ne absorbira ali sipa v atmosferi, pride do zemeljskega površja. Lastnosti površja in valovna dolžina vpadnega valovanja določajo vrsto in stopnjo interakcije [Oštir, 2006].

Klasična oblika tehnologije LIDAR je za merjenje topografije terena pod vodno gladino praktično neuporabna, ker se uporablja infrardeči spekter svetlobe, ki se na vodni gladini odbije. Za ta namen se uporablja posebna vrsta tehnologije LIDAR, ki temelji na principu DIAL – Differential Absorption LIDAR. To pomeni, da sta hkrati v uporabi dva laserja z različnima valovnima dolžinama poslanih signalov. Poleg infrardečih žarkov, ki se odbijejo od vodne površine, se pošilja tudi modro-zelene žarke, ki prodrejo skozi vodno telo in se odbijejo od rečnega ali morskega dna. Razlika v času potovanja obeh pulzov omogoča določitev globine vode. Največja možna penetracija laserskega žarka za opisani sistem je očitno odvisna od prosojnosti vode ter jakosti odboja od dna. Bistvena predpostavka pri tem postopku je torej, da je voda dovolj bistra in kar se da mirna. V nasprotnem primeru se žarki odbijejo na disperzijskih delcih, kar privede do napak. To je tudi vzrok, da metoda ni primerna za reke, kjer se pojavlja turbulentni tok, ki povzroča dviganje in lebdenje delcev.

Skeniranje lahko poteka v eni ali obeh smereh, odvisno od zgradbe snemalne naprave. Najpogosteje se uporabljajo nihajoča ali vrteča zrcala, obstajajo pa tudi sistemi z optičnimi vlakni. Oblika snemalnega vzorca - to je položaj meritev na površju - ni odvisna le od delovanja skenerja, ampak tudi od višine in hitrosti leta ter oblike reliefa. Točke LIDAR naprava praviloma zajema v enakih kotnih intervalih, razdalja med njihovimi odtisi na površju pa ni konstantna.



Slika 12: Smer leta skupaj z obliko snemalnega vzorca

(http://www.personal.psu.edu/ehm119/Geog_482/Project3/Project3_LiDAR.html)

Zaradi različne geometrije znotraj pasu snemanja (izrazito predvsem pri letalskem snemanju), ustavljanja in pospeševanja na robovih pasu, so lahko točke razporejene zelo »nepravilno«, zato pri LIDAR-ju ne govorimo o značilnih razdaljah, ampak le o gostoti točk (meritev) na kvadratni meter [Oštir, 2006].

3.2.3 Natančnost sistema LIDAR

Na natančnost merjenja razdalje med senzorjem in točko odboja signala najmočneje vpliva atmosfera. Interakcija z atmosfero je odvisna od sestave ozračja (trdni delci, molekule plinov in tekočine), predvsem velikosti delcev, in valovne dolžine valovanja. Če upoštevamo

standardno sestavo ozračja, le-ta prispeva k napaki meritev cca 5 cm pri višini leta na 1 km [Nagwa, 2003, cit. po Rak, 2008]. Glavni faktor, ki vpliva na natančnost, je višina letenja nad opazovanim terenom, saj zaradi vlage in prašnih delcev v atmosferi prihaja do loma, absorpcije ter sipanja laserskih žarkov, kar posledično privede do podaljšanja časa potovanja signalov na poti od vira do Zemlje in nazaj [Rak, 2008].

Natančnost lociranja pa je odvisna predvsem od napake GPS in INS naprave. Med dejavnike, ki prav tako vplivajo, pa spadajo pokrovnost površja, kot skeniranja in razgibanost topografije terena (večje napake pri večjih nagibih terena). Meritve potekajo v izbranem koordinatnem sistemu (npr. WGS84), da se sistem LIDAR lahko poveže z GPS napravo. Te podatke pri obdelavi običajno transformiramo v lokalni koordinatni sistem, pri čemer pa lahko nastanejo še dodatne napake [Rak, 2008].

Vertikalna natančnost naj bi bila po podatkih izvajalcev meritev okoli 15 cm. Različne študije pa kažejo odvisnost natančnosti od tega ali so meritve izvedene v času ozelenele vegetacije ali v času ko je le-ta brez listja. Pomembna je tudi dobra priprava načrta leta, kar se da enakomerna višina in hitrost leta, prekrivanje posameznih pasov snemanja itd. [Rak, 2008].

Za ugotavljanje natančnosti si pomagamo s primerjavo točk, ki jih dobimo z bilinearno interpolacijo LIDAR točk, glede na referenčne točke, ter karakterističnih točk s pridobljenimi podatki iz LIDAR meritev [Rak, 2008].

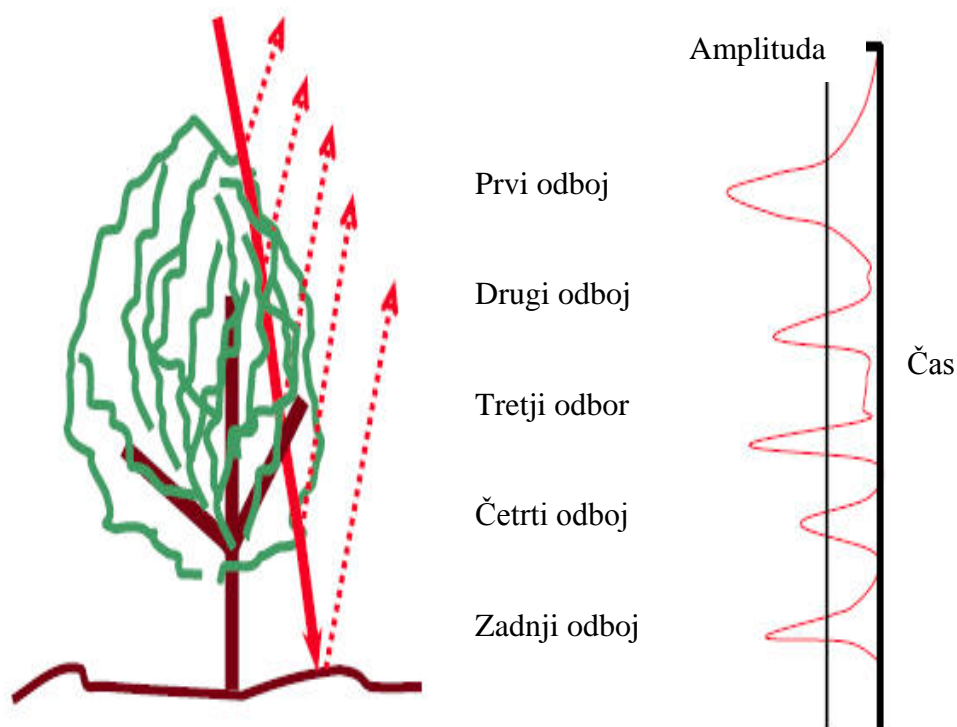
3.2.4 Obdelava podatkov

Po snemanju z LIDAR sistemom dobimo dve podatkovni zbirki. Prva so podatki o položaju sistema in druga zbirka so podatki o odbojih oziroma razdaljah. Iz obeh podatkov lahko izračunamo položaje točk odboja na površju. Ponavadi jim kot atribut pripišemo red odboja (prvi, drugi, ..., zadnji) in če je mogoče tudi njegovo jakost. Končni rezultat je torej oblak točk, ki predstavljajo odboje na različnih predmetih. Točke imajo podane tri prostorske koordinate in praviloma več atributov. Taka oblika zapisa pa ni najbolj primerna za analize, zato je treba te podatke dodatno obdelati [Oštir, 2006].

Najpomembnejši koraki obdelave podatkov so [Oštir, 2006]:

- klasifikacija,
- filtriranje in
- rastriranje.

Pomemben korak pri interpretaciji lidarskih podatkov je klasifikacija, pri kateri prepoznamo določene geometrijske strukture ali objekte, na primer zgradbe, ceste, drevesa in podobno. Klasifikacija rastrskih podatkov poteka z enakimi postopki kot obdelava drugih podob daljinskega zaznavanja, upoštevati moramo le veliko ločljivost lidarskih podatkov [Oštir, 2006].



Slika 13: Primer večkratnega odboja laserja od drevesa

(http://home.iitk.ac.in/~blohani/LiDAR_Tutorial/Airborne_AltimetricLidar_Tutorial.htm)

Pri filtriranju skušamo izločiti vse neželene odboje. Oblak lidarskih točk namreč vsebuje pulze, ki so se odbili na različnih predmetih. S pomočjo odbojev na zunanji ovojnici površja, to je na vrhovih vegetacije in stavb, dobimo tako imenovani digitalni model pokrovnosti (digital surface model). Do odboja pa lahko pride tudi znotraj predmetov, predvsem

vegetacije ali vode, in na tleh. Talni odboji, če do njih seveda pride, podajajo obliko reliefa in omogočajo izdelavo digitalnega modela višin (digital elevation model) [Oštir, 2006].

Za odstranjevanje neželenih točk - pri meritvah topografskih lastnosti površja so to vsi odboji, ki ne prihajajo od golih tal - uporabljamo različne algoritme, ki temeljijo na matematični morfologiji, iterativnem izločanju točk, segmentaciji ali modeliranju reliefa s celotnim oblakom. Filtriranje je eno najbolj intenzivnih področij raziskav, saj še vedno ne obstaja univerzalna tehnika, ki bi bila primerna tako za urbane površine kot gozdove, tako za ravna kot za strma območja. Kakovost končnih rezultatov je namreč močno odvisna od načina obdelave in zato operaterji lidarskega snemanja poleg nekaterih izdelkov, na primer modelov površja in višin, praviloma posredujejo uporabnikom tudi surove podatke [Oštir, 2006].

Rezultat filtriranja je digitalni model višin ali reliefa, zapisan v vektorski obliki, na primer v obliki mreže TIN, ali v rastrski obliki, to je v matriki z višino (in jakostjo odboja) kot atributom. Zadnji korak obdelave je modeliranje oziroma posplošenje (generalizacija) klasificiranih predmetov. Z modeliranjem, na primer, dobimo model stavb ali navpične profile vegetacijskega pokrova [Oštir, 2006].

Meritve, ki jih zagotavlja LIDAR tehnologija, omogočajo ustvarjanje natančnih modelov višin in površja. Surove ali obdelane lidarske podatke lahko uporabimo v najrazličnejših aplikacijah – uporablja se lahko ne le za tradicionalno topografske namene, ki se ukvarjajo s površino tal, temveč tudi v gozdarstvu za opazovanje višine dreves in meritve parametrov biomase, v telekomunikacijah za načrtovanje širjenja valovanja, v geologiji in seizmologiji za zaznavanje prelomov, pri opazovanju urbanih površin za pridobivanje trirazsežnih modelov stavb, v arheologiji za odkrivanje in kartiranje najdišč, v geodeziji, arhitekturi, za hidravlične in hidrološke analize itd. [Oštir, 2006].

3.3 Digitalni model reliefa (DMR)

Digitalni model reliefa (DMR) je podatkovni sloj, ki natančno opisuje obliko površja. »DMR je digitalni zapis oblikovanosti zemeljskega površja, pri čemer gre za predstavitev nadmorskih višin z neprekinjeno ploskvijo. Pomen pojma DMR lahko vključuje poleg vrednosti višin v

obliki pravilnih kvadratastih celic ali grida (kar poznamo pod izrazom DMV) tudi druge objekte, ki opisujejo ploskev reliefa, kot so linije padnic, točke vrhov ali vrtač (Podobnikar, 2002, 2005b, cit. po Podobnikar, 2008).« [Podobnikar, 2008, str. 834 in 835]

Zamisel o izdelavi DMR-ja je stara najmanj 50 let, kar je skoraj toliko kot informacijska doba in uveljavljanje digitalnega računalništva. Američana s Cambridgea, Miller in Laflamme (1958) sta prva, sredi 50. let prejšnjega stoletja, uporabila ta izraz (Doyle, 1978, cit. po Podobnikar, 2008). V času od njegovega nastanka so bile razvite različne tehnike za izdelavo. Tehnika izdelave DMR-ja večje kakovosti in verodostojnosti je v zadnjih desetletjih predmet razvoja. V praksi težko dosegljiva pričakovana kakovost podatkov reliefa je pogosto vplivala na njegovo dejansko uporabnost. [Podobnikar, 2008].

»O samem razvoju DMR-ja je bilo veliko napisanega, npr. v Doyle (1978), Rihtaršič in Fras (1991), Kvamme et al. (1997), Bourough in McDonnell (1998), Maune (2001), Podobnikar (2003). Izmed zadnjih dosežkov velja omeniti razvoj in uporabo velikega števila metod za zajem podatkov, predvsem tistih, ki se nanašajo na satelite in letala oziroma helikopterje. Za manjša merila se pogosto uporablja interferometrična tehnika (IfSAR) (npr. Burrough in McDonnell, 1998; Maune, 2001), s kakršno izdelujejo globalne DMR-je. Primer je TanDEM-X Nemške vesoljske agencije (DLR) za izdelavo DMR-ja ločljivosti 12 m. Za večja merila in bolj lokalno uporabo (npr. za posamezne manjše države, predvsem v Evropi, za območja mest ipd.) je aktualna metoda zračnega in v nekaterih primerih celo terestričnega laserskega skeniranja za izdelavo DMR-ja ločljivosti okoli 1 m (npr. Kraus in Pfeifer, 1998; Kraus, 2007).« [cit. po Podobnikar, 2008, str. 836].

3.3.1 Lasersko skeniranje – potencial za izboljšavo DMR-ja

Glede na preteklo uveljavljenost stereofotogrametrije pri zajemu podatkov za izdelavo DMR-ja je to tehnologijo umestno primerjati z zračnim laserskim skeniranjem (LIDAR tehnologija). Pri zajemu podatkov za DMR je bila prej uveljavljena stereofotogrametrija, pri čemer so se uspešno uporabljali samodejni postopki slikovnega ujemanja (angl. matching), na zaraščenih in gosto poseljenih območjih pa so zajem izvajali operaterji. Razvoj visokoločljivostnih digitalnih snemalnih naprav in integrirani sistemi za neposredno

georeferenciranje je vplival na avtomatizacijo celotnega fotogrametričnega postopka. LIDAR tehnologija je v nasprotju s fotografskimi posnetki aktivna tehnika snemanja [Podobnikar, 2008].

Bistvena prednost LIDAR-ja glede na stereofotogrametrijo je v zajemu podatkov za DMR na območjih vegetacije, saj aeroposnetki zajemajo le rastlinski pokrov, laserski žarki pa lahko prodirajo skozi vrzeli med listi in zaznavajo območja pod pokrovom ter površje tal. Prednost je tudi visoka vertikalna natančnost LIDAR-ja, ki omogoča detajlno zaznavanje. Dobra lastnost laserskega sistema je, da je aktiven in ne potrebuje sončne svetlobe za zajem podatkov, kar pomeni večjo razpoložljivost časa za polete [Podobnikar et al., 2009, cit. po Podobnikar, 2008].

Izdelava DMR-ja je močno povezana s pojmom DMP (digitalni model ploskve ali površine) ali v angleščini DSM (Digital Surface Model) (Podobnikar, 2002, cit. po Podobnikar, 2008). Prvi odboj LIDAR-ja predstavlja ploskev ali površino imenovano DMP. Taka površina vsebuje zgornje območje dreves, strehe stavb in drugih struktur nad zemeljskim površjem (Maune, 2001, cit. po Podobnikar, 2008). Preden so podatki primerni za izdelavo DMR-ja, jih je prej potrebno obdelati. To so postopki dekompozicije, georeferenciranja, kalibracije, filtriranja, klasificiranja ipd. Kakovost rezultata je odvisna predvsem od gostote točk, naklona površja in rabe tal (Kraus et al., 2004). Tehnika samodejnega modeliranja skeleta reliefa iz oblaka LIDAR-točk omogoča tudi izboljšavo zbirke DMR-ja Slovenije [Podobnikar et al., 2009, cit. po Podobnikar, 2008].

Del DMR-ja so tudi vodotoki in hidrografska mreža, čemur se bomo v nadaljevanju naloge posebej posvetili.

4 PROGRAMSKO ORODJE ZA AVTOMATIČNO DOLOČANJE HIDROGRAFSKE MREŽE Z UPORABO LIDAR PODATKOV

Napredek na področju interpretacij in analize podatkov je zahteval uporabo zmogljivejših računalniških orodij. GIS je programsko in strojno orodje, ki se uporablja za vključevanje za zbiranje, shranjevanje, pridobivanje, preoblikovanje in prikazovanje prostorskih podatkov za reševanje kompleksnih problemov načrtovanja in upravljanja. Sedaj je obdelava podatkov veliko enostavnejša in prinaša pomembne rezultate raziskav. GIS ima prednost v obdelavi atributnih podatkov skupaj s prostorskimi značilnostmi, kar je bilo prej popolnoma nemogoče z ročno kartografsko analizo. Shranjuje prostorske in neprostorske podatke v različnih podatkovnih slojih, ki so lahko bodisi v rastrski ali vektorski obliki. Omogočene so analize velikih zbirk podatkov na velikih površinah in ponavljajoče se uporabe modelov. GIS orodja so enostavna za uporabo in dosegajo veliko natančnost.

4.1 Programska oprema Manifold System

Manifold System je GIS programski paket, ki je bil razvit v podjetju manifold.net in teče na Microsoft Windows. Ta programska oprema GIS konkurira ESRI in MapInfo GIS izdelkom. Manifold 7.00 operira tako z vektorskimi kot tudi z rastrskimi podatki, vključuje prostorski SQL, ima vgrajen Internet Map Server (IMS) in druge splošne značilnosti GIS. Manifold System ima aktivno skupnost uporabnikov in spletni forum.

Razvojna ekipa za Manifold je bila ustanovljena leta 1993 z namenom optimiziranja matematične knjižnice za t.i. superračunalnik, ki je bil ustvarjen s skupnimi močmi Intel Corporation in Ministrstvom za obrambo ZDA. Skupina je naknadno začela z idejo izgradnje in prodaje matematičnih knjižnic, vključno z General Graph Facilities knjižnico (GGF) in Computational Geometry knjižnico (CGL), pod imenom Center for Digital Algorithms.

Ustvarili so vrsto programskih orodij, ki bi uporabnikom pomagala pri učenju, kako delujejo algoritmi v knjižnicah, z uporabo vizualnih sredstev. Za lažjo predstavo so si pomagali s podatki, ki so uporabnikom blizu, kot npr. cestne mreže, geometrijski podatki in tako napravili GIS-om podoben izdelek. V letih 1997 in 1998 so stranke izrazile željo po pravem

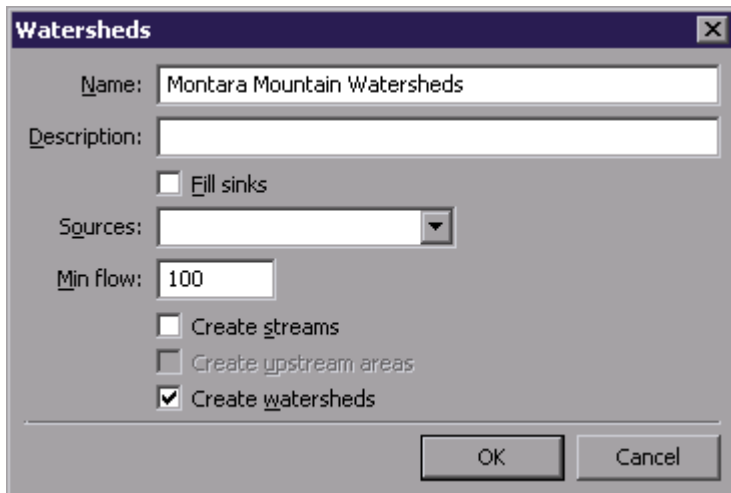
GIS izdelku in tako se je začel razvoj programskega orodja Manifold system. Podjetje je kmalu spremenilo svoje ime, da se je ujemalo z nastalim programskim orodjem.

Manifold podpira vektorske in rastrske podatke ter lahko prebere več kot 80 formatov datotek (datoteke s končnicami .shp, .mid/.mif, .e00, SDTS, DLG, VMAP/VPF, NTF, TAB, DXF, TAIF, DGN, DEM, SDTS DEM, NITF, itd.). Uporabnik dela s posamezno projektno datoteko (map), ki vsebuje risbe, rastrske podloge, vektorske podloge, tabele in ostale komponente, ki jih dodaja v mapo. Kadar se projektu doda nova risba, se avtomatično kreirajo ustrezne tabele, ki so povezane z ravnokar ustvarjeno risbo in predstavljajo atributne podatke. Za organizacijo datotek se uporablja Windows datotečni sistem. Velika prednost Manifolda je, da omogoča izvajanje poizvedb v programskem jeziku SQL. Pomembnosti slednjega so se pričeli zavedati tudi pri konkurenčnem ESRI-ju, zato so februarja 2008 izdali prvo verzijo ArcGIS-a, ki podpira tudi poizvedbe v jeziku SQL. Manifold omogoča prikaze v 3D pogledu in vsebuje integrirano sofisticirano internetno orodje (Internet map server), ki uporabnikom omogoča hitro in direktno objavo kart ter ostalih izdelkov na spletu. K izboljšanju Manifolda lahko prispeva tudi vsak posameznik, saj ima vgrajene skripte (scripts). To so komponente, ki so napisane v enem izmed Microsoftovih programskih jezikov oziroma ActiveX skriptnem jeziku (Visual Basic, JavaScript, itd.), s katerimi lahko z nekaj programerskega znanja še dodatno razširimo zmogljivosti Manifolda [Pranjić, 2008].

4.1.1 Funkcija Povodje (Watershed)

Izbira menija *Watershed* (Povodje) je omogočena, ko je bila nameščena dodatna ekstenzija Surface Tools in je v Manifoldovi .map datoteki aktiven sloj *surface* (površje). Ukaz *Watershed* sodeluje s slojem površja in slojem risbe (vektorski sloj), ki prikaže rezultat te funkcije v obliki površin (območja povodij) in linij (smer toka vode po tej površini). V pogovornem oknu funkcije je na voljo več možnosti, ki dajo različne rezultate. Linije ali območja imajo podane atributne podatke v tabeli, kot je npr. skupni pretok skozi določen odsek. *Streams* (tokovi) so linijski predmeti, ki so ustvarjeni na novi risbi. *Watersheds* (povodja) in *upstream areas* (gorvodna območja) so površine, ki so ustvarjene na novi risbi. Nove risbe se samodejno postavijo v isti koordinatni sistem na isto lokacijo, ki je uporabljena

v pogovornem oknu. Zato se jih lahko takoj prekrije s površjem, kot sloj znotraj map-a za enostavno pregledovanje rezultatov.



Slika 14: Pogovorno okno ukaza Watershed (Manifold.net)

Uporaba ukaza *Watershed* v *Surface* meniju zažene pogovorno okno. V pogovornem oknu je že podan predlog imena risbe, ki nastane z uporabo te funkcije. V tem primeru je površje imenovano Montara Mountain.

Preglednica 10: Opis kontrol iz pogovornega okna Watershed (Manifold.net)

<i>Name</i> (Ime)	Ime na novo ustvarjene risbe, ki vsebuje rezultate.
<i>Description</i> (Opis)	Neobvezen opis za risbe.
<i>Fill sinks</i> (Polnjenje korit)	Zgladi vsa območja na površini, ki bi sicer ujele tok vode brez odtoka naprej proti robu površja. Uporaba te kontrole se priporoča, kljub temu da to zahteva več časa za obdelavo. Polnjenje kotanj je privzeta kontrola.
<i>Sources</i> (Viri)	Ime risbe s točkami, ki se bodo uporabile pri gorvodnih območjih ali kot dodatne točke pri razvodjih. Ko je risba v tem polju izbrana, se bo na desni strani polja pojavilo število točk iz tega sloja. Risbe brez točk niso na seznamu razpoložljivih risb.
<i>Min flow</i> (Min odtok)	Minimalna količina vode, kjer vsaj 1 piksel predstavlja 1 enoto vode, ki teče čez območje pikselov, da se to območje upošteva

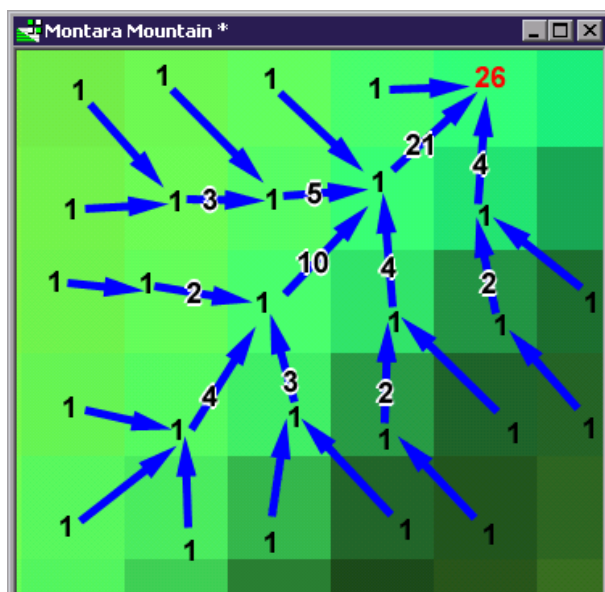
»se nadaljuje...«

»... nadaljevanje«

	kot povodje ali tok.
<i>Create streams</i> (Ustvarjanje tokov)	Ustvari padnice, ki prikazujejo pot vodnega toka po površju. Kadar se križata dva ali več tokov, se začne nov tok.
<i>Create upstream areas</i> (Ustvarjanje gorvodnih območij)	Glede na točke iz risbe, ki smo jo podali pri kontroli Sources, se ustvarijo površine, iz katerih steče voda k vsaki izmed podanih točk.
<i>Create watersheds</i> (Ustvarjanje povodij)	Ustvari področja, iz katerih se voda steka v določen tok (ne glede nato ali so tokovi tudi ustvarjeni).

4.1.1.1 Najmanjši pretok (*Minimum Flow*)

Manifoldov model povodij predpostavlja, da pade na vsak piksel površja ena enota vode. Ker teče voda navzdol iz vsakega piksla, bo enkrat prišla skupaj iz več različnih smeri.

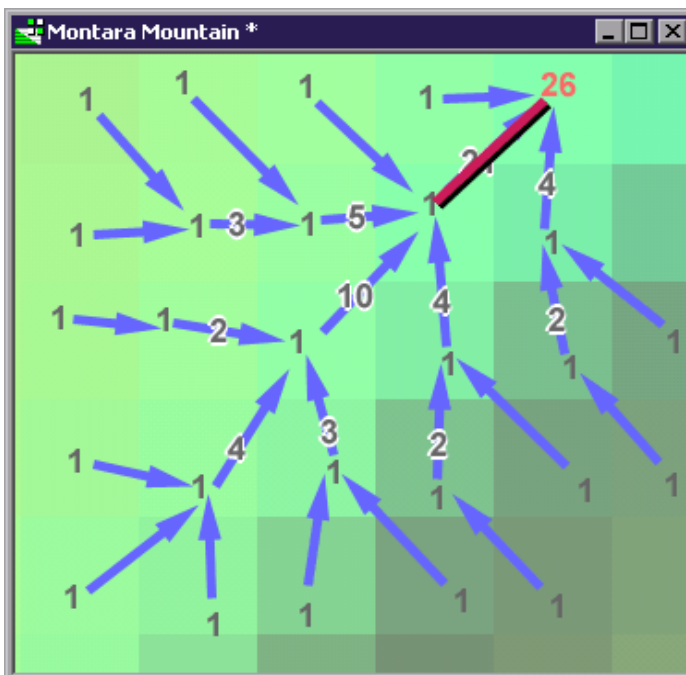


Slika 15: Povečan del vzorca površja Montara Mountain, ki prikazuje tok vode po pikslah (*Manifold.net*)

Prikazano območje (slika 15) je dno doline, ki se najprej nagiba proti središču in nato proti desnemu zgornjemu kotu slike. Na vsak piksel označen z 1 pade ena enota vode, ki potem odteče do naslednjega piksla v smeri modre puščice. Ker je tok seštet od piksla do piksla, je skupni pretok označen na vsaki modri puščici s poudarjenimi številkami. Na primer, tok proti

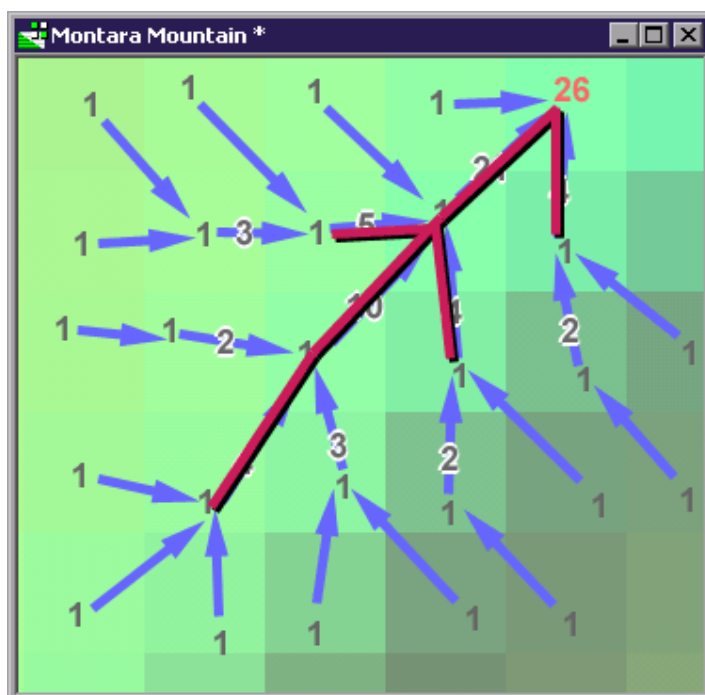
dnu doline se začne z vrednostjo 1 iz vsakega od štirih pikslov, ki tvorijo tok s seštevkom 4. Ta gre v naslednji piksel, ki prispeva svojo enoto toka in h kateremu se pridruži tok z leve, z vrednostjo 2, ter z desne, tok z vrednostjo 3. Vsi skupaj tvorijo tok z vrednostjo 10. Ker se tokovi kopičijo na tak način, je končni rezultat v zgornjem desnem kotu skupni tok z vrednostjo 26, ki bo dotekel v končni piksel.

Denimo, da bo tok iz vseh ostalih pikslov, ki niso označeni z 1, šel v drugo smer in ne bo stekel v to dolino označeno z modrimi puščicami. Če bi bil parameter *Min flow* določen s 26 ali celo malo manjšo vrednostjo, bi bila ta vrednost oziroma to območje označeno kot samostojno povodje. Če bi vrednost *Min flow* znašala 27 ali več, potem bi se mala dolina združila z dolvodnim povodjem, kot del le-tega. Tokovi so torej narejeni tam, kjer se kopiči skupni odtok.



Slika 16: Prikaz toka, če je vrednost *Min flow* enaka 20 (*Manifold.net*)

Uporaba vrednosti 20 za *Min flow* pomeni, da bodo samo tisti tokovi s seštevkom vrednosti več kot 20, opredeljeni kot tokovi. Na sliki 16 se vidi, da je izrisan kot rezultat ukaza samo tok z vrednostjo 21 (v rdeči barvi).

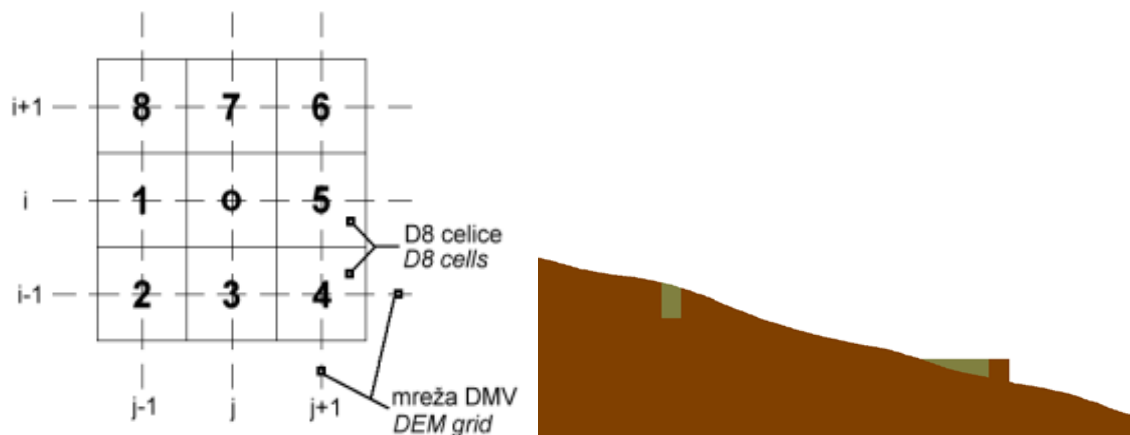


Slika 17: Prikaz toka, če je vrednost *Min flow* enaka 4 (*Manifold.net*)

Uporaba vrednosti 4 za *Min flow* bo imela kot rezultat daljšo hidrografsko mrežo, saj temu kriteriju zadošča že 6 tokov. Iz zgoraj navedenega je razvidno, da izbrana vrednost *Min flow* določa najmanjše število pikslov, s katerih voda odteče v skupni tok. Vsako povodje, narejeno z *Min flow* vrednostjo 100, bo vsebovalo vsaj 100 pikslov in vsak ustvarjen tok bo imel seštevek vrednosti vsaj stotih pikslov.

Zgoraj opisana metoda se imenuje "algoritem D8", katerega glavna prednost je njegova preprostost. To je tudi razlog, da je to najpogosteje uporabljeni model površinskega odtoka in je, kot ena od možnosti, vgrajen v večino GIS orodij.

Pri algoritmu D8 (O'Callaghan & Mark, 1984, cit. po Petkovšek, 2001) imajo računske celice središče v točkah digitalnega višinskega modela. Poti tokov določamo po metodi osmih smeri toka (v sosednjih 8 celic). Najprej za vsako celico določimo gradiente do vsake od njenih osmih sosed. Nato določimo smer toka tako, da voda odteka v celico, v smeri katere je bil določen najmanjši gradient [Petkovšek, 2001].



Slika 18: Osem sosednjih celic v pravokotni mreži – levo (Petkovšek, 2001) in zapolnjenje vdolbin – desno

(<http://www.ce.utexas.edu/prof/MAIDMENT/giswr2008/visual/DemWatershedDelineation.ppt>)

Pri izdelavi DMR-jev nastanejo na površju nekakšne kotanje. Te, imenovane tudi depresije, so skupek ene ali več celic, okoli katerih so celice z višjo vrednostjo oz. višjo topografijo. Če te kotanje niso odstranjene, se v nadaljnjem postopku upoštevajo kot ponori in ovirajo določanje generalne smeri toka. Zato je pomembno da ponore odpravimo z ukazom *Fill sinks* (seveda, če to odговarja dejanskemu stanju). Ta ukaz zapolni takšen prostor do višine sosednje celice.

4.1.1.2 Ustvarjanje tokov (Creating Streams)

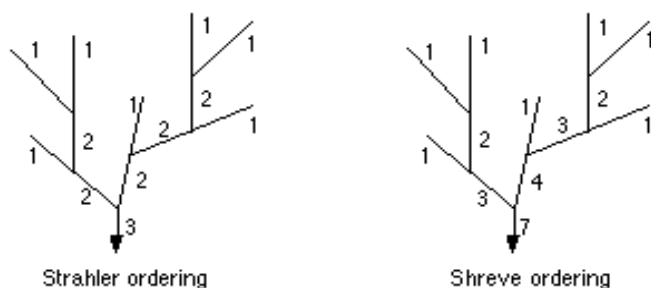
Pogovorno okno *Watersheds* lahko hkrati ustvari tako tokove kot tudi povodja. Če sta oba zaželeni, je najbolj učinkovito ustvarjanje obojega hkrati, saj morajo biti opravljeni isti izračuni v primeru oblikovanja toka vode po površini ali povodij, kar zahteva relativno majhen odstotek dodatnih izračunov.

Z izvršenim ukazom *Create streams* pogovornega okna dobimo kot rezultat novo risbo, ki vsebuje linijske objekte "tokov". Vsak segment toka, od začetka ali od križanja z drugim segmentom toka do konca, oziroma do naslednjega križanja z drugim segmentom, bo ustvarjen kot samostojni element z atributi predstavljenimi v naslednji preglednici.

Preglednica 11: Atributni podatki linijskega elementa nastalega z ukazom Create streams (Manifold.net)

ID (ID)	ID objekta ustvarjenega linijskega objekta
<i>Flow Total</i> (Skupni pretok)	Skupni pretok po tem linijskem objektu, vključno z vsemi gorvodnimi pretoki, kot tudi z vrednostjo v tem elementu.
<i>Flow</i> (Pretok)	Vrednost pretoka samo v tem linijskem objektu.
<i>Order</i> (Red)	Red toka, izračunan z uporabo Strahler števila.
<i>Streams</i> (Streams)	Red toka, izračunan z uporabo Shreve metode.
<i>Index</i> (Indeks)	Unikatna identifikacijska številka za ta linijski objekt.
<i>Flows To</i> (Teče v)	Identifikacijska številka toka, v katerega se izteka ta linijski objekt.

Kot pojasnilo k preglednici je priložena slika 19, ki prikazuje način določanja reda roka. Pri uporabi Strahler števila se z združitvijo tokov prvega reda tvorijo tokovi drugega reda. Ko prideta skupaj dva toka drugega reda, tvorita tok tretjega reda. Če se združita tokova prvega in drugega reda, je to še vedno tok drugega reda.



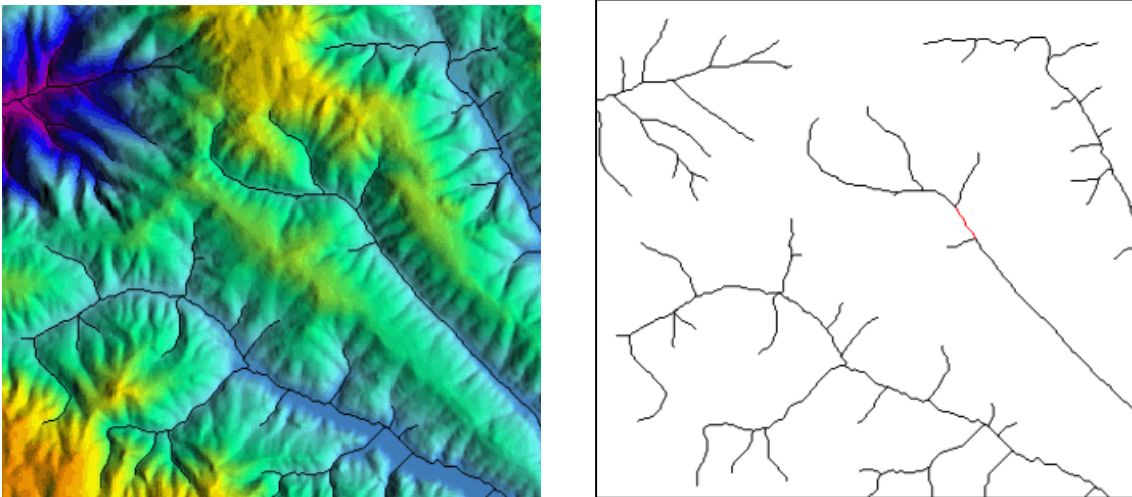
Slika 19: Način določanja reda toka
<http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.1/bdy.cfm?tocVisible=1&ID=3201&TopicName=Stream%20Order>

Pri uporabi Shreve metode pri združitvi tokov prvega reda nastane tok drugega reda, ki pa nato, npr. z združitvijo s tokom prvega reda, postane tok tretjega reda. V primeru združitve tokov tretjega reda nastane tok šestega reda.

4.1.1.3 Primer tokov

Obravnavano bo prej omenjeno površje Montara Mountain, ki je kot vzorčni primer prikazano v map oknu. V pogovornem oknu *Watersheds* izberemo ime Streams (Vodotoki), ukaz *Fill sinks* pustimo vključen, za *Min flow* izberemo vrednost 500 ter izberemo ukaz *Create*

streams. Rezultat je nova risba, ki se imenuje *Streams*, in vsebuje črte, ki prikazujejo tokove. Slika prikazuje tok vode po površju. Po pričakovanjih voda odteka iz višjih na nižje nadmorske višine.



Slika 20: Površje Montara Mountain in risba *Streams* – levo in prikaz novo nastale risbe *Streams* - desno (*Manifold.net*)

Odpremo risbo *Streams* v svojem oknu in izberemo eno od linij toka, kot je prikazano na sliki 21. Ko odpremo atributno tabelo risbe *Streams* in se pomaknemo navzdol na rdeče označeno vrstico, lahko vidimo, da je bil objekt ustvarjen z vrednostmi v stolpcih *Flow Total*, *Flow*, *Order*, *Streams*, *Index* in *Flows to*.

Streams Table *							
ID	Flow Total	Flow	Order	Streams	Index	Flows To	
3007	1711	542	2	2	143	145	
3008	962	962	1	1	66	67	
3009	1085	1085	1	1	144	145	
▶ 3010	11064	943	2	4	62	67	
3011	910	910	1	1	8	9	
3012	2870	74	2	3	145	147	
3013	24055	12029	2	5	67	156	

Slika 21: Prikaz atributne tabele risbe *Streams* (*Manifold.net*)

Za ta segment toka je pripadajoči *Flow* (pretok) 943 enot in *Total Flow* (skupni pretok) tega segmenta je 11064 enot. Pri uporabi Strahler metode ima ta segment vrednost 2 (v stolpcu *Order*), pri uporabi Shreve metode pa vrednost 4 (v *Streams* stolpcu). Unikatna številka *Index*

tega toka je 62. Vsak tok ima vrednost vsaj 500 v stolpcu *Total Flow*, ker je bila uporabljena vrednost 500 za *Min flow* v pogovornem oknu *Watersheds*.

4.1.1.4 Ustvarjanje povodij (*Creating Watershed*)

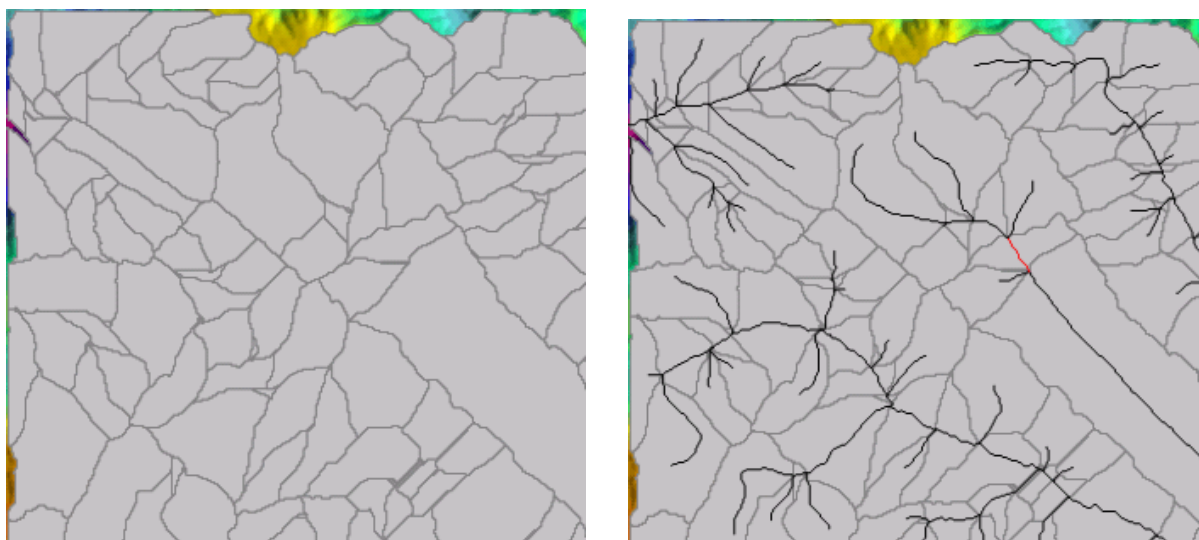
Ustvarjanje povodij je proces neposredno podoben ustvarjanju tokov. Z izvršenim ukazom *Create watershed* pogovornega okna dobimo kot rezultat novo risbo, ki vsebuje površine povodij. Vsako povodje, ki vključuje skupno odvodnjo za skupino pikslov, bo ustvarjeno kot samostojni element površine z naslednjimi atributnimi podatki:

Preglednica 12: Atributni podatki elementa površine nastalega z ukazom *Create watersheds* (*Manifold.net*)

<i>ID</i> (ID)	ID objekta ustvarjenega objekta površine povodja
<i>Flow Total</i> (Skupni pretok)	Skupni odtok s tega površinskega objekta, vključno z vsemi gorvodnimi pretoki kot tudi z vrednostjo odtoka s te površine.
<i>Flow</i> (Pretok)	Vrednost odtoka samo s tega površinskega objekta.
<i>Order</i> (Red)	Red toka, izračunan z uporabo Strahler števila.
<i>Streams</i> (Streams)	Red toka, izračunan z uporabo Shreve metode.

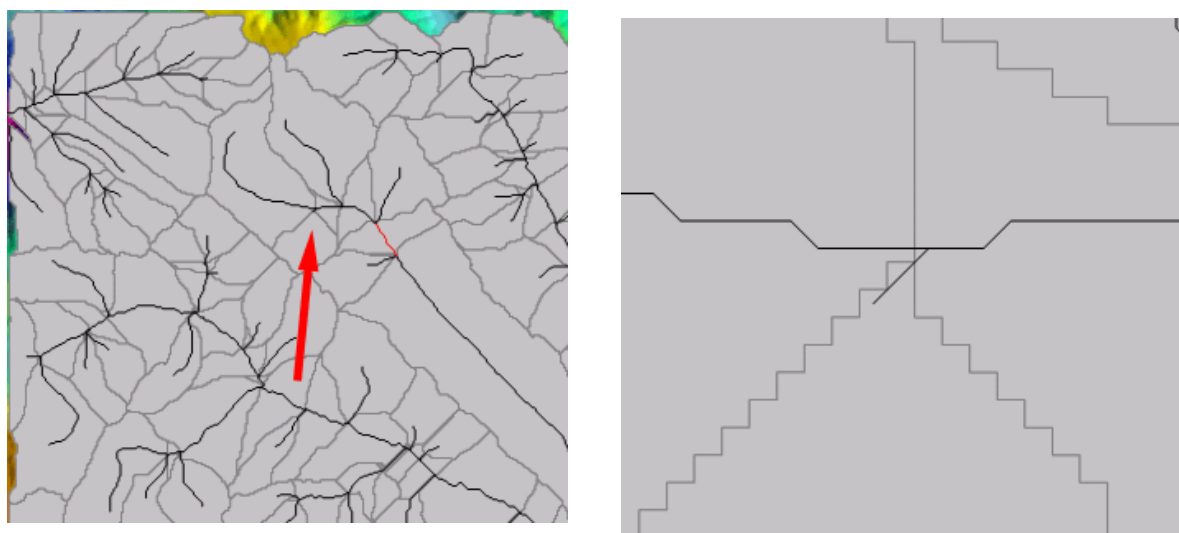
4.1.1.5 Primer povodij

Za nadaljni postopek se bo zopet uporabilo vzorec površja Montara Mountain. V pogovornem oknu *Watersheds* izberemo ime *Watersheds*, ukaz *Fill sinks* pustimo obkljukano, za *Min flow* izberemo vrednost 500 ter obkljukamo ukaz *Create watersheds*. Rezultat je nova risba, ki se imenuje *Watershed*. Nekatere regije površja v bližini robov nimajo določenih povodij, saj voda iz teh predelov steče stran od roba slike in nimajo vsaj 500 pikslov. Če združimo risbi *Streams* in *Watershed* je lepo vidno, da skozi vsako povodje poteka tok, saj je bila pri obeh ukazih uporabljena ista vrednost *Min flow* (500).



Slika 22: V map oknu prikazano površje Montara Mountain in risba Watersheds – levo in prikazano površje Montara Mountain, risba Watersheds in na vrhu risba Streams – desno (*Manifold.net*)

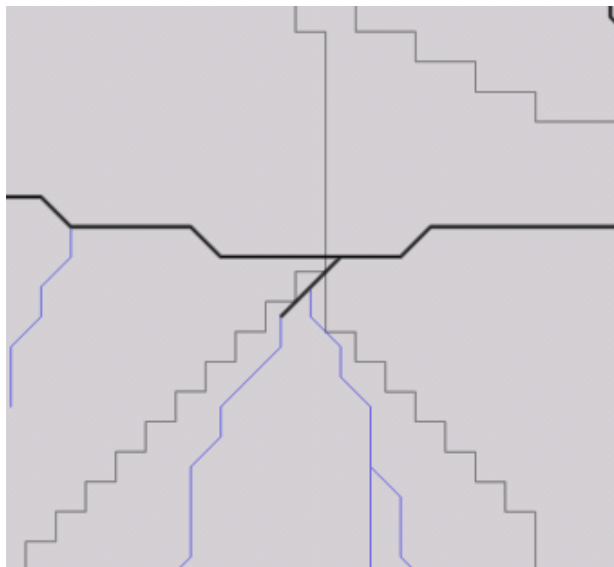
Na nekaterih razvodjih, kot je območje, označeno z rdečo puščico na sliki spodaj, se morda ne zdi, da bi voda odtekala v toku. S povečevanjem tj. s poglobitvijo v detajl na zaslonu lahko vidimo, da je voda s tega povodja dejansko odtekla v kratkem toku.



Slika 23: V map oknu prikazano površje Montara Mountain, risba Watersheds in na vrhu risba Streams z označenim "praznim" povodjem – levo in povečan, s puščico označen izsek – desno (*Manifold.net*)

Slika je bila toliko povečana, da so vidni tudi kvadratni robovi mej, ki sledijo robu posameznih pikslov. Tok je kratek, saj območje pokriva del terena, kjer odteka več manjših

tokov. Ti se ne združijo v skupni pretok z vrednostjo 500, dokler se ne pojavijo skupaj v vogalu povodja v kratek tok.



Slika 24: Povečan izsek Slike 23 z dodanim novim slojem tokov (*Manifold.net*)

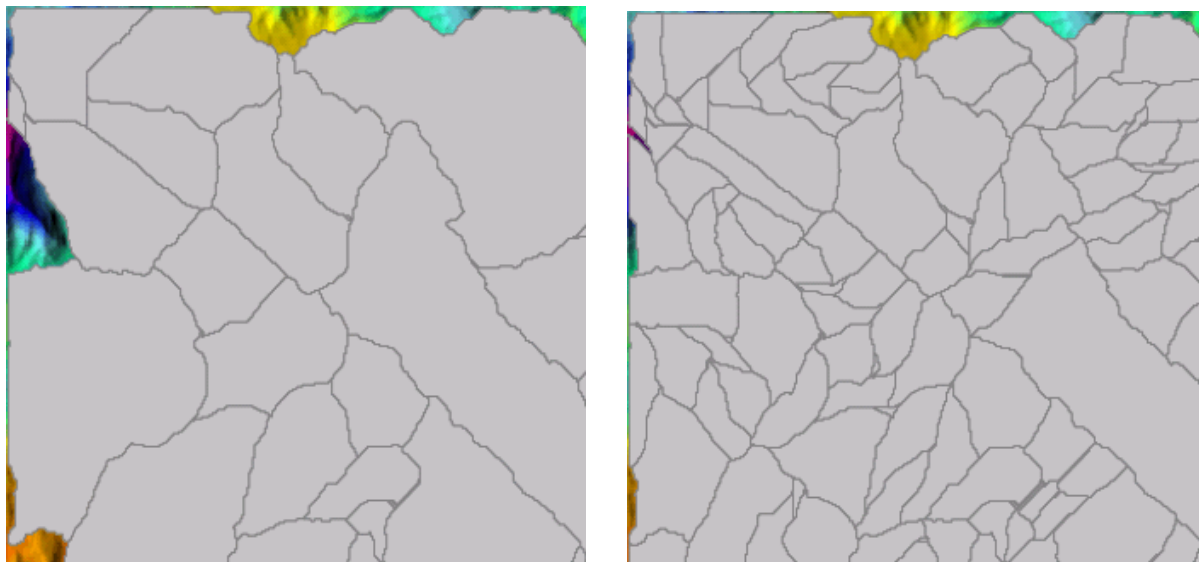
Če se ustvarijo tokovi z vrednostjo *Min flow* 100, se bodo videli tudi manjši tokovi z vrednostmi skupnega pretoka manj kot 500, ki tečejo po tem področju. Ilustracija na sliki 24 kaže manjše tokove, ki so bili ustvarjeni z vrednostjo *Min flow* 100 in so na sliki modre barve.

Watersheds Table *							
	ID	Flow T...	Flow	Order	Streams	Index	Flows To
	3223	1711	542	2	2	143	145
	3224	962	962	1	1	66	67
	3225	1085	1085	1	1	144	145
▶	3226	11064	943	2	4	62	67
	3227	910	910	1	1	8	9
	3228	2870	74	2	3	145	147
	3229	24055	12029	2	5	67	156

Slika 25: Prikaz atributne tabele risbe Watershed (*Manifold.net*)

Če označimo povodje, ki pripada prej označenemu toku z indeksom 62, lahko primerjamo še atributne podatke. V tabeli se pomaknemo do označene vrstice in ugotovimo, da se pripadajoči atributni podatki res ujemajo s tistimi iz risbe Streams.

Da si ogledamo učinek večje vrednosti *Min flow*, ustvarimo povodja z vrednostjo *Min flow* je 2000 v pogovornem oknu *Watersheds*. Kot je bilo pričakovati, so rezultat večja povodja.



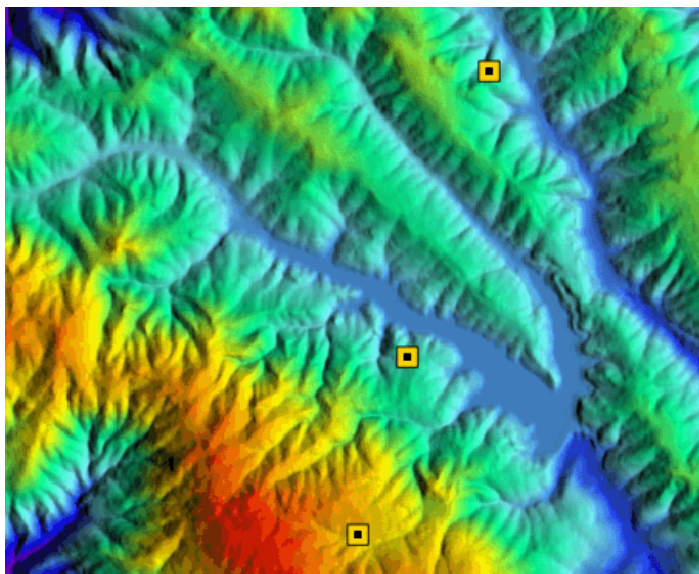
Slika 26: Prikaz povodij, če je vrednost *Min flow* 2000 – levo in prikaz povodij, če je vrednost *Min flow* 500 - desno (*Manifold.net*)

Iz primerjave slik pa se lepo vidi razlika v velikosti posameznih vodozbirnih površin. Iz enega povodja, nastalega z večjo vrednostjo *Min flow*, nastane eno ali več povodij, nastalih z manjšo vrednostjo *Min flow*. To pa je odvisno tudi od razlike obeh vrednosti. Na območjih, kjer se tokovi hitro združijo v en dovolj velik tok, lahko nastane več manjših vodozbirnih površin. Če pa je na tem območju prisotnih več manjših tokov, pa na samo velikost povodja manjša vrednost *Min flow* mogoče ne bo vplivala. Vpliv pa bo viden na dolžini nastalega toka znotraj te vodozbirne površine.

To orodje je uporabno za npr. izvajanje analiz eventualnega zastajanja meteornih voda na cestnih površinah. Vodozbirne površine na cestnih površinah morajo biti zelo majhne in tok vode na teh površinah mora biti izjemno kratek. Pozorni moramo torej biti na odstopanja velikosti teh majhnih povodij, saj nam to služi v opozorilo, da je tam večja možnost zastajanja meteornih voda. Pri izvajanju takšnih analiz je potrebno uporabiti majhne vrednosti za *Min flow*.

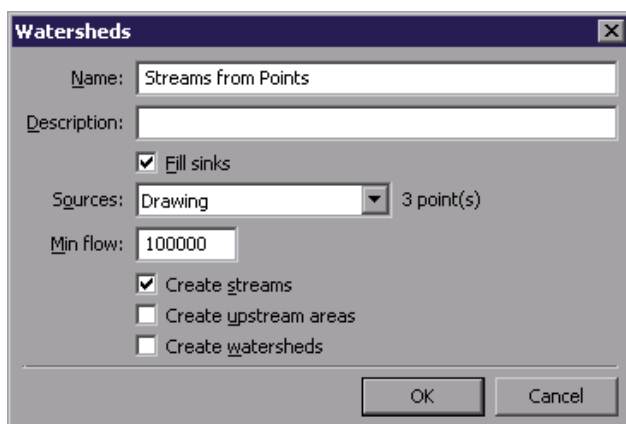
4.1.1.6 Identifikacija odtoka

Sloji, ki vsebujejo točke, iz katerih želimo da nastanejo tokovi, se lahko uporabijo v pogovornem oknu *Watersheds* za določanje dodatnih virov toka. S prilagoditvijo vrednosti *Min flow* lahko omejimo izračune za tokove.



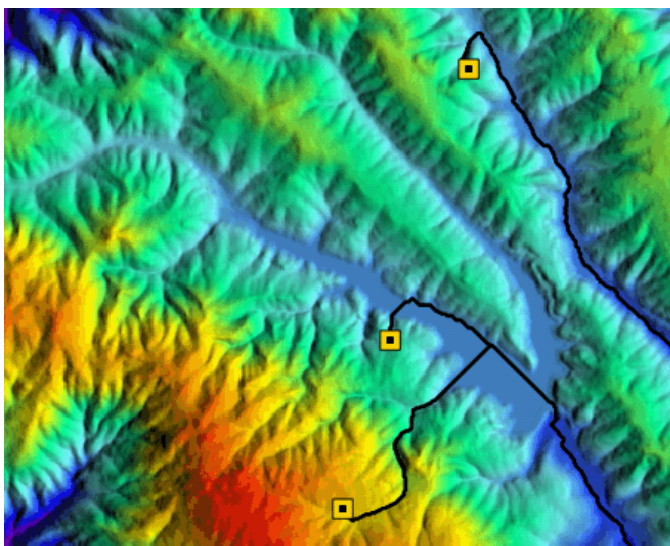
Slika 27: Prikaz površja in sloja, ki vsebuje 3 točke (*Manifold.net*)

Risba, ki vsebuje tri točke, prikazane kot rumeni in črni kvadrati, je plast, ki prekriva površje vzorca Montara Mountain. Točke lahko imajo podane attribute v tabeli, a le ti pri izračunu ne bodo upoštevani. Edina uporabljena lastnost točk je njihova lokacija.



Slika 28: Pogovorno okno Watersheds z izpolnjenimi ukazi za izračun (*Manifold.net*)

Za izračun tokov, ki izvirajo iz točk prikazanih na sliki 27, zaženemo pogovorno okno *Watersheds* in izberemo za *Sources* ime tega sloja (v demonstracijskem primeru je ime "Drawing"). Poleg tega se določi zelo visoka vrednost za *Min flow*, tako da se ustvarijo samo tisti tokovi, ki izvirajo iz točk. Za ime nove risbe izberemo "Streams from Points".

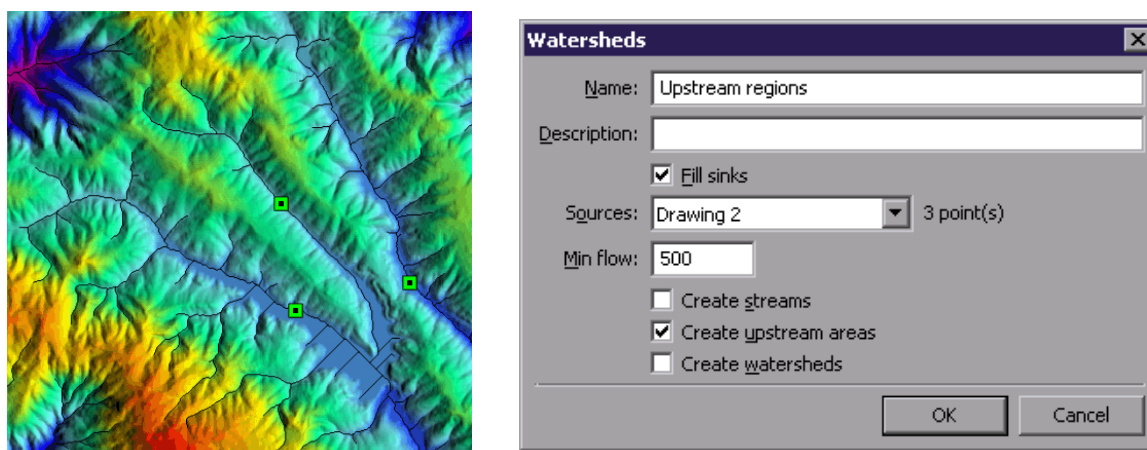


Slika 29: V map oknu prikazano površje Montara Mountain in novo nastala risba "Streams from Points" (*Manifold.net*)

Rezultat je prikazan na risbi "Streams from Points" in prikazuje niz linijskih objektov, ki izvirajo iz prej določenih točk. To orodje je uporabno za npr. hitro identifikacijo poti, po kateri bi se širilo onesnaženje, na podlagi česar je mogoče ustrezno ukrepati.

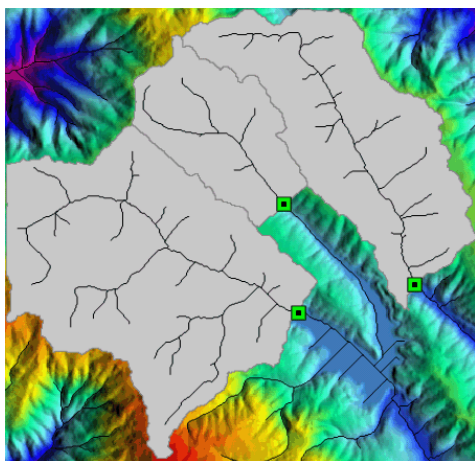
4.1.1.7 Gorvodna območja

Pogovorno okno *Watersheds* lahko izračuna in prikaže tudi vse površine pikslov, s katerih odteče voda v določeno točko. Zaradi zagotavljanja dobre ponazoritve so bile tri točke vodnih izvirov na novem sloju ustvarjene prav nad slojem Streams, s pomočjo orodja *Snap to Lines*, ki zagotovi, da so točke izvirov točno nad mestom tokov. Ker se točke izvirov nahajajo prav nad linijami tokov, imamo zagotovilo, da bodo vsa območja nad točko, s katerih voda odteka v ta tok, združene v gorvodno prispevno območje. To bo povzročilo nastanek primerno velikih in tako zlahka vidnih gorvodnih območij.



Slika 30: Prikaz površja in risbe, ki vsebuje točke, za izračun gorvodnih območij – levo in pogovorno okno *Watersheds* z izpolnjenimi ukazi za izračun gorvodnih območij - desno (*Manifold.net*)

Zaženemo pogovorno okno *Watersheds* z zgornjimi nastavitvami. Parameter *Min flow* je prezrt pri računu gorvodnih območij, saj se vsa področja, s katerih voda odteče skozi določeno točko, štejejo za del gorvodnega območja, ne glede na to, kako velik ali majhen je pretok skozi to območje.

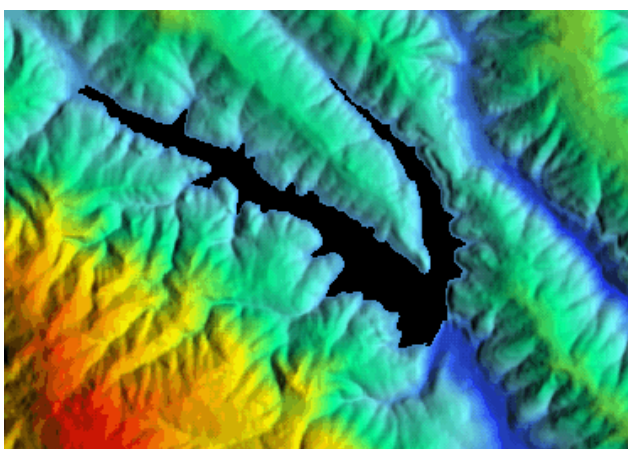


Slika 31: V map oknu prikazano površje Montara Mountain in novo nastali sloj "Upstream regions" (*Manifold.net*)

S tem ukazom lahko identificiramo prispevne površine, če poznamo točko, v kateri je bilo ugotovljeno onesnaženje. Na ta način določimo površine, na katerih se lahko nahaja vir tega onesnaženja.

4.1.1.8 Polnjenje kotanj

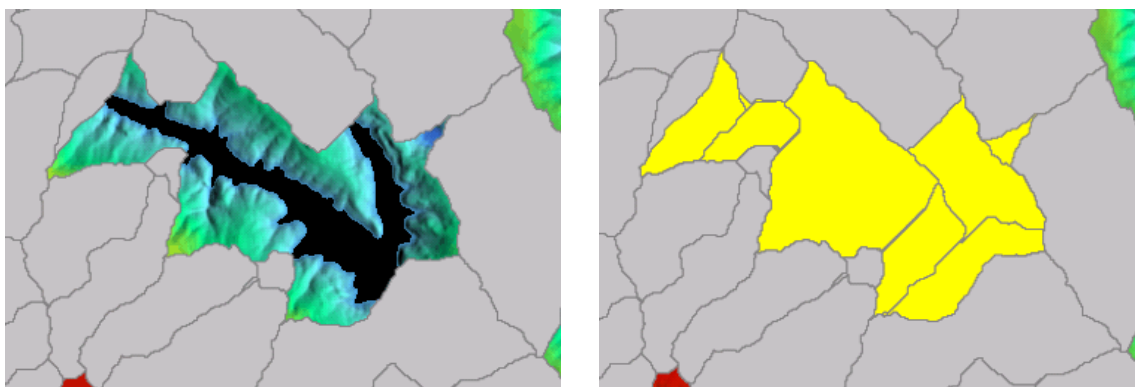
Kotanje so regije pikslov, s katerih voda odteče v notranjost področja, npr. depresija v obliki sklede na ravnem delu površja. Površja pogosto vsebujejo takšne ponore, ki prestrežejo in zadržijo odtok vode. Te regije so lahko velike le nekaj pikslov, lahko pa so tudi precej velika področja. Če izberemo možnost *Fill sinks*, bo ta ukaz odpravil vse kotanje na tem območju. To opcijo ponavadi uporabimo, da bi se izognili nastanku številnih manjših povodij ali za preprečitev tokov, ki bi se ujeli v jezeru ali za pregrado.



Slika 32: Prikaz akumulacijskega jezera Pilarcitos na površju Montara Mountain, ki predstavlja kotanjo na površini (*Manifold.net*)

Jezero Pilarcitos na površju Montara Mountain je nastalo z izgradnjo pregrade in zato predstavlja z vodo zapolnjeno kotanjo. Pregrada tvori povodje, ki preprečuje naravni tok iz jezera dolvodno od pregrade. Samo pretok, ki gre skozi zapornice oz. čez visokovodne prelive pregrade, lahko nadaljuje svojo pot dolvodno.

Če se ustvarijo povodja z *Min flow* 2000 in se ukaz *Fill sinks* ne izbere, potem vsa povodja za *Min flow=2000*, s katerih voda odteče v kotanjo (jezero), ne bodo ustvarjena. Če se ustvarijo enaka povodja in polje *Fill sinks* ostane aktivno, se ustvarijo vsa povodja, vključno s tistimi, ki odtečejo v jezero (prikazano v rumeni barvi na sliki 33 desno).



Slika 33: Prikaz nastalih povodij, kadar možnost polnjena kotanj ni upoštevana – levo in prikaz nastalih povodij, če je izbrana možnost polnjena kotanj - desno (*Manifold.net*)

Uporaba funkcije polnjenje kotanj je v Sloveniji zaradi kraške pokrajine le delno uporabna, saj je tam prisotnih veliko površinskih kraških oblik (vrtač, ...), ki povzročajo težave pri oblikovanju modela površinskega odtoka. Značilnost kraškega terena je tudi ponikanje vodotokov, kar povzroča še dodatno težavo oblikovanja odtoka.

5 UPORABA METODE AVTOMATIČNEGA DOLOČANJA HIDROGRAFSKE MREŽE Z UPORABO DMR IZ LIDAR PODATKOV

Namen poglavja je testiranje orodja za avtomatično določanje mreže vodotokov in primerjava rezultatov z obstoječimi podatki. Izdelavo hidrografske mreže smo preizkušali na več različnih območjih. LIDAR podatki območja reke Reke pri naselju Prem so bili pridobljeni za projekt Interaktivna vizualizacija poplavnih območij za podporo interventnemu ukrepanju, za območje Pšate pri Zalogu pri Cerkljah in Tunjice pri Gori pri Komendi za projekt Idejne zasnove zadrževalnikov na Pšati in Tunjici, za območje Malega Grabna za projekt Interaktivna vizualizacija poplavnih območij za podporo interventnemu ukrepanju ter za območje avtocestnega razcepa Malence na jugu Ljubljane za projekt Izdelava hidroloških in hidravličnih osnov za zadrževanje visokih voda v razcepu Malence na AC Šentjakob – Malence.

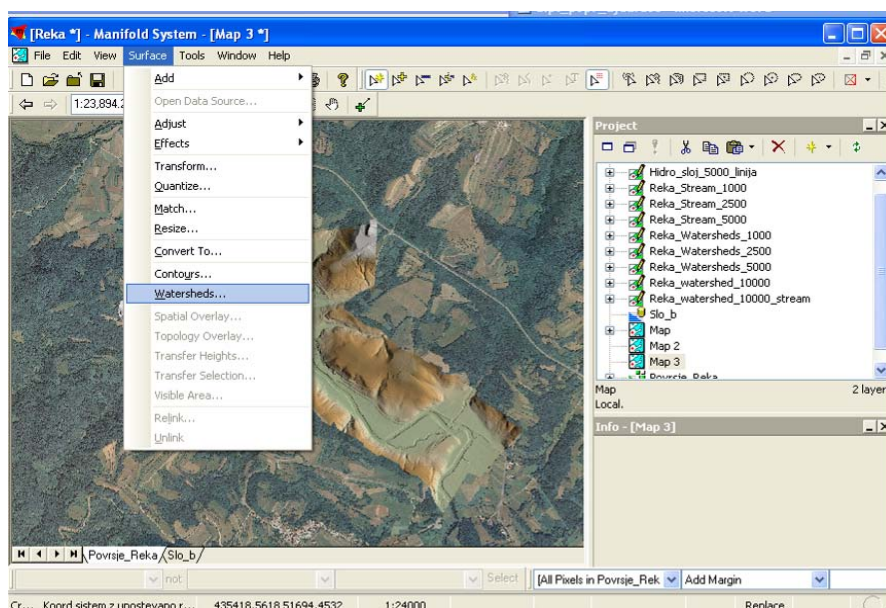
Za potrebe navedenih projektov so bili iz klasificiranih oblakov točk izdelani natančni modeli reliefa v TIN¹ obliki v ESRI-jevem ArcGIS programskem orodju, nato pa so bile iz TIN-ov izdelane mrežne celice. Nastale rastrske sloje, ki predstavljajo DMR-je, smo nato uporabili v tej diplomski nalogi za izdelavo hidrografske mreže.

Hidrografska mreža je bila izdelana v programskem orodju Manifold s funkcijo *Watersheds*. Pogovorno okno *Watersheds* služi zato, da se lahko hkrati ustvari tako tokove kot tudi povodja. Za nas je bil sicer pomembnejši ukaz *Create streams*, ki ustvari tokove, a smo vedno hkrati izvedli tudi ukaz *Create watersheds*. Z izvršenim ukazom *Create streams* dobimo kot rezultat novo risbo, ki vsebuje linijske objekte, tj. odseke tokov. Za vsako območje smo ponovili postopek z različnimi vrednostmi *Min flow*. Če je vrednost *Min flow* manjša, je mreža nastalih linij gostejša.

Novi sloji so poimenovani po tem vzorcu: »'Ime vodotoka'_Stream_'vrednost, ki smo jo določili za *Min flow*'«.

¹ TIN je mreža neenakih trikotnikov, kjer je vsako oglišče položajno in višinsko podana točka, na podlagi katerih se lahko interpolira iskana vrednost na poljubni lokaciji.

Na slikah v nadaljevanju poglavja so prikazani izdelani sloji, prikazani skupaj ali brez površja na ortofoto podlagi. Ponekod se je postopek avtomatske določitve z uporabo DMR iz LIDAR podatkov izkazal kot boljši v primerjavi z že izdelanimi rečnimi mrežami, drugod pa je celo popolnoma zatajil.

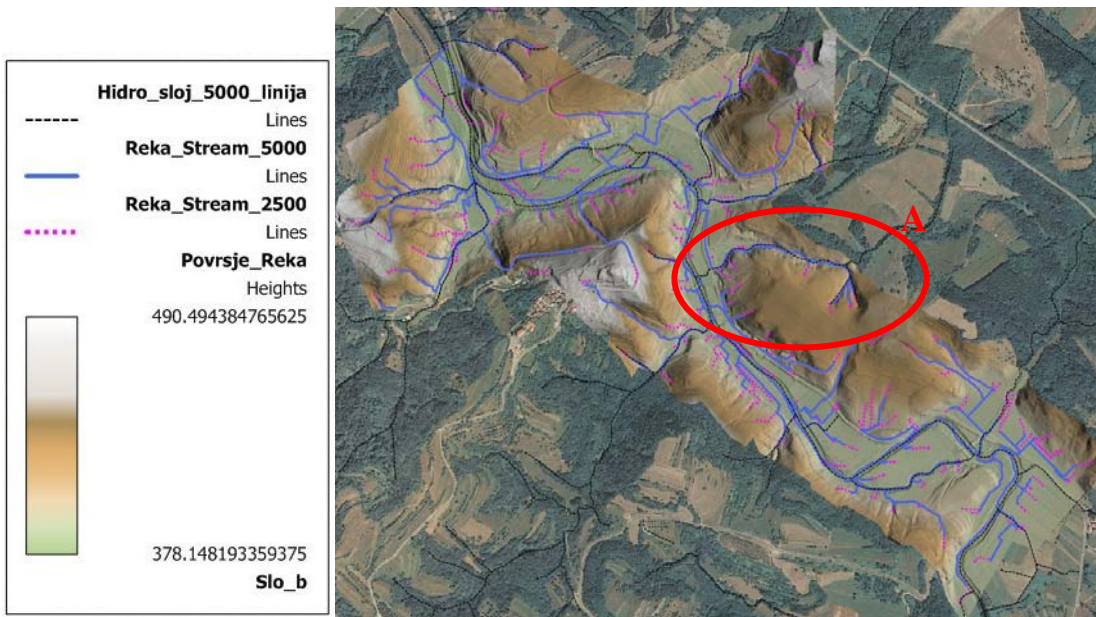


Slika 34: Programsko orodje Manifold – prikaz vmesne faze za reko Reko

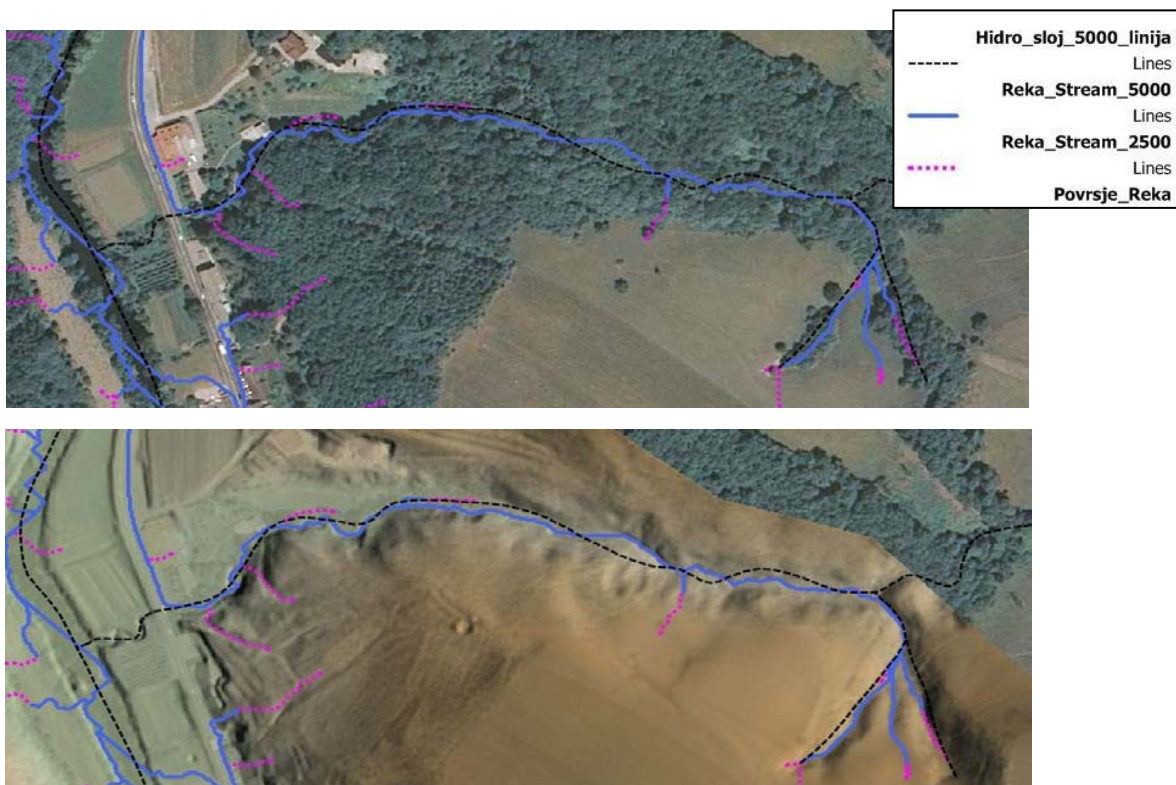
V nadaljevanju naloge bo za postopek avtomatske določitve mreže vodotokov z uporabo DMR iz LIDAR podatkov uporabljena kratica VRDMR (visokoresolucijski DMR). Prikazana bo primerjava hidrografske mreže, izdelane z VRDMR, z obstoječimi hidrografskimi mrežami, da bi lahko prikazali primernost našega postopka izdelave, na različnih območjih.

5.1 Reka Reka

Območje, ki je bilo zajeto s sistemom LIDAR, je veliko približno 1.9 km² in pokriva del struge reke Reke ter njeno bližnjo okolico pri naselju Prem. Za vrednosti *Min flow* smo izbrali 2500 in 5000. Na slikah, v tem poglavju, modra črta prikazuje linije nastale z vrednostjo *Min flow* 5000, roza pikčasta črta pa z vrednostjo 2500. Črna črtkana linija prikazuje hidro sloj iz DTK 5. Navedeno je prikazano v legendi na sliki 35. Na prvi pogled se nastali tokovi kar ujemajo z obstoječimi hidro sloji, a po podrobnejšem pregledu vidimo niz razlik, ki so včasih v prid določitvi z VRDMR, drugič pa se ta metoda izkaže za slabšo.



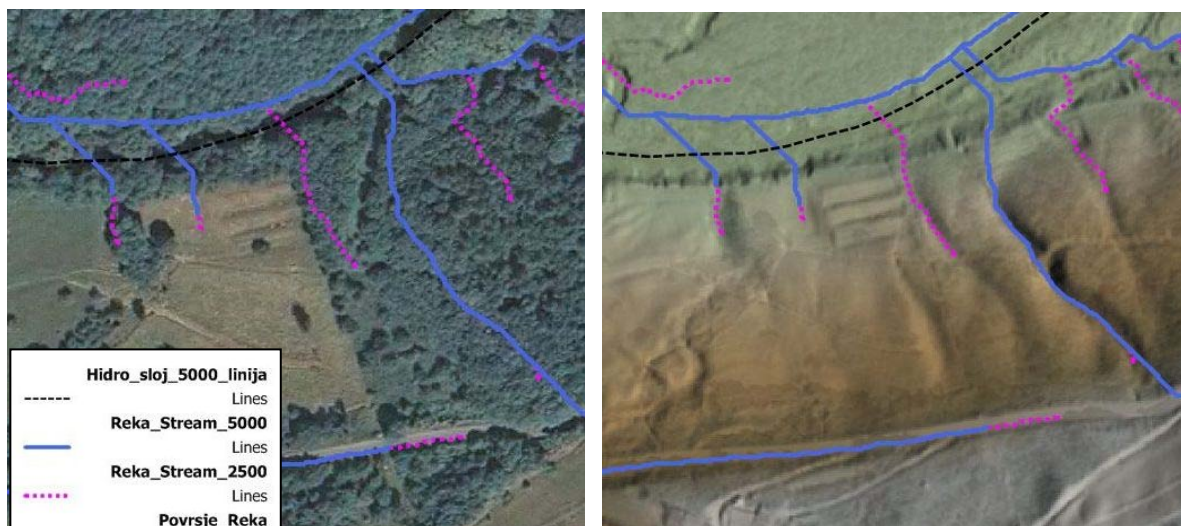
Slika 35: Legenda (levo) in prikaz celega površja območja reke Reke (desno)



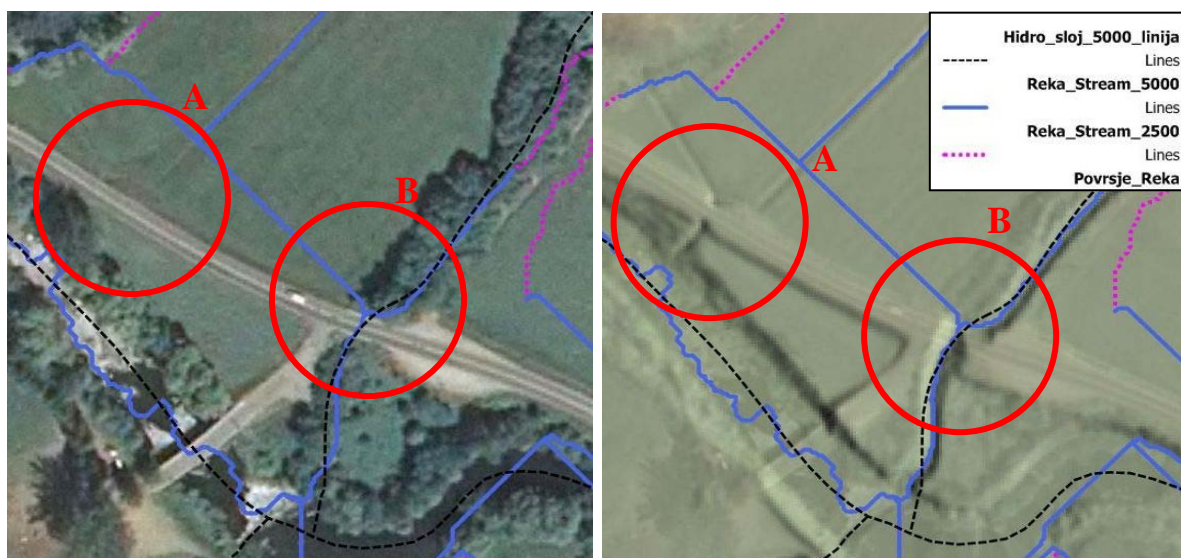
Slika 36: Prikaz hidrografske mreže določene z VRDMR skupaj s hidro slojem iz DTK 5 na področju gozda na ortofoto podlagi (zgoraj) in na DMR-ju (spodaj) – detajl A

Izdelava linij vodotokov na področju gozda se izkaže za zelo primerno. Linije potekajo po najnižjih točkah terena in nakazujejo dejanski potek struge. Sloj DTK 5 največkrat prikazuje

obstoj vodotoka, a le-ta na teh območjih ni dovolj natančen. Na sliki 36 se ta razlika lepo vidi, razlika pa je še očitnejša na sliki 37. Na sliki 37 je sloj prikazan tok vode po površju, kjer je prisoten gozd, na obstoječem hidro sloju pa ta vodotok sploh ni zabeležen.



Slika 37: Prikaz hidrografske mreže, določene z VRDMR, skupaj s hidro slojem iz DTK 5 na področju gozda na ortofoto podlagi (levo) in na DMR-ju (desno)

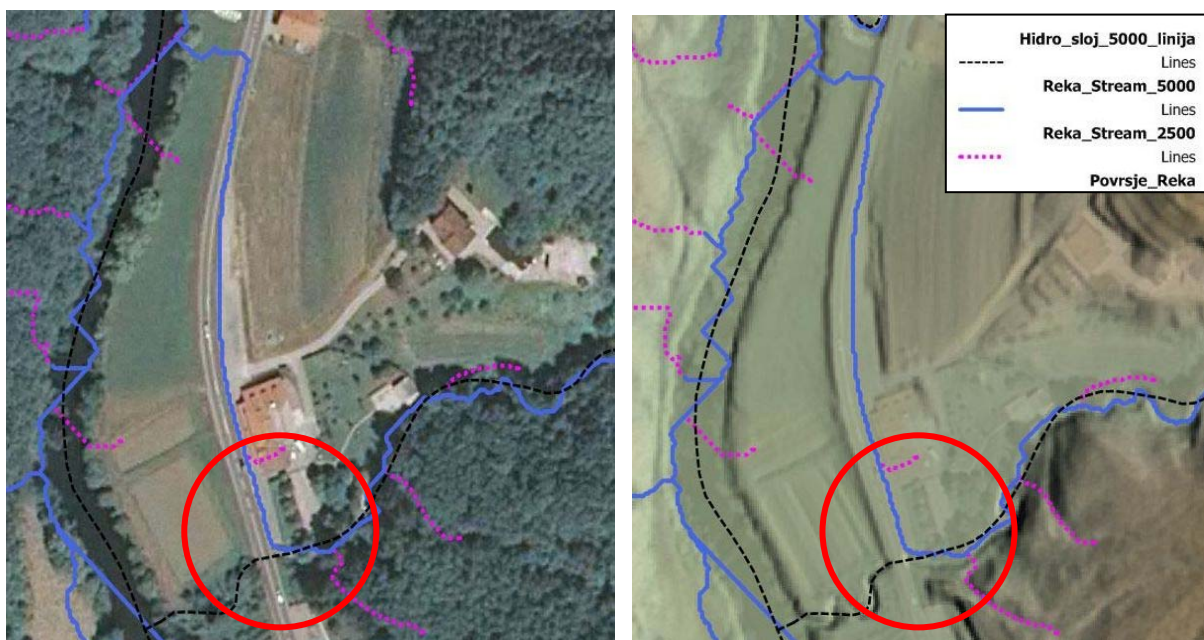


Slika 38: Prikaz hidrografske mreže, določene z VRDMR, skupaj s hidro slojem iz DTK 5 v okolici objektov na ortofoto podlagi (levo) in na DMR-ju (desno)

Posebno zanimivi so primeri izdelane hidrografske mreže v okolici objektov. Ti se med sabo kar razlikujejo. Na sliki 38 imamo najverjetneje primer prepusta (detajl A) in mosta (detajl B). Pri prvem vidimo, da ga programski postopek ne prepozna in zanj predstavlja oviro. Teh

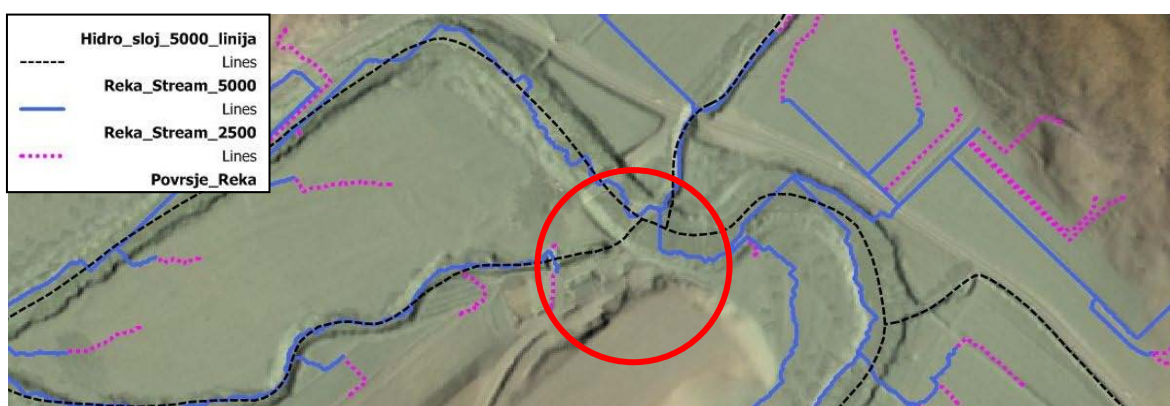
podatkov o lokalnih posebnostih žal ne zazna niti LIDAR sistem, zato le-ti niso upoštevani pri izdelavi DMR-ja. Zaradi te ovire je bil tok vode po površju, določen z Manifold programsko opremo, speljan po drugi možni poti. Do tega scenarija bi najverjetneje prišlo pri zamašitvi prepusta.

Na sliki 38 – detajl B je prikazan tok vode v bližini mostu. Ta pri računalniški izdelavi DMR-ja prav tako pomeni oviro, a je bil na tem delu sfiltriran in ročno odstranjen. Tak način priprave podatkov je zato priporočljiv, predvsem pri izvajanju analiz površja.

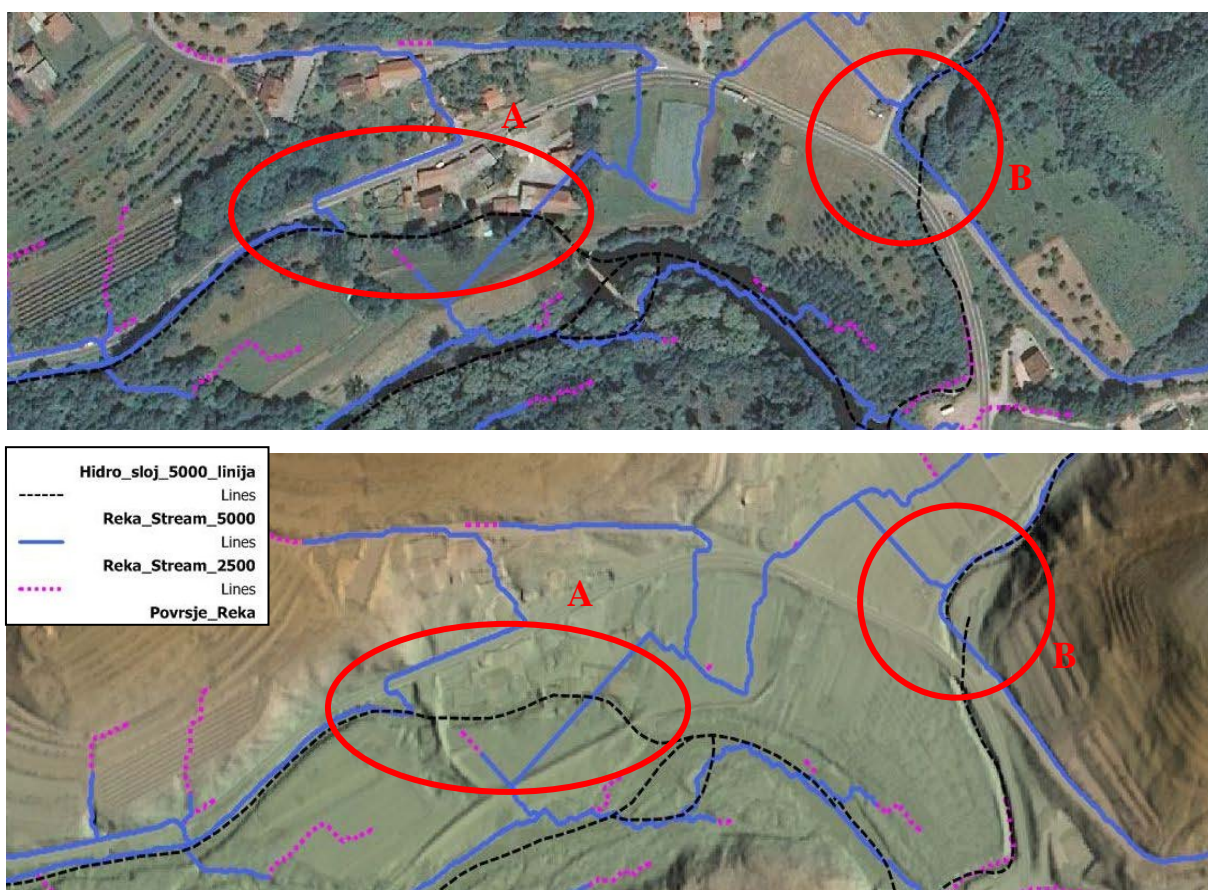


Slika 39: Prikaz hidrografske mreže, določene z VRDMR, skupaj s hidro slojem iz DTK 5 v okolici objektov na ortofoto podlagi (levo) in na DMR-ju (desno) – obkrožena je okolica mostu

Na slikah 39, 40 in 41 zopet vidimo objekt, ki ni bil odstranjen iz nabora LIDAR podatkov, in je bil tok vode speljan ob cesti namesto pod njo oziroma ni bila izrisana niti celotna mlinščica. Na sliki 40 je viden tok vode v primeru široke struge. Programski ukaz ne izriše osi vodotoka, ampak vedno linijo, ki poteka po najnižjem delu. Ker LIDAR podatki ne vsebujejo točk v sami strugi, so le te interpolirane pri sami izdelavi DMR-ja. Višina vode je določena glede na najnižjo točko levega ali desnega brega, zato je najnižji del struge na samem robu le-te.



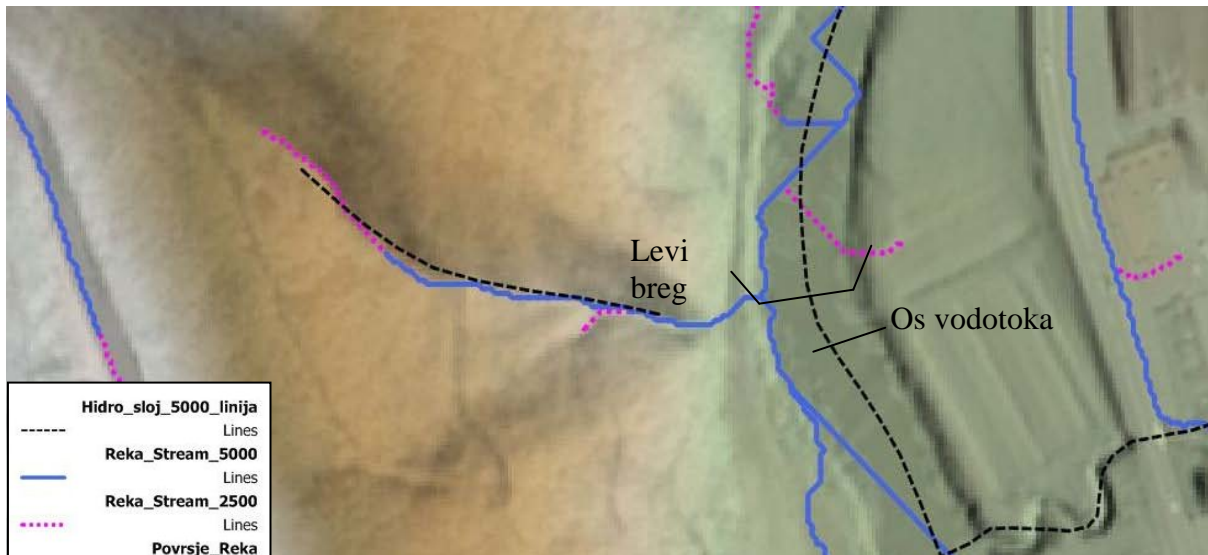
Slika 40: Prikaz hidrografske mreže, določene z VRDMR, skupaj s hidro slojem iz DTK 5 v okolici objektov ter v široki strugi na prosojnem sloju površja, ki je dodan nad ortofoto podlago.



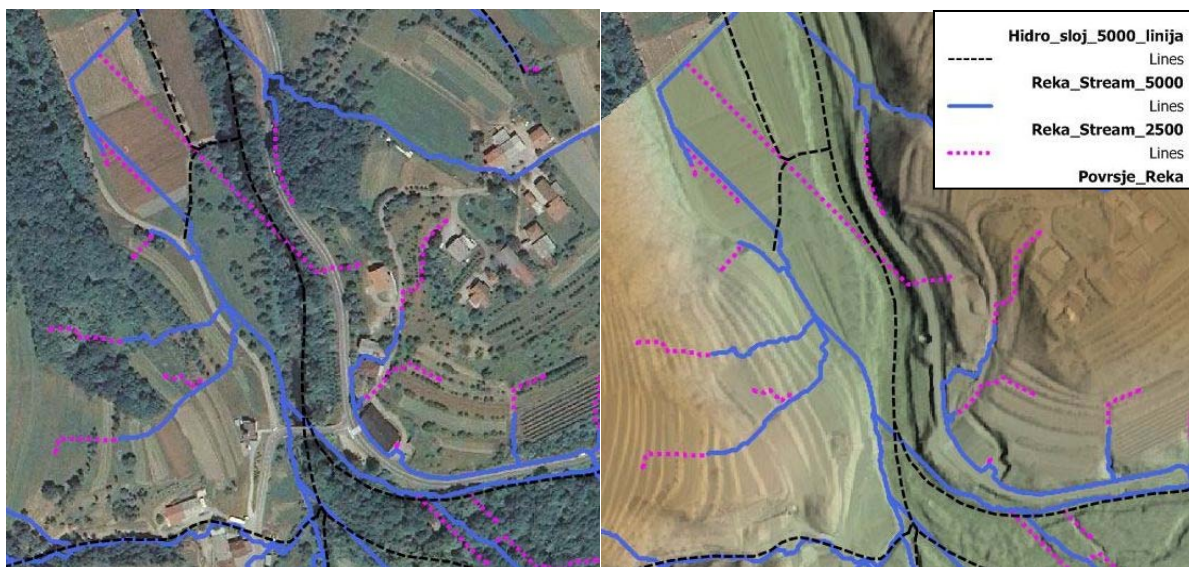
Slika 41: Prikaz hidrografske mreže, določene z VRDMR, skupaj s hidro slojem iz DTK 5 v okolici objektov na ortofoto podlagi (zgoraj) in na DMR-ju (spodaj) – detajl A

Na sliki 42 je poglobljeno prikazana razlika med tokovi, ki so bili računalniško določeni z različnimi vrednostima *Min flow*. Roza pikčasta linija prikazuje tok, ki je nastal z manjšo vrednostjo (torej 2500). Predvsem zanimiva pa je črna črtkana linija, ki prikazuje hidro sloj

DTK 5. Ta je postavljena kar sredi pobočja in ni povezana z osjo vodotoka glavne struge, kar kaže na možne nedoslednosti pri izdelavi DTK 5



Slika 42: Prikaz hidrografske mreže, določene z VRDMR, skupaj s hidro slojem iz DTK 5 na proslojnom sloju površja, ki je dodan nad ortofoto podlago



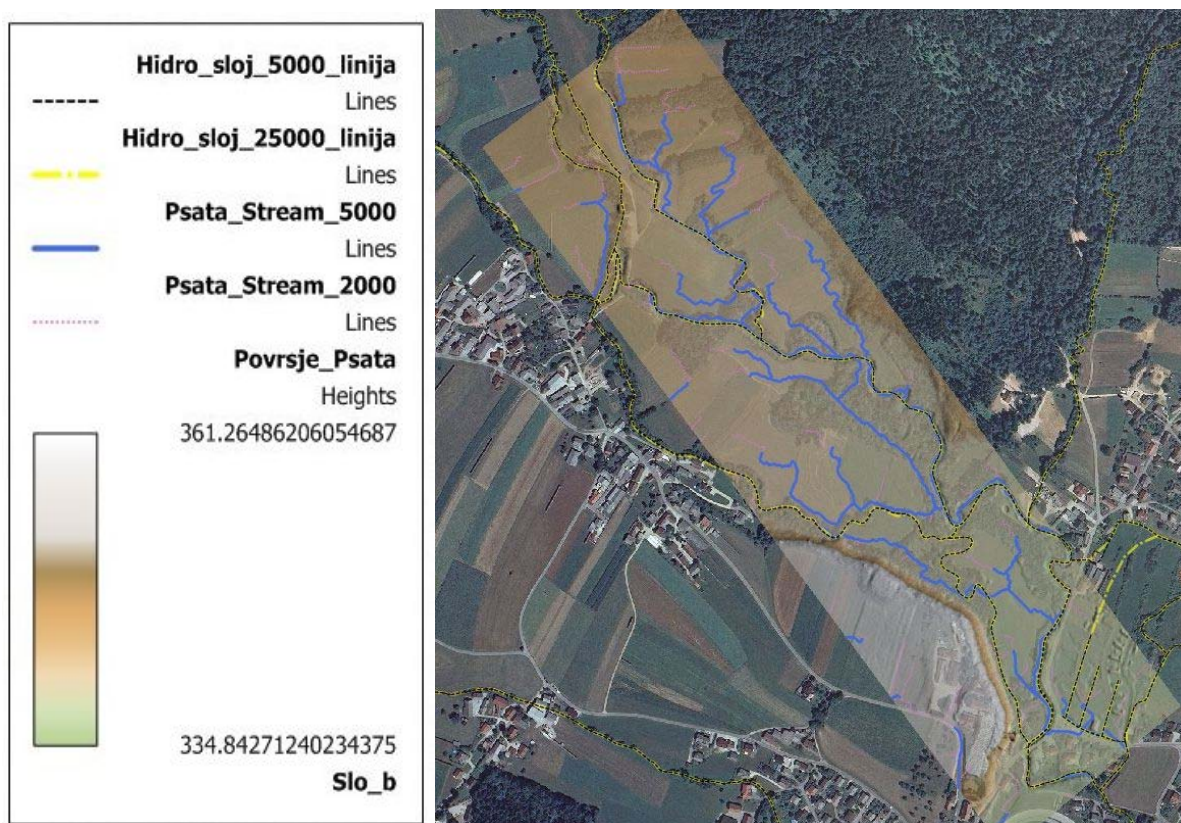
Slika 43: Prikaz hidrografske mreže, določene z VRDMR, skupaj s hidro slojem iz DTK 5 na ortofoto podlagi (levo) in na DMR-ju (desno)

Slika 43 prikazuje nenavaden potek toka vode. Kot kaže, je program tok vode usmeril v hrib in ne po najnižjem delu. Objekt (most) je bil na tem delu odstranjen, zato tukaj ne postavlja ovire, ki bi preprečila vodi nadaljevanje svoje poti po glavni strugi. Najverjetneje je to

posledica bližanja robu območja, ki je pokrito z visokoresolucijskim DMR in je predmet naših analiz.

5.2 Tok vode v bližini objektov na Pšati

Območje, ki je bilo zajeto s sistemom LIDAR, je veliko približno 0.55 km² in pokriva del struge Pšate z njeno bližnjo okolico pri Zalogu pri Cerkljah. Za vrednosti *Min flow* smo izbrali vrednosti 2000 in 5000. Na sliki 44 modra črta prikazuje linije nastale z vrednostjo *Min flow* 5000, roza pikčasta črta pa z vrednostjo 2000. Črna črtkana linija prikazuje hidro sloj iz DTK 5, rumena pa hidro sloj iz GKB 25.

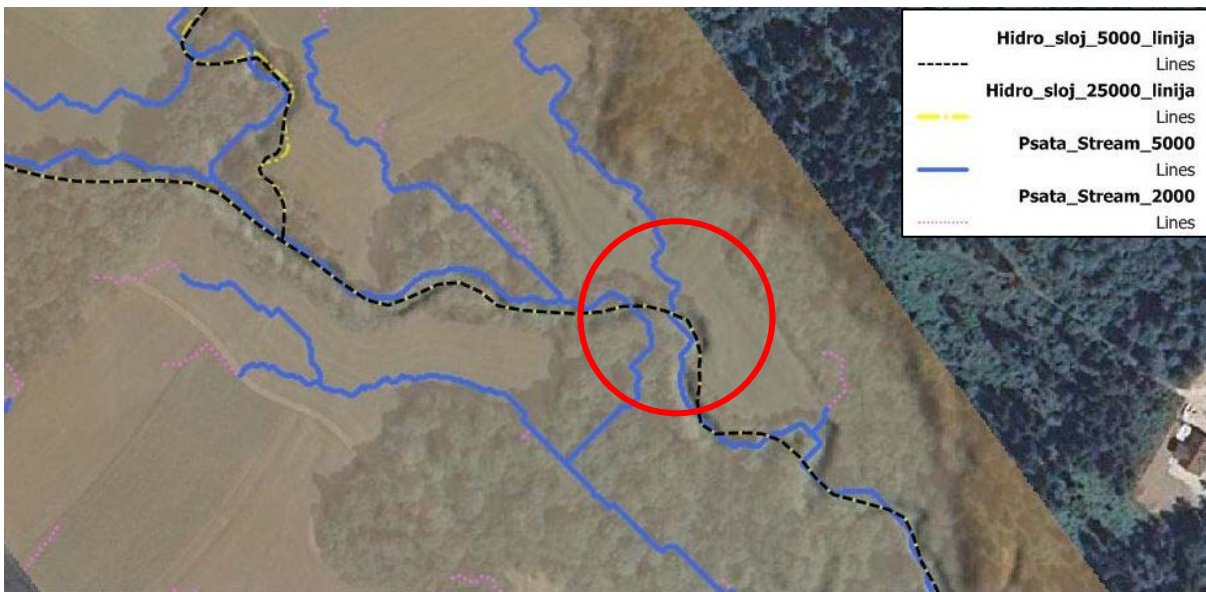


Slika 44: Legenda (levo) in prikaz celega površja območja reke Pšate (desno)

Sliki 45 in 46 prikazujeta objekt, ki iz ortofoto podlage ni razviden in lahko o njegovem obstoju na podlagi razpoložljivih podatkov (ortofoto, DMR LIDAR) in mehanizmih odtoka samo domnevamo.



Slika 45: Prikaz hidrografske mreže, določene z VRDMR, skupaj s hidro slojem iz DTK 5 in GKB 25 v okolici objekta na ortofoto podlagi

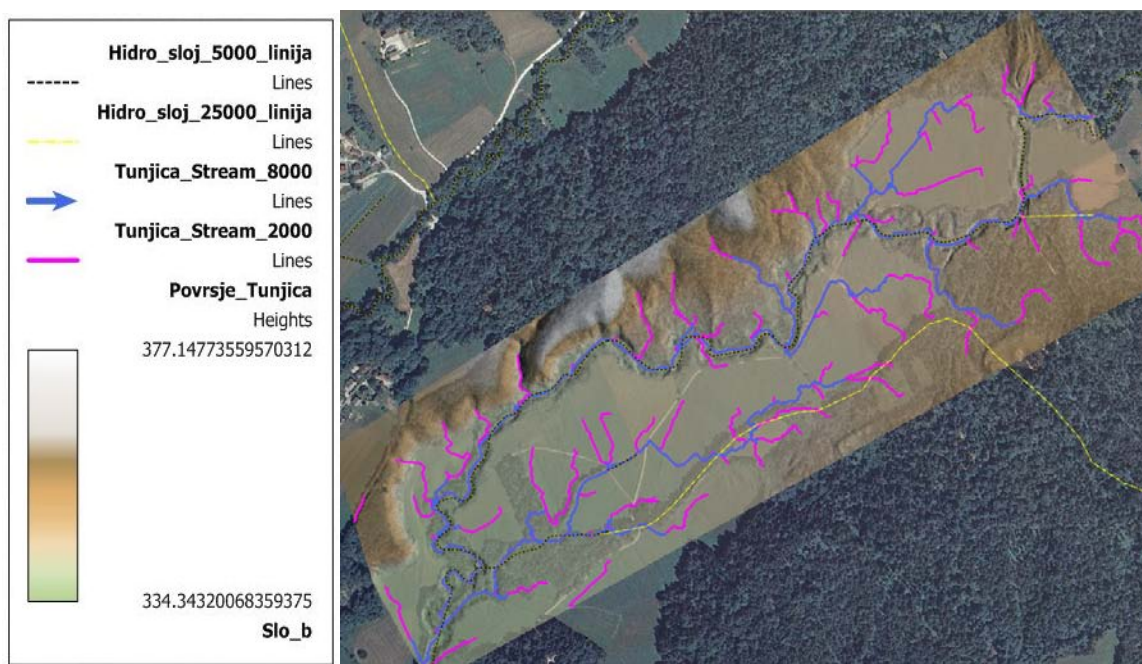


Slika 46: Prikaz hidrografske mreže, določene z VRDMR, skupaj s hidro slojem iz DTK 5 v okolici objekta na prosojnem sloju površja, ki je dodan nad ortofoto podlago

Na nobeni od teh dveh slik ni vidne ceste, zaradi katere bi vedeli, da tam mora biti postavljen most ali prepust. Na sliki 46 predvidevamo, da je tam postavljena nekakšna brv – takšne dvoumnosti je mogoče odpraviti le z dodatnimi viri podatkov oziroma s terenskim ogledom.

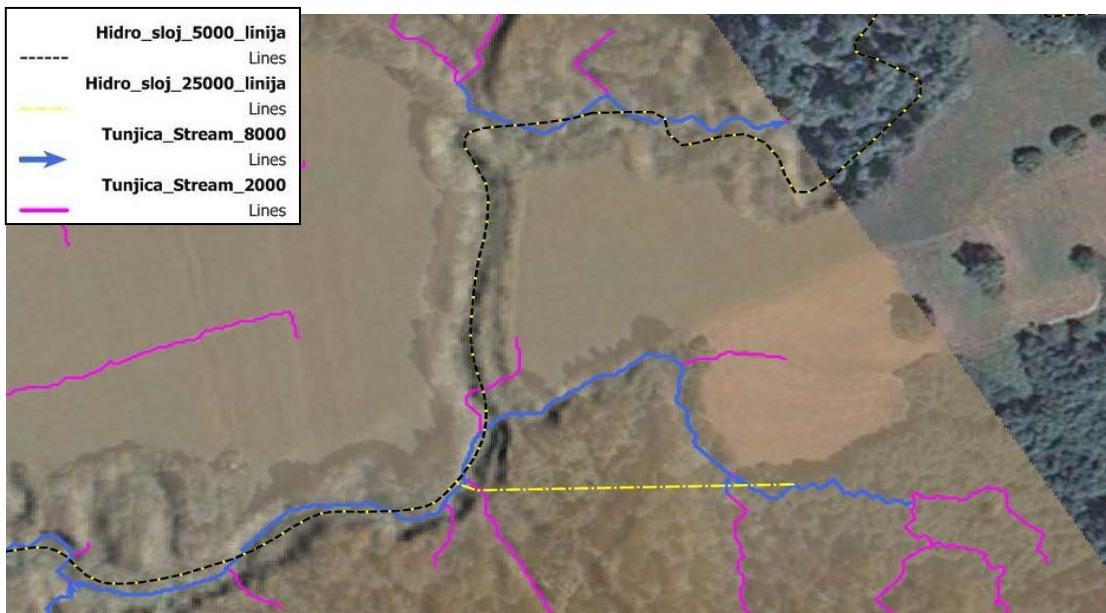
5.3 Odstopanja obstoječe hidrografske mreže na Tunjici

Območje, ki je bilo zajeto s sistemom LIDAR, je veliko približno 0.6 km² in pokriva del struge Tunjice z njeno bližnjo okolico pri Gori pri Komendi. Za vrednosti *Min flow* smo izbrali vrednosti 2000 in 8000. Na sliki 47 modra črta prikazuje linije nastale z vrednostjo *Min flow* 8000, roza pikčasta črta pa z vrednostjo 2000. Črna črtkana inija prikazuje hidro sloj iz DTK 5, rumena pa hidro sloj iz GKB 25.

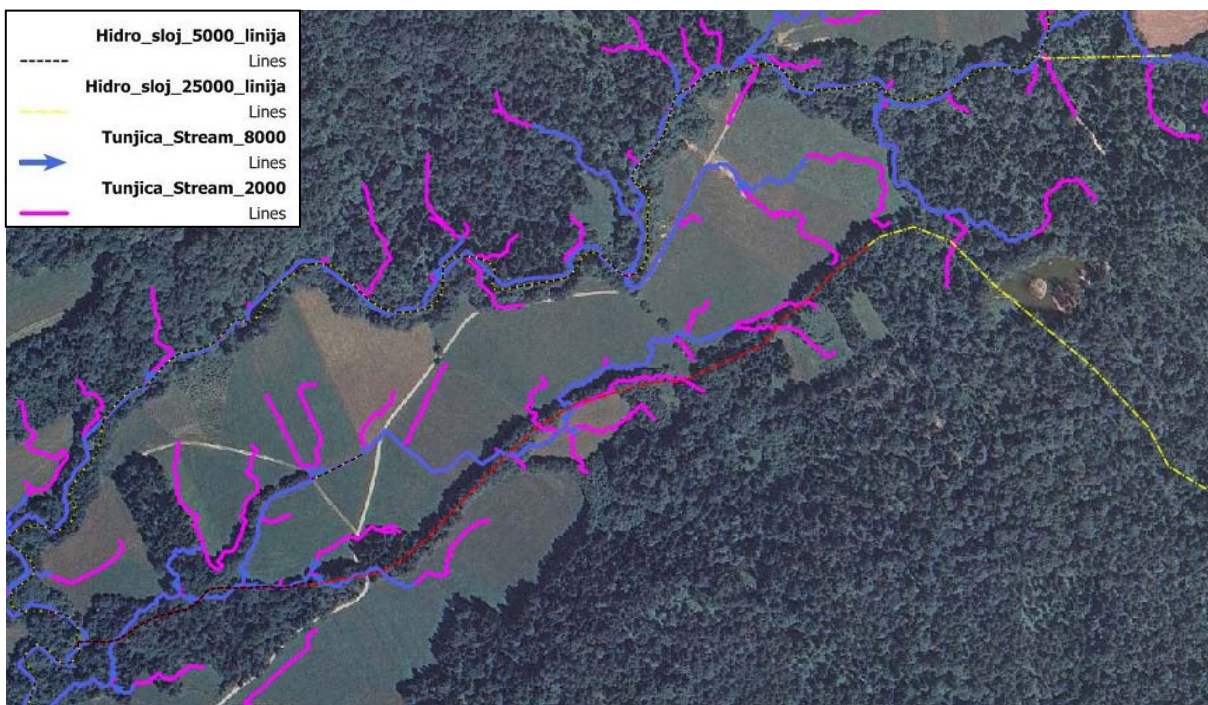


Slika 47: Legenda (levo) in prikaz celega obravnavanega površja območja reke Tunjice (desno)

Slika 48 prikazuje nenavaden potek toka vode, ki je bil določen z VRDMR. Površje tudi v tem primeru ne prikazuje kakršnekoli ovire na območju glavne struge reke Tunjice. Do takšnega problema pa smo tudi v tem primeru prišli na robu območja, ki je pokrito z visokoresolucijskim DMR, kar je v prid naši razlagi. Predvidevamo, da program poišče lokalni optimum, kako vodo čim prej spraviti na rob DMR-ja. Modre linije prikazujejo tudi smer toka in kažejo tok vode v nasprotno smer od pričakovane (voda je bila usmerjena na rob DMR-ja).



Slika 48: Prikaz hidrografske mreže, določene z VRDMR, skupaj s hidro slojem iz DTK 5 na prosojnem sloju površja, ki je dodan nad ortofoto podlago



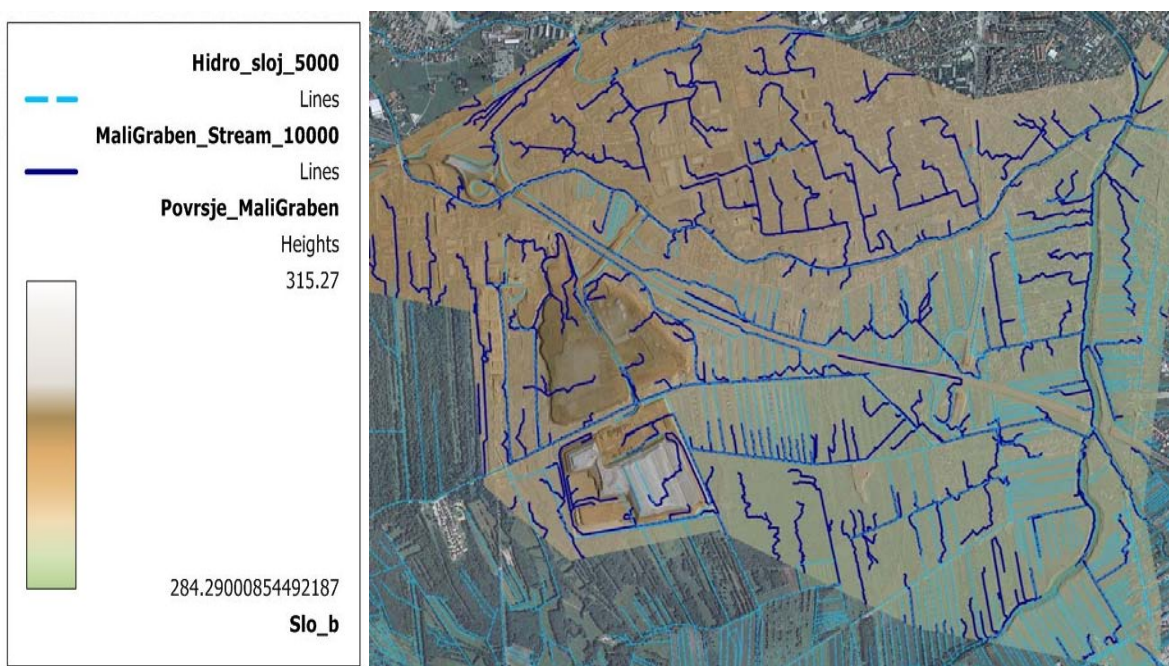
Slika 49: Prikaz hidrografske mreže, določene z VRDMR, skupaj s hidro slojem iz DTK 5 in GKB 25 na prosojnem sloju površja, ki je dodan nad ortofoto podlago

Slika 49 prikazuje primerjavo vseh slojev in daje zanimive informacije. Vir spodnje rumene linije, ki je na sliki označena in pobarvana rdeče, naj bi bil DTK 5 (za njen začetek na levi

strani slike to mogoče še drži), a to ne more biti res, saj os vodotoka iz DTK 5 za ta del sploh ne obstaja. Vir te iste linije na levi strani, ki na sliki ni označena, pa je vektorizacija DTK 25. Predvsem zanimivo pri vsem tem je to, da na tem delu struga vodotoka sploh ne obstaja. Naš program je prikazal teoretični odtok vode po površini (torej po najnižjih celicah), ki pa v realnosti ne obstaja. Obstoječi hidro sloj iz GKB 25 na tem delu je torej napačen. Na desni strani slike je viden ribnik, iz katerega voda teče v zgornjo strugo po delu hidrografske mreže, ki je bila pravilno določena s programom.

5.4 Hidromelioracijska infrastruktura

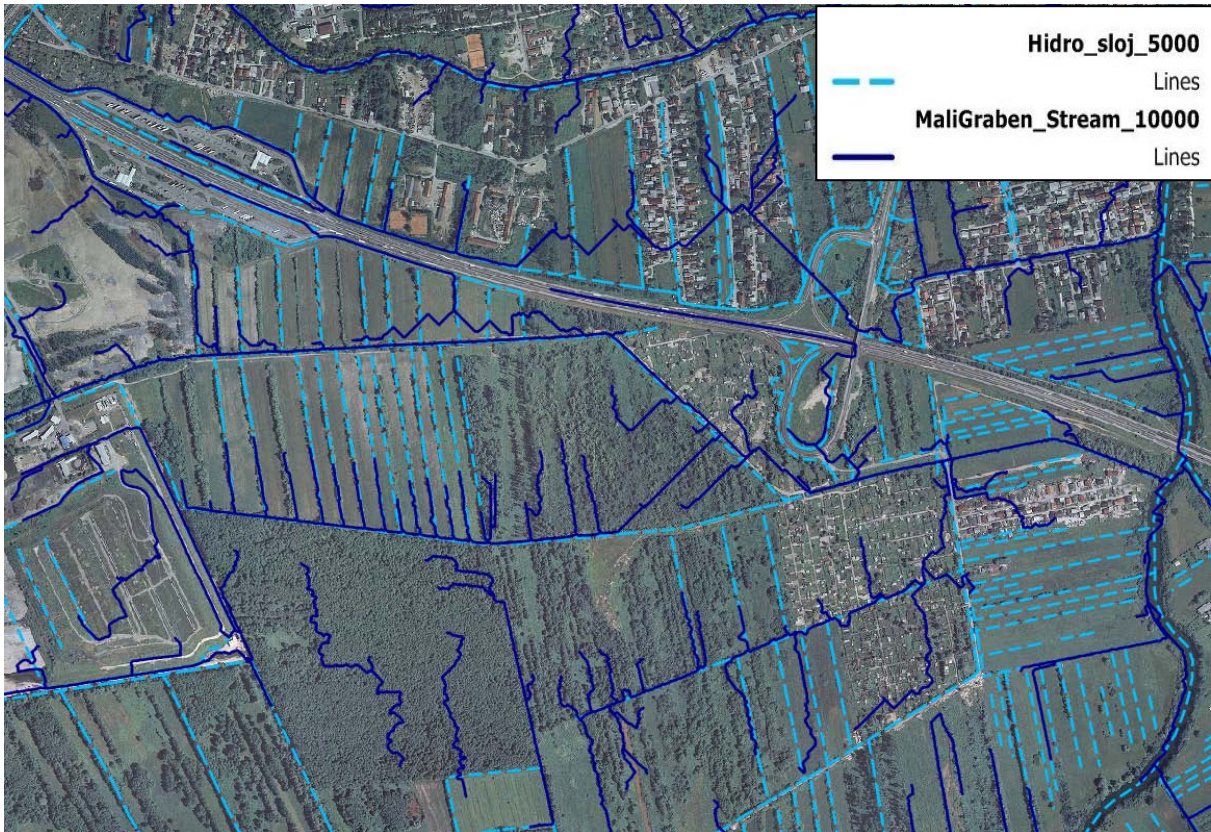
Območje, ki je bilo zajeto s sistemom LIDAR, je veliko približno 10.2 km² in pokriva celoten Mali graben z njegovo bližnjo okolico. Za vrednost *Min flow* smo izbrali 5000. Nastale linije so na slikah temno modre barve. Svetlo modra črtkana linija prikazuje hidro sloj iz DTK.



Slika 50: Legenda (levo) in prikaz celega površja območja Malega grabna (desno)

Slika 51 prikazuje problem melioracijskih jarkov. Ti predstavljajo terciarno omrežje melioracijskih sistemov in spadajo med melioracijsko infrastrukturo. Pri izdelavi hidro sloja iz DTK 5 je prišlo do težav zaradi subjektivnosti. Mreža je namreč nastajala z risanjem linij

po ortofoto podlagi, kar seveda pomeni, da je vsak posameznik narisal tisto, kar je razbral s slike.



Slika 51: Prikaz hidrografske mreže, določene z VRDMR, skupaj s hidro slojem iz DTK 5 na območju melioracijskih jarkov prikazanih na ortofoto podlagi

Kako torej oceniti ali je pomemben popolnoma vsak melioracijski jarek ali ne? Že iz te majhne slike se lepo vidi različna gostota risanja. Ponekod je narisan čisto vsak melioracijski jarek, nekje vsak drugi ali pa je jarek narisan celo tam, kjer v resnici ne obstaja in se o njegovem obstoju samo sklepa iz vidne vegetacije.

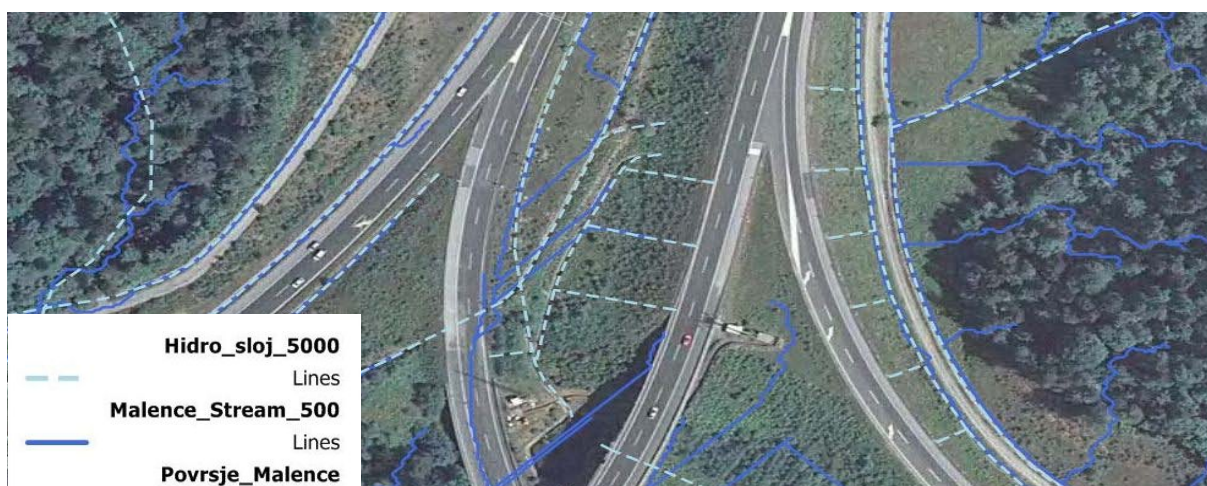
Naša tehnika določanja hidrografske mreže je pomembna predvsem zaradi vzdrževanja strukture melioracijskega sistema. V primeru izdelave DMR-ja višje resolucije (npr. 25x25 cm ali DMR z neenakomerno gostoto točk - TIN), bi način določanja z VRDMR dal še boljše rezultate. Torej tudi to, če kak melioracijski jarek ne obstaja več ali pa je nastal kak nov.

5.5 Cestne vodogradnje

Območje, ki je bilo zajeto s sistemom LIDAR, je veliko približno 1.4 km² in pokriva avtocestni razcep Malence z njegovo bližnjo okolico. DMR nima sfiltriranih niti cest niti gozda, zato je sloj primeren samo za obravnavo na lokalni ravni.



Slika 52: Legenda (desno) in prikaz celega površja območja razcepa Malence (levo)



Slika 53: Prikaz hidrografske mreže, določene z VRDMR, skupaj s hidro slojem iz DTK 5 na območju odvodnje s cest prikazan na ortofoto podlagi

Za vrednost *Min flow* smo izbrali 500. Nastale linije so na slikah temno modre barve. Svetlo modra linija prikazuje hidro sloj iz DTK 5. Slika 53 prikazuje subjektivnost določanja linij

hidro sloja DTK 5. Narisane so namreč celo linije, kjer so postavljene kanalete, ki služijo odvodnji vode s cestnih površin.



Slika 54: Prikaz prevojnih točk na AC, določenih z VRDMR, na območju odvodnje kot pomembne informacije za odvodnjo s cest, prikazane na ortofoto podlagi



Slika 55: Prikaz prevojnih točk na AC, določenih z VRDMR, na območju odvodnje kot pomembne informacije za odvodnjo s cest, prikazane na ortofoto podlagi

Sliki 54 in 55 prikazujeta mesta prevojnih točk na cestišču, ki smo jih dobili z uporabo orodja *Watersheds*. Črne puščice prikazujejo smer odtoka vode, svetlo sivo obarvane majhne površine pa vodozbirne površine. Za določanje prevojnih točk, je bila za *Min flow* uporabljena vrednost 25, analizirana površina pa je bila omejena le na območje samih cest. To orodje je uporabno za izvajanje analiz eventualnega zastajanja meteornih voda na cestnih površinah.

6 UGOTOVITVE

Na podlagi izvedenih analiz lahko ugotovimo, da imata obstoječi hidrografski mreži svoje prednosti in slabosti. Prednost hidro sloja iz GKB 25 pred hidro slojem iz DTK 5 je zagotovo, da pokriva celotno ozemlje Slovenije. Žal pa merilo 1:25.000 ni primerno za natančnejše hidrološke ali hidravlične analize in tudi ne za operativne evidenčne potrebe. Hidrografska mreža v merilu 1:5.000 zadostuje kriteriju pozicijske natančnosti, saj prikazuje pozicijsko prave informacije o površinskem odtoku.

Slabost pri zajemanju podatkov za vzpostavitev hidro sloja DTK 5 je, da evidentiranje imen vodotokov ni bilo predvideno. Ta podatek bi namreč velikokrat olajšal iskanje določenega vodotoka in je za razliko od enoličnega identifikatorja ustrezen za sporazumevanje med ljudmi. V primeru sloja iz GKB 25 pa imena obstajajo, a je pokritost zelo slaba. Veliko vodotokov ima za atribut IME_VOD podano »ni imena«. To zmanjša uporabnost sloja, saj si s poizvedbami po imenih vodotokov skoraj ne moremo pomagati.

Pri analizi podatkov hidrografske mreže v hidro sloju DTK 5 smo ugotovili tudi več lastnosti, ki otežujejo njeno praktično uporabo.

- Problem nepravilnih vozlišč. Zajemalec je lahko naenkrat zajel celoten vodotok, ki v sloju obstaja kot en element. K temu elementu pa je lahko dodajal še pritoke in v točki priključevanja tega prvega elementa ni razdelil na del pred in del po sotočju. Prava vozlišča morajo obstajati na vseh sotočjih, kar metoda določanja z VRDMR upošteva.
- Ni zagotovljena kontinuiteta hidrografske mreže v sloju DTK 5. Težave s kontinuiteto se pri metodi z uporabo VRDMR pojavljajo le na robovih analiziranih območij.
- Četudi je zajemalec zajel linijo vodotoka kot en element in le-ta poteka čez dva različna lista, je linija na mestu prehoda, iz enega lista v drugega, razdružena. Pri uporabi hidrografske mreže v praksi so dolžine odsekov vodotoka zelo pomembne, zato take delitve linij niso zaželeno.
- V primeru hidromelioracijske infrastrukture in cestnih vodogradenj prihaja do nesistematičnega zajema. Ti objekti niso del hidrografske mreže, zato bi bilo treba

podatke o teh grajenih objektih pridobiti iz vzdrževanih zbirk podatkov njihovih upravljavcev, verjetno preko skupne zbirke podatkov – Zbirnega katastra gospodarske javne infrastrukture (GURS).

- Metoda VRDMR se je izkazala kot primerna za določanje hidrografske mreže, a le v kombinaciji z obstoječimi metodami in terensko verifikacijo. Avtomatsko prepoznavanje površinskega odtoka na podlagi DMR-ja je hitro orodje, ki služi v veliko pomoč pri oblikovanju natančne hidrografske mreže. Avtomatsko je določena tudi smer toka vode, ki je iz obstoječih rečnih mrež težko določljiva. Predvsem se orodje izkaže na odsekih, kjer vegetacija zakriva vodotok. Prikazane linije na najnižjih točkah DMR, ki je bil izdelan iz podatkov pridobljenih z LIDAR tehnologijo, lahko prikazujejo dejanski potek vodotoka.
- Določanje poteka tokov v bližini objektov na vodah je odvisno od predhodne priprave podatkov. Če je bila klasifikacija oblaka točk natančno opravljena in so bile točke, ki predstavljajo objekte na vodi, klasificirane drugače kot točke terena ter niso bile zajete v izdelavo DMR-ja, potem ti "odstranjeni" objekti ne predstavljajo ovir. V primeru, da objekti niso odstranjeni, je tok vode in s tem hidrografska mreža pogosto določena narobe.
- Metoda VRDMR je le delno uporabna na kraškem terenu, saj je tam prisotnih veliko površinskih kraških oblik (vrtač, ...), ki povzročajo težave pri oblikovanju modela površinskega odtoka. Poleg tega pa skuša *Watershed* orodje ustvariti kontinuirane mreže vodotokov, kar pa bi na krasu dalo napačne podatke, saj tam prihaja do ponikanja.

Na podlagi dela izvedenega v diplomski nalogi lahko podamo usmeritve za nadaljne delo na področju razvoja hidrografske mreže. Ugotoviti je možno, da je mogoče detajlno hidrografska mrežo razvijati na podlagi kombinacije obstoječih metod zajema skupaj z metodo VRDMR. Pri tem je potrebno obravnavati ugotovitve iz tega diplomskega dela. Poleg hidrografske mreže, za katero je potrebno dodelati samo metodologijo, je potrebno za tuje objekte in naprave urediti način povzemanja podatkov iz podatkovnih zbirk njihovih lastnikov oz. upravljavcev. Podatke o hidromelioracijskih sistemih bi bilo potrebno pridobiti na Ministrstvu za kmetijstvo, gospodarstvo in prehrano (MKGP), kjer imajo vzpostavljeno evidenco o

katastrskih parcelah v povezavi z melioracijskim sistemom, ki se imenuje Kataster melioracijskih sistemov in naprav (KatMeSiNa). Podatke o cestnih vodogradnjah bi morali pridobiti z Družbe za avtoceste v Republiki Sloveniji d.d. (DARS) in z Direkcije Republike Slovenije za ceste (DRSC). Podatke vodnogospodarske infrastrukture bi morali pridobiti iz Evidence voda, vodnih objektov in naprav (EVON), ki je v lasti Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO). V kategorijo vodnogospodarska infrastruktura spadajo vsi objekti in ureditve, s katerimi se vpliva na vodni režim v smislu urejanja vodotokov, rabe vode (energetika, kmetijstvo, industrija, prebivalstvo), poleg objektov vodnogospodarske infrastrukture pa bo mogoče v sistemu spremljati tudi vodne pojave (npr. sipine, poplavne površine ipd.). Ta evidenca se trenutno še vzpostavlja.

Lokacija v prostoru vseh prej naštetih objektov je določena v Zbirnem katastru javne gospodarske infrastrukture (ZKGJI), podatki pa na žalost med sabo niso zvezno povezani. Hidrografska mreža, ki bi funkcionalno povezovala vse te informacije, bi bila pomemben skupni integracijski element za različne uporabnike prostora.

7 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi smo prikazali možnost avtomatskega prepoznavanja površinskega odtoka s pomočjo visokoresolucijskih digitalnih modelov reliefa (DMR). Za izdelavo DMR-ja smo uporabili podatke pridobljene s tehnologijo LIDAR, ki postaja vedno bolj priljubljena na področju gospodarjenja z vodami oziroma upravljanja s povodji. Natančna mreža vodotokov pa je izjemno pomembna za upravljanje z vodnimi viri, pri izdelavi poplavnih kart ali za kakršnokoli hidrološko in hidravlično modeliranje.

Hidrografska mrežo smo izdelali v programskem orodju Manifold s funkcijo *Watersheds* in jo primerjali z že obstoječima hidrografskima mrežama (hidro sloj iz GKB 25 in DTK 5). Ta tehnika se je ponekod izkazala kot boljša v primerjavi z že izdelanimi mrežami vodotokov, ponekod pa ni dala najboljših rezultatov. V bodoče se za izdelavo hidrografske mreže predlaga kombinacija obstoječih metod zajema podatkov skupaj z avtomatskim določanjem na podlagi visokoresolucijskih DMR-jev .

Ugotovitve:

- Na področju gozda se metoda VRDMR izkaže kot zelo primerna, saj vse druge metode ovira prisotnost vegetacije. LIDAR tehnologija omogoča prodiranje laserja skozi vrzeli vegetacije do tal, zato lahko iz zajetih podatkov dobimo informacije o dejanskem poteku površja.
- V okolici objektov (mostov, prepustov) se metoda izkaže za dobro, če so objekti odstranjeni (sfiltrirani) iz podatkovne zbirke, ki se uporabi za prikaz površja. Kadar pa niso izločeni, se lahko prikaže tok vode po površini npr. v primeru zamašitve prepusta.
- Avtomatsko je določena tudi smer toka vode, ki je iz obstoječih rečnih mrež težko določljiva.
- V primeru izdelave DMR-ja višje resolucije (npr. celice z velikostjo 25x25 cm), je izvedljiva tudi podpora za vzdrževanje mreže odvodnjavanja, ki je težavno predvsem na območju hidromelioracijske infrastrukture.

- Metoda je le delno uporabna na krasu, saj je tam prisotnih veliko površinskih kraških oblik (vrtač, ...), ki povzročajo težave pri oblikovanju modela površinskega odtoka.

8 VIRI

Uporabljeni viri:

- Banovec, P. in sodelavci. Izdelava hidroloških in hidravličnih osnov za zadrževanje visokih voda v razcepu Malence na AC Šentjakob – Malence (P43, št. 402-26/07, Inštitut za vodarstvo, d.o.o.)
- Banovec, P. in sodelavci. Idejna zasnova zadrževalnikov na Pšati in Tunjici (P61, P62, 2008, Inštitut za vodarstvo, d.o.o.)
- Oštir, K. 2006. Daljinsko zaznavanje. Znanstvena monografija. Ljubljana, Založba ZRC: 250 str.
- Rak, G. 2008. Uporaba LIDAR tehnologije v hidravličnem in hidrološkem modeliranju. Seminarska naloga. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 25 str.
- Steinman, F. in sodelavci. Interaktivna vizualizacija poplavnih območij za podporo interventnemu ukrepanju (št. projekta: M2-0135, UL, FGG, KMTe)
- Steinman, F. in sodelavci. Interaktivna vizualizacija poplavnih območij za podporo interventnemu ukrepanju (UL, FGG)
- Šumrada, R. 2005a. Strukture podatkov in prostorske analize. Univerzitetni učbenik. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 284 str.
- Šumrada, R. 2005b. Tehnologija GIS. Univerzitetni učbenik. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 330 str.

Elektronski viri:

- Airborne Altimetric LiDAR
http://home.iitk.ac.in/~blohani/LiDAR_Tutorial/Airborne_AltimetricLidar_Tutorial.htm (5.8.2009)
- Bat, M., Beltram, G., Cegnar, T., Dobnikar Tehovnik, M., Grbović, J., Krajnc M., Mihorko, P., Rejec Brancelj, I., Remec – Rekar, Š., Uhan, J. 2003. Vodno bogastvo Slovenije: 20 str.
http://www.arso.gov.si/vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/Vodno_bogastvo_2tekoce_vode.pdf (5.8.2009).

- DTK5 – Operativna navodila za zajem topografskih podatkov – ver. 7.0. 2007.
(pridobljeno po e-mailu od ga. Marjane Duhovnik z Geodetske uprave RS 5.8.2009).
- Kolbezen, M., Pristov, J. 1998. Površinski vodotoki in vodna bilanca Slovenije: 30 str.
http://www.arso.gov.si/vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/bilanca6190_2_BESEDILO.pdf (5.8.2009).
- LIDAR: Lighting the Way. GIS Cafe.com – Sept 2001: 6 str.
<http://www.integralgis.com/pdf/LIDAR.pdf> (6.9.2009)
- Manifold.net:
<http://www.manifold.net/doc/manifold.htm> (10.9.2009)
- Petkovšek, G. 2001. Analiza razlik med metodami avtomatskega določanja razvodnic na primeru povodja Rokave = An analysis of the discrepancies between automatic catchment delineation methods in the case of the Rokava watershed. Acta hydrotechnica 19/30, 45-63: 19 str. <ftp://ksh.fgg.uni-lj.si/acta/a30-gp.pdf> (5.8.2009)
- Podobnikar, T. 2008. Nadgradnja modela reliefa Slovenije z visokokakovostnimi podatki. Geodetski vestnik, 52-4_834-853: 20 str.
www.geodetski-vestnik.com/52/4/gv52-4_834-853.pdf (30.7.2009)
- PROSTOR – Prostorski portal:
[http://prostor.gov.si/vstop/index.php?id=470&no_cache=1&tx_simpltabs_pi1\[tab\]=163#tabs](http://prostor.gov.si/vstop/index.php?id=470&no_cache=1&tx_simpltabs_pi1[tab]=163#tabs) (20.8.2009).
- Zakon o vodah (ZV-1). UL RS, št. 001-22-101/02:
<http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=200267&stevilka=3237> (25.9.2009).
- V25 – Topografska baza za merilo 1:25000 – GKB25. 2004. Ljubljana: 26 str.
<http://prostor.gov.si/vstop/fileadmin/struktura/V25.doc> (20.8.2009).

Ostali viri:

- Topografski znaki, priročnik za uporabnike kartografskih kart meril 1 : 25.000, 1 : 50.000, 1 : 100.000 in 1 : 200.000. 1981. Beograd, Vojnogeografski Institut: 80 str.