

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*

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



Univerzitetni program Geodezija,  
smer Geodezija

Kandidat:

**Primož Kovačič**

# **Določevanje prispevnih območij površinskih voda v GIS za smotrno upravljanje zemljišč**

**Diplomska naloga št.: 818**

**Mentor:**  
doc. dr. Anka Lisec

**Somentor:**  
viš. pred. mag. Samo Drobne

Ljubljana, 27. 11. 2009

## **STRAN ZA POPRAVKE**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisani **PRIMOŽ KOVAČIČ** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:  
**DOLOČEVANJE PRISPEVNIH OBMOČIJ POVRŠINSKIH VODA V GIS ZA  
SMOTRNO UPRAVLJANJE ZEMLJIŠČ.**

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na UL,  
Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo.

Ljubljana, 12. 11. 2009

---

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

**UDK:** 004.6:556.5:659.2:711.14:91(043.2)  
**Avtor:** PRIMOŽ KOVAČIČ  
**Mentor:** doc. dr. Anka Lisec  
**Somentor:** viš. pred. mag. Samo Drobne  
**Naslov:** DOLOČEVANJE PRISPEVNIH OBMOČIJ POVRŠINSKIH VODA V GIS ZA SMOTRNO UPRAVLJANJE ZEMLJIŠČ  
**Obseg in oprema:** 114 str., 2 pregl., 100 sl.  
**Ključne besede:** prispevno območje, razvodnica, DMR, GIS, hidrologija, hidrografija, hidro mreže, raba tal, upravljanje zemljišč

### **Izvleček**

Osnovni namen diplomske naloge je določevanje prispevnih območij površinskih voda za potrebe smotrnega upravljanja zemljišč, ki se odraža tudi na kakovosti voda. Poleg osnovnih pojmov so v nalogi predstavljene zakonske osnove, ki se nanašajo na področje voda in upravljanja vodnih zemljišč v Sloveniji. Predstavljeni so obstoječi modeli prispevnih območij voda v Sloveniji, podrobneje pa je predstavljena že razvita metodologija določanja prispevnih območij površinskih voda na podlagi digitalnega modela višin in drugih prostorsko opredeljenih podatkov v okolju GIS. Le-ta je predstavljala osnovo za določitev prispevnih območij voda na lokalni ravni. Za testno območje je bila opravljena analiza rabe tal v predhodno določenih prispevnih območjih. Poudarek naloge je tako na modeliranju prispevnih območij površinskih vodotokov in na ugotavljanju stanja ter vpliva rabe tal na površinske vode znotraj njihovih prispevnih območij. Določanje prispevnih območij vodnih tokov in analiza rabe zemljišč na teh območjih lahko pomembno pripomorejo k smotrному upravljanju zemljišč in učinkovitemu ukrepanju v primeru ugotovitve onesnaženosti vodnih virov ali drugih oblik onesnaženja, ki lahko vplivajo na kakovost površinskih voda.

---

**BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDC:** 004.6:556.5:659.2:711.14:91(043.2)  
**Author:** PRIMOŽ KOVAČIČ  
**Supervisor:** Assist. Prof. Anka Lisec, PhD  
**Co supervisor:** Sen. Lect. Samo Drobne, MSc  
**Title:** DETERMINATION OF CATCHMENT AREA OF SURFACE WATER IN GIS FOR SUITABLE LAND MANAGEMENT  
**Notes:** 114 p., 2 tab., 100 fig.  
**Key words:** drainage area, catchments, DEM, GIS, hydrology, hydrography, hydro network, land use, land management

**Abstract**

The main purpose of this diploma thesis is defining the catchment areas of surface waters for suitable land management, which is also reflected on water quality. Besides basic concepts, legal backgrounds in Slovenia, which are related to water areas and water management, are introduced. The thesis presents the existing models of catchment areas of waters in Slovenia and it especially exposes the subsistent methodology of defining catchment areas of surface waters on the basis of digital elevation models and other geographically defined data in GIS, which stood as a foundation for defining catchment areas at the local level. The analysis of land use inside the predetermined catchment areas delineated in GIS was performed within the study area. The emphasis of this thesis is set on modeling catchment areas and on extracting of the current state and defining the influence of land use on surface waters within their catchment areas. Determination of catchment areas of surface waters and analysis of land use in these areas can significantly support the idea of suitable land management and efficient response in case of different kinds of pollutions, which influences also the water quality.

## **ZAHVALA**

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se najlepše zahvaljujem mentorjema doc. dr. Anki Lisec in viš. pred. mag. Samu Drobnetu za strokovno svetovanje, potrpežljivost in spodbudo pri nastajanju diplomskega dela.

Posebno zahvalo namenjam mojima staršema, ki sta mi omogočila študij in mi ob težkih trenutkih vedno stala ob strani.

Hvala Anuši, da me sprejemaš takega kot sem.

Prijateljem in znancem pa gre neizmerna zahvala za vso podporo, potrpežljivost, ideje in pomoč v času mojega študija.

Primož Kovačič



## KAZALO VSEBINE

<b>1</b>	<b>UVOD</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>Struktura in namen naloge</b>	<b>2</b>
<b>1.2</b>	<b>Problem onesnaževanja voda in gospodarjenja z zemljišči</b>	<b>3</b>
<b>1.3</b>	<b>GIS v hidrologiji in hidrografiji</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>O VODI</b>	<b>7</b>
<b>2.1</b>	<b>Splošno o vodi</b>	<b>7</b>
2.1.1	Človek in voda	9
<b>2.2</b>	<b>Vode v Sloveniji</b>	<b>10</b>
2.2.1	Tekoče vode v Sloveniji	10
2.2.2	Stoječe vode v Sloveniji	12
2.2.3	Podzemne vode v Sloveniji	12
2.2.4	Slovensko morje	13
<b>2.3</b>	<b>Slovenska zakonodaja na področju voda</b>	<b>14</b>
2.3.1	Zakon o vodah	14
2.3.2	Zakon o varstvu okolja	16
2.3.3	Zakon o ohranjanju narave	18
2.3.4	Zakon o kemikalijah	18
<b>2.4</b>	<b>Hidrogeografska delitev Slovenije</b>	<b>19</b>
2.4.1	Delitev na porečja in povodja	20
2.4.2	Delitev na razvodja in prispevna območja	21
<b>2.5</b>	<b>Onesnaževanje voda</b>	<b>25</b>
<b>2.6</b>	<b>Dostopnost do podatkov</b>	<b>26</b>
<b>3</b>	<b>METODE DELA IN GRADIVA</b>	<b>29</b>
<b>3.1</b>	<b>Geografski informacijski sistemi</b>	<b>29</b>
3.1.1	Struktura zapisa ESRI shape	31
3.1.2	GIS, vodni viri in ArcGIS	33
3.1.3	Podatkovni model Arc Hydro	34
<b>3.2</b>	<b>Uporabljeni podatki</b>	<b>36</b>



---

3.2.1	Digitalni model reliefa	37
3.2.1.1	DMV 25	38
3.2.1.2	DMV 12,5	38
3.2.2	Vode GKB25	39
3.2.3	Razvodnice	39
3.2.4	Raba tal MKGP	40
<b>3.3</b>	<b>Območje obravnave</b>	<b>40</b>
<b>3.4</b>	<b>Metodološki pristop izdelave prispevnih območij</b>	<b>43</b>
3.4.1	Predobdelava terena	44
3.4.1.1	Smer toka vode	45
3.4.1.2	Priredba DMR-ja	47
3.4.1.3	Odpravljanje lažnih depresij	50
3.4.1.4	Akumulirani tokovi	51
3.4.1.5	Opredelitev toka	52
3.4.1.6	Segmentacija tokov	54
3.4.1.7	Upodobitev prispevnih območij	55
3.4.1.8	Razvoj poligonov prispevnih območij	55
<b>3.5</b>	<b>Določitev rabe tal znotraj prispevnih območij s pomočjo hidro mreže</b>	<b>57</b>
3.5.1	Izgradnja hidro mreže	57
3.5.2	Smer toka	59
3.5.3	Hidro navigacija	60
3.5.3.1	Mrežna navigacija	60
3.5.3.2	Navigacija po opisnem podatku/atributu	61
3.5.3.3	Shematska navigacija	61
3.5.4	Spojitev elementov k vozliščem	62
3.5.5	Iztok iz območja	64
3.5.6	Analiza prispevnih območij	64
<b>3.6</b>	<b>Določitev prispevnega območja za poljubno točko</b>	<b>66</b>
<b>4</b>	<b>REZULTATI IN RAZPRAVA</b>	<b>67</b>
<b>4.1</b>	<b>Določevanje prispevnih območij – razvodnic</b>	<b>68</b>
4.1.1	Predobdelava digitalnega modela reliefa	68

4.1.2	Opredelitev vodnih tokov	72
4.1.3	Modeliranje razvodnic oziroma prispevnih območij	77
4.1.4	Primerjava rezultatov modeliranja razvodnic s podatki ARSO	81
<b>4.2</b>	<b>Določevanje prispevnih območij s pomočjo hidro mreže</b>	<b>86</b>
<b>4.3</b>	<b>Določitev prispevnega območja za poljubno točko</b>	<b>95</b>
<b>5</b>	<b>VREDNOTENJE REZULTATOV</b>	<b>105</b>
<b>6</b>	<b>ZAKLJUČEK</b>	<b>107</b>
	<b>VIRI</b>	<b>109</b>

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: <i>Geometrični tipi shape objektov (Jud, 2008)</i>	32
Preglednica 2: <i>Vrsta dejanske rabe tal gor-vodno od poljubne točke</i>	102

## KAZALO SLIK

<i>Slika 1: Karta Magellanove ožine Thomasa Jefferysa iz leta 1776 (Maidment, 2002)</i>	5
<i>Slika 2: Bilanca vode na Zemlji (SRP, 2009)</i>	7
<i>Slika 3: Kroženje vode na Zemlji (USGS, 2009)</i>	9
<i>Slika 4: Vodna bilanca Slovenije za obdobje 1961 – 90 (Kolbezen in Pristov, 1998)</i>	11
<i>Slika 5: Delitev na vodno območje Donave in vodno območje Jadranskega morja (Inštitut za Vode RS – IzVRS, 2009)</i>	20
<i>Slika 6: Delitev na porečja in povodja (IzVRS, 2009)</i>	21
<i>Slika 7: Razvodnica, prispevno območje in iztok (Sathyamoorthy, 2001)</i>	22
<i>Slika 8: Črte največjih vzponov (A) in padcev (A in B) v dnu doline (Petkovšek, 2001)</i>	23
<i>Slika 9: Stopnje prikazovanja prispevnih območij (Maidment, 2002)</i>	24
<i>Slika 10: Odnosi med moduli DPSIR in spisek možnih tem v modulih, ki se navezujejo na vode (Globevnik in Vidmar, 2004)</i>	27
<i>Slika 11: Tematske plasti ali podatkovni sloji (NOAA, 2009)</i>	30
<i>Slika 12: Vektorski in rastrski podatki (IODE, 2009)</i>	30
<i>Slika 13: Shematski prikaz zapisa prostorskih podatkov v obliki ESRI shape (Jud, 2008)</i>	31
<i>Slika 14: Komponente hidro modela (Maidment, 2002)</i>	35
<i>Slika 15: Organizacija podatkov v podatkovnem modelu Arc Hydro (Maidment, 2002)</i>	36
<i>Slika 16: Digitalni model višin zapisan v obliki celične mreže</i>	37
<i>Slika 17: Podatkovni sloj razvodnic (ARSO, 2009)</i>	40
<i>Slika 18: Območje obravnave – zgornji del Dravinjske doline</i>	41
<i>Slika 19: Območje obravnave (levo), relief in mreža vodotokov na območju (desno)</i>	42
<i>Slika 20: Algoritem osmih sosednjih celic</i>	44
<i>Slika 21: Izračun nagnjenosti terena (Maidment, 2002)</i>	45
<i>Slika 22: Kodirane vrednosti celic na podlagi algoritma osmih sosednjih celic (Maidment, 2002)</i>	46
<i>Slika 23: Smer toka vode po površju prikazana s puščicami in mrežo odtoka (Maidment, 2002)</i>	46
<i>Slika 24: Smeri toka vode na obravnavanem območju zgornjega toka reke Dravinje</i>	47
<i>Slika 25: DMR (črna) iz profila in vodotok (modra)</i>	48
<i>Slika 26: Razdalja od vektorskega sloja, ki je privzeta pri spremembi DMR-ja (razdalja = 5 celic), ter spust celic (gladek spust = - 32,8 ft = 10 m) (zeleno)</i>	48
<i>Slika 27: Dodaten spust celic za 5 m (oster spust = - 16,4 ft = 5 m) (zelena)</i>	49
<i>Slika 28: DMR z mrežo vodotokov pred metodo AGREE (območje zgornjega toka reke Dravinje)</i>	49
<i>Slika 29: DMR z mrežo vodotokov po metodi AGREE (območje zgornjega toka reke Dravinje)</i>	50
<i>Slika 30: Nastanek lažne depresije (Petkovšek, 2001)</i>	51
<i>Slika 31: Odstranjevanje kotanj</i>	51
<i>Slika 32: Izračun akumuliranih tokov</i>	51

<i>Slika 33: Akumulirani tokovi območja (območje zgornjega toka reke Dravinje)</i>	52
<i>Slika 34: Vhodni prag 3600 celic območja – površina 2,25 km<sup>2</sup> (območje zgornjega toka reke Dravinje)</i>	53
<i>Slika 35: Vhodni prag 800 celic območja – površina 0,5 km<sup>2</sup> (območje zgornjega toka reke Dravinje)</i>	53
<i>Slika 36: Segmentacija tokov (območje zgornjega toka reke Dravinje)</i>	54
<i>Slika 37: Upodobitev prispevnih območij (območje zgornjega toka reke Dravinje)</i>	55
<i>Slika 38: Upodobitev poligonov prispevnih območij (območje zgornjega toka reke Dravinje)</i>	56
<i>Slika 39: Poligoni prispevnih območij z reliefom in vodotoki (območje zgornjega toka reke Dravinje)</i>	56
<i>Slika 40: Enodimenzionalen tok vode (Maidment, 2002)</i>	58
<i>Slika 41: Vozlišča v hidro mreži (Maidment, 2002)</i>	58
<i>Slika 42: Segmenti v hidro mreži (Maidment, 2002)</i>	59
<i>Slika 43: Smer toka in zanke v tokovih (Maidment, 2002)</i>	59
<i>Slika 44: Mrežna navigacija (Maidment, 2002)</i>	60
<i>Slika 45: Navigacija po atributu naslednji dol ID (Maidment, 2002)</i>	61
<i>Slika 46: Shematska navigacija (Maidment, 2002)</i>	62
<i>Slika 47: Relacija med prispevnim območjem in vozliščem – iztokom (Maidment, 2002)</i>	63
<i>Slika 48: Relacija med vodnim telesom in vozliščem – iztokom (Maidment, 2002)</i>	63
<i>Slika 49: Relacija med merilnim mestom in vozliščem – iztokom (Maidment, 2002)</i>	63
<i>Slika 50: Iztok iz območja</i>	64
<i>Slika 51: Akumulacija dol-vodno</i>	65
<i>Slika 52: Območje hidrološkega vpliva za izbrano prispevno območje (območje zgornjega toka reke Dravinje)</i>	65
<i>Slika 53: Hidrološko območje s funkcijo pridružene razvodnice (območje zgornjega toka reke Dravinje)</i>	66
<i>Slika 54: Razširjeno območje obdelave</i>	67
<i>Slika 55: Akumulirani tokovi pri DMR 25 (levo) in DMR 12,5 (desno)</i>	69
<i>Slika 56: Opredelitev tokov pred odpravo lažnih depresij – DMR 25 (levo) in DMR 12,5 (desno)</i>	69
<i>Slika 57: Vhodni podatki funkcije odpravljanja lažnih depresij</i>	70
<i>Slika 58: Vhodni podatki funkcije priredba DMR-ja</i>	71
<i>Slika 59: Izvorni DMR in sloj vod (levo) ter metoda priredbe DMR-ja (desno)</i>	71
<i>Slika 60: Raster smeri vodnega toka (levo) ter akumuliranih tokov (desno) (DMR 25)</i>	72
<i>Slika 61: Vhodni prag 3 km<sup>2</sup> za DMR 25 (levo) in DMR 12,5 (desno)</i>	73
<i>Slika 62: Opredeljeni tokovi pri vhodnem pragu 3 km<sup>2</sup> za DMR 25 (levo) in DMR 12,5 (desno)</i>	73
<i>Slika 63: Primerjava tokov iz DMR-jev (črna) z vektorskim slojem vod (modra) na hribovitem območju (DMR 25 – levo, DMR 12,5 – desno)</i>	74
<i>Slika 64: Odstopanje toka pri DMR 25 v hribovitih predelih</i>	74
<i>Slika 65: Opredeljeni tokovi DMR 25 (levo) in DMR 12,5 (desno) in odstopanja v srednjem delu</i>	75
<i>Slika 66: Opredeljeni tokovi DMR 25 (levo) in DMR 12,5 (desno) in odstopanja v nižinskem delu; (rdeča – meja območja)</i>	76

<i>Slika 67: Segmentacija tokov (levo) in upodobitev prispevnih območij (desno)</i>	77
<i>Slika 68: Upodobitev prispevnih območij (levo) in poligoni prispevnih območij (desno)</i>	78
<i>Slika 69: Upodobitev razvodnic iz DMR 25 (rdeče) in DMR 12,5 (modro) na celotnem območju (levo) ter na ravninskem predelu (desno)</i>	79
<i>Slika 70: Upodobitev razvodnic iz DMR 25 (rdeče) in z metodo AGREE (zeleno) na celotnem območju (levo) ter v ravnini (desno)</i>	80
<i>Slika 71: Upodobitev razvodnic iz DMR 12,5 (rdeče) in z metodo AGREE (zeleno) na celotnem območju (levo) ter v ravnini (desno)</i>	80
<i>Slika 72: Primerjava razvodnic iz DMR 25 (rdeče, levo) in iz DMR 12,5 (modro, desno) brez predhodne priredbe DMR-ja z razvodnicami ARSO (oranžno)</i>	81
<i>Slika 73: Primerjava razvodnic iz DMR 25 (levo) in DMR 12,5 (desno) pridobljenih z metodo predhodne priredbe DMR-ja z razvodnicami ARSO (oranžno)</i>	82
<i>Slika 74: Primerjava razvodnic v hribovitem območju, pridobljenih na osnovi DMR 25 (rdeče, levo) in DMR 12,5 (modro, desno), z razvodnicami ARSO (oranžno)</i>	84
<i>Slika 75: Primerjava razvodnic v ravninskem območju, pridobljenih na osnovi DMR 25 (rdeče, levo) in DMR 12,5 (modro, desno), z razvodnicami ARSO (oranžno)</i>	84
<i>Slika 76: Primerjava razvodnic v hribovitem območju, pridobljenih na osnovi DMR 25 (levo) in DMR 12,5 (desno) z metodo predhodne priredbe DMR-ja, z razvodnicami ARSO (oranžno)</i>	85
<i>Slika 77: Primerjava razvodnic v ravninskem območju, pridobljenih na osnovi DMR 25 (levo) in DMR 12,5 (desno) z metodo predhodne priredbe DMR-ja, z razvodnicami ARSO (oranžno)</i>	85
<i>Slika 78: Raba tal znotraj prispevnih območij (območje zgornjega toka reke Dravinje)</i>	86
<i>Slika 79: Iztoki iz prispevnih območij (območje zgornjega toka reke Dravinje)</i>	87
<i>Slika 80: Atributi, ki so potrebni za določitev smeri toka vode</i>	88
<i>Slika 81: Tabela dodatnih linij dol-vodno</i>	88
<i>Slika 82: Smer vodnega toka: dol-vodno (levo) in gor-vodno (desno) (območje zgornjega toka reke Dravinje)</i>	89
<i>Slika 83: Prispevna območja, vodotoki in iztoki (območje zgornjega toka reke Dravinje)</i>	89
<i>Slika 84: Vhodni podatki za izgradnjo hidro mreže ter izhodni segmenti (angl. HydroEdge) in vozlišča (angl. HydroJunction)</i>	90
<i>Slika 85: Originalna linija vodotoka (levo) in razcepljena linija za namene izgradnje hidro mreže (desno)</i>	90
<i>Slika 86: Hidro mreža (vozlišča, segmenti) (območje zgornjega toka reke Dravinje)</i>	91
<i>Slika 87: Hidro mreža: vozlišča dol-vodno (levo) in gor-vodno (desno) (območje zgornjega toka reke Dravinje)</i>	92
<i>Slika 88: Funkcija, ki določi iztoke iz območij</i>	92
<i>Slika 89: Relacija hidro mreža – prispevna območja, ki omogoča določitev celotnega prispevnega območja za izbrano točko hidro mreže (območje zgornjega toka reke Dravinje)</i>	93
<i>Slika 90: Območje hidrološkega vpliva (območje zgornjega toka reke Dravinje)</i>	94

---

<i>Slika 91: Akumulirana območja gor-vodno</i>	95
<i>Slika 92: Prispevna območja (levo) in pridružene razvodnice (desno) (območje zgornjega toka reke Dravinje)</i>	96
<i>Slika 93: Povezava prispevnih območij (označeni so s številkami) s pridruženimi prispevnimi območji preko atributa DrainID (območje zgornjega toka reke Dravinje)</i>	97
<i>Slika 94: Hidrološko območje s funkcijo pridružene razvodnice (območje zgornjega toka reke Dravinje)</i>	98
<i>Slika 95: Usad točke</i>	98
<i>Slika 96: Usad točke – določitev mesta poljubne točke (območje zgornjega toka reke Dravinje)</i>	99
<i>Slika 97: Vhodni podatki izdelave prispevnega pod-območja poljubne točke</i>	99
<i>Slika 98: Prispevna območje površinskih voda gor-vodno od poljubne točke (območje zgornjega toka reke Dravinje)</i>	100
<i>Slika 99: Raba tal prispevnega območja gor-vodno od izbrane točke</i>	101
<i>Slika 100: Stavbe gor-vodno od poljubne točke (območje zgornjega toka reke Dravinje)</i>	103

---

**SLOVAR:**

**Celinske vode** so tekoče vode in stoječe vode.

**Digitalni model reliefa** je način opisa oblikovanosti zemeljskega površja, ki vključuje višinske točke, značilne črte in točke reliefa ter druge elemente, ki ga opisujejo (naklone, plastnice, padnice itd.).

**Digitalni model višin** je največkrat zapisan v obliki celične mreže, v kateri so podane višine točk površja.

**Dol-vodno** pomeni v smeri toka vode.

**Gor-vodno** pomeni v smeri, ki je nasprotna toku vode.

**Hidro mreža** je sestavljena iz segmentov in vozlišč. Topološke povezave med segmenti in vozlišči v hidro mreži omogočajo sledenje vodnemu toku gor- in dol-vodno skozi posamezne vodotoke in vodna telesa.

**Hidrografija** je znanost, ki se ukvarja z opisovanjem in meritvami odprtih vodnih teles, npr.: oceanov, morij, vodotokov, jezer, zadrževalnikov itd., predvsem pa s kartiranjem odprtih vodnih površin za potrebe plovbe.

**Hidrologija** je (1) znanost, ki se ukvarja z vodami na površini Zemlje pa tudi pod in nad njeno površino, s pojavitvijo, kroženjem in porazdelitvijo voda v času in prostoru, njihovimi biološkimi, kemičnimi in fizikalnimi lastnostmi ter z njihovimi vzajemnimi odnosi z okoljem, vključno z živimi bitji; (2) znanost, ki se ukvarja s procesi izčrpavanja in obnavljanja vodnih virov na kopnem in ki obravnava različne faze hidrološkega kroga.

**Podzemna voda** je podpovršinska voda v zasičenem območju; voda, ki se ob pronicanju padavin in zatekanju ter ponikovanju površinskih voda zadržuje pod površjem ne glede na različnost pojavnih oblik.

**Porečje** je območje, s katerega vse celinske vode odtekajo preko potokov, rek ali jezer v reko ali jezero.

**Povodje** je območje, s katerega vse celinske vode odtekajo preko potokov, rek ali jezer v reko, ki se izliva v morje.

**Priobalno zemljišče** je zemljišče, ki neposredno meji na vodno zemljišče, je priobalno zemljišče celinskih voda (v nadaljnjem besedilu: priobalno zemljišče); zunanja meja priobalnih zemljišč sega na vodah 1. reda 15 metrov od meje vodnega zemljišča, na vodah 2. reda pa pet metrov od meje vodnega zemljišča; priobalna zemljišča so tudi vsa zemljišča med visokovodnimi nasipi; določijo se lahko tudi drugačna zunanja meja priobalnih zemljišč, če je to potrebno zaradi varstva voda, vodnih in obvodnih ekosistemov, zaradi urejanja voda, zaradi izvajanja javnih služb po tem zakonu, ali zaradi omogočanja splošne rabe vodnega in morskega dobra.

**Prispevno območje** je območje, ki ima skupen iztok lastnih površinskih voda.

**Razvodnica** je greben ali mejna črta med sosednjima prispevnima površinama.

**Stoječe vode** so naravna jezera, vključno s presihajočimi, ribniki, mlake, močvirja in drugi naravni vodni zbiralniki, ki imajo stalen ali občasen pritok ali odtok tekočih ali podzemnih voda; so tudi vodni zbiralniki, ki so nastali z zaježitvijo tekočih voda, njihovo ureditvijo ali zaradi drugega posega v prostor.

**Tekoče vode** so naravni vodotoki kot so hudourniki, potoki in reke, ne glede na to, ali imajo stalen ali občasen pretok; so tudi vodotoki, ki so nastali zaradi prestavitve naravnega vodotoka, njegove zaježitve ali ureditve.



**Vodno zemljišče** je zemljišče, na katerem je celinska voda trajno ali občasno prisotna in se zato oblikujejo posebne hidrološke, geomorfološke in biološke razmere, ki določajo vodni in obvodni ekosistem, je vodno zemljišče celinskih voda (v nadaljnjem besedilu: vodno zemljišče). Vodno zemljišče tekočih voda obsega osnovno strugo tekočih voda, vključno z bregom, do izrazite geomorfološke spremembe. Vodno zemljišče stoječih voda obsega dno stoječih voda, vključno z bregom, do najvišjega zabeleženega vodostaja. Za vodno zemljišče se štejejo tudi opuščene struge in prodišča, ki jih voda občasno še poplavlja, močvirja in zemljišče, ki ga je poplavlila voda zaradi posega v prostor.

## 1 UVOD

Obstoj življenja na Zemlji in s tem človeka je usodno povezan z nastankom vode, v novejšem času pa predvsem z ohranjanjem le te. Voda je osnovna človekova pravica, ki pripada vsem. Večina ljudi se danes ne zaveda pomembnosti kroženja vode na Zemlji, povezanosti sladkovodnih sistemov z zdravjem in razvojnimi možnostmi človeka ter na splošno z ohranjanjem miru na Zemlji. Krilatico, ki jo v življenju neštetokrat slišimo: "Voda je življenje," vzamemo vse preveč samoumevno in s tem nezavedno zanemarimo ključno vlogo, ki jo ima voda v življenju posameznika in pri obstoju življenja na Zemlji nasploh. Je že tako, da je človek bitje, ki se uči predvsem iz izkušenj in dokler živi v obilju, ostaja slep za stvari, ki se ga neposredno ne tičejo. A dejstva so naslednja: brez vode ni življenja; podnebne spremembe imajo največji vpliv ravno na zaloge vode na Zemlji; snežni pokrov in ledeniki se topijo; suše povzročajo krčenje gozdov. Po poročanju Združenih narodov (2009) milijarda ljudi nima dostopa do pitne vode, 2,5 milijarde ljudi je brez ustreznih sanitarij, vsak dan umre 10.000 ljudi za boleznimi povezanimi z vodo, večinoma otroci, in tako dalje. Vode je dovolj za vse, težava je le v slabem upravljanju z vodnimi viri, kjer pomembno vlogo igra tudi smotrno gospodarjenje s tlemi oziroma zemljišči. Po nekaterih ocenah bo cena vode v prihodnosti preseгла ceno nafte. Vodne vire moramo zaščititi, da zagotovimo vsem to osnovno človekovo pravico in da se izognemo privatizaciji in manipulaciji s tem osnovnim življenjskim virom.

Dejavniki, ki vplivajo na količinsko in kakovostno stanje voda, so v zadnjih desetletjih bistveno drugačni in bolj skrb vzbujajoči kakor v preteklosti. Če se spustimo na lokalno raven in pogledamo skozi okno v smeri vodotoka, ki mirno teče skozi dolino, vidimo, da živimo v zeleni deželi, prepojeni z vodo. Problemi, povezani z vodnimi viri, se zdijo daleč, živimo v obilju. Ali je to pravi način gledanja?

Poglejmo podrobneje vzdolž toka. Izpusti različnih vrst onesnaževal iz različnih virov se prenašajo po vodnih poteh vse do morja in spotoma rušijo ekološka ravnovesja ter biološko raznolikost, vplivajo na zdravje ljudi in onesnažujejo priobalne vode. Torej naš poseg v vodne

---

vire, ki so na začetku svojih dolgih poti proti morjem sveta, še kako vpliva na stanje okolja pri nas in drugod po svetu. Potrebno je prevzeti odgovornost že na lokalni ravni!

## 1.1 Struktura in namen naloge

To diplomsko delo ni namenjeno reševanju svetovnih problemov povezanih z vodnimi viri, niti prepričevanju ljudi, naj spremenijo svoje navade. Namenjeno je analizi vodnega sistema na delčku površine Slovenije, kjer je izpostavljeno predvsem varovanje površinskih tekočih voda, tudi preko smotrnega gospodarjenja z zemljišči na tako imenovanih prispevnih območjih voda.

Diplomo bi lahko v grobem razdelili na dva dela.

*Prvi del* predstavlja pregled upravljanja voda in vodne značilnosti Slovenije. Govori splošno o vodah in o vodah v Sloveniji. Predstavljena je zakonodaja na področju voda v Sloveniji in dostopnost ter zbiranje podatkov o vodah. Sledi predstavitev hidrogeografske delitve Slovenije, delitev na porečja in povodja ter delitev na razvodnice in prispevna območja. Na koncu je predstavljena problematika onesnaževanja voda.

*Drugi, praktični del* se deli na tri sestavne dele. Osnova vsem trem je analiza površinskih voda in prispevnih območij voda v okolju geografskih informacijskih sistemov GIS, z orodjem *ArcGIS\** in podatkovnim modelom *Arc Hydro\*\**. V prvem delu se naloga dotika izdelave prispevnih območij kot ene izmed elementarnih enot delitve prostora ali vodnih sistemov. V drugem delu povzema lastnosti prispevnih območij s pomočjo hidro mreže, ki določa povezljivost med elementi obravnavanega prostora. Tretji del predstavlja določitev prispevnega območja poljubne točke, predvsem za namen smotrnega gospodarjenja z zemljišči na prispevnih območjih in v podporo pri odločanju ob raznih nesrečah (kot je npr. onesnaženje voda).

---

\* *ArcGIS* je zaščitena blagovna znamka ESRI Incorporation.

\*\* *Arc Hydro* je prostorski in časovni podatkovni model, namenjen modeliranju podatkov o vodnih virih, ki deluje znotraj programske rešitve *ArcGIS* (glej *Arc Hydro tools ...*, 2009).

Z diplomo smo želeli preveriti tudi primernost orodja *ArcGIS* in predvsem podatkovnega modela *Arc Hydro* za namene modeliranja in analiziranja sistemov površinskih voda in prispevnih območij, preverjanja značilnosti in pojavov znotraj prispevnih območij in primernosti dobljenih rezultatov za namene prostorskih, ekoloških in hidroloških analiz.

## **1.2 Problem onesnaževanja voda in gospodarjenja z zemljišči**

Področje voda je eno najpomembnejših področij okoljske politike, a so bili pristopi do sedaj delni, obravnavanje vodnih virov in z njimi povezanih težav je bilo lokalno (Čehić, 2007) in sektorsko. Kot je bilo že omenjeno, je to z vidika gospodarnega in trajnostnega ravnanja z vodnimi viri napačen pristop. Že sama poraba voda bi morala bit bolj gospodarna, tako v gospodarskih dejavnostih, kakor tudi v gospodinjstvih. Na področju onesnaževanje voda so bili v zadnjem času tudi v Sloveniji sprejeti številni ukrepi za izboljšanje stanja voda in v določeni meri kažejo dobre učinke, a se stanje glede onesnaženosti voda še ni v zadostni meri popravilo. Velik problem predstavljajo predvsem razpršeni viri onesnaževanja. Napredek pri zaščiti voda je vidnejši v industriji kot v kmetijstvu, saj se točkovni viri onesnaževanja lažje odkrijejo, sanirajo in kontrolirajo.

V drugi polovici 80. let so se v Sloveniji začela prizadevanja na področju bolj obvladljivega ravnanja z odpadnimi vodami in drugimi odpadnimi snovmi, ki so jih različni onesnaževalci prej nenadzorovano odlagali oz. izpuščali v vodne sisteme. To se odraža v znižanju koncentracij nekaterih onesnaževal v naših vodah in njihovi izboljšani kakovosti (Čehić, 2007). Kot primer naj navedemo Blejsko jezero, ko zaradi množičnega turizma od petdesetih let prejšnjega stoletja naprej pomanjkljiva kanalizacija ni več zadoščala potrebam. Hranilne snovi, ki so pritekale v jezero, so spodbujale razvoj rastlinskega planktona, pogosta so bila dolgotrajna "cvetenja", ta so vplivala na vedno obsežnejše in dolgotrajnejše pomanjkanje kisika, ki je doseglo celo obalne predele jezera. V razmerah brez kisika so nastajale strupene snovi, propadale so občutljive rastlinske in živalske vrste, porušilo se je naravno ravnotežje in jezero je začelo postopno odmirati. S sanacijskimi posegi med leti 1982 in 1985 se je vnos fekalij v jezero zmanjšal za 80 % (Remec Rekar in Bat, 2003).

Po drugi strani pa pri kmetijskih dejavnostih v tem smislu na območju Slovenije ni prišlo do znatnejših sprememb. Intenzivno kmetijstvo ogroža podtalnico, še posebej na območjih, kjer je ta bolj ranljiva zaradi plitvosti plasti vodonosnikov. Ker spada kmetijstvo med tako imenovane razpršene vire onesnaženja voda, se onesnaževalci bistveno težje odkrijejo, saj k onesnaževanju praviloma prispevajo velika območja in ni enega samega krivca. Kontrola se opravlja posredno s kontrolo tal in vode. S problemom povišanih koncentracij nitratov in pesticidov v tleh in (podzemnih) vodah, kot rezultat intenzivnega kmetijstva, se soočajo tudi v drugih evropskih državah.

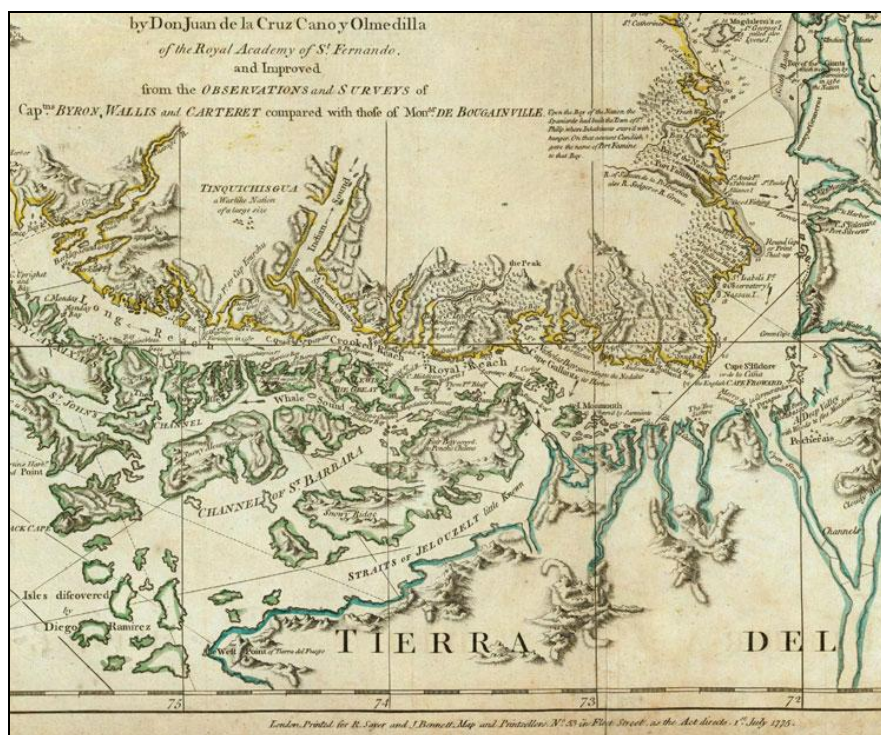
Posegi v vodno okolje morajo biti sprejemljivega obsega, da so zagotovljene razmere za optimalen razvoj človekovih dejavnosti, kakor tudi za obstoj sožitja z drugimi živimi bitji v naravnem okolju. Vodna politika Slovenije in Evropske unije zato temelji na izvajanju celovitega in trajnostnega gospodarjenja z vodnimi viri, na bolj obvladljivem in usklajenem nadzoru voda na celotnem evropskem prostoru in obenem na upoštevanju morebitnih posledic podnebnih sprememb na vodne vire (Čehić, 2007). V podporo smotrному gospodarjenju z vodnimi viri so danes številni prostorsko opredeljeni podatki, ki jih je mogoče učinkovito uporabljati v sistemih GIS.

### **1.3 GIS v hidrologiji in hidrografiji**

Hidrologija je po hidrološkem izrazju (Mikoš in sod., 2002) (1) znanost, ki se ukvarja z vodami na površini Zemlje pa tudi pod in nad njeno površino, s pojavitvijo, kroženjem in porazdelitvijo voda v času in prostoru, njihovimi biološkimi, kemičnimi in fizikalnimi lastnostmi ter z njihovimi vzajemnimi odnosi z okoljem, vključno z živimi bitji; (2) znanost, ki se ukvarja s procesi izčrpavanja in obnavljanja vodnih virov na kopnem in ki obravnava različne faze hidrološkega kroga. Hidrološke podatke pridobimo s terenskimi meritvami na merilnih postajah, kjer spremljamo lastnosti vodotokov in ostale klimatske spremembe v okolju. Pri opravljanju hidroloških analiz moramo poznati lastnosti vodnih sistemov, kako se ti premikajo in spreminjajo na svoji poti skozi pokrajino in skozi čas ter v različnih klimatskih pogojih. Pri tem je pomembno, da poznamo tudi lastnosti pokrajine.

S hidrologijo je tesno povezana hidrografija, ki je po hidrološkem izrazu (Mikoš in sod., 2002) znanost, ki se ukvarja z opisovanjem in meritvami odprtih vodnih teles, npr. oceanov, morij, vodotokov, jezer, zadrževalnikov itd., predvsem pa s kartiranjem odprtih vodnih površin za potrebe plovbe. Razvoj geografskih informacijskih sistemov (GIS) je omogočil transformacijo iz analognih hidrografskih kart v digitalne podatkovne sloje. Skupaj z razvojem interneta, ki omogoča hiter prenos podatkov, in s povečano zmogljivostjo daljinskega zaznavanja, so postali GIS-i ključni v hidrografiji in pri hidroloških analizah.

Da so podatki o vodnih virih izrednega pomena za celotno družbo, priča tudi dejstvo, da široko uporabne topografske karte vsebujejo podatke o hidrografiji, tako imenovane "modre črte", ki signalizirajo poti rek, obalo jezera ali morja. Kartografski prikaz vodnih virov ima v kartografiji že tradicijo (slika 1).



Slika 1: Karta Magellanove ožine Thomasa Jefferysa iz leta 1776 (Maidment, 2002)

Del topografskih kart so tudi hipsometrični podatki, kjer je hipsometrija nauk o merjenju višinskih razlik ali globine. Ker je tok vode preko površja mogočna sila, ki oblikuje pokrajino,

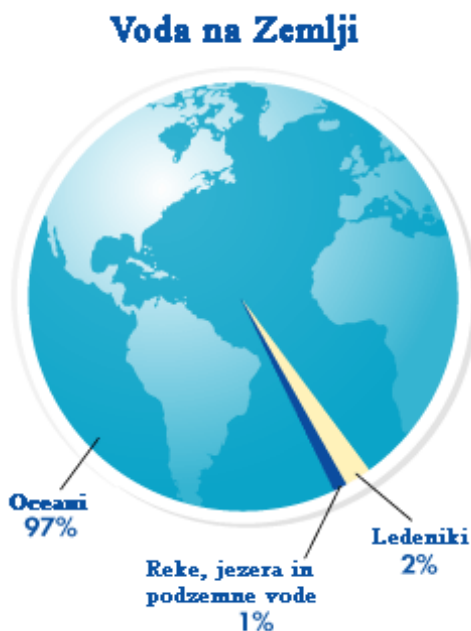
sta hidrologija in hipsometrija vzajemno povezani. Na tok vode vpliva tudi raba tal, bodisi urbana, kmetijska ali druga vrsta rabe, zato so taki podatki pomembni pri analizi in določitvi povezave med značilnostmi površja in vodnimi sistemi na površju.

Razlika med hidrologijo in hidrografijo je predvsem v tem, da se hidrologija ukvarja s celotnim vodnim krogom (atmosfera, površina, vode pod površjem) in z lastnostjo ter premikanjem vode, medtem ko se hidrografija ukvarja predvsem s površinskimi vodami in z lastnostmi okolja, skozi katerega se voda premika. Hidrološki podatki se spreminjajo skozi čas, medtem ko so hidrografski relativno nespremenljivi.

## 2 O VODI

### 2.1 Splošno o vodi

Planet Zemljo večkrat poimenujemo kar "modri planet", saj je tri četrtine njegove površine pokrite z vodo. Filozofi stare Grčije so že v 6. stoletju pred našim štetjem trdili, da je voda prasnov in hkrati pradomovina vseh življenj. Življenje je nastalo v vodi in voda je sestavni del vsake rastlinske in živalske celice. Je pomemben ekološki in ekonomski element (Korže in Bricelj, 2004) ter ključni dejavnik v kemijskih, fizikalnih in bioloških procesih na Zemlji (Čehić, 2007). 97,5 % vode na Zemlji je slane vode iz morij in oceanov in le 2,5 % je sladke vode v različnih agregatnih stanjih (slika 2). Brez vode ni življenja in razvoja. Količina vode in njena pojavna oblika ter časovna razporeditev vplivajo na raznovrstnost živalskih in rastlinskih vrst ter na življenje ljudi, njihovo blaginjo, življenjske vzorce, pa tudi na človekov odnos do voda in vodnega prostora (Korže in Bricelj, 2004).



Slika 2: Bilanca vode na Zemlji (SRP, 2009)



Hidrosfera, ki po hidrološkem izrazju pomeni del Zemlje, pokrit z vodo in ledom (Mikoš in sod., 2002), ima povezovalno vlogo med živimi in neživimi sestavinami. Življenje je možno le tam, kjer je dovolj vode. Ekosistem sestavljata živi in neživi del, oba pa tesno povezuje voda. Voda ima v naravi dva osnovna pomena (Korže in Bricelj, 2004):

***a) fiziološki pomen:***

- vir za optimalno vzdrževanje celične plazme,
- vir za ohranjanje življenja posameznih osebkov,
- posrednik za potrebe vodnih življenjskih združb po hrani in energiji,
- posrednik za transport soli, hranilnih snovi, produktov razgradnje snovi in encimov;

***b) ekološki pomen:***

- življenjski prostor,
- vir za vzdrževanje življenja populacij.

Osnovna povezujoča predstava v preučevanju in razumevanju vloge vode v naravi je **hidrološki krog** oz. **vodokrog** (slika 3). Ta predstavlja naravni model, ki ponazarja soodvisnost in stalno kroženje vseh pojavnih oblik vode in je pravzaprav izhodiščna točka opazovanja pojavov na področju hidrologije (Čehić, 2007). Hidrološki krog je sosledje faz, skozi katere se giblje voda od ozračja do zemlje in ponovno v ozračje: izhlapevanje s površine tal, morja ali celinskih voda, utekočinjenje iz oblakov, padavine, zadrževanje v tleh ali vodnih telesih in ponovno izhlapevanje (Mikoš in sod., 2002). Odtok je izredno občutljiv element hidrološkega kroga.

Reka nastane, če se združi več površinskih odtokov deževnice ali snežnice. Mnogi dejavniki vplivajo na to, kakšna reka nastane iz odtekljih padavin. Najpomembnejši so: sestava in prepustnost površja, naklon pobočja in množina padavin, ki pade na neko območje. Reka si ustvari porečje ali odmakalno območje. Zgornji tok porečja je povirje. Porečja ločujejo razvodja, ki tečejo po grebenih ali slemenih. Vodno kroženje se stalno ponavlja in voda se v zraku obnovi približno vsakih 20 dni (Korže in Bricelj, 2004).



Slika 3: Kroženje vode na Zemlji (USGS, 2009)

Vodni svet zaznamuje vodovje z dinamično menjavo kopnega in vode, med katerima poteka intenzivna izmenjava snovi in energije. Tej dinamiki so se prilagodili vodni in obvodni ekosistemi. Obliko (morfe) pokrajine, na katero močno vpliva voda (hidro) s svojim delovanjem, zaznamujejo hidro-morfološke oblike, ki določajo podobo izvirov, rečnih strug, dolin, jezer, mokrišč, ustja rek, obalo, morje in podmorje. Te pa pogosto zasledimo tudi izven stalno omočenih strug, posebej po naraslih vodah, ki spremenijo pobočja in dolinska dna. Prisotnost vode (stalna ali občasna) določa posebne življenjske razmere, kar se odraža v tipični sestavi rastlinskih in živalskih združb, ki so zato dober pokazatelj obsega vodnega in obvodnega sveta (Korže in Bricelj, 2004).

### 2.1.1 Človek in voda

Dostop do vode, njena razporeditev in kakovost že od nekdaj močno vplivajo na to, kje se bo človek naselil in na kvaliteto njegovega življenja. Čeprav je bilo na svetu vedno dovolj sveže vode za potrebe človeka, ta velikokrat ni bila dostopna, kjer bi jo nujno potrebovali, ali pa ni bila zadovoljive kakovosti za različne vrste uporabe. Voda je sicer obnovljivi vir, toda vse večji posegi v okolje zmanjšujejo njeno obnovitveno funkcijo. Razmerje med potrebo in dobavo sveže vode je bilo pogosto kočljivo vprašanje. Razpoložljivost oz. dostopnost do

vodnih virov je v preteklosti in bo tudi v prihodnosti narekovala tempo in stopnjo razvoja posameznega območja, družbe.

Človek uporablja vodo – govorimo o sveži, sladki vodi – v kmetijstvu, industriji, gospodinjstvih, prometu, za rekreativne in okoljske namene. Uporabo vode lahko razdelimo na obnovljivo in neobnovljivo. 70 % vode se uporablja v kmetijstvu, predvsem za namakanje. V industriji se porabi približno 15 % sveže vode, največ za elektrarne in rafinerije, za ustvarjanje energije, za hlajenje, kot raztopina. V gospodinjstvih se porabi nadaljnjih 15 % vode. Uporaba sveže vode v rekreacijske in okoljske namene šele pridobiva na veljavi.

## **2.2 Vode v Sloveniji**

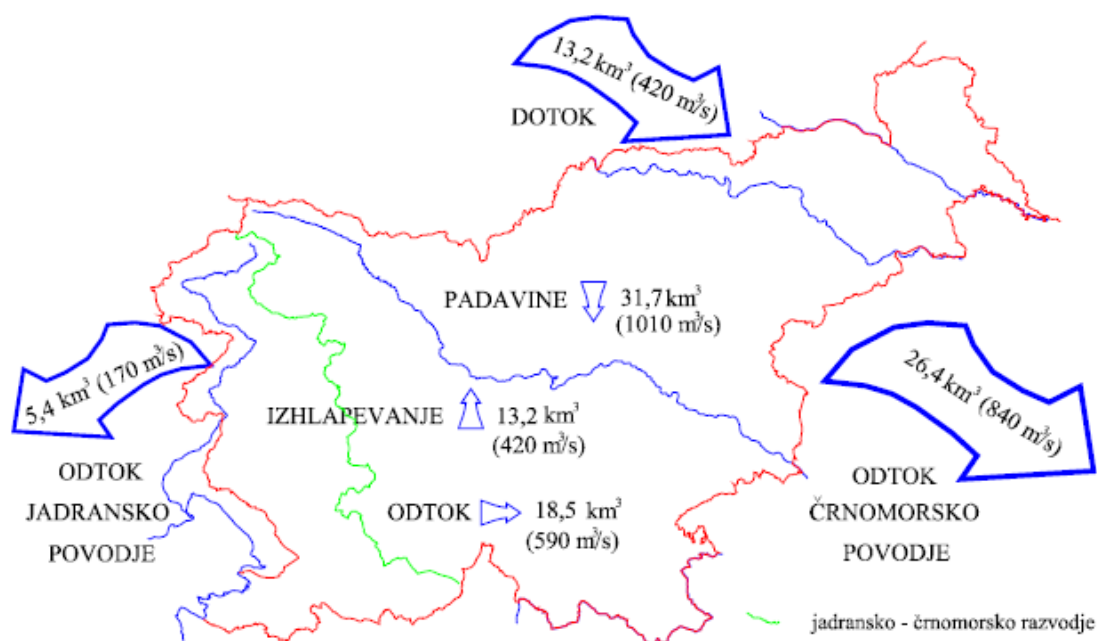
### **2.2.1 Tekoče vode v Sloveniji**

Ozemlje Slovenije ima pozitivno letno vodno bilanco, kar pomeni, da prejema s padavinami in dotokom več vode, kot je porabi. Ta presežek odteče po površju in oblikuje rečno mrežo.

Po Zakonu o vodah (Uradni list RS, št. 67/02 in 57/08) so tekoče vode 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 zajezitve ali ureditve. Reka pa je po splošni definiciji velik vodotok, ki je naravni odvodnik porečja (Mikoš in sod., 2002).

Interni odtok z ozemlja Slovenije, ki ne vključuje tranzitnih voda, je ocenjen na 590 m<sup>3</sup>/s (specifični odtok je 29 l/s na km<sup>2</sup>). Celotni odtok Slovenije (slika 4) znaša približno 1000 m<sup>3</sup>/s, od tega dobrih 400 m<sup>3</sup>/s priteče iz sosednjih držav, večinoma iz Avstrije (Drava, Mura). Znotraj svetovnega kroženja vode se skozi lokalni krog naše dežele pretaka nadpovprečno veliko vode, saj ob tem, da zavzema Slovenija samo dve tisočini površja Evrope, prispeva skoraj 1 % k celotnemu odtoku celine (Bat in sod., 2003).

Podrobno je rečna mreža Slovenije uradno prikazana na kartah z natančnostjo od 1 : 5.000 do 1 : 25.000 (Geodetska uprava RS). Na tej podlagi ocenjujemo, da znaša dolžina vodotokov, med katere so všteti tudi kopani kanali in večji melioracijski jarki, okoli 28.000 km (1,4 km/km<sup>2</sup>; EWN-Si, Kataster vodotokov ARSO). Od tega pa je vsaj 16.000 km takih, ki so vsaj občasno brez vode (prav tam).



Slika 4: Vodna bilanca Slovenije za obdobje 1961 – 90 (Kolbezen in Pristov, 1998)

Rečna mreža pa ni po vsej Sloveniji enako gosta. Razlike so posledica predvsem **hidrogeoloških** in ne toliko podnebnih razmer. Redko rečno mrežo ima dinarska Slovenija. Brez nje so na primer visoke kraške planote, ki spadajo med najbolj namočena območja Slovenije. Te pokrajine imajo velik vodnobilančni presežek, ki kot podzemna (kraška) voda odteka proti njihovem obrobju, kjer napaja izdatne kraške izvire. Podobne razmere najdemo tudi v kraškem alpskem svetu, le da tu območja brez rečne mreže niso tako prostrana. Redko rečno mrežo imajo tudi osrednji deli prodnih polj z globoko podzemno vodo (npr. Kranjsko, Sorško in Ljubljansko polje v Ljubljanski kotlini ter Dravsko in Ptujsko polje). Na neprepustnih in slabo prepustnih kamninah je rečna mreža povsod po Sloveniji gosta (Bat in sod., 2003).

### 2.2.2 Stoječe vode v Sloveniji

Ko govorimo o stoječih površinskih vodah, večina ljudi takoj pomisli na jezera, ki jih pri nas delimo na stalna, presihajoča in umetna. Vendar med stoječe vode spadajo tudi visoka in nizka barja, ribniki, mlake, močvirja, mokrišča, umetne akumulacije, manjši zadrževalniki in nekatere druge ojezeritve, nastale pri umetnih posegih v okolje, ki imajo stalen ali občasen prtok ali odtok tekočih ali podzemnih voda.

Jezero je vodno telo večjega obsega znotraj kopnega (Mikoš in sod., 2002). Po Remec Rekar in Bat (2003) pa je jezero vsako naravno ali umetno vodno telo na zemeljskem površju, s površino nad 1 ha, z enakomerno višino vodne gladine in majhnim dotokom glede na skupno prostornino vode, da le-ta omogoča usedanje suspendiranih delcev in hkrati nima stalne, neposredne povezave z morjem. Po tej definiciji je v Sloveniji okoli 1300 jezer s skupno površino 68,93 km<sup>2</sup>. Stoječe vode pokrivajo le 0,3 % celotnega ozemlja Slovenije, kar jo uvršča pod Evropsko povprečje, ki je 3 % (Remec Rekar in Bat, 2003).

Stoječe vode s povečanim izhlapevanjem blagodejno vplivajo na lokalne podnebne razmere in kot zadrževalniki blažijo posledice presežka ali pomanjkanja vode. Poleg rekreativne in turistične funkcije so stoječe vode ob naraščajočem svetovnem pomanjkanju vode pomembni zadrževalniki tehnološke ali celo pitne vode (prav tam).

### 2.2.3 Podzemne vode v Sloveniji

Podzemna voda je podpovršinska voda v zasičenem območju (Mikoš in sod., 2002) ali voda, ki se ob pronicanju padavin in zatekanju ter ponikovanju površinskih voda zadržuje pod površjem ne glede na različnost pojavnih oblik. Prostornina podzemnih vod močno presega prostornino vodnih teles na površju. Izdatnost in prepustnost vodonosnikov, ki predstavljajo podzemne rezervoarje podzemne vode, zelo niha in je odvisna od narave kamnine ali sedimenta, v katerem se nahaja voda (Čehić, 2007).

Na večjih globinah, povprečno med 20 in 25 m pod površjem, se podzemna voda v Sloveniji nahaja v vodonosnikih Ljubljanske kotline, v dolini Kamniške Bistrice in ponekod v Vipavski

dolini. Najplitvejše pa so gladine podzemne vode na Apaškem, Murskem in Prekmurskem polju. Glede rezervnega potenciala podzemne vode je Slovenija dokaj bogata, toda z zelo neenakomerno prostorsko razporeditvijo, kar je pogojeno s hidrogeološko značilnostjo terena. Približno dve tretjini zalog se nahajata v njenem osrednjem delu – porečju Save. Z najmanjšimi zalogami pa izstopata skrajni severovzhod države (porečje Mure) s pretežno medzrnsko poroznostjo in skrajni jugozahod države (obalno območje) s pretežno kraško razpoklinsko poroznostjo (Čehić, 2007).

#### 2.2.4 Slovensko morje

Slovensko morje je del Tržaškega zaliva v Jadranskem morju. Z morske strani ga omejuje črta Savudrija–Gradež (Grado v Italiji), dolga približno 21 km, in določa njegovo površino na 551 km<sup>2</sup> (Radinja, 1990 cit. po Rejec Brancelj, 2003). Približno tretjino vse površine zavzema slovenski del. Na osrednji, odprti del zaliva, odpadejo štiri petine in le ena petina na notranji, priobalni del. V splošnem je za Tržaški zaliv značilno zmanjševanje njegove površine zaradi dveh procesov (Rejec Brancelj, 2003): (1) nasipavanja rek in (2) spreminjanja priobalnih ravníc zaradi človekovega delovanja.

Pomembna značilnost slovenskega morja je njegova plitvost, ki povzroča njegove kontinentalne poteze – hitro segrevanje in ohlajanje ter ekološko občutljivost. Tržaški zaliv ima povprečno globino 18,7 m. Tudi v slovenskem delu so globine zelo majhne. Dvajsetmeterska izobata deli zaliv na zunanji del z globinami 20 m in več ter notranji del z globinami do 10 m.

Obala je zelo razčlenjena, na njej se izmenjujeta dva tipa obale (Rejec Brancelj, 2003): (1) obsežnejše akumulacijske ravnice in (2) strma, težko dostopna obala s klifi. Zaledje slovenskega morja imenujemo Koprsko Primorje. Njegova površina obsega 326 km<sup>2</sup> in povprečna nadmorska višina znaša 179 m. Najpomembnejši vodotoki tega območja so: Rižana, Badaševica, Drnica in Dragonja.

## 2.3 Slovenska zakonodaja na področju voda

S pravnega vidika se področja urejanja voda v Sloveniji dotikajo štiri osnovni zakoni: *Zakon o varstvu okolja* (Uradni list RS, št. 39/06 in 70/08), *Zakon o vodah* (Uradni list RS, št. 67/02 in 57/08), *Zakon o kemikalijah* (Uradni list RS, št. 110/03 in 16/08) in *Zakon o ohranjanju narave* (Uradni list RS, št. 96/04). Ti zakoni naj bi – skupaj s številnimi podzakonskimi in izvršilnimi predpisi – v luči novih dognanj o soodvisnosti človeka in narave in vsak po načelih svojih pristojnosti uredili najpomembnejše vsebine, ki se nanašajo na stanje celotnega vodnega okolja v državi.

Temeljna načela pravne ureditve voda izhajajo iz potrebe po zagotovitvi celovitosti upravljanja vodnih sistemov. Varovanje voda, vodnih in obvodnih ekosistemov pred pretiranimi človekovimi posegi v vode z namenom, da se zavaruje pred njihovimi škodljivimi učinki, naj bi značilno prispevalo k tistemu, čemur danes pravimo sonaraven in uravnotežen razvoj. Upoštevajoč načelo sonaravnega razvoja se *Zakon o vodah* umešča v splošni okvir *Zakona o varstvu okolja* (Čehić, 2007).

### 2.3.1 Zakon o vodah

Ta zakon ureja upravljanje z morjem, celinskimi in podzemnimi vodami ter vodnimi in priobalnimi zemljišči. Upravljanje z vodami ter vodnimi in priobalnimi zemljišči obsega varstvo voda, urejanje voda in odločanje o rabi voda. Ta zakon ureja tudi javno dobro in javne službe na področju voda, vodne objekte in naprave ter druga vprašanja, povezana z vodami. (Zakon o vodah, Uradni list RS, št. 67/02 in 57/08).

Zakon o vodah tudi z gospodarsko-okoljskih vidikov v razvitih državah sveta in z vidika prilagajanja pravnemu področju Evropske unije sledi načelom sonaravnega razvoja in je temeljni pravni instrument uresničevanja le-teh pri upravljanju vodnih virov. Pomembnejše direktive Evropske unije (EU) s tega področja so na primer *Direktiva o čiščenju komunalne odpadne vode* iz leta 1991 oziroma 1998 (angl. Urban Wastewater Treatment Directive), *Nitratna direktiva* oziroma *Direktiva o varstvu voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijskih virov* iz leta 1991 (angl. Directive on Nitrates from Agricultural Sources), *Direktive*

---

*o pesticidih, Direktiva o celovitem preprečevanju in nadzorovanju onesnaževanja IPPC iz leta 2008 (angl. Integrated Pollution Prevention and Control) ipd. in predvsem krovna vodna direktiva (angl. Water Framework Directive) – Direktiva o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike (2000).*

Zakon o vodah ureja celovito gospodarjenje z vodami, ki v tem okviru zajema vrsto aktivnosti, odločitev in ukrepov, ki zadevajo (Čehić, 2007):

- vzdrževanje, izboljšanje in doseganje celotnosti vodnega režima nekega območja in s tem urejanje odtočnih razmer zaradi ohranjanja in povečevanja vodnih količin;
- zagotavljanje potrebnih količin vode ustrezne kakovosti za človeka, naravne ekosisteme in različne dejavnosti;
- ohranjanje ali izboljšanje ekoloških lastnosti vodotokov, jezer in morja s pripadajočimi vodnimi in obvodnimi površinami in hkrati preprečevanje poslabševanja oz. izboljšanje kemijskega stanja vseh voda;
- varstvo od voda odvisnih ekosistemov;
- rabo voda, vodnega in obvodnega prostora;
- urejanje vodotokov in drugih voda ter varstvo pred škodljivim delovanjem voda.

Zakon nadalje:

- določa javno dobro in javne službe na področju voda,
- ureja vodne objekte in naprave,
- uvaja institut vodnega dovoljenja in koncesije skladno s predvidenim namenom,
- uvaja ekološke kriterije tako na ravni načrtovanja upravljanja z vodami kot tudi v konkretnih postopkih odločanja o posameznih posegih v vode.

Eno od osnovnih vodil, ki ga pri upravljanju voda določa Zakon o vodah, izhaja pa iz njegove usklajenosti z evropsko vodno direktivo, je, da se kot osnova za upravljanje voda uveljavlja **hidrološko zaključeno območje – porečje oziroma povodje** (to je zaokrožena hidrografska in gospodarska celota) – in ne upravna teritorialna enota. Slednje je zaradi dinamike in drugih naravnih značilnosti voda, saj je na ta način zajet celotni vodni krog nekega območja, vključujoč vse oblike odtoka in dotoka ter vodo v vseh njenih pojavnih oblikah.



Vodna direktiva ponuja državam članicam EU pravne in strokovne napotke za skupno upravljanje čezmejnih vodotokov, vodonosnikov in morja. Načela vodne direktive zadevajo tudi nacionalne vodnoupjavljavske dokumente, ki morajo biti v točno določenih vsebinah usklajeni s tistimi sosednjih držav in izdelani po hidrografskih območjih, ki pripadajo skupnemu mednarodnemu povodju. V Sloveniji sta to povodji Jadranskega in Črnega morja, Zakon o vodah pa ti dve območji poimenuje, kot bomo videli v nadaljevanju, **Vodno območje Donave** in **Vodno območje Jadranskega morja** (Čehić, 2007).

Zaradi varstva voda pred onesnaževanjem in varstva vodnih količin zakon določa več vrst varstvenih območij, in sicer: vodovarstvena območja (za oskrbo s pitno vodo ali za izkoriščanje pitne ali mineralne vode za polnjenje), evtrofična območja, območja kopalnih voda in ogrožena območja (npr. poplavna, erozijska, hudourniška območja itd.), na katerih predpisuje poseben pravni režim glede opravljanja dejavnosti in nekaterih drugih aktivnosti. *Zakon o vodah* se umešča v splošni okvir *Zakona o varstvu okolja*.

### 2.3.2 Zakon o varstvu okolja

Ta zakon ureja varstvo okolja pred obremenjevanjem kot temeljni pogoj za trajnostni razvoj in v tem okviru določa temeljna načela varstva okolja, ukrepe varstva okolja, spremljanje stanja okolja in informacije o okolju, ekonomske in finančne instrumente varstva okolja, javne službe varstva okolja in druga z varstvom okolja povezana vprašanja. Namen zakona je spodbujanje in usmerjanje takšnega družbenega razvoja, ki omogoča dolgoročne pogoje za človekovo zdravje, počutje in kakovost njegovega življenja ter ohranjanje biotske raznovrstnosti (Zakon o varstvu okolja, Uradni list RS, št. 39/06 in 70/08). Ker je okolje po zakonu tisti del narave, kamor seže ali bi lahko segel vpliv človekovega delovanja, spada področje voda pod okvir tega zakona, saj je tudi voda del okolja.

Hidrološki monitoring, kot ga obravnava dotični zakon, obsega meritve in ocenjevanje količinskega stanja voda, ugotavljanje hidroloških značilnosti vodnih območij in vodnih teles, vodne bilance ter spremljanje, analiziranje in napovedovanje hidroloških sprememb na vseh elementih hidrološkega cikla na vodah. Naloge hidrološkega monitoringa so zlasti (Zakon o varstvu okolja, Uradni list RS, št. 39/06 in 70/08):

- upravljanje in vzdrževanje državne mreže hidroloških postaj,
- izvajanje meritev, zbiranje in obdelovanje podatkov, ocenjevanje količinskega stanja voda ter proučevanje hidroloških pojavov na državni mreži hidroloških postaj,
- spremljanje hidroloških razmer in pripravljanje ter posredovanje hidroloških prognoz,
- spremljanje poplav in hudournih voda,
- vzpostavitev, vodenje in vzdrževanje zbirk podatkov monitoringa in hidrološkega informacijskega sistema,
- priprava vodnih bilanc in ocen vodnih virov,
- objavljanje hidroloških podatkov in rezultatov hidroloških študij in
- izvrševanje mednarodnih obveznosti države s področja hidrološkega monitoringa in hidrološkega prognoziranja ter obveščanja.

Ko govorimo o obremenjevanju voda na ozemlju Republike Slovenije, govorimo tudi o onesnaževanju voda, ki se prostorsko in časovno pojavlja v različnem obsegu. *Zakon o varstvu okolja*, kot rečeno, določa obvezo spremljanja stanja voda v naravnem okolju (imisijski monitoring). Namen izvajanja programa državnega monitoringa voda je sistematično spremljanje dejanskega stanja kakovosti vodnih virov. Glede na potrebe, izkušnje, dejanske možnosti izvedbe in zahteve nacionalnih in evropskih ter drugih mednarodnih dokumentov, so se sčasoma nenehno razvijali obseg in vrste nadzora. Danes imajo poseben vpliv evropski normativni dokumenti, zlasti **krovná evropska vodna direktiva** iz leta 2000. Z uveljavitvijo te direktive, ki določa okvir za delovanje Skupnosti na področju vodne politike, se uvaja posodobljena, celovita in učinkovita obravnava kemijskega in ekološkega spremljanja stanja voda. Agencija RS za okolje v sodelovanju z drugimi inštitucijami izvaja imisijski monitoring kakovosti voda v skladu z Zakonom o varstvu okolja in podzakonskimi akti, usklajenimi z omenjeno direktivo in drugimi evropskimi področnimi predpisi (Čehić, 2007).

Kakovost vode v rekah se ocenjuje na osnovi strokovno analiziranih vzorcev vode. Pri oceni kakovosti so upoštevana merila, ki jih določajo veljavni vodni predpisi. Poleg nacionalnih predpisov se upoštevajo tudi tuja merila, predvsem smernice Evropske unije in nekaterih

---

mednarodnih organizacij (npr. priporočila za pitno vodo Svetovne zdravstvene organizacije – WHO (angl. World Health Organization)).

### 2.3.3 Zakon o ohranjanju narave

Zakon določa ukrepe ohranjanja biotske raznovrstnosti in sistem varstva naravnih vrednot z namenom prispevati k ohranjanju narave. Ukrepi ohranjanja biotske raznovrstnosti so ukrepi, s katerimi se ureja varstvo prosto živečih rastlinskih in živalskih vrst, vključno z njihovim genskim materialom in habitati ter ekosistemi, in omogoča trajnostno rabo sestavin biotske raznovrstnosti ter zagotavlja ohranjanje naravnega ravnovesja. Sistem varstva naravnih vrednot je sistem, ki določa postopke in načine podeljevanja statusa naravnih vrednot ter izvajanje njihovega varstva (Zakon o ohranjanju narave, Uradni list RS, št. 96/04).

Zakon o ohranjanju narave določa ožja in širša zavarovana območja. Ta zemljišča zavarovanih in vodovarstvenih območij imajo naravne vrednote, ki jih je potrebno zavarovati pred procesi, ki bi jih lahko uničili ali bistveno ogrozili njihove osnovne značilnosti in funkcijo. Te vrednote, če se osredotočimo na vode, so lahko (Vodnogospodarska osnova območja Drave, 2000, cit. po Vovk Korže in Bricelj, 2004):

- redke in dragocene naravne pojavne oblike voda,
- vredne sestavine naravnega vodnega okolja,
- naravna območja ali deli naravnih območij v vodnem okolju,
- dragocene živalske in rastlinske združbe in njihovi ekosistemi in
- deli naravne ali kulturne krajine, ali objekti oblikovane narave, ki so pomemben sestavni del vodnega okolja. Na njih se nahajajo obnovljivi ali neobnovljivi vodni viri, pomembni za oskrbo prebivalstva ali živali s pitno vodo ali viri pomembni za pokrivanje drugih potreb po vodi, katerih zadovoljevanje je v splošnem interesu.

### 2.3.4 Zakon o kemikalijah

Ta zakon ureja promet s kemikalijami, določa ukrepe za varovanje zdravja ljudi in okolja pred škodljivimi učinki kemikalij in predpisuje obveznosti in postopke, ki jih morajo izpolnjevati

pravne in fizične osebe, ki v Republiki Sloveniji proizvajajo kemikalije, z njimi opravljajo promet ali jih uporabljajo. Določbe tega zakona se uporabljajo tudi za biocidne pripravke, ne glede na to, ali jih je mogoče opredeliti kot kemikalije v skladu z 2. členom tega zakona (Zakon o kemikalijah, Uradni list RS, št. 110/03 in 16/08).

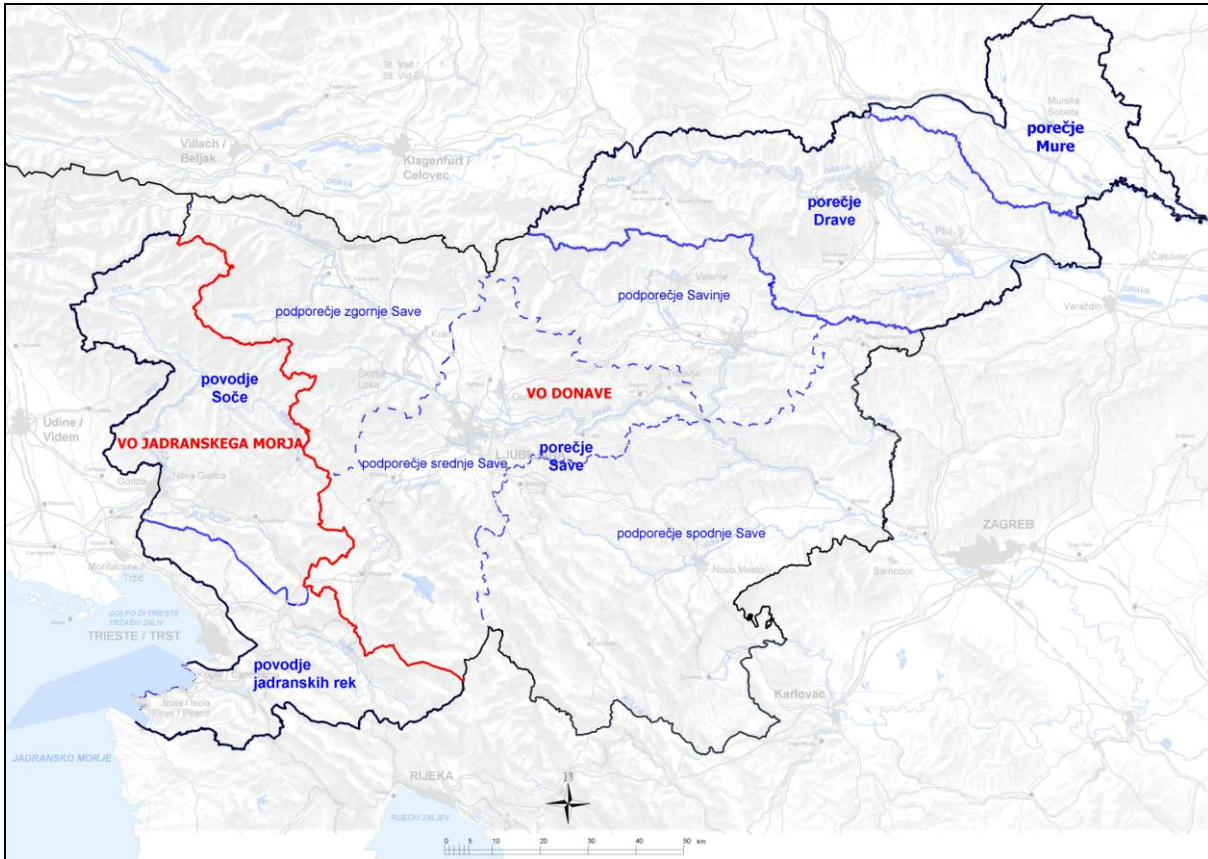
Za uskladitev programov monitoringa voda in povezavo baz podatkov je Medresorska komisija za kemijsko varnost, ki je pristojna za usklajevanja dela pristojnih ministrstev pri izvajanju državne politike, programov in ukrepov na podlagi omenjenega zakona in drugih predpisov v zvezi s kemikalijami ter za zagotavljanje skladnega in celovitega razvoja kemijske varnosti na državni ravni, dne 21. 12. 2005, ustanovila še Medresorski odbor za koordinacijo monitoringa onesnaževanja voda s kemikalijami. Glavna naloga odbora je sprejeti odločitve glede organizacijskih, strokovnih, tehničnih, zakonodajnih in drugih izboljšav, ki jih je treba izvesti, da bodo obstoječi programi monitoringa vode medsebojno usklajeni, baze podatkov, ki jih v zvezi s tem vodijo različni resorji, pa povezane. Cilj uskladitve programov monitoringa in povezave baz podatkov je tudi izboljšati kakovost in skladnost podatkov o onesnaženju virov pitne vode (podtalnice in površinskih voda) ter pitne vode tako, da bodo ti podatki uporabni za izvedbo ocen tveganja ter sprejem odločitev o ukrepih za zmanjševanje tveganja (MZRS, 2009).

## **2.4 Hidrogeografska delitev Slovenije**

Za izvajanje programa upravljanja z vodami in načrtov upravljanja z vodami se na območju Republike Slovenije določita osnovni hidrogeografski enoti – vodno območje Donave ter vodno območje Jadranskega morja (slika 5). Delitev se opravi z namenom zagotavljanja celovitega upravljanja z vodami, ob upoštevanju hidrografskih značilnosti, enotnosti in povezanosti vodnega režima na območju Republike Slovenije.

Vodnemu območju Donave pripada 81 % ozemlja Slovenije ali 16.423 km<sup>2</sup>, vodnemu območju Jadranskega morja pa le 19 % ali 3851 km<sup>2</sup>. V geološkem obdobju, v katerem živimo, je jadransko-črnomska razvodnica na ozemlju Slovenije zelo blizu Jadrana. Večji del poteka po vodoprepustnih kamninah in je niti s sledenji podzemnih voda povsem zanesljivo ne moremo določiti. Z obsežnih kraških območij (npr. Trnovski gozd, Hrušica,

Snežnik) se kraške vode v odvisnosti od hidroloških (vodnih) razmer raztekajo enkrat bolj na eno in drugič na drugo stran (Habič, 1989a; Habič, 1989b; Novak, 1991, cit. po Bat in sod., 2003).



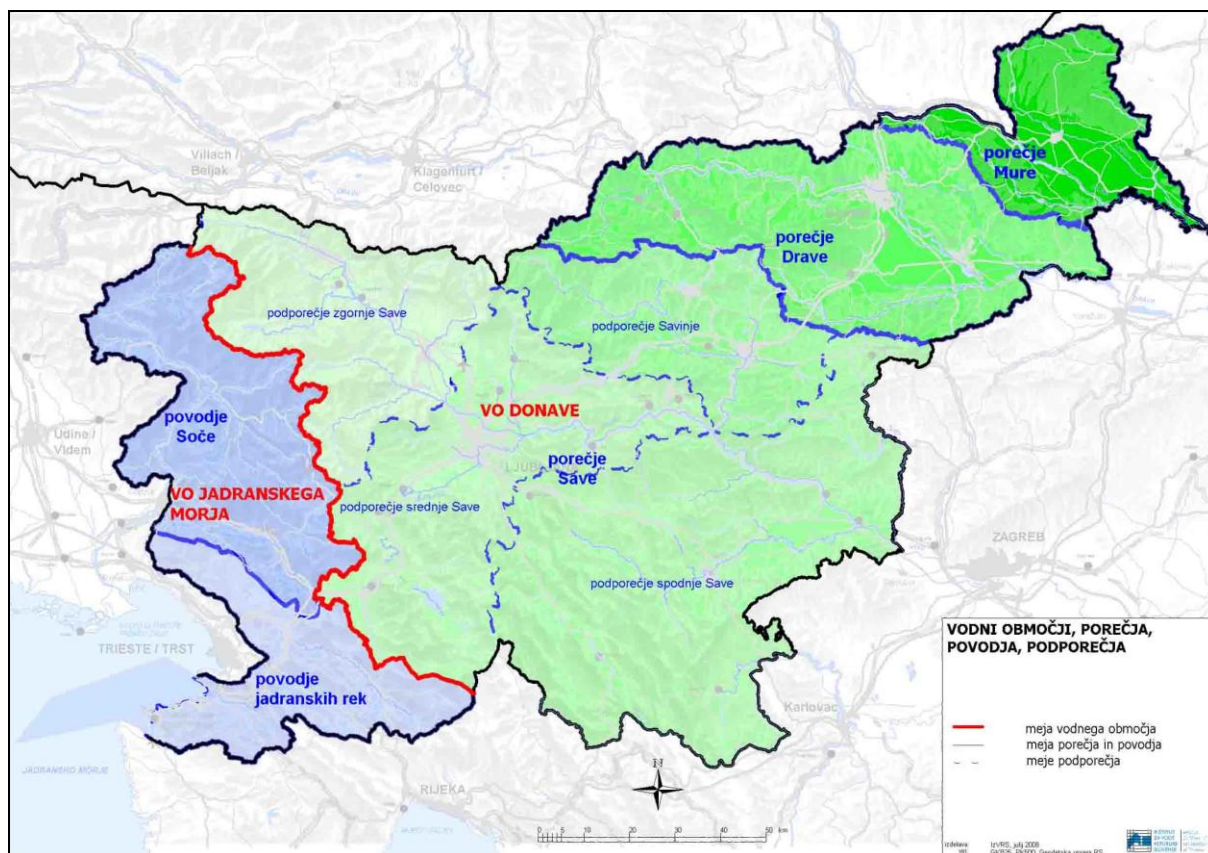
Slika 5: Delitev na vodno območje Donave in vodno območje Jadranskega morja (Inštitut za Vode RS – IzVRS, 2009)

#### 2.4.1 Delitev na porečja in povodja

Osnovni hidrogeografski enoti delimo po osrednjih rekah na (Zakon o vodah, Uradni list RS, št. 67/02 in 57/08):

- porečje Mure,
- porečje Drave,
- porečje Save,
- povodje Soče in
- povodje Jadranskih rek z morjem.

Povodja in porečja so teritorialne podlage za upravljanje z vodami (slika 6).



Slika 6: Delitev na porečja in povodja (IzVRS, 2009)

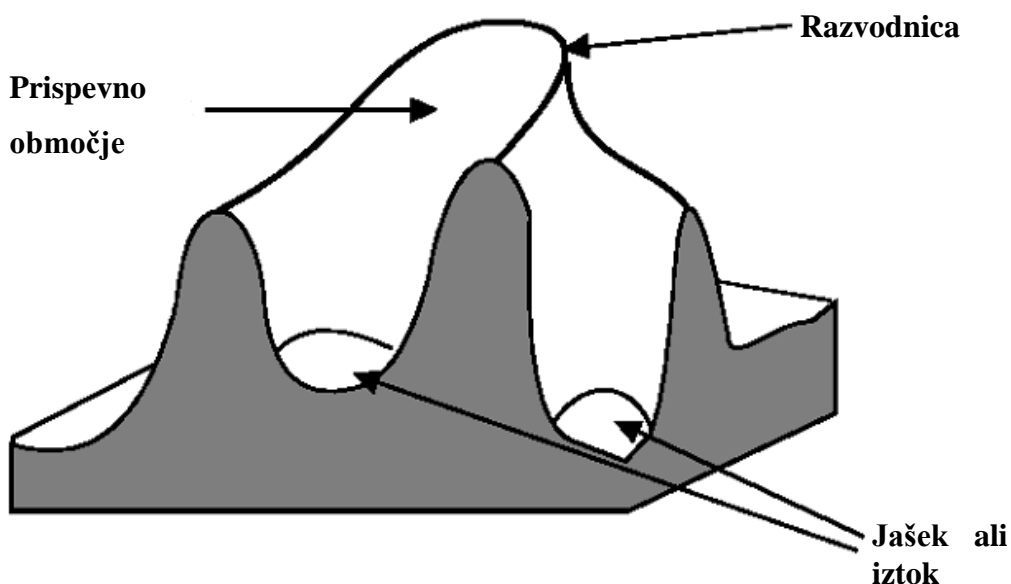
#### 2.4.2 Delitev na razvodja in prispevna območja

Za nekatere vrste okoljskih analiz, kot so npr. hidrološki modeli, je treba povodja podrobneje deliti na prispevne površine oz. prispevna območja. Pri tem je treba poznati poti vode, predvsem odtekanje padavin proti večjim vodnim telesom.

Padavine pronicajo skozi tla, izhlapijo ali stečejo po površju v vodne tokove. Odvajanje vode po površju je proces, pri katerem se voda giblje od točke na površju, na katero pade kot padavina, naprej in navzdol po pokrajini, kjer se združuje v potoke, reke in končno priteče v morje. Namočenost površine je odvisna od njene oblike. Grebeni so manj namočeni, medtem ko so doline praviloma bolj. Oblika površine tudi narekuje smer toka vode po površju, hkrati pa tok s svojo erozivno močjo kroji njeno obliko. Obstaja intimno razmerje med površino in

rečno mrežo na njej. Pri modeliranju sistemov površinskih voda si pomagamo z razvodnicami. V hidrološkem izrazju (Mikoš in sod., 2002) je razvodnica opredeljena kot greben ali mejna črta med sosednjima prispevnima površinama, prispevno območje pa kot območje, ki ima skupen iztok lastnih površinskih voda.

Kot je vidno na sliki 7, je prispevno območje topografsko območje, s katerega vsa voda odteče proti eni sami točki, ki se imenuje jašek ali iztok (Sathyamoorthy, 2008). Razvodnica pa je topografska ovira, ki deli prispevna območja med sabo (Monkhouse, 1965; Band, 1986; Rodriguez-Iturbe, Rinaldo, 1997; Subramanya, 2006, cit. po Sathyamoorthy, 2008).

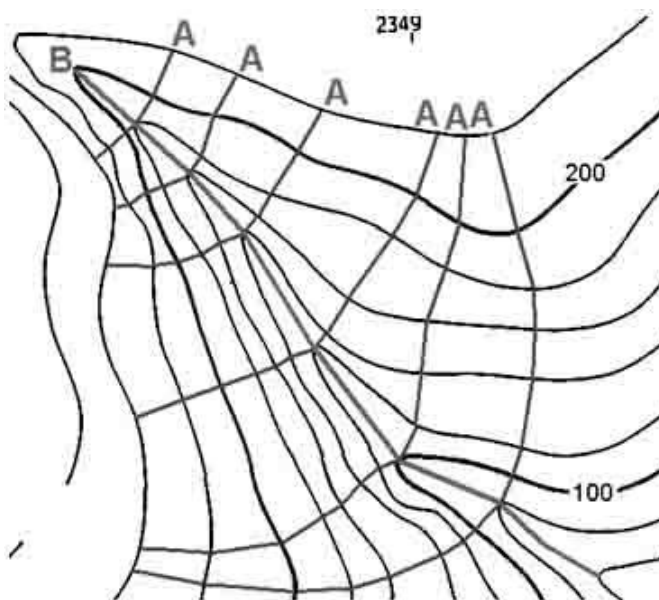


Slika 7: Razvodnica, prispevno območje in iztok (Sathyamoorthy, 2001)

Razvodnice so pomembna geomorfološka značilnost, saj imajo pomembno vlogo pri hidrološkem modeliranju. Veliko hidrogeoloških procesov, kot so erozija tal, premikanje zemeljskih mas, transport sedimentov in spremembe v pokrovnosti tal, je močno povezanih s to entiteto, ki je odvisna tudi in predvsem od reliefa, topografije.

Način določanja razvodnic je odvisen od topografskih podatkov oziroma modelov površja, ki so na voljo, saj so slednji ključni vhodni podatki za modeliranje površinskih vodnih tokov. Tradicionalno so bile razvodnice izpeljane ročno iz topografskih kart, kar pa je bilo zelo

zamudno delo. Prva, ki sta na področju hidrologije uporabila topografsko prilagojene elemente, določene na podlagi načrta plastnic, sta bila Onstad in Brakensiek (1968, cit. po Petkovšek, 2001). Meje prispevnih površin, tj. razvodnice, določimo po omenjenem postopku tako, da sledimo črtam največjih nagibov (Petkovšek, 2001). Glede na smer, v kateri iščemo največje nagibe, ločimo dva tipa črt največjih nagibov: črte oziroma linije največjih padcev (angl. *downslope steepest slope lines*) in črte oziroma linije največjih vzponov (angl. *upslope steepest slope lines*). Prve so identične tokovnim potem (angl. *flow paths*) in se cepijo na grebenih ter združujejo v dnu dolin. Druge pa se cepijo v dnu dolin in združujejo na grebenih (slika 8). Na ta način dobimo informacijo o grebenih in jih zato uporabljamo pri določanju razvodnic.



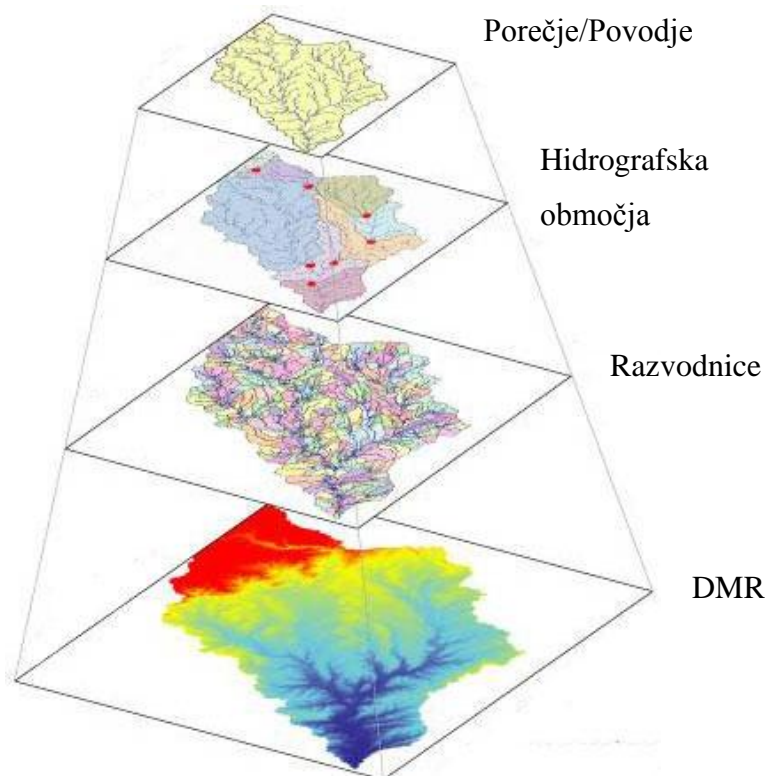
Slika 8: Črte največjih vzponov (A) in padcev (A in B) v dnu doline (Petkovšek, 2001)

V zadnjem času so se tehnike določevanja razvodnic razvijale iz ročnih, preko računalniških, do bolj ali manj avtomatiziranih. Digitalni modeli površja omogočajo avtomatsko določanje razvodnic na območjih, kjer so meje povodja odvisne od površja, t.j. na nekraških območjih (Petkovšek, 2001); pogosto so uporabljeni pri hidrološkem modeliranju in določevanju značilnosti razvodnic zaradi enostavne podatkovne strukture in vsesplošne dostopnosti. Digitalni modeli višin so v svoji najenostavnejši obliki največkrat zapisani v obliki pravilne celične mreže, kjer vsaka celica predstavlja nadmorsko ali glede na drugo referenčno ploskev



višino površja. Z določanjem toka iz celic v celice lahko določimo skupine celic, katerih tok teče skozi posamezno celico in tako določimo prispevno površino.

Razvodnice torej predstavljajo osnovno delitev na prispevna območja in so določene s trdnimi fizikalnimi pravili. Z namenom različnih hidroloških potreb pa lahko prispevna območja, določena z razvodnicami, razvodja, združujemo v večja **hidrografska območja** oz. določamo različno velika prispevna območja. Kako združujemo razvodja oziroma kako delimo površje na posamezna hidrografska območja, je odvisno od vrste analiz, ki jih izvajamo, in jih lahko na primer, omejimo do posamezne točke na rečni mreži, do posamezne merilne postaje ali do določenega vodnega telesa. **Porečja in povodja** so pri tem niz administrativno izbranih območij, ki delijo regijo z namenom smotrnega upravljanja z vodami (slika 9). Navadno so poimenovana po glavnih rekah območja in so referenčne enote shranjevanja podatkov (Olivera in sod., 2002).



Slika 9: Stopnje prikazovanja prispevnih območij (Maidment, 2002)

## 2.5 Onesnaževanje voda

Fizikalne in kemijske značilnosti vode, suspendiranih snovi in sedimenta v rekah so odraz litološke zgradbe območja, po katerem se voda pretaka. V neonesnaženi vodi so prisotne raztopljene snovi, katerih sestava je torej odvisna od kamnin, po katerih se voda pretaka. Človek pa zaradi svojih dejavnosti v vode spušča tudi snovi, ki se v naravnih okoliščinah v vodi ne nahajajo ali pa so prisotne v zelo nizkih vsebnostih. Ta pojav imenujemo onesnaževanje.

Organska masa iz odpadnih voda se ob prisotnosti vodnih mikroorganizmov, svetlobe, primerne temperature in kisika lahko razgradi v anorgansko snov. Ta izjemno pomemben proces razgradnje onesnaževal v vodi imenujemo **samočistilna sposobnost vodotoka**. Manjše količine organske mase se razgradijo v vodi brez večjega vpliva na poslabšanje kakovosti vode. Kadar pa količina organske mase preseže samočistilno sposobnost vodotoka, se njegova kakovost poslabša (Bat in sod., 2003). Onesnaženja površinskih in podzemnih voda izvirajo predvsem iz **točkovnih virov** (izpusti industrijskih in komunalnih odpadnih voda) in spiranja urbaniziranih površin. Industrija nosi največji del odgovornosti za onesnaževanje s težkimi kovinami in organskimi snovmi.

Poleg točkovnih imajo v procesih onesnaževanja voda značilen vpliv tudi **razpršeni viri**, med katere štejemo (Čehić, 2007):

- intenzivno poljedelstvo in živinorejo, ki zasedata poglavitno mesto. Med pomembnejše onesnaževalce sodita predvsem zaradi uporabe čezmernih količin mineralnih gnojil, neustrezne in nenadzorovane uporabe sredstev za varstvo rastlin (intenzivno poljedelstvo je odgovorno za pretežen del onesnaženosti podzemnih voda z nitrati, fosfati in pesticidi), živinorejske farme pa so odgovorne zaradi neustreznega ravnanja z nastalimi odpadnimi vodami oz. onesnaževanja z organskimi snovmi in amonijevimi spojinami;
- intenzivno ribogojništvo, ki običajno izkorišča in tudi obremenjuje povirne dele rek;
- promet, ki onesnažuje tudi s težkimi kovinami;
- del industrije in

- razpršeno poseljenost zaradi neurejenega ravnanja z odpadnimi vodami.

Posredno obremenitev predstavljajo tudi zbiralniki oz. akumulacije hidroelektrarn, ko v obdobjih nizkih pretokov in povišanih temperatur dotok večjih količin hranilnih snovi (zlasti fosfatov in nitratov) pospešuje proces eutrofikacije ali drugače bistveno spreminja obstoječa razmerja vodnih in obvodnih ekosistemov.

Antropogenim dejavnikom se v spreminjanju podobe vodnega okolja občasno pridružijo tudi naravni rušilni pojavi kot so poplave, ki so eden izmed prevladujočih naravnogeografskih preoblikovalcev pokrajine.

## 2.6 Dostopnost do podatkov

Za namene ocenjevanja stanja vodnega okolja in določitve ravni sonaravnega ravnanja z njim potrebujemo učinkovit informacijski sistem. Informacije o vodah Slovenije so v interesu javnosti, strokovnjakov, upravnih delavcev, politikov in različnih mednarodnih institucij in morajo biti lahko dostopne, zanesljive in primerne za več namenov. Dostop do pravočasnih, ciljnih, kakovostnih in merljivih podatkov je ključnega pomena pri analizah vodnega okolja, poročanju o stanju voda in za načrtovanje upravljanja z vodami za državni in evropski nivo, kot ga predpisuje Direktiva 2000/60/ES Evropskega parlamenta in Sveta, ki določa okvir za delovanje Skupnosti na področju vodne politike, Vodna direktiva (Globevnik in Vidmar, 2004).

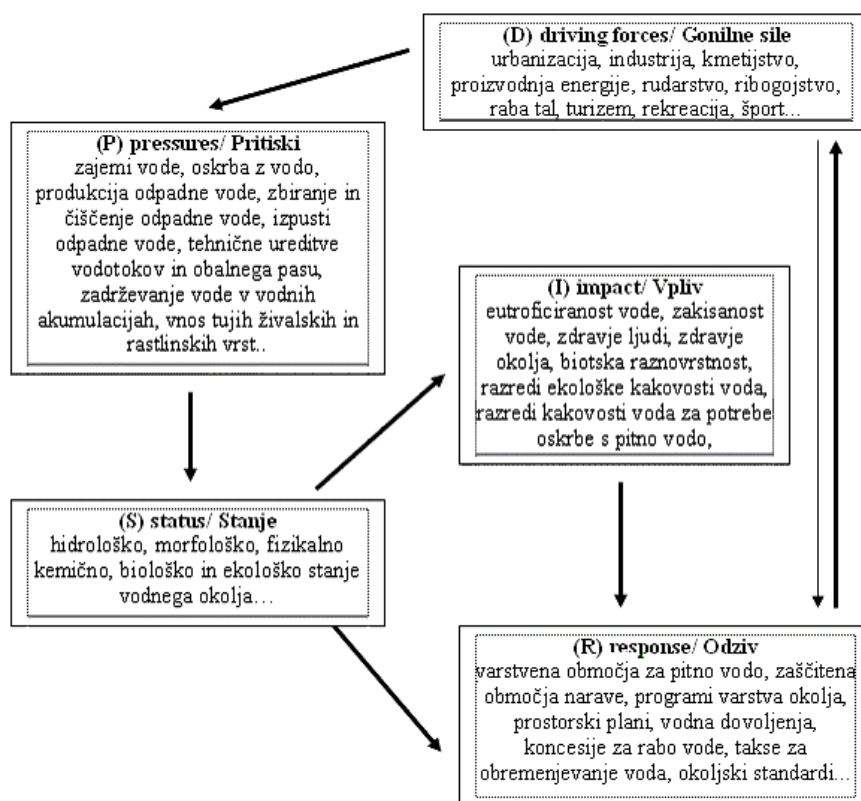
Podatke o stanju vodnega okolja je Slovenija dolžna zbrati tudi zato, da jih na osnovi obveznosti, ki izhajajo iz zakonodaje EU in delovnega programa Evropske okoljske agencije EEA (angl. European Environment Agency), in na osnovi obveznosti do Statistične pisarne Evropske Komisije (Eurostata) in drugih mednarodnih pogodb posreduje mednarodnim ustanovam in omogoča izmenjavo podatkov z drugimi državami.

Načrtovanje rabe vodnih virov in varstva voda je osnovano na podatkih o hidroloških, kemičnih in ekoloških lastnostih vode ter na informacijah o vplivih obremenitev (raba vode in dejavnosti v vodnem prostoru, onesnaževanje voda) na vodno okolje, prihodnjih potrebah in

možnih navzkrižjih. Pri razvoju in izboru kazalnikov stanja voda je torej potrebno upoštevati **naravne danosti okolja in vpliv človekovih aktivnosti**.

Podatke pridobivamo iz različnih virov z meritvami, opazovanji, registri, katastri, statističnimi raziskavami in drugimi vrstami evidenc, zato jih je potrebno združiti in logično uskladiti do najvišje možne ravni. Njihova sporočilnost je večnamenska, od poročanja o stanju vodnega okolja nacionalnim in mednarodnim institucijam, za spremljanje učinkovitosti izvajanja evropskih direktiv, drugih pravnih predpisov, mednarodnih sporazumov, različnih nacionalnih programov, do pojasnjevanja političnih ciljev in odločitev.

Pristop Evropske unije – pri zbiranju podatkov in informacij o stanju voda in določanju mehanizmov za njihovo smotrno upravljanje – je umeščen v kontekst tako imenovanih kazalnikov **DPSIR** (angl. Driving forces, Pressure, State, Impact, Response) (Čehić, 2007), kar po slovensko pomeni: gonilne sile, pritiski, stanje, vplivi, odziv (slika 10).



Slika 10: Odnosi med moduli DPSIR in spisek možnih tem v modulih, ki se navezujejo na vode (Globevnik in Vidmar, 2004)

DPSIR predstavlja okvirni analitični model za oblikovanje informacij o stanju okolja, ki temelji na vzročno-posledični povezavi med sodelujočimi deli družbenih, ekonomskih in okoljskih sistemov.

Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO) od leta 2000 izvaja projektne naloge z namenom vzpostavitve in vzdrževanja sistema združenih in logično povezanih informacij o stanju voda, rabi vode in pritiskih nanjo, znanega kot Eurowaternet Slovenije (EWN-SI). Podatki so organizirani po sistemu DPSIR. EWN-SI izhaja iz projekta Eurowaternet (EWN), ki je v pristojnosti Evropske okoljske agencije EEA in je del skupnega sistema Waterbase (Informativni sistem o evropskih vodah). Nadaljnji razvoj sistema predvideva dodatno razpoložljivost informativnih vsebin o vodah, ki bi se odražala v vzpostavitvi tako izpopolnjenega informacijskega sistema o vodah, da bo mogoče neposredno, zanesljivo in hitro zajemanje posameznih podatkovnih vsebin, namenjenih za poročanje o stanju vodnega okolja v Sloveniji različnim institucijam doma in v tujini.

Zbiranje in podajanje statističnih podatkov o vodah v Sloveniji je v pristojnosti Statističnega urada Republike Slovenije (SURS). Zajema zbiranje, kontrolo in obdelavo podatkov, pridobljenih z izvajanjem statističnih raziskovanj. Ti so osnova za izdelavo različnih podatkovnih vsebin, ki so, logično združene v sistem statističnih relacijskih baz, informacijska podpora številnim uporabnikom pri izdelavi analiz, študij, elaboratov in kazalnikov na področju voda v državi. Statistična raziskovanja na področju voda so (Čehić, 2007):

- raziskovanje o javnem vodovodu (vprašalnik/obrazec VOD-V),
- raziskovanje o izkoriščanju voda v industriji (vprašalnik/obrazec VOD-UVI),
- raziskovanje o javni kanalizaciji (vprašalnik/obrazec VOD-K),
- raziskovanje o namakalnih in osuševalnih sistemih (vprašalnik/obrazec VOD-N).

### 3 METODE DELA IN GRADIVA

Osnovni namen naloge je bil določiti prispevna območja površinskih voda na testnem območju, predvsem za namen spremljanja in nadzorovanja kakovosti voda, vključno s spremljanjem gospodarjenja z zemljišči na prispevnem območju. Določevanje razvodnic in s tem prispevnih območij je interaktiven postopek. Kljub temu da razvodnice sledijo osnovnim fizikalnim značilnostim terena, je potrebno dobro poznavanje topografije površja in ostalih značilnosti površja. Avtomatizirani postopki dajo rezultate, ki so v veliki meri odvisni od njihove natančnosti in kakovosti vhodnih podatkov. Ob ustrezni kakovosti vhodnih podatkov lahko nudijo zadovoljivo podporo nadaljnjemu odločanju. Pri tem je treba poudariti, da je odločitev o velikosti prispevnih območij popolnoma v rokah posameznika. Površje je namreč zelo razgibano in prispevna območja so lahko velika od nekaj kvadratnih metrov do več sto kvadratnih kilometrov.

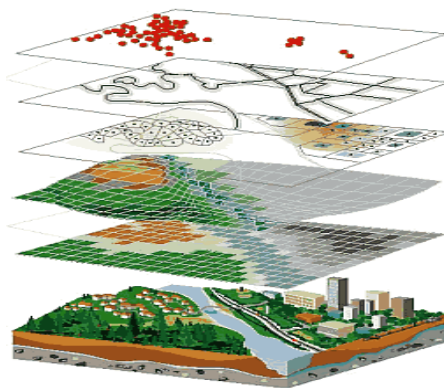
Z avtomatiziranimi postopki izdelave prispevnih območij z orodjem *Arc Hydro* v *ArcGIS* smo želeli prikazati primernost uporabe le-tega za namene določevanja prispevnih območij površinskih voda in nadalje uporabnosti dobljenih rezultatov pri okoljskih, ekoloških in hidroloških analizah, pri spremljanju pojavov in odločanju v postopkih varovanja okolja, gospodarjenja z vodnimi viri, zemljišči, urejanja prostora ipd.

#### 3.1 Geografski informacijski sistemi

Mogoče najbolj zgoščen opis geografskih informacijskih sistemov je, da omogočajo zajem, organizacijo, vzdrževanje, vizualizacijo, kombiniranje podatkov, analizo in nenazadnje tudi odločanje. GIS v osnovi sestavljajo trije sklopi, ki se med seboj prepletajo in so odvisni drug od drugega (Šumrada, 2005):

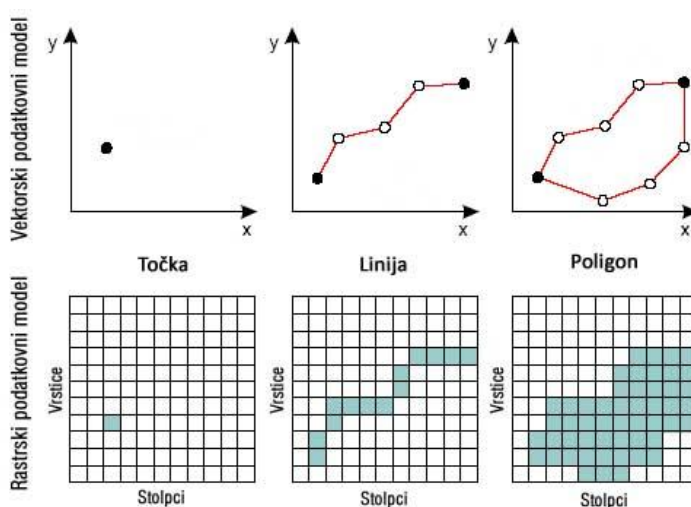
- **podatki** (lokacijski, grafični, opisni),
- **uporabniki** (strokovno osebje, razvijalci programske opreme),
- **strojna, programska in omrežna oprema** (osebni računalniki, strežniki, aplikacije).

V sodobnih sistemih GIS prevladuje tako imenovani kartografski podatkovni model, ki je izveden prevladujoče kot sestavljena relacijska baza. Je tradicionalni dvorazsežni (2D) vektorski podatkovni model baze GIS, ki izhaja iz kartografskega načina izdelave topografskih kart (slika 11). Temelji na razstavitvi vsebine topografske karte na ustrezne, po vsebini ločene, tematske plasti, imenovane podatkovni sloji (Šumrada, 2005).



Slika 11: Tematske plasti ali podatkovni sloji (NOAA, 2009)

Podatkovni sloj predstavlja niz prostorskih atributnih in grafičnih gradnikov, ki se lahko še naprej "vodoravno" razdelijo na točkovne (0D), linijske (1D) in območne (2D) – v vektorskem pristopu. V rastrski podatkovni organizaciji pa vsaka nova prostorska tematika pomeni novo rastrsko ravnino (slika 12).



Slika 12: Vektorski in rastrski podatki (IODE, 2009)

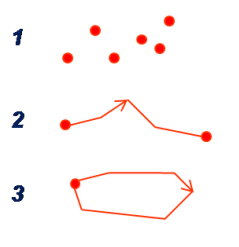
Geometrični in opisni podatki o prostorskih pojavih so navadno shranjeni ločeno. Objekt na karti je zaradi normalizacije razdeljen na številne pomenske elemente, ki so shranjeni ločeno v različnih preglednicah.

Kartografski podatkovni model je miselni in tehnološki pristop, ki je danes izveden v različnih orodjih GIS. Predstavlja izvedbeno osnovo za dvojno ali hibridno arhitekturo baz podatkov GIS – poslovno in grafično.

### 3.1.1 Struktura zapisa ESRI shape

Podatkovni zapis »shape« so razvili v podjetju ESRI (angl. Environmental Systems Research Institute), ki je v svetovnem merilu vodilno na področju tehnologije GIS. Postal je najbolj razširjena rešitev za zapis geolociranih podatkov. Zapis podatkov v obliki »shape« predstavljajo tri obvezne datoteke z istim imenom in naslednjimi končnicami (slika 13):

- **.shp** (grafični objekti),
- **.shx** (indeksi grafičnih objektov),
- **.dbf** (opisni podatki grafičnih objektov).

<b>SHP</b>	<b>SHX</b>	<b>DBF</b>																																																		
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>ID</th> <th>X<sub>min</sub></th> <th>Y<sub>min</sub></th> <th>X<sub>max</sub></th> <th>Y<sub>max</sub></th> <th>OFF SET</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>...</td> <td>...</td> <td>...</td> <td>...</td> <td>...</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>...</td> <td>...</td> <td>...</td> <td>...</td> <td>...</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>...</td> <td>...</td> <td>...</td> <td>...</td> <td>...</td> </tr> <tr> <td>...</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	ID	X <sub>min</sub>	Y <sub>min</sub>	X <sub>max</sub>	Y <sub>max</sub>	OFF SET	1	...	...	...	...	...	2	...	...	...	...	...	3	...	...	...	...	...	...						<table border="1"> <thead> <tr> <th>ID</th> <th>Att1</th> <th>Att2</th> <th>Att3...</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>...</td> <td>...</td> <td>...</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>...</td> <td>...</td> <td>...</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>...</td> <td>...</td> <td>...</td> </tr> <tr> <td>...</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	ID	Att1	Att2	Att3...	1	...	...	...	2	...	...	...	3	...	...	...	...			
ID	X <sub>min</sub>	Y <sub>min</sub>	X <sub>max</sub>	Y <sub>max</sub>	OFF SET																																															
1	...	...	...	...	...																																															
2	...	...	...	...	...																																															
3	...	...	...	...	...																																															
...																																																				
ID	Att1	Att2	Att3...																																																	
1	...	...	...																																																	
2	...	...	...																																																	
3	...	...	...																																																	
...																																																				
<ul style="list-style-type: none"> <li>• VLR (Variable Length Record)</li> <li>• Začetne / končne točke so vozlišča, vmesne točke pa lomne točke</li> <li>• Tri osnovni tipi objektov: <ul style="list-style-type: none"> <li>- točka</li> <li>- linija</li> <li>- poligon</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• FLR (Fixed Length Record)</li> <li>• Indeksna tabela – povezuje grafični del (SHP) z atributnim (DBF)</li> <li>• Ker so SHP datoteke VLR, nam OFFSET pove kje v SHP datoteki se nahaja grafika z določenim ID-jem</li> <li>• Za vsak vnos imamo zapisane meje, kje se grafika nahaja (t.i. BOX - odlično za hitro iskanje)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• FLR (Fixed Length Record)</li> <li>• Tabela z opisnimi podatki</li> <li>• Lahko so poljubni</li> </ul>																																																		

Slika 13: Shematski prikaz zapisa prostorskih podatkov v obliki ESRI shape (Jud, 2008)



Vrstni red zapisov v posameznih datotekah, ki sestavljajo ESRI shape, mora biti identičen v vseh datotekah. To pomeni, da se mora vsaka entiteta v datoteki \*.shp ujemati z natančno enim indeksom v datoteki \*.shx in točno določenim zapisom v datoteki \*.dbf. Na primer entiteta številka štiri v datoteki \*.shp mora biti povezana s četrnim zapisom v datoteki \*.shx in mora imeti pripadajoče opisne podatke zapisane v četrti vrstici datoteke \*.dbf.

V preglednici \*.dbf se nahajajo opisni podatki, ki so načeloma dveh podatkovnih tipov: tekstovni (C) in numerični (N). Atributna polja so definirana z imenom polja, vrsto, maksimalnim številom znakov v polju in s številom decimalnih mest.

Iz kombinacije geometričnih vrst objektov (točka, linija, poligon) in njihovih razsežnosti (2D, 3D) lahko obravnavamo več vrst (tipov) prostorskih podatkov, ki jih lahko hranimo v zapisu shape, vendar pa so v eni datoteki lahko samo objekti istega tipa. Preglednica 1 prikazuje nekatere izmed možnih tipov objektov shape.

*Preglednica 1: Geometrični tipi objektov shape (Jud, 2008)*

geometrija	opis
Null Shape	brez geometrije
Point	2D-točka
Polyline	2D-polilinja
Polygon	2D-poligon
PointZ	3D-točka
PolylineZ	3D-polilinja
PolygonZ	3D-poligon

Obstajajo še drugi, redkeje uporabljeni tipi, kot na primer MultiPoint, PolylineM itn. Za potrebe naše rešitve zadostuje poznavanje enostavnih tipov: 2D-točka, 2D-polilinja, 2D-poligon.

### 3.1.2 GIS, vodni viri in ArcGIS

Pri hidroloških analizah se uporabljajo raznovrstni podatki, pridobljeni na različne načine. Ti podatki so navadno v lasti različnih organizacij, specializiranih na različnih področjih. Mnogi izmed teh podatkov, kot so pokrovnost tal, lastnosti tal, merilna mesta, razne klimatske spremenljivke itd., so danes dostopni vsakomur prek svetovnega spleta. Za razumevanje problematike in kompleksnosti vodnih sistemov je potrebno te podatke združiti v enoten sistem. GIS-i so sprejeti kot zelo uporabno okolje za zbiranje in obdelavo podatkov ter prikazovanje rezultatov povezanih s problematiko vodnih virov in sistemov.

Obstajajo nekatere zahteve oziroma splošne značilnosti, ko gradimo integriran podatkovni model vodnih virov/sistemov:

- vsi podatki morajo biti geolocirani v skupnem koordinatnem sistemu,
- osnovna struktura predstavitve podatkov je vektorska ob podpori rastrskih in TIN podatkov,
- z namenom sledenja gibanja vode je potrebno zgraditi relacije med geografskimi podatki različnih podatkovnih slojev,
- potrebno je povezati geografske informacije, ki opisujejo gibanje vode, s časovnimi informacijami.

*ArcGIS* predstavlja niz programskih orodij, ki jih je razvilo podjetje ESRI. Je enovit, integriran sistem za zajem, upravljanje, povezovanje, prikaz in analizo prostorskih podatkov. Osnovna arhitektura podpira večnamensko uporabo geografske podatkovne baze tako v pisarni na osebni računalnikih in na strežnikih kot preko svetovnega spleta ali na terenu. *ArcGIS* lahko oblikujemo po meri za uporabo v različnih aplikacijah GIS z namenom uporabe različnih podatkovnih modelov. Eden teh razširitev programa je modul *Arc Hydro*, ki predstavlja osnovno podporo izvedbi raziskovalnega dela te naloge.

### 3.1.3 Podatkovni model Arc Hydro

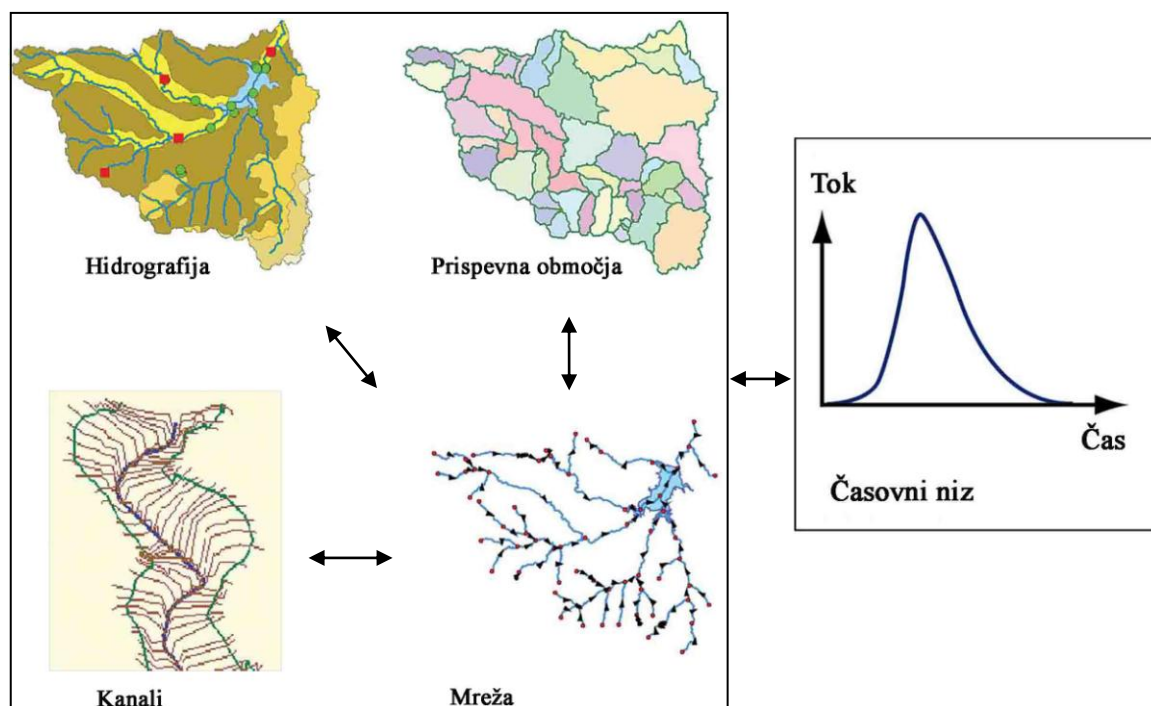
*Arc Hydro* je prostorski in časovni podatkovni model, namenjen modeliranju podatkov o vodnih virih, ki deluje znotraj programske rešitve *ArcGIS*. *ArcHydro* predstavlja skupen projekt Centra za raziskave vodnih virov (angl. Center for Research in Water Resources) Univerze v Texasu in ESRI. Oblikovan je bil konzorcij WRC (angl. Water Resources Consortium) z namenom povezovanja industrije, državne uprave in znanstveno raziskovalnih ustanov pri iskanju rešitev na področju upravljanja vodnih virov ob pomoči GIS.

*Arc Hydro* ima niz orodij namenjenih obdelavi opisnih podatkov, povezovanju različnih podatkovnih slojev in podpori raznim hidrološkim analizam. Podatkovni model naslavlja naslednja vprašanja (Maidment, Morehouse in Grise, 2002):

- Opis – Katere so vodne značilnosti površja?
- Povezljivost – Kako se voda giblje med posameznimi značilnostmi površja?
- Modeliranje – Kakšni so časovni vzorci gibanja in kakovosti vode v povezavi s posameznimi značilnostmi površja?

Podatkovni model *Arc Hydro* deli vodne vire na 5 komponent (Maidment, Morehouse in Grise, 2002) (slika 14):

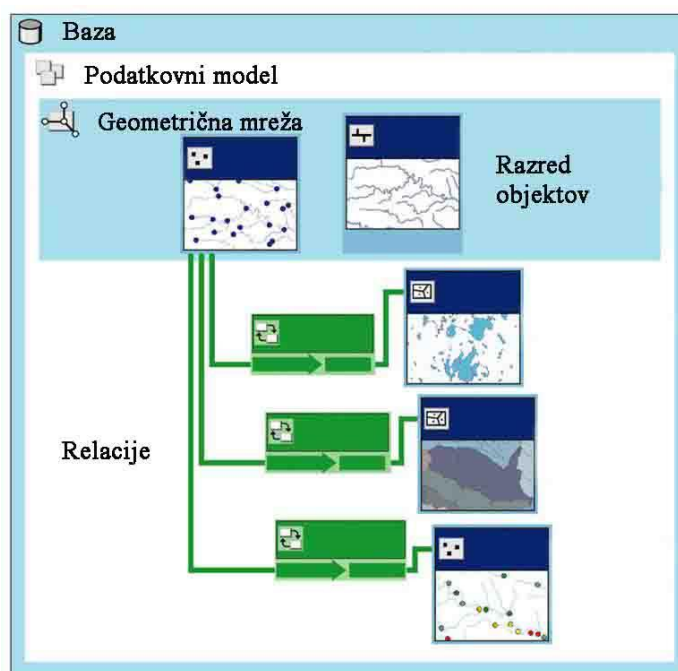
- Mreža – povezuje linije in točke, ki določajo smer toka vode.
- Prispevna območja – definirana iz topografije površja.
- Kanali – 3D-predstavitev vodotokov.
- Hidrografija – podatki topografskih kart in opisni podatki.
- Časovni niz – tabelarni podatki o časovnih spremenljivkah.



Slika 14: Komponente hidro modela (Maidment, 2002)

Organizacija podatkov v *Arc Hydro* je enostavna in kompaktna, namenjena shranjevanju najpomembnejših prostorskih podatkov, s katerimi lahko opišemo vodne sisteme. Sestava podatkov omogoča izpeljavo osnovnih modelov za opis in analizo vodnih sistemov in omogoča njihovo nadgradnjo v bolj zapletene modele, ki vsebujejo npr. časovni niz. Podatki so organizirani na različnih ravneh (slika 15):

- baza podatkov,
- podatkovni model,
- geometrična mreža,
- razred,
- relacije med podatki.



Slika 15: Organizacija podatkov v podatkovnem modelu Arc Hydro (Maidment, 2002)

### 3.2 Uporabljeni podatki

Za potrebe diplomske naloge smo pridobili podatke o digitalnem modelu višin Slovenije natančnosti 25 in 12,5 metrov (DMV 25, DMV 12,5) ter podatke o vodah Generalizirane kartografske baze 1 : 25.000, ki sta v lasti Geodetske uprave Republike Slovenije (GURS). Podatke o razvodnicah smo pridobili od Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO) in podatke o rabi tal od Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano Republike Slovenije (MKGP).

Podatki o razvodnicah in rabi tal so dostopni preko spletnega podatkovnega portala ARSO in MKGP. Podatke z GURS smo pridobili preko Univerze v Ljubljani, Fakultete za gradbeništvo in geodezijo. Za namen naloge je bilo treba podatke predhodno urediti in za bolj učinkovito delo geografsko omejiti na območje testne študije oblikovanja prispevnih površin in analize rabe tal znotraj njih.

### 3.2.1 Digitalni model reliefa

Oblikovanost zemeljskega površja lahko opišemo z modelom, zapisanim z zveznimi in pogosto gladkimi ploskvami. Ploskve so določene s končno množico višin, izmerjenih glede na srednji nivo morja. Digitalni model reliefa (DMR) je način opisa oblikovanosti zemeljskega površja, ki vključuje višinske točke, značilne črte in točke reliefa ter druge elemente, ki ga opisujejo (naklone, plastnice, padnice ipd.) (Podobnikar, 2003). Zasnova DMR-ja je podana s klasično geodetsko predstavo ploskovnega nivelmana (Banovec in Lesar, 1975, cit. po Podobnikar, 2003). Iz DMR-ja lahko z ustreznim programskim orodjem izračunamo naklone (nagibe), ga senčimo ali pa uporabimo za hidrološke analize, modele erozij, za simulacijo vremena ipd. (Podobnikar in Mlinar, 2006).

Digitalni model višin (DMV) vsebuje za opis površja, v primerjavi z DMR-jem, samo višine točk, ki so največkrat zapisane v obliki celične mreže (Podobnikar, 2003) kot kaže slika 16.

67	56	49	46	50
53	44	37	38	48
58	55	22	31	24
61	47	21	16	19
53	34	12	11	12

Slika 16: Digitalni model višin zapisan v obliki celične mreže

Glede na to, da vsebuje DMR tudi vse elemente DMV-ja, lahko za obe vrsti opisa reliefa uporabimo poenostavljen in nekoliko površen izraz *digitalni model reliefa* (Podobnikar, 2003). Pri izdelavi prispevnih območij površinskih voda smo kot osnovni vir uporabili dva digitalna modela višin, pridobljena od Geodetske uprave Republike Slovenije:

- DMV 25 in
- DMV 12,5.

### 3.2.1.1 DMV 25

Digitalni model višin DMV 25 je izdelan s fotogrametričnimi metodami, vzporedno z izdelavo digitalnih ortofoto načrtov (DOF 5). Prednost modela v primerjavi z drugimi digitalnimi modeli višin Slovenije je boljša lokalna višinska natančnost, največja pomanjkljivost pa je nehomogenost. Zaradi tega lahko pride pri hkratni uporabi več listov DOF 5 (ki so osnova za zajem višin) do odstopanj na robovih med posameznimi listi (GURS, 2001, cit. po Zec in Petrovič, 2006). Položajna natančnost točk DMR 25 je vezana na pravilno celično mrežo z velikostjo celice  $25 \times 25$  m. Povprečna višinska natančnost podatkov za Slovenijo znaša (Zec in Petrovič, 2006):

- za raven relief 1,5 m,
- za razgiban relief 3 m in
- za hribovit relief pa 6,5 m.

Višinska natančnost na poraščenih območjih je približno 5 m. V goratih območjih lahko nekatere grobe napake presegajo 50 m (Zec in Petrovič, 2006). Konkretno ocene natančnosti na izbranem izseku se niso izvajale.

### 3.2.1.2 DMV 12,5

Za izdelavo digitalnega modela višin DMV 12,5 je bilo uporabljenih več kot 25 različnih virov. DMR je v tem primeru vizualno in geomorfološko homogen in boljše kakovosti od drugi razpoložljivih virov, kakovost DMR-ja je ovrednotena za vsako rastrsko celico, prav tako je znan delež uporabljenih virov. Površina DMR-ja obsega 2,7-kratno velikost Slovenije ( $55.000 \text{ km}^2$ ). Obsega več kot 353 milijonov točk, kar je 11-krat več od prejšnjega najboljšega modela reliefa Slovenije. Ocenjena natančnost modela pri ločljivosti 12,5 m je 3,2 m za območje vse Slovenije, in sicer (Podobnikar, 2006):

- za ravnine 1,1 m,
- za gričevja 2,3 m,
- za hribovja 3,8 m in
- za gorovja 7 m.

### 3.2.2 Vode GKB25

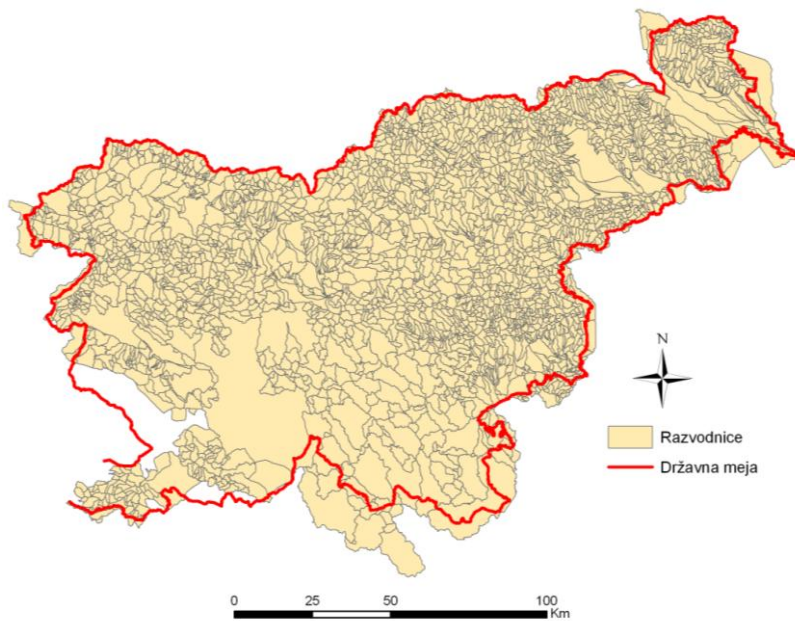
Podatkovni niz kartografske baze GKB25 Geodetske uprave Republike Slovenije prikazuje hidrografsko mrežo na območju Republike Slovenije, ki je bila vektorizirana iz oleat "hidrografija" državne topografske karte merila 1 : 25.000 in opisuje tudi najosnovnejše lastnosti vodotokov. Hidrografija v GKB25 vsebuje tri sloje: linijskega (vodotoki), poligonskega (jezera in ostale vodne površine) in točkovnega (izviri, ponori ipd). V letu 2001 je bil osnovnemu linijskemu sloju hidrografije (vodotoki) dodan tudi sloj nevod oziroma tistih nestalnih vodotokov, ki so na kartah prikazani s prekinjeno linijo. V letu 2002 so bili podatki posodobljeni za vzhodni del Slovenije in dopolnjeni s podatki točkovnega in poligonskega sloja hidrografije za celo Slovenijo.

Podatke podatkovnega niza je mogoče uporabljati za potrebe digitalne kartografije, hkrati pa jih je mogoče navezati tudi na upravljavske podatkovne nize (GURS, 2009).

### 3.2.3 Razvodnice

Podatki razvodnic je javno dostopen podatkovni niz, ki prikazuje poligonsko mrežo razvodnic pozicijske natančnosti 50 m. Šifrant povodij Slovenije je bil izdelan in pripravljen za uporabo leta 1996. Hidrografska mreža Republike Slovenije je topološko povezana z razvodnicami v skupno entiteto (slika 17).





Slika 17: Podatkovni sloj razvodnic (ARSO, 2009)

#### 3.2.4 Raba tal MKGP

Raba tal je javno dostopen digitalni grafični podatkovni sloj, ki ga Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano vzdržuje in vodi na podlagi DOF-ov, satelitskih posnetkov ali drugih virov, ki predstavljajo osnovo za zajem posameznih vrst rabe (njive in vrtovi, hmeljišča, vinogradi, intenzivni sadovnjaki, ekstenzivni sadovnjaki, oljčniki, trajni travniki, itd.) (MKGP, 2008).

### 3.3 Območje obravnave

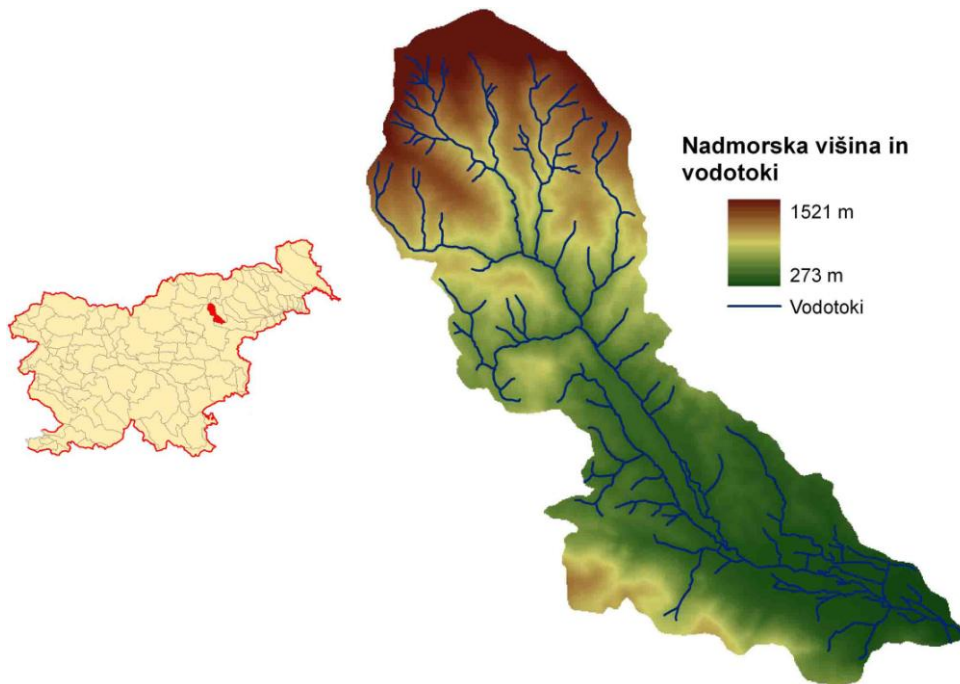
Območje obravnave predstavlja območje zgornjega toka reke Dravinje od izvira, vključno z zgornjim delom Dravinjske doline. Na severu je omejeno s Pohorjem, nato sledi glavnemu toku reke Dravinje skozi mesti Zreče in Slovenske Konjice, kjer je na zahodu omejeno s Konjiško goro in na vzhodu z vinorodnim okoljem Škalc, na koncu zavzema še del zgornje Dravinjske doline med krajema Draža vas in Loče. Območje zavzema del Vitanjske, Zreške, Bistriške, Oplotniške in Konjiške občine. Po naravnogeografski regionalizaciji (Perko, 1998) spada območje Pohorja v Alpsko makroregijo in sicer v območje Strojne, Kozjaka in Pohorja,

območje južno od Pohorja pa v Panonsko makroregijo, v območje Dravinjskih goric (slika 18).



Slika 18: Območje obravnave – zgornji del Dravinjske doline

Območje obravnave je del Hidrografskega območja 3, ki predstavlja eno izmed delitev na hidrografska območja Slovenije.



Slika 19: Območje obravnave (levo), relief in mreža vodotokov na območju (desno)

Dravinja izvira na Pohorju v idilični pokrajini gozdov, bolj natančno jugozahodno od Rogle na nadmorski višini okrog 1200 m. Rečni režim je dežno-snežni, s prvim maksimumom v novembru in drugim v maju. V zgornjem toku ima reka s pritoki velik strmec in hudourniški značaj ter teče po globoko vrezanih grapah. Ima zelo čisto vodo, bogato z ribami, ki je uvrščena v 1. kakovostni razred, vendar se že na samem začetku sooči z odpadnimi vodami lokalnih naselij in industrije ter z intenzivnim kmetijstvom, ki znižujejo kakovost vode (na svoji poti do Vidma, zaradi komunalnih in industrijskih odpadkov, zapade v tretji oziroma četrti kakovostni razred). Od Draže vasi navzgor je reka regulirana. Njen povprečni pretok v spodnjem delu je  $12 \text{ m}^3/\text{s}$ . Glavni pritoki reke so z leve strani Oplotnica, Beziščica, Ličenca, Brežnica in Ložnica, z desne pa Žičnica, Jelovski potok in Skralska.

Tok reke Dravinje prehaja v Dravinjsko dolino, ki se razteza v smeri vzhod–zahod, med krajema Doklece in Dražo vasjo in zajema večji del nižinskega toka reke Dravinje. Dolina je ozka, ima precej uravnano poplavno dno, ki ga pokrivajo holocenski peščeno-ilovnati nanosi (Perko in Orožen Adamič 1998, cit. po Božič, 2003), in počasi prehaja v položna pobočja nad njenim dnom. Razširi se le v predelu Majšperka in med krajema Loče in Draža vas. Z južne strani jo od zahoda omejujejo skrajni vzhodni del Konjiške gore, nato pogorje Boča in vzdolž

spodnjega dela toka Haloze (Božič, 2003). Severno od doline ležijo Dravinjske gorice, nizko terciarno gričevje z nadmorskimi višinami pretežno med 200 in 300 m. Zaradi številnih pritokov pohorskih potokov z leve strani je Dravinja v njihovi bližini potisnjena povsem na južni rob doline (Perko in Orožen Adamič 1998, cit. po Božič, 2003).

Dravinjo spremlja obsežen poplavni svet. Poplave so pogoste zaradi reliefnih značilnosti porečja, podnebnih razmer in posegov človeka v okolje, predvsem v rastje in rečni režim. Vsakoletne poplave odlagajo erodirano gradivo v srednjem toku, zato je površje ob strugi neravno in rahlo dvignjeno, kar otežuje odtok poplavne vode. Dejavná akumulacija in občasen vpliv podtalne in površinske vode onemogočata hitrejši razvoj prsti, zato so plitve in na njih prevladujejo travniki (MKGP, 2007).

V Dravinjski dolini so navzoče intenzivne kmetijske površine, reka pa se že v samem začetku poti sooči s težko industrijo. Največjo grožnjo ekstenzivnim travnikom predstavlja njihovo spreminjanje v intenzivno gnojene travnike, ki so floristično močno osiromašeni, kar vpliva na favno na tem področju (M. Kaligarič, ustni vir, cit. po Božič, 2003). Intenzivno gospodarjenje s travniki, ki dolgoročno ni perspektivno, narekuje deloma tudi poplavna narava dna doline, saj so tla revna z minerali. Skrb zbujujoče je tudi naglo naraščanje števila koruznih njiv, ki imajo ponekod že večinski delež pri rabi prostora v Dravinjski dolini (Božič, 2003). Dravinja je ena izmed redkih rek v Sloveniji, ki je kljub grozečim načrtom za njeno regulacijo na večjem delu ostala nedotaknjena. Naravna struga Dravinje mora ostati ohranjena tudi v bodoče, saj predstavljajo redne poplave pomemben element v oblikovanju značilne rečne pokrajine, ki je za ptice eden najpomembnejših habitatov tega območja.

### **3.4 Metodološki pristop izdelave prispevnih območij**

Avtomatsko določevanje prispevnih območij izvršimo z uporabo digitalnega modela reliefa. Vse rastrske operacije izpeljave prispevnih območij v GIS slonijo na predpostavki, da voda teče navzdol in da teče po črti največjega padca. Zaradi celične sestave digitalnega modela reliefa obstaja za vsako posamezno celico največ osem sosednjih celic. Temu primerno lahko, glede na gradient terena, voda iz posamezne celice steče v eno ali več od svojih osmih sosednjih celic. Najenostavnejši koncept, kjer voda steče samo v eno sosednjo celico, se

imenuje algoritem osmih sosednjih celic, kjer se za vsako celico določijo gradienti do vsake od njenih osmih sosed, nato se določi smer toka tako, da voda odteka v celico v smeri najvišjega padca (Petkovšek, 2001). Smer toka vode je kodirana (1 – odtok vzhod, 2 – odtok jugo-vzhod, 4 – odtok jug, 8 – odtok jugo-zahod, 16 – odtok zahod, 32 – odtok severo-zahod, 64 – odtok sever, 128 – odtok severo-zahod) (slika 20).

32	64	128
16		1
8	4	2

Slika 20: Algoritem osmih sosednjih celic

#### 3.4.1 Predobdelava terena

Predobdelava terena je pomemben korak pri pripravi podatkov za namene hidroloških analiz, ki jih opravljamo z GIS orodji. Pomeni (Djokic, 2008):

- a) razvoj hidrološko pravilnega DMR-ja in njegovih izpeljav ter določitev prednostnih smeri toka vode po površju v vektorskem okolju,
- b) razvoj slojev, ki optimizirajo učinek orodij povezanih z izdelavo prispevnih območij vodnih teles.

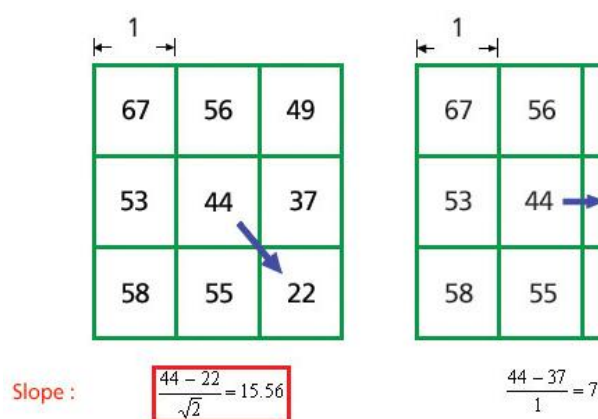
Predobdelava terena je sestavljena iz več faz in vsaka izmed faz daje posebne rezultate (Djokic, 2008):

- smer toka vode (angl. *Flow Direction*),
- odpravljanje lažnih depresij (angl. *Fill Sinks*),
- akumulacije toka (angl. *Flow Accumulation*),
- opredelitev toka (angl. *Stream Definition*),
- segmentacija tokov (angl. *Stream Segmentation*).

Vsi ti rastri so pomembni za opredelitev sloja prispevnih območij vodnih teles in posledično za razvoj sloja poligonov prispevnih območij.

## 3.4.1.1 Smer toka vode

Prvi pomemben raster je raster smeri odtoka vode. Deluje na predpostavki, da voda teče navzdol po črti največjega padca. Algoritem osmih sosednjih celic in izračun največje strmine med dvema celicama si je najlažje predstavljati z ilustracijo. Slika 21 predstavlja izsek iz DMR-ja, kjer številke v celicah predstavljajo njihove višine.



Slika 21: Izračun nagnjenosti terena (Maidment, 2002)

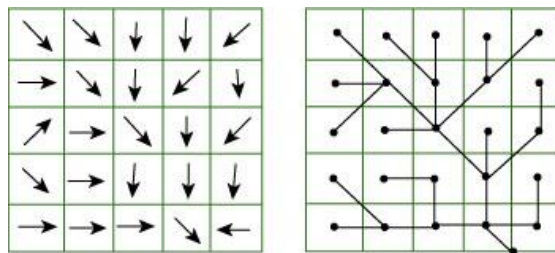
Na sliki 21 imata samo dve sosednji celici nižjo višino od centralne celice. Zaradi predpostavke, da voda teče v celice z najnižjo višino, se s tem omejuje možnosti odtoka vode v ti dve celici. Voda bo odtekla v smeri, v kateri relief najbolj strmo pada. Nagnjenost terena se izračuna s količnikom razlike višin in enote potovanja. Na sliki 21 sta dva primera: (1) smer po diagonali, kjer se razlika višin deli z  $1.41 (\sqrt{2})$ , ter (2) linearna smer, kjer se višina preprosto deli z eno enoto. Na sliki 21 je strmina večja v diagonalni smeri in zato voda teče v smeri jugo-vzhod in ima po algoritmu osmih sosednjih celic (slika 20) kodo 2. Proces se ponovi za vsako celico v mreži. Na ta način se ustvari izhodni raster smer toka vode, katerega vrednosti so kodirane na podlagi vrednosti algoritma osmih sosednjih celic (slika 22).

37	56	49	46	50
53	44	37	38	48
58	55	22	31	24
61	47	21	16	19
53	34	12	11	12

2	2	4	4	8
1	2	4	8	4
128	1	2	4	8
2	1	4	4	4
1	1	1	2	16

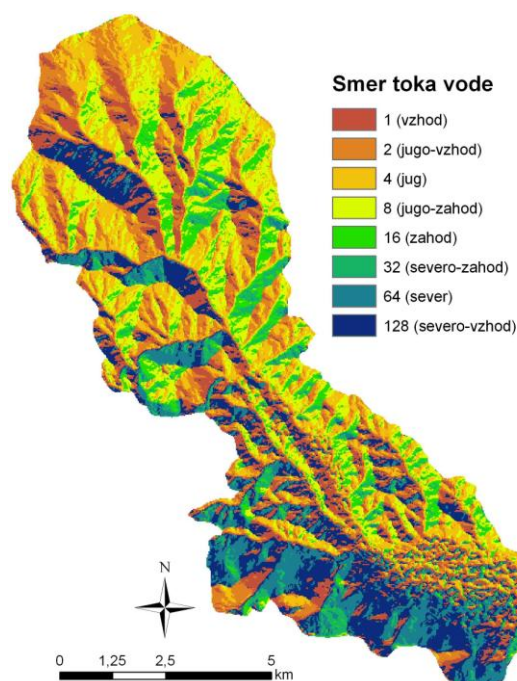
Slika 22: Kodirane vrednosti celic na podlagi algoritma osmih sosednjih celic (Maidment, 2002)

Na ravnih območjih, kjer imajo vse sosednje celice isto višino, se območje iskanja razširi dokler se ne najde celica z nižjo višino. Na kakovost izvedbe postopka, tj. na modliranje pravilnega odtoka vode po površju, vpliva tudi kakovost DMR-ja, ki ima velik vpliv predvsem v ravninskih območjih, kjer lahko zaradi slabe kakovosti dobimo nepravilne smeri tokov. Smeri toka vode po površju se lahko grafično prikažejo tudi s puščicami ali z mrežo, ki povezuje središča celic (slika 23).



Slika 23: Smer toka vode po površju prikazana s puščicami in mrežo odtoka (Maidment, 2002)

S pomočjo algoritma osmih sosednji celic smo za testno območje pripravili rastrski podatkovni sloj smeri toka vode, kot je prikazano na sliki 24.



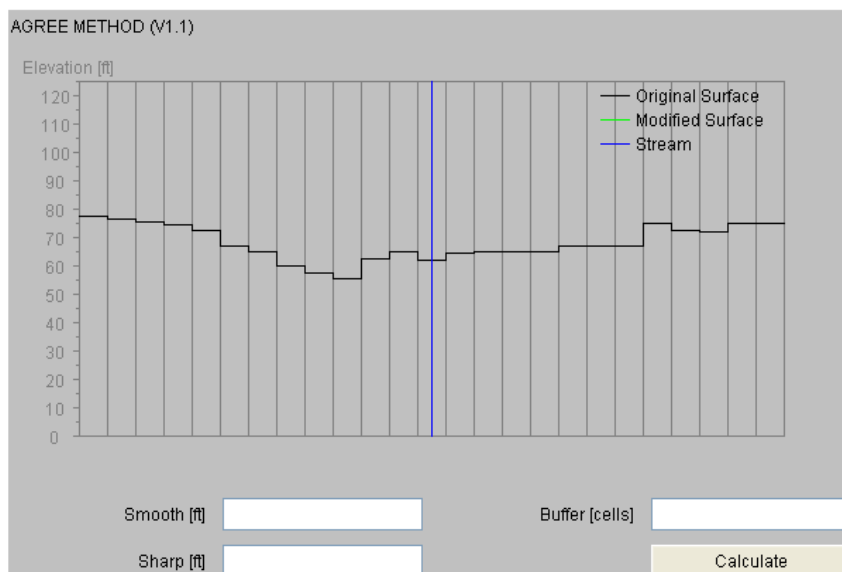
Slika 24: Smeri toka vode na obravnavanem območju zgornjega toka reke Dravinje

#### 3.4.1.2 Priredba DMR-ja

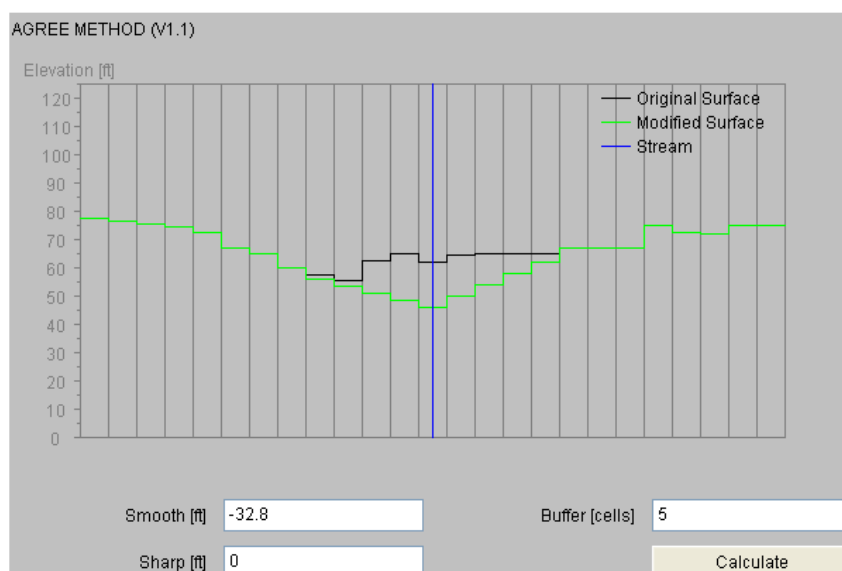
Metoda, ki priredi površino digitalnega modela reliefa, tako da je skladna z vektorskim podatkovnim slojem (npr. slojem vodotokov ali gorskih grebenov), se imenuje metoda *AGREE*. Metoda zniža (oziroma zviša) vrednosti DMR-ja v celicah, ki se prekrivajo z vektorskim slojem. Podatki in postopek metode *AGREE* (University of Austin, Texas, 2009):

- 1.) Digitalni model reliefa območja (slika 25),
- 2.) Vektorski podatkovni sloj – v našem primeru mreža vodotokov območja (slika 25),
- 3.) Razdalja od vektorskega sloja (angl. *buffer distance*) – predstavlja prostorski obseg priredbe DMR-ja. Razdalja naj bi bila enaka ali večja kot je prostorski obseg napake med DMR-jem in vektorskim slojem; slednje se ugotovi tako, da se vektorski sloj primerja z vodotoki, ki se ustvarijo iz originalnega DMR-ja (slika 26),
- 4.) Gladek spust/dvig celic (angl. *smoothe drop/raise distance*) – razdalja za katero so celice, ki ustrezajo vektorskemu sloju, spuščene oz. dvignjene (slika 26),
- 5.) Oster spust/dvig celic (angl. *sharp drop/raise distance*) – razdalja, za katero so celice, ki ustrezajo vektorskemu sloju, dodatno spuščene oz. dvignjene po tem, ko je DMR že prirejen za gladek spust/dvig celic (slika 27).

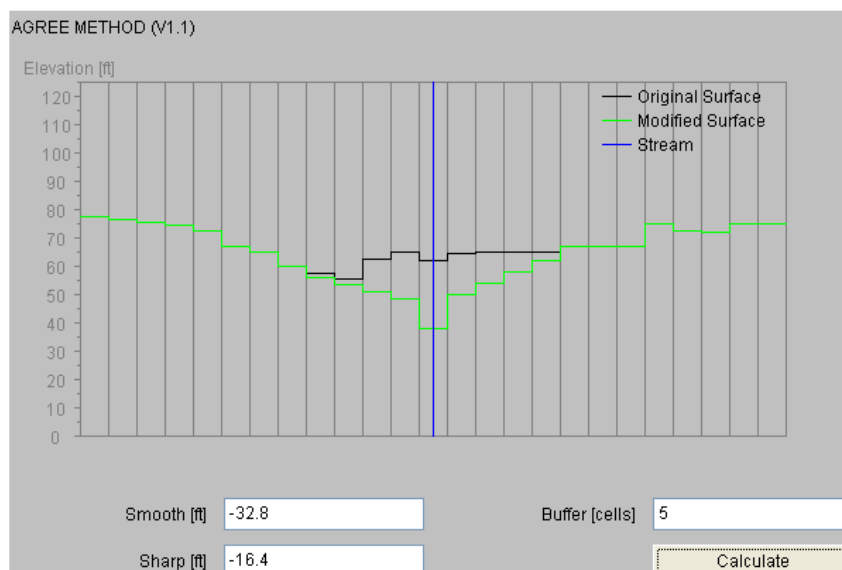




Slika 25: DMR (črna) iz profila in vodotok (modra)

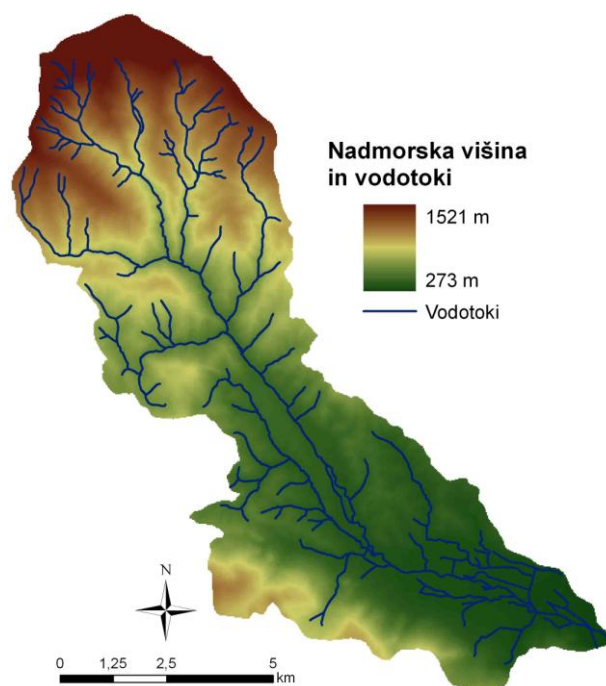


Slika 26: Razdalja od vektorskega sloja, ki je privzeta pri spremembi DMR-ja (razdalja = 5 celic), ter spust celic (gladek spust = - 32,8 ft = 10 m) (zeleno)



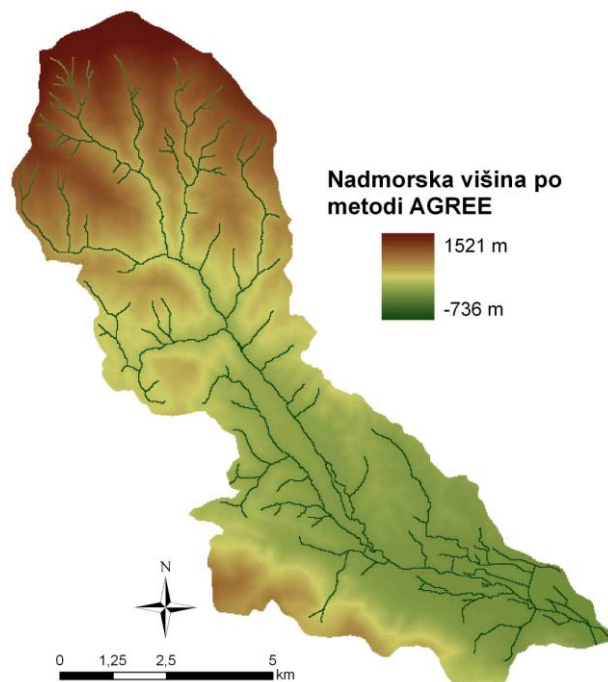
Slika 27: Dodaten spust celic za 5 m (oster spust = - 16,4 ft = 5 m) (zelena)

Na predstavljen način smo tudi za testno območje pripravili oziroma priredili digitalni model reliefa ob upoštevanju vektorskih podatkov vodotokov. Slika 28 prikazuje območje obravnave z mrežo vodotokov pred predelavo DMR-ja z metodo *AGREE*.



Slika 28: DMR z mrežo vodotokov pred metodo *AGREE* (območje zgornjega toka reke Dravinje)

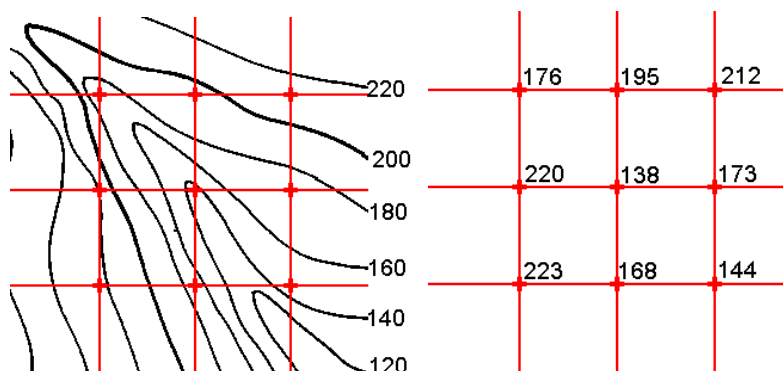
Rezultat metode *AGREE* je prirejen DMR, kjer je vektorski sloj vodotokov "vžgan" v površino in sicer za razdaljo gladkega in ostrega spusta celic. Ta postopek pa vpliva na celice, ki so znotraj določene razdalje (angl. *buffer*). Na sliki 29 so znižane višine celic, kjer so vodna telesa, za 1000 m, kar je primerno, ko je edini cilj modeliranja DMR določevanje prispevnih območij vodnih teles.



Slika 29: DMR z mrežo vodotokov po metodi *AGREE* (območje zgornjega toka reke Dravinje)

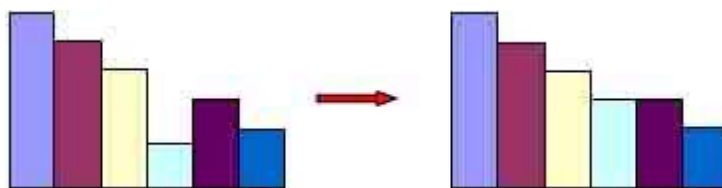
#### 3.4.1.3 Odpravljanje lažnih depresij

Voda se lahko akumulira, zbira v posamezni celici ali skupini celic in nujno ne teče do robov mreže. Razlog za to je lahko (Olivera in sod., 2002): (1) voda se akumulira v jezeru, ki nima odtoka, ter (2) zaradi napak DMR-ja so prisotne kotanje, iz katerih voda ne odteče. Največja težava pri uporabi DMR-ja za ugotavljanje položaja linearnih elementov so naključno razpršene napake, ki se kažejo kot navidezni vrhovi (Kwamme in sod., 1997) ali pa kot lažne depresije (Petkovšek, 2001) in kotanje (Gajski, 2000). Kotanje so območja, ki ležijo nižje od reliefa, ki jih obkroža (Gajski, 2000). Te so posledica bodisi napak DMR-ja ali pa kvadratne razporeditve točk (Reiger 1998, cit. po Petkovšek 2001). Kako v ozki dolini nastane lažna depresija – kotanja, zaradi kvadrataste mreže, je razvidno s slike 30.



Slika 30: Nastanek lažne depresije (Petkovšek, 2001)

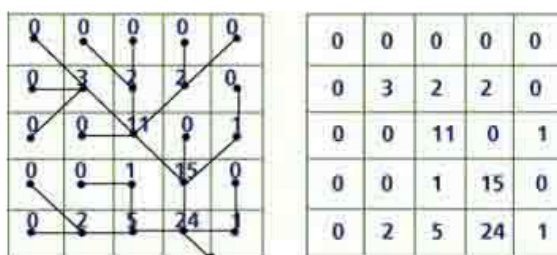
Te umetne kotanje je potrebno odstraniti za pravilno določitev prispevnih območij površinskih voda. Kotanje se prav tako odstranijo z algoritmom osmih sosednjih celic, kjer se višino celice, v kateri je kotanja, dvigne do višine najnižje sosednje celice (slika 31) tako, da lahko voda steče naprej po površju do naslednje rastrske celice.



Slika 31: Odstranjevanje kotanj

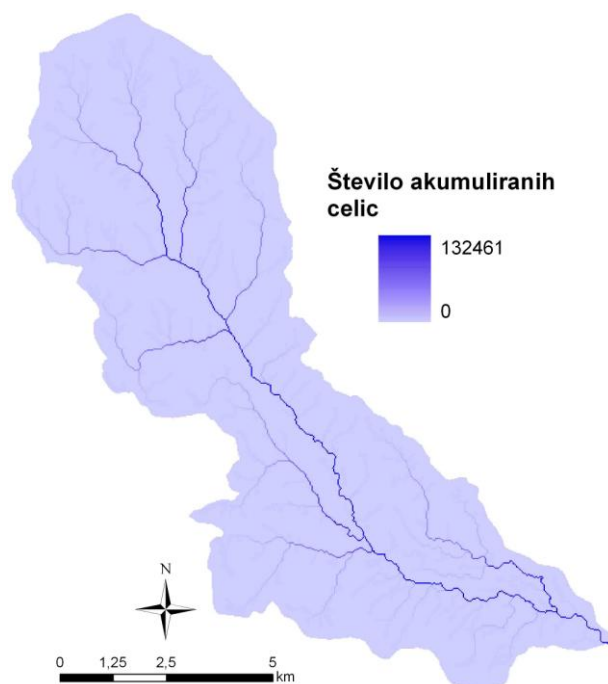
#### 3.4.1.4 Akumulirani tokovi

Raster akumuliranih tokov se izračuna iz rastra smeri toka vode. V rastru akumuliranih tokov je zabeleženo število celic, ki se izlivajo v posamezno celico rastra, kjer ciljna celica ni všteta (slika 32).



Slika 32: Izračun akumuliranih tokov

S fizikalnega stališča predstavlja raster akumuliranih tokov mrežo vodotokov po površju, podano v enotah rastrskih celic. Na sliki 33 se akumulirani tokovi ujemajo z mrežo vodotokov območja.



Slika 33: Akumulirani tokovi območja (območje zgornjega toka reke Dravinje)

#### 3.4.1.5 Opredelitev toka

Tokovi se opredelijo iz akumuliranih tokov s pomočjo vhodnega praga (angl. *threshold*), s katerim se določi število celic oz. površina, ki se izliva v posamezno celico. Celice, v katere se akumulira tok iz več celic, kot je podano z vhodnim pragom, dobijo vrednost 1, ostale celice nimajo vrednosti. Na primer, če znaša vhodni prag 5000 celic, ob uporabi DMR 25, se s tem v tokove akumulira minimalno 5000 celic ali površina:

$$5000 \text{ celic} \times 25 \text{ m} \times 25 \text{ m} = 3.125.000 \text{ m}^2 = 3125 \text{ km}^2$$

Manjši vhodni prag, tj. manjše število celic ali manjša podana površina, pomeni bolj gosto mrežo tokov; in obratno – večji vhodni prag pomeni manj gosto mrežo tokov. Vse celice, ki

akumulirajo večje število celic od podanega vhodnega praga, se lahko smatrajo kot celice vodnega toka, ostale celice predstavljajo površino, ki se izteka v te celice (sliki 34 in 35).



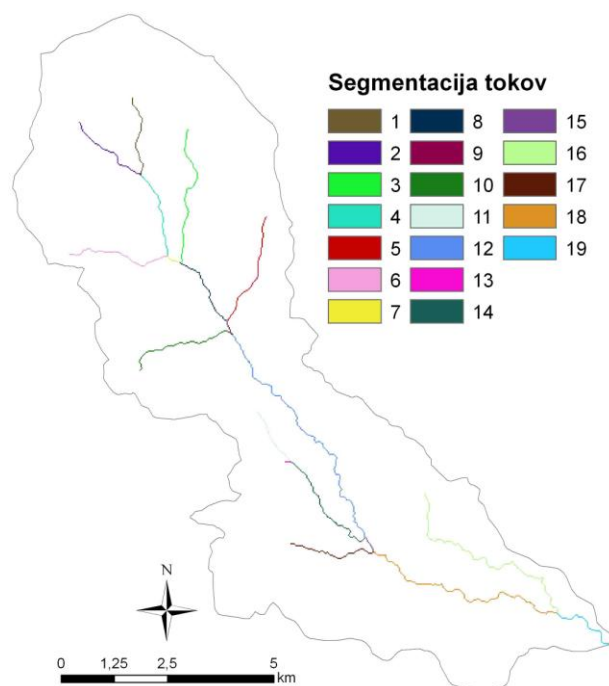
*Slika 34: Vhodni prag 3600 celic območja – površina 2,25 km<sup>2</sup> (območje zgornjega toka reke Dravinje)*



*Slika 35: Vhodni prag 800 celic območja – površina 0,5 km<sup>2</sup> (območje zgornjega toka reke Dravinje)*

### 3.4.1.6 Segmentacija tokov

Do sedaj so bile rastrske celice, ki so predstavljale tokove, označene identično z vrednostjo 1. Naslednji korak je razdelitev tokov v jasno določene segmente ali povezave med stičišči (sotočji). Z drugimi besedami, namesto, da imajo vse celice, ki predstavljajo tokove, enolični identifikator 1, ima zdaj vsak posamezen člen ali segment svoj identifikator, npr. prvi je 1, drugi je 2 in tako naprej vsi ostali (slika 36).

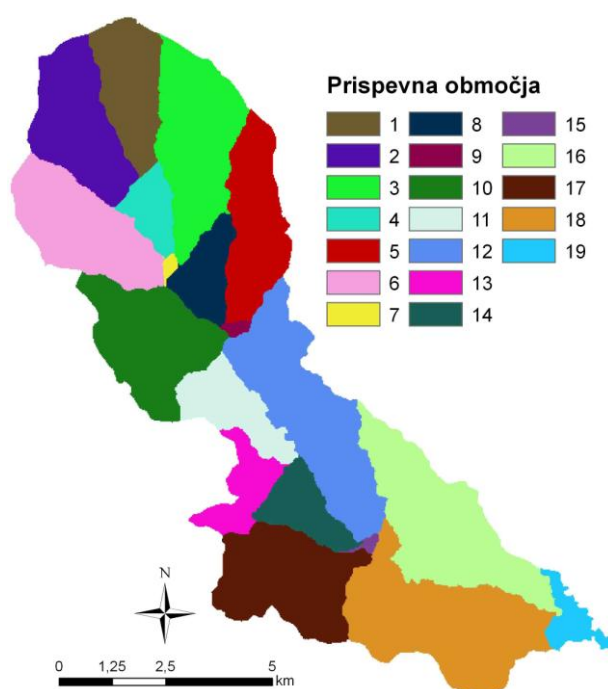


Slika 36: Segmentacija tokov (območje zgornjega toka reke Dravinje)

Rezultat je niz segmentov (tokov), vsak s svojim identifikatorjem. Segment je lahko definiran kot glavni segment ali pa kot segment med dvema stičiščema (sotočjema). Razvrstitev (angl. *stream ordering*) tokov je metoda, ki pripiše številčno zaporedje povezavam v mreži vodotokov. To zaporedje je metoda, ki identificira in določa vrsto vodotoka na podlagi njegovega številčnega atributa, opisnega podatka. Nekatere značilnosti vodotokov lahko izpeljemo že, če poznamo njihov sistem toka, to je vrstni red izliva.

### 3.4.1.7 Upodobitev prispevnih območij

Za upodobitev prispevnih območij posameznih segmentov (slika 37) se uporabi raster smeri toka vode. S tem se določi območja oz. skupine celic, ki tečejo skozi posamezen segment. Rezultat je raster z vrednostmi prispevnih območij, ki so identične vrednostim posameznih segmentov. Ta koncept se imenuje "površina teče k liniji" (angl. *area flows to line*) in predstavlja povezavo prispevnih območij s posameznimi segmenti tokov (Olivera in sod., 2002).

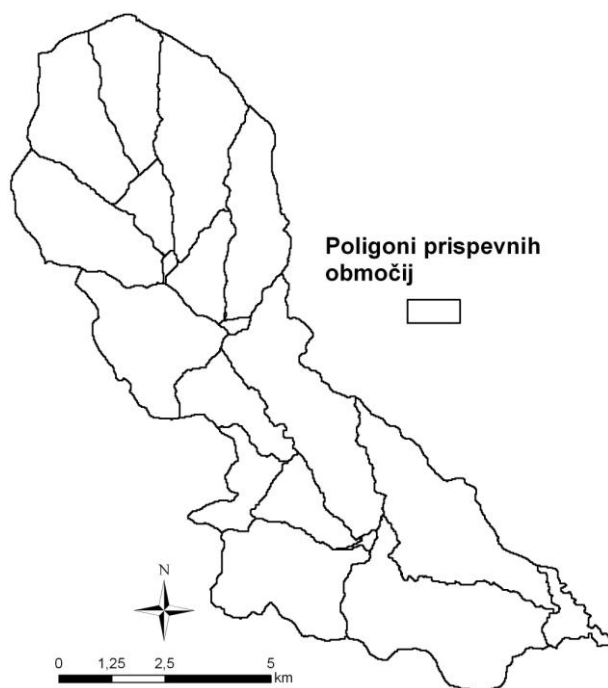


Slika 37: Upodobitev prispevnih območij (območje zgornjega toka reke Dravinje)

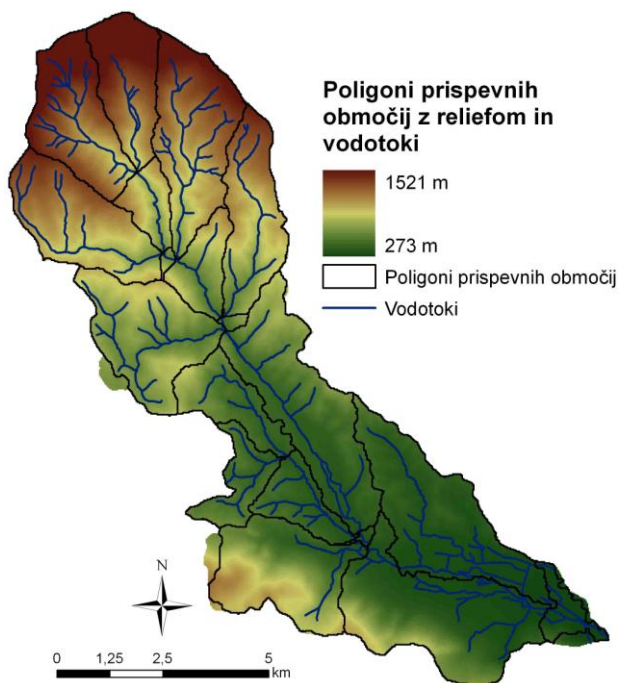
### 3.4.1.8 Razvoj poligonov prispevnih območij

Na koncu se raster prispevnih območij, s standardno pretvorbo "raster v poligon", pretvori v skupino poligonov prispevnih območij (slika 38). Postopek je avtomatiziran, kot vsi predhodni. Slika 39 prikazuje ujemanje poligonov prispevnih območij z reliefom in vodotoki.





Slika 38: Upodobitev poligonov prispevnih območij (območje zgornjega toka reke Dravinje)



Slika 39: Poligoni prispevnih območij z reliefom in vodotoki (območje zgornjega toka reke Dravinje)

### 3.5 Določitev rabe tal znotraj prispevnih območij s pomočjo hidro mreže

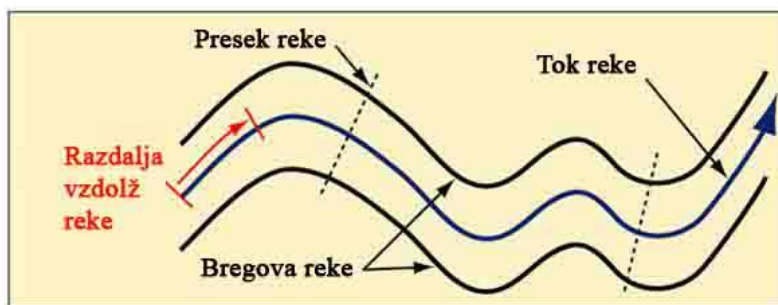
V nalogi nas zanima predvsem raba tal znotraj posameznih prispevnih območij površinskih voda z namenom smotrnega upravljanja zemljišč. Prispevno območje predstavlja zaključeno enoto površja, samostojno entiteto s svojim območjem vpliva, in je tako primerna enota za analizo rabe tal, pa tudi analizo drugih pojavov v tako določenem geografskem območju.

Hidro mreža predstavlja osnovo modelu *Arc Hydro*. Sestavljena je iz robov ali segmentov (angl. *HydroEdges*) in vozlišč (angl. *HydroJunctions*). Topološke povezave med segmenti in vozlišči v hidro mreži omogočajo sledenje vodnemu toku gor- in dol-vodno posameznih vodotokov in vodnih teles. S pomočjo hidro mreže lahko tudi določimo, kje se nahajajo posamezne točke na vodotoku, in računamo razdalje med posameznimi točkami. Relacije med elementi hidro mreže in prispevnimi območji (pa tudi merilnimi postajami) omogočajo povezavo le-teh s hidro mrežo.

#### 3.5.1 Izgradnja hidro mreže

Mreža površinskih voda (rek) je osnoven element kartam in drugim kartografskim prikazom. Vodo "poganja" gravitacija in teče z višjih nadmorskih višin k nižjim, torej po terenu navzdol. Hidro mreža je poenostavljena ponazoritev potokov, rek in drugih vodnih teles na kartah in predstavlja kontinuirano linijsko mrežo skozi rečni sistem.

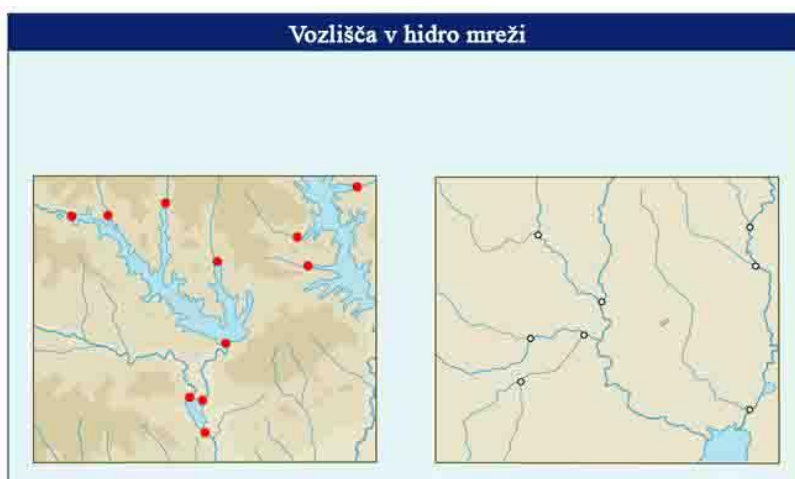
Tok vode v potokih in rekah je v GIS-ih navadno interpretiran kot enodimenzionalen tok v smeri gibanja vode, to je v smeri, vzporedni bregovom reke in pravokotni na presek reke. Glavna lastnost linije toka vode je, da ostane enaka ne glede na velikost potoka ali reke (slika 40).



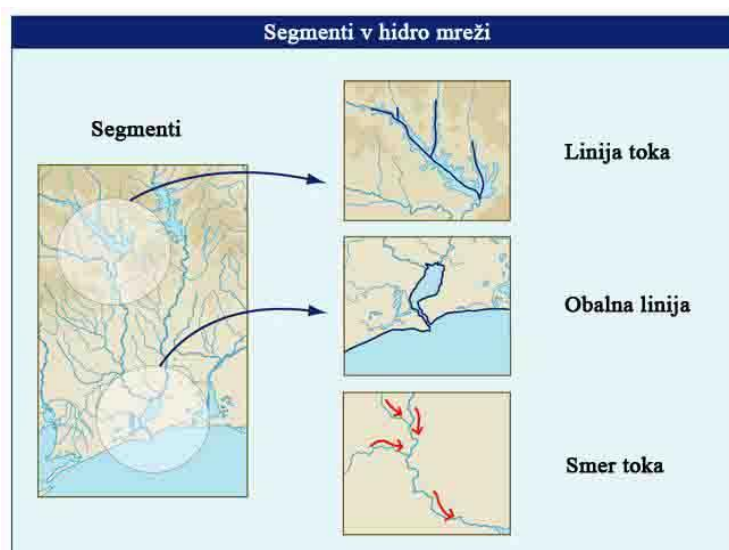
Slika 40: Enodimenzionalen tok vode (Maidment, 2002)

Kot že povedano, je hidro mreža geometrična mreža, ki je sestavljena iz segmentov in vozlišč (slika 41 in slika 42). Vozlišča so na koncih in na stikih segmentov. Pri izgradnji geometrične mreže lahko sodeluje nedoločeno število segmentov in vozlišč, edino pravilo je, da dve vozlišči ne ležita na isti geografski lokaciji.

V hidro mreži so vozlišča postavljena na vsa pomembna mesta hidrološkega značaja in predstavljajo vse mogoče točkovne elemente v naravi, od jezov, merilnih postaj ipd. Segmenti pa so ločeni na dve podskupini: (1) linije tokov (angl. flowlines), ki sledijo gibanju vode skozi pokrajino, in (2) obalne linije (angl. shoreline), ki tvorijo mejno linijo med vodo in kopnim. (Olivera, Maidment in Honeycutt, 2002).



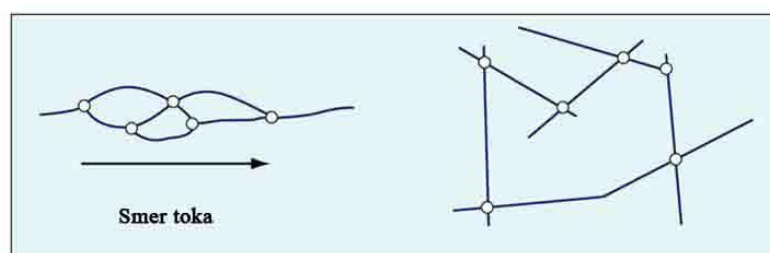
Slika 41: Vozlišča v hidro mreži (Maidment, 2002)



Slika 42: Segmenti v hidro mreži (Maidment, 2002)

### 3.5.2 Smer toka

Del izgradnje geometrične mreže površinskega vodnega sistema je določitev smeri toka vode, ki se pripiše vsakemu segmentu z namenom odvajanja vode proti jašku oz. iztoku. Vozlišče predstavlja jašek/iztok, če predstavlja iztok vode iz mreže oz. iz območja, kot na primer iztok reke v ocean. Pri določitvi smeri toka v okolju GIS, v našem primeru v *ArcGIS*, moramo najprej definirati vozlišča, ki služijo kot iztoki območja, nato s pomočjo orodja za analizo mreže (angl. *Network Analyst tools*) določimo smer toka posameznega segmenta. Ta avtomatiziran proces je uspešen pri definiranju toka vode za večino segmentov, težave nastanejo, kadar so v mreži zanke. Zanke nastanejo pri prepletenih tokovih, ki nastanejo na primer v nižje ležečih, ravninskih območjih in pri zgrajenih tokovih, kot so namakalni sistemi. V tem primeru se smer toka vode določi ročno (slika 43).



Slika 43: Smer toka in zanke v tokovih (Maidment, 2002)

### 3.5.3 Hidro navigacija

Hidro navigacija je postopek sledenja gibanja vode skozi pokrajino. Orodje *Arc Hydro* podpira tri vrste navigacije (Olivera, Maidment in Honeycutt, 2002):

- mrežna,
- navigacija po opisnem podatku/atributu,
- shematska navigacija.

#### 3.5.3.1 Mrežna navigacija

Mrežna navigacija sledi gibanju vode ali potencialnemu onesnaženemu delcu skozi mrežna vozlišča in segmente. Sledenje se začne z določitvijo signala (angl. *flag*) na poljubni lokaciji vzdolž vodotoka. Sledenje gor-vodno identificira vse segmente in vozlišča, ki se iztekajo v izbrano lokacijo. Z vzpostavitvijo relacije med vozliščem in prispevnim območjem se lahko identificirajo vsa območja, ki vplivajo oz. se iztekajo v izbrano signalno lokacijo. Na ta način se lahko na primer določi izvor onesnaženega delca, ki ga zaznamo na signalni lokaciji. Sledenje dol-vodno na drugi strani identificira vse segmente in vozlišča, ki predstavljajo smer toka vode od izbranega signala proti jašku oz. iztoku. Na ta način se določijo potencialno ogrožena območja, če kot primer vzamemo scenarij onesnaženosti vodnega toka, ki smo jo zaznali na signalni lokaciji (slika 44).

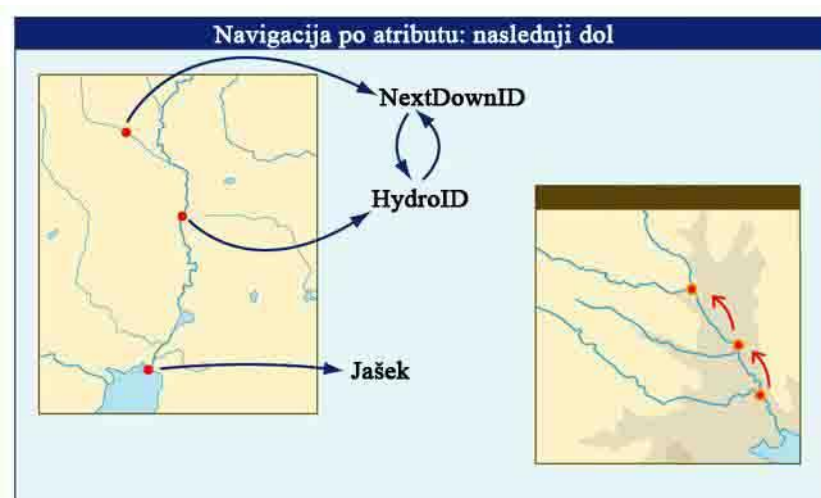


Slika 44: Mrežna navigacija (Maidment, 2002)

### 3.5.3.2 Navigacija po opisnem podatku/atributu

Z mrežno navigacijo se z lahkoto ugotovi vrstni red vozlišč, na primer katero vozlišče je naslednje po toku navzdol. Za potrebe navigacije po opisnem podatku, ki pove, katero vozlišče je naslednje v smeri toka vode (angl. *NextDownID*), potrebujemo topološko urejena vozlišča, vrstni red vozlišč v vodotoku in sicer tako, da se hidrološki identifikator vozlišča (*HydroID*), ki je nižje ob toku, pripiše v polje opisnega podatka *NextDownID* vozlišča, ki je višje ob toku. Ta postopek deluje samo, če ima vsako vozlišče samo eno vozlišče nižje ob toku. Isto velja za segmente.

Algoritem je uporaben na primer pri iskanju naslednjega merilnega mesta po toku navzdol z namenom določitve nivoja vode ali pri iskanju črpališča gor-vodno, ki bi lahko vplivalo na nivo vode v izbranem črpališču (slika 45).

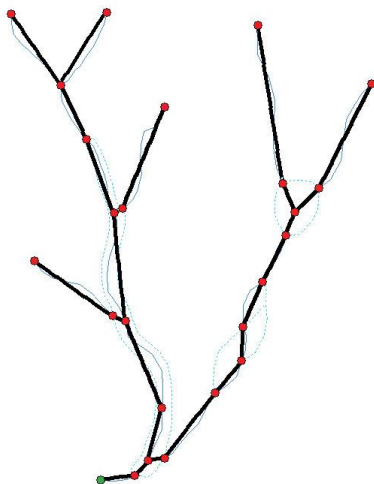


Slika 45: Navigacija po atributu naslednji dol ID (Maidment, 2002)

### 3.5.3.3 Shematska navigacija

Shematska navigacija je poenostavitev hidrološke mreže in je sestavljena iz ločenih točkovnih (angl. *SchematicNode*) in linijskih elementov (angl. *SchematicLink*). Shematska mreža je abstrakten prikaz hidrološke mreže in odnosov med elementi znotraj nje ter predstavlja poenostavljen prikaz povezave med elementi vodnega sistema na izbranem območju.

Shematska mreža je uporabna pri vizualni kontroli, na primer, ko skušamo ugotoviti, ali so vsi upodobljeni hidrološki elementi obravnavanega območja pravilno povezani (slika 46).



Slika 46: Shematska navigacija (Maidment, 2002)

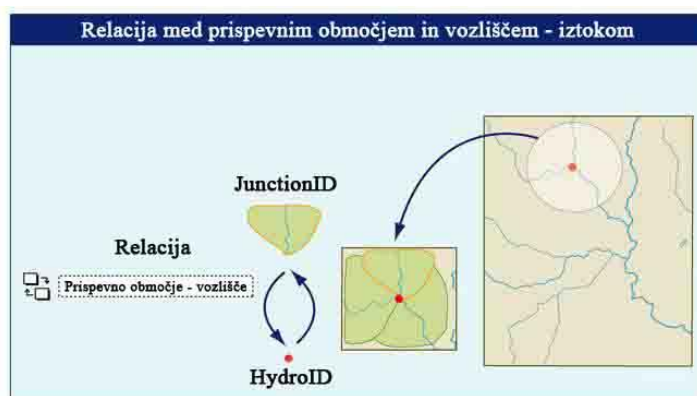
#### 3.5.4 Spojitev elementov k vozliščem

Medtem ko topologija hidro omrežja povezuje samo vozlišča in segmente, pa igrajo območja prav tako pomembno vlogo v hidrologiji. Zato je potrebno povezati območja z oblikovano hidro mrežo. Obstajata dve vrsti območij, ki sta še posebej pomembni pri hidroloških analizah (Olivera, Maidment in Honeycutt, 2002):

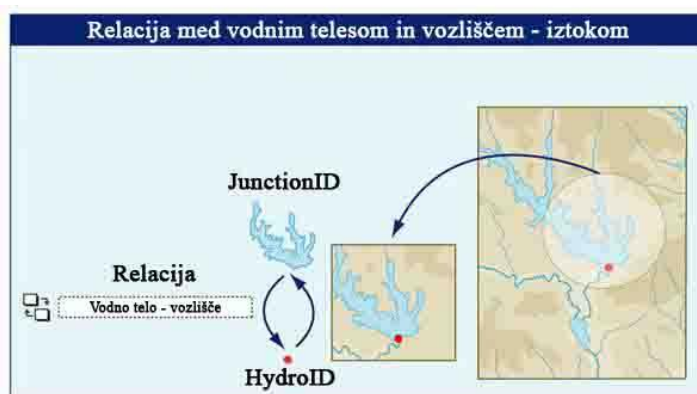
- (1) vodna telesa (npr. jezera) in
- (2) prispevna območja.

Povezava med hidro mrežo in prispevnim območjem je ustvarjena z relacijo med prispevnim območjem in vozliščem, ki se nahaja pri iztoku iz območja. Hidrološki identifikator (*HydroID*) vozlišča-iztoka se pripiše v polje *JunctionID* območja. Postopek je avtomatiziran v orodju *Arc Hydro* (orodje *Store Area Outlets*). Ta topološka povezava se imenuje "območja tečejo k točkam na linijah" (angl. *areas flow to points on lines*) in je zelo primerna pri hidroloških analizah, saj omogoča sledenje gibanja kapljice vode po območju, na katero pade, proti iztoku in naprej v hidro mrežo (Olivera, Maidment in Honeycutt, 2002). Enako velja za vodna telesa in merilna mesta.

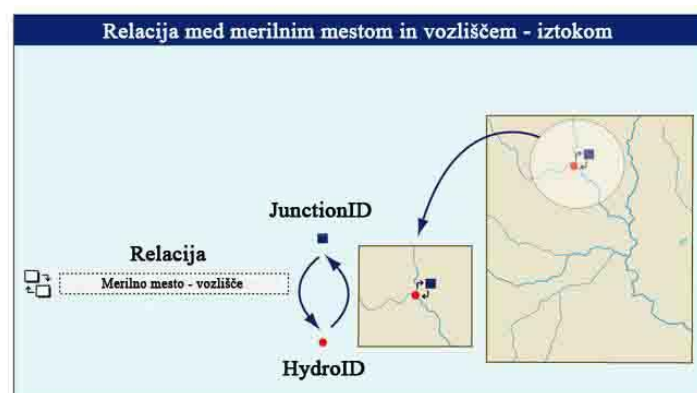
Slike 47, 48 in 49 prikazujejo povezave med vozlišči hidro mreže in prispevnimi območji, vodnimi telesmi ter merilnimi mesti.



Slika 47: Relacija med prispevnim območjem in vozliščem – iztokom (Maidment, 2002)



Slika 48: Relacija med vodnim telesom in vozliščem – iztokom (Maidment, 2002)

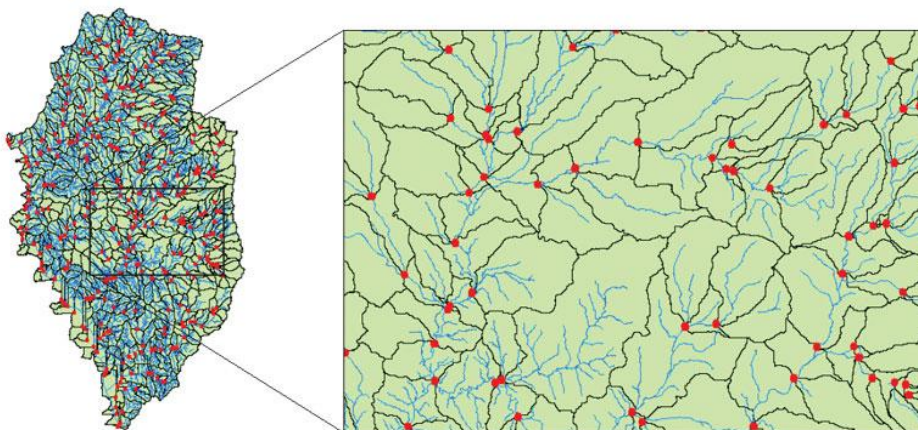


Slika 49: Relacija med merilnim mestom in vozliščem – iztokom (Maidment, 2002)



### 3.5.5 Iztok iz območja

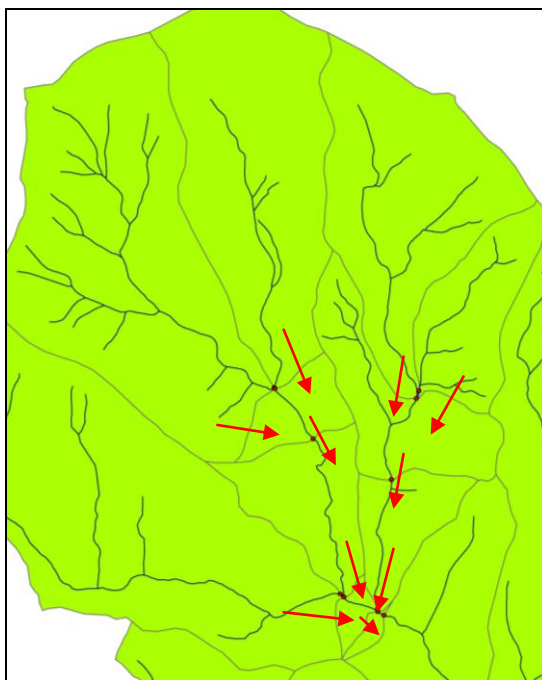
Iztok je iztekanje vode iz vodotoka, jezera, zadrževalnika, bazena, porečja, vodonosnika ipd. (Mikoš in sod., 2002). Pri hidroloških analizah poskušamo navadno povzeti podatke več prispevnih območij in jih združiti z obstoječo hidro mrežo območja. Obstoječi modeli prispevnih območij imajo lahko različen izvor (različne organizacije, metode, ipd.), ki pa jih za namene analiz želimo združiti. Iztok iz območja omogoča hitrejšo navezavo prispevnih območij na hidro mrežo.



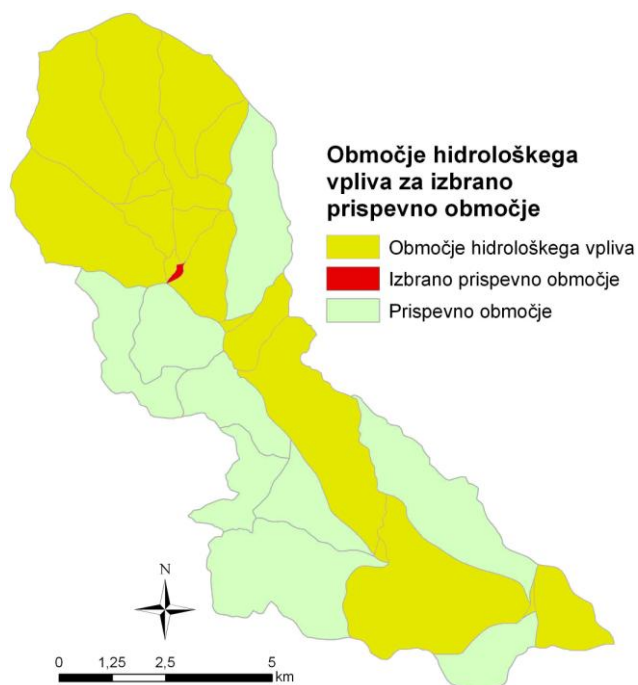
Slika 50: Iztok iz območja

### 3.5.6 Analiza prispevnih območij

Pri analizi vodnih sistemov nas pogosto zanimajo lastnosti prispevnih območij, še posebej, če razni pojavi prispevnih območij vplivajo na lastnosti voda. Pri bolj poenostavljenih problemih si lahko pomagamo tako, da povzamemo lastnosti vseh prispevnih območij, ki ležijo gor-vodno. Prav tako iztok iz določenega območja vpliva na območja, vodotoke in vodna telesa, ki ležijo dol-vodno. Za določanje prispevnih območij, ki ležijo gor-vodno, se uporabi sledenje s pomočjo hidro mreže. Tudi lastnosti območij dol-vodno se lahko akumulirajo in določijo preko hidro mreže (slika 51). Ta pristop se imenuje sledenje iz območja v območje (angl. *area-to-area*). Z združitvijo sledenja gor in dol-vodno se ustvari območje hidrološkega vpliva (slika 52).



*Slika 51: Akumulacija dol-vodno*



*Slika 52: Območje hidrološkega vpliva za izbrano prispevno območje (območje zgornjega toka reke Dravinje)*

### 3.6 Določitev prispevnega območja za poljubno točko

Osnova k izdelavi prispevnega območja za poljubno točko je izdelava razvodnic območja s pomočjo orodij *Arc Hydro*. Standardni pristop k določevanju prispevnega območja za poljubno točko je določitev točk iztoka na hidro omrežju, ki služijo kot izhodne točke prispevnih območij, katere hočemo določiti. Te točke služijo tudi za nadaljnje deljenje ali združevanje razvodnic območja.

Rezultat določevanja prispevnega območja za poljubno točko, kar je bil eden osnovnih izzivov naše naloge, je poligon, ki vsebuje vsa prispevna območja gor-vodno in del prispevnega območja, v katerem leži točka (slika 53). Območja gor-vodno se določijo s pomočjo funkcije pridružene razvodnice (angl. *Adjoint Catchment*). Ta funkcija ustvari območje hidrološkega vpliva za posamezno (izbrano) prispevno območje tako, da združi prispevna območja, ki se iztekajo v isto prispevno območje, in poveže vsa prispevna območja gor-vodno v skupen poligon. Del prispevnega območje v katerem leži točka se določi s pomočjo rastra smeri vodnega toka (angl. *Flow Direction Grid*).

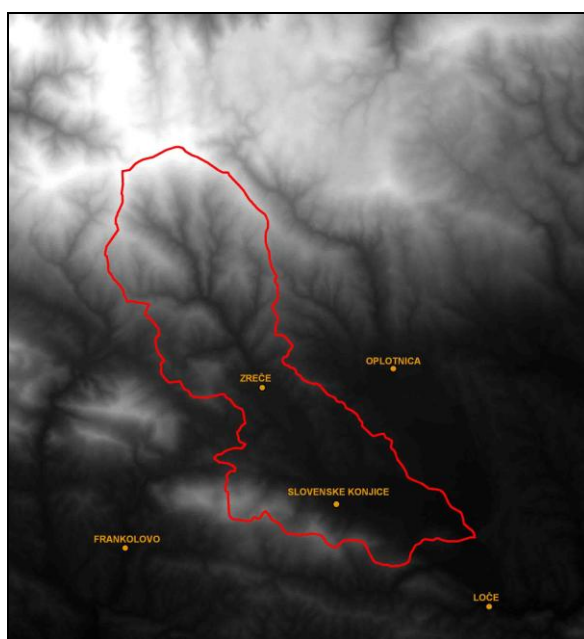


Slika 53: Hidrološko območje s funkcijo pridružene razvodnice (območje zgornjega toka reke Dravinje)

#### 4 REZULTATI IN RAZPRAVA

Oblika površja določa, kako bo površinska voda odtekala po površini. Z uporabo digitalnega modela reliefa se lahko tako upodobi sistem odtokov površinskih voda in določijo njegove značilnosti. V nalogi uporabljeno programsko orodje *Arc Hydro* vsebuje metode za opis fizikalnih lastnosti površja in nadalje omogoča določevanje prispevnega območja površinskih voda poljubne točke oziroma vplivnega območja poljubne točke, tako imenovano območje hidrološkega vpliva.

Praktični del naloge bi lahko razdelili na tri dele. Prvi del predstavlja določevanje prispevnih območij površinskih voda za izbrano študijsko območje (slika 54 predstavlja razširjeno območje obravnave) z orodjem *Arc Hydro*. Drugi del je namenjen zbiranju lastnosti prispevnih območij z izgradnjo hidro mreže in relacij med prispevnimi območji in vodotoki. V tretjem delu je predstavljena rešitev za določevanje prispevnega območja poljubne točke v vodnem sistemu, kar lahko nadalje predstavlja osnovo smotrnemu upravljanju zemljišč na prispevnih območjih in pomoč odločanju v primerih onesnaženosti voda bodisi v smislu iskanja izvora onesnaževanja bodisi v smislu opozarjanja na potencialno širjenje onesnaženosti voda in tal.



Slika 54: Razširjeno območje obdelave

## 4.1 Določevanje prispevnih območij – razvodnic

Na začetku velja opomba, da bo v skladu z zapisanim v poglavju 3.2.1 v nadaljevanju uporabljen izraz *digitalni model reliefa* – DMR.

Za namen določitve prispevnih območij površinskih voda testnega območja (poligonov), potrebujemo podatke o obliki površja – digitalni model reliefa. Za primerjavo rezultatov modeliranja prispevnih območij površinskih voda glede na natančnost DMR-ja, sta bila za določevanje prispevnih območij uporabljena dva modela – DMR 25 ter DMR 12,5. Kot dodaten vir podatkov za določevanje prispevnih območij površinskih voda uporabimo še linijski sloj vodotokov območja katrografske baze GKB25 – podatkovni sloj vode.

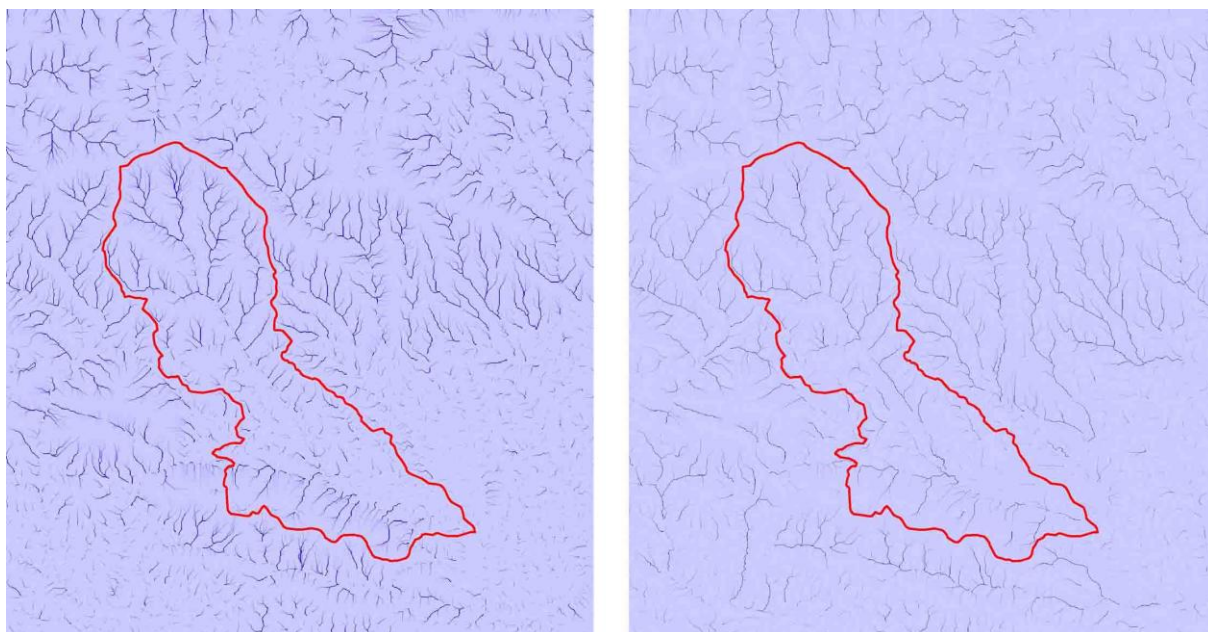
### 4.1.1 Predobdelava digitalnega modela reliefa

Prvi korak pri modeliranju prispevnih območij površinskih voda je predobdelava podatkov o reliefu, ki je pomemben korak pri pripravi podatkovne osnove za hidrološke analize, in je namenjena izdelavi hidrološko pravilnega DMR-ja. Koraki predobdelave podatkov o reliefu morajo biti izvedeni v pravilnem zaporedju. Prva dva koraka določevanja prispevnih območij sta pogojna koraka:

- odpravljanje lažnih depresij in
- priredba DMR-ja.

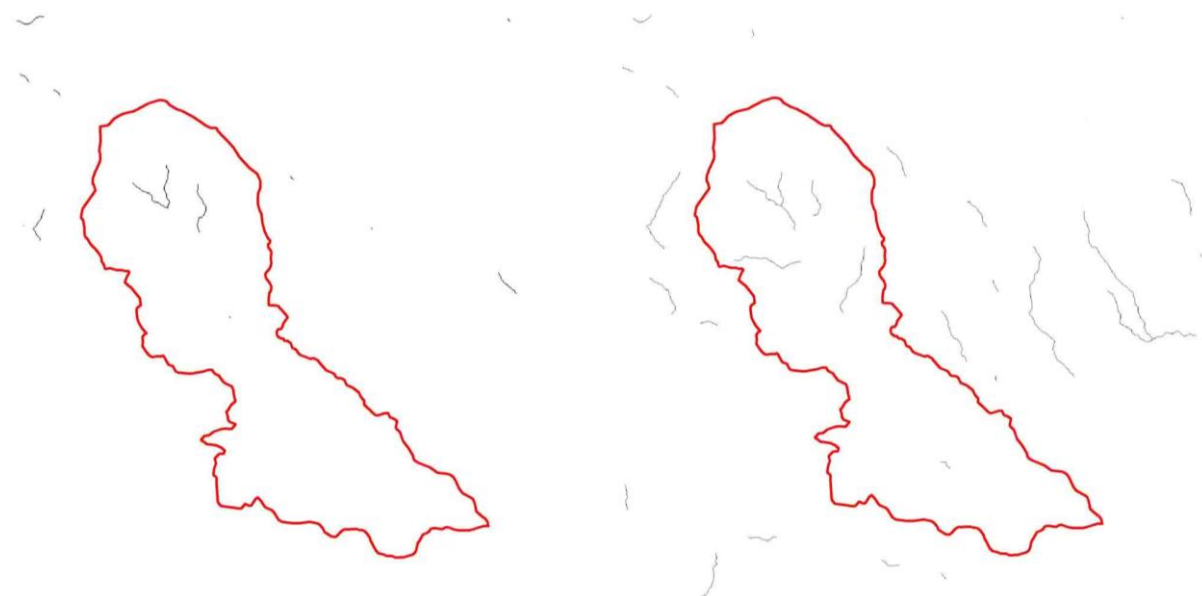
Priredba DMR-ja z modulom *AGREE*, ki priredi digitalni model reliefa vektorskim podatkovnim slojem vodotokov, in odpravljanje lažnih depresij (angl. *Fill Sinks*), sta pogojna koraka, rezultat pa je odvisen predvsem od natančnosti DMR-ja.

Odpravljanje lažnih depresij se je izkazal za izredno pomemben korak, saj je s hidrološkega stališča sam DMR neprimeren za nadaljnjo uporabo. Oba analizirana modela reliefa, DMR 25 in DMR 12,5, vsebujeta veliko število depresij. Pravimo, da je model reliefa preveč grob, zato v njem prihaja do nenaravnih nezveznosti v nagibih (Petkovšek, 2001). Rezultat uporabe takega modela reliefa je ogromno število kratkih tokov površinskih voda, ki nastanejo pri funkciji akumulirani tokovi (slika 55).



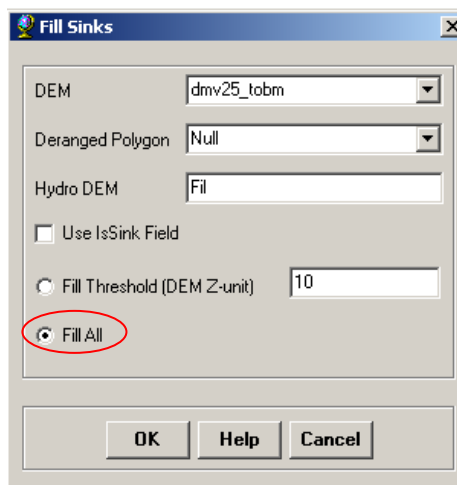
*Slika 55: Akumulirani tokovi pri DMR 25 (levo) in DMR 12,5 (desno)*

Za primer si pogledjmo dva primera opredelitve tokov, na osnovi modelov reliefa DMR 25 in DMR 12,5, ki imata prispevno območje veliko 3 km<sup>2</sup>. Vidimo, da je na ta način pridobljeno število tokov zanemarljivo malo (slika 56).



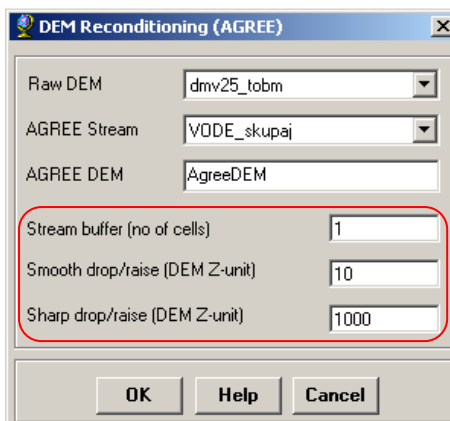
*Slika 56: Opredelitev tokov pred odpravo lažnih depresij – DMR 25 (levo) in DMR 12,5 (desno)*

Za bolj kakovostne analize oziroma modele površinskih vod je zato treba (za oba DMR-ja) odpraviti lažne depresije. Ker na obravnavanem območju ni stoječih površinskih vodnih teles (jezer), smo uporabili ukaz, ki zapolni vse depresije (angl. *Fill All*) (slika 57). Rezultat je bolj gladek in zvezen digitalni model reliefa.



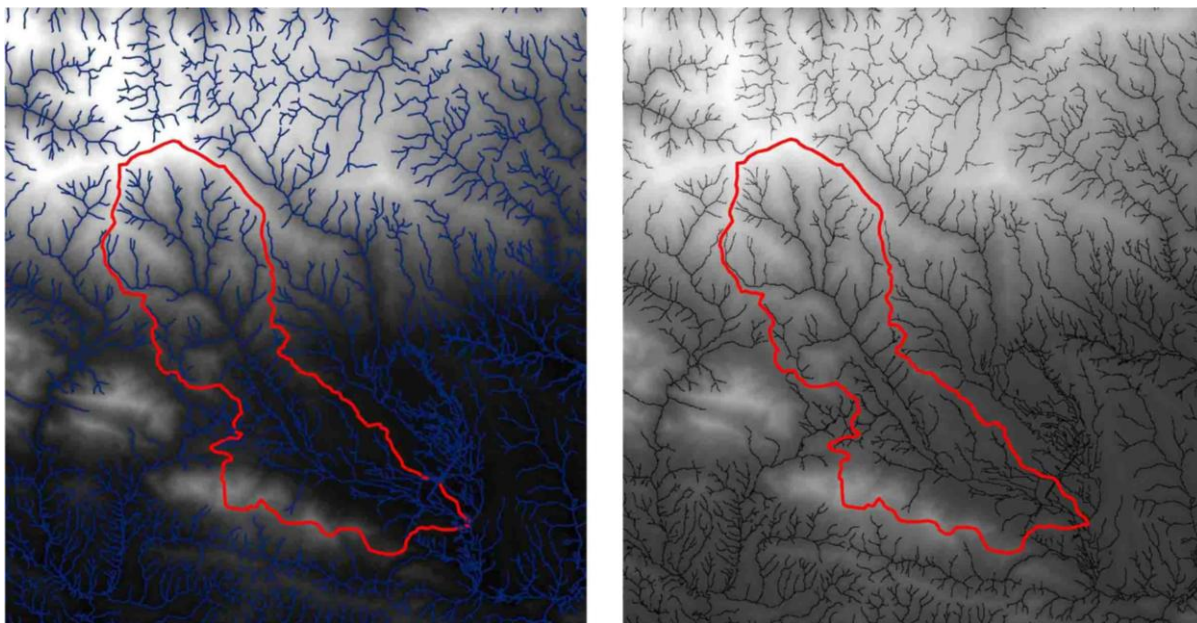
Slika 57: Vhodni podatki funkcije odpravljanja lažnih depresij

Priredba DMR-ja pa je pomembna predvsem iz stališča doslednosti DMR-ja z linijskim slojem površinskih vodnih teles. Funkcija zniža višino (vrednosti) DMR-ja v celicah, ki se prekrivajo z vektorskim slojem površinskih vodnih teles. Intenziteta umetnega znižanja (ali zvišanja v primeru gorskih grebenov) višin celicam digitalnega modela reliefa se uravnava z ukazoma gladek/oster dvig/spust celic. Vplivno območje se določi z razdaljo od vektorskega sloja. V nalogi smo uporabili maksimalen spust celic (1000 m), saj je to najbolj primerno, ko nas zanima samo izgradnja prispevnih območij površinskih voda (slika 58).



Slika 58: Vhodni podatki funkcije priredba DMR-ja

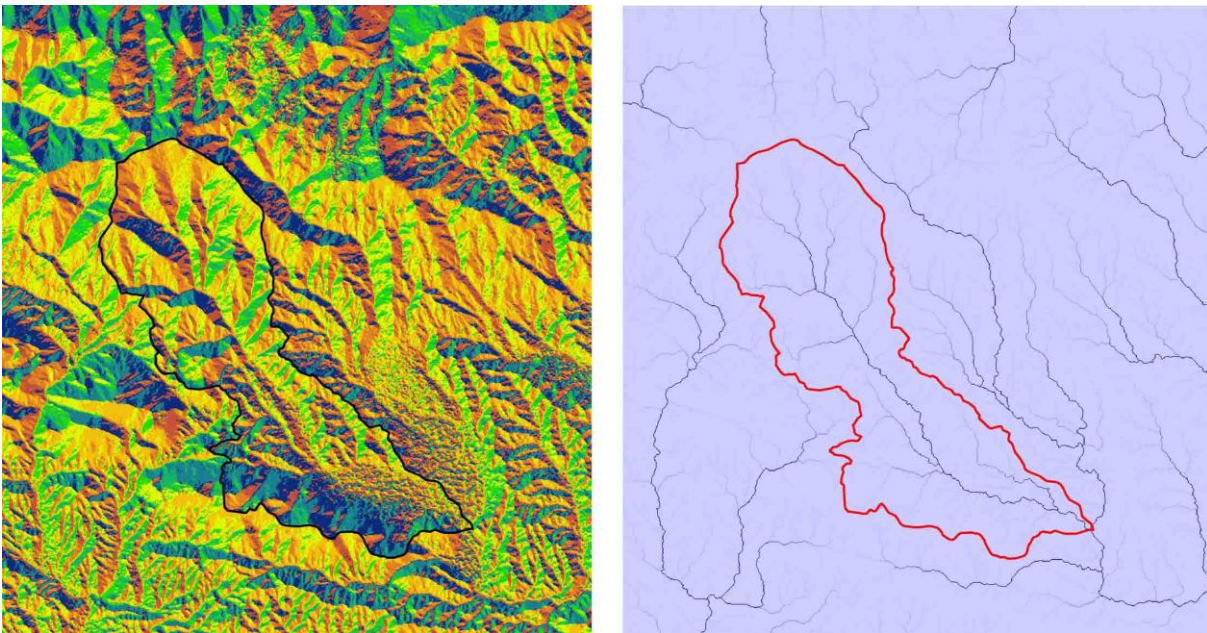
Rezultat priredbe digitalnega modela reliefa podatkom površinskih vodnih teles (vodotokov) je "vžgan" vektorski sloj vod v DMR-ju (slika 59).



Slika 59: Izvorni DMR in sloj vod (levo) ter metoda priredbe DMR-ja (desno)

Sledita dva popolnoma avtomatizirana postopka – izdelava rastra smeri toka vode in akumuliranih tokov – oba sta izredno pomembna pri nadaljnji obdelavi (slika 60).





Slika 60: Raster smeri vodnega toka (levo) ter akumuliranih tokov (desno) (DMR 25)

Pri akumuliranih tokovih se že pokažejo vodotoki po površju. Dodaten popravek prispeva odprava lažnih depresij. Če primerjamo te rezultate s tistimi na sliki 55, vidimo, da ni več majhnih tokov; namesto njih so na površju lepo vidni kompaktni vodni tokovi (slika 60).

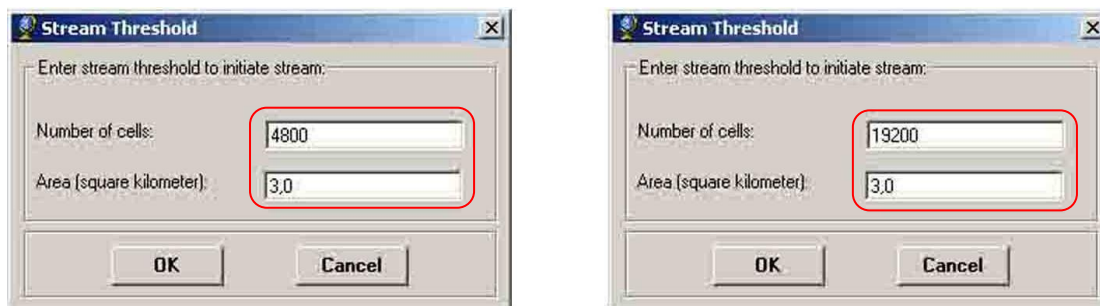
#### 4.1.2 Opredelitev vodnih tokov

Sledeči korak pri določevanju prispevnih območij površinskih vodnih tokov je določitev števila oziroma velikosti tokov. Ta korak je izredno pomemben pri določevanju prispevnih območij vodotokov, saj vplivamo na število in velikost prispevnih območij površinskih voda obravnavanega območja. To storimo s tako imenovanim vhodnim pragom območja (angl. *Threshold*). Vhodni prag lahko določimo s številom celic ali s površino prispevnih območij v km<sup>2</sup>.

V nalogi smo izbrali vhodni prag 3 km<sup>2</sup>, kar je povprečna površina že modeliranih razvodij Slovenije znotraj območja obravnave. Razmerje med številom celic in površino se izračuna kot:

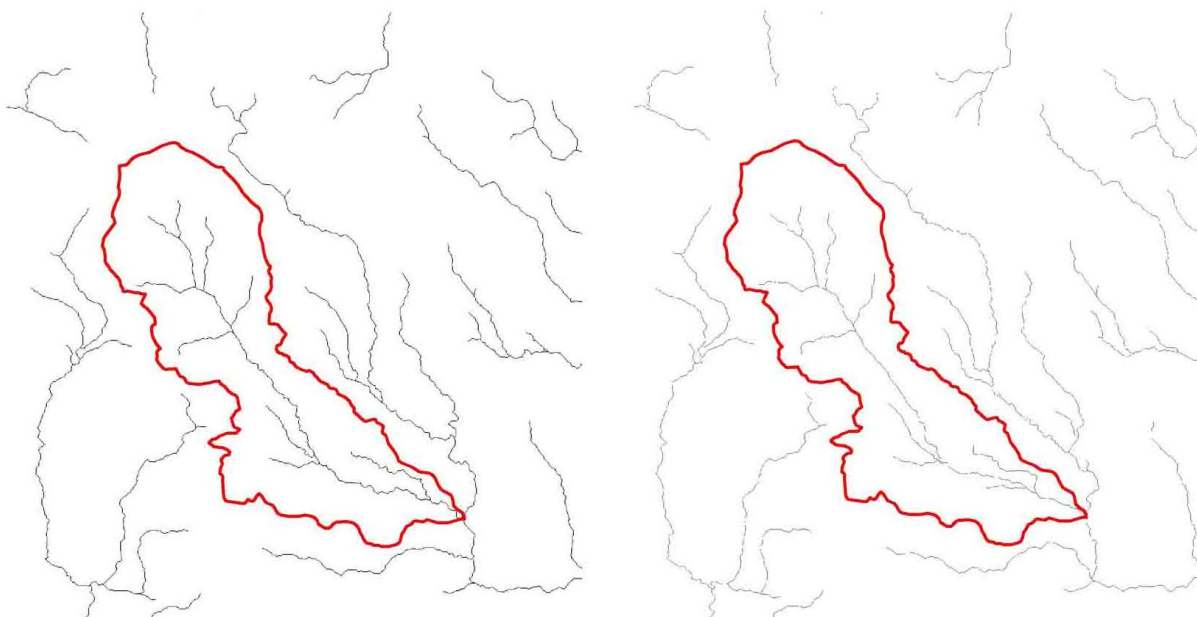
$$\text{število celic območja} \times \text{velikost celice v km}^2 = \text{velikost območja v km}^2$$

V primeru digitalnega modela reliefa DMR 25 je tako potrebno 4800 rastrskih celic, da pokrije območje veliko  $3 \text{ km}^2$ , v primeru DMR 12,5 pa 19.200 (slika 61). S tem smo določili tudi povprečno velikost prispevnih območij vodotokov območja.



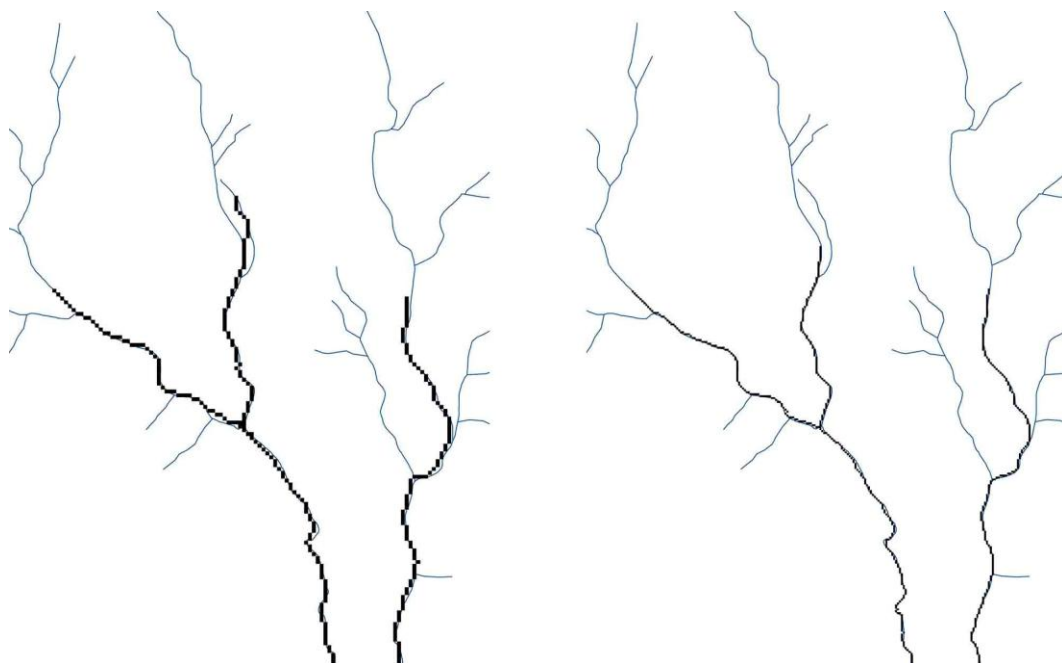
Slika 61: Vhodni prag  $3 \text{ km}^2$  za DMR 25 (levo) in DMR 12,5 (desno)

Na sliki 62 vidimo površinske vodne tokove, ki so rezultat opredelitve vhodnega praga  $3 \text{ km}^2$ .



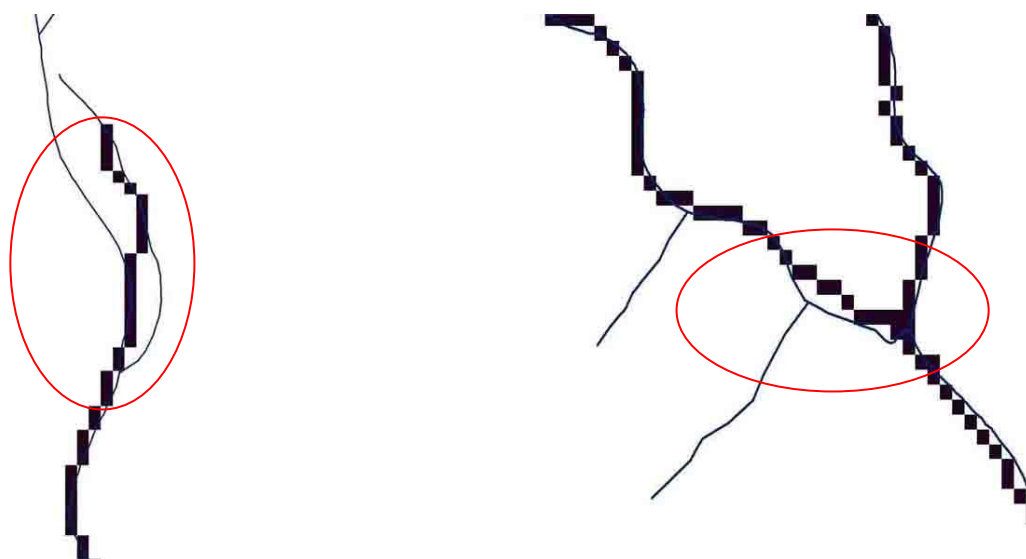
Slika 62: Opredeljeni tokovi pri vhodnem pragu  $3 \text{ km}^2$  za DMR 25 (levo) in DMR 12,5 (desno)

Rezultate modeliranja površinskih vodnih tokov za primer uporabe obeh digitalnih modelov reliefa smo grafično primerjali z vektorskim slojem vodotokov kartografske baze GKB25 (slika 63).



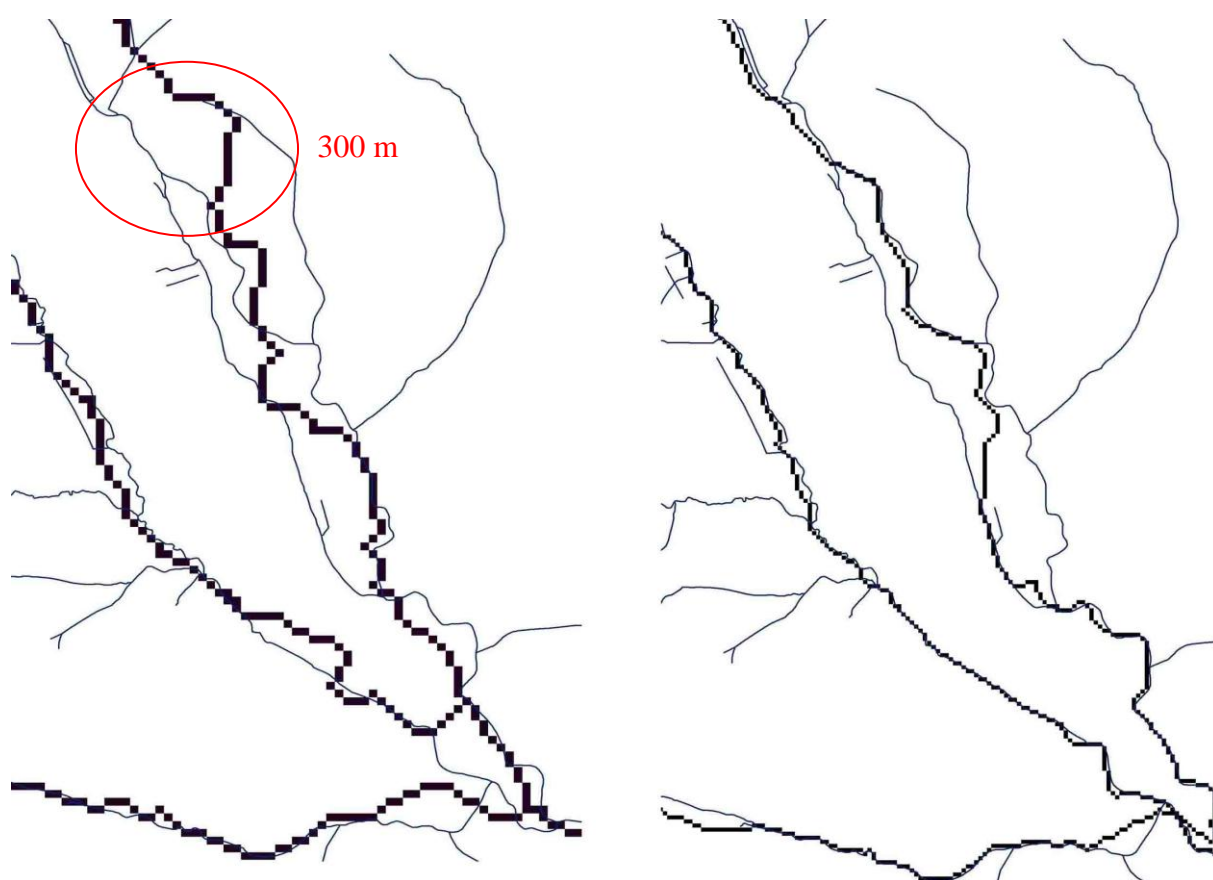
*Slika 63: Primerjava tokov iz DMR-jev (črna) z vektorskim slojem vod (modra) na hribovitem območju (DMR 25 – levo, DMR 12,5 – desno)*

Kot vidimo na sliki 63, opredeljeni tokovi na osnovi podatkov DMR-ja na hribovitem, strnejšem območju relativno dobro sovpadajo z vektorskim slojem vod. Odstopanja se pojavijo pri DMR 25 in sicer pri izlivih enega potoka v drugega in kadar sta dva toka vzporedna in relativno blizu (slika 64). Odstopanja znašajo do 25 m v naravi.



*Slika 64: Odstopanje toka pri DMR 25 v hribovitih predelih*

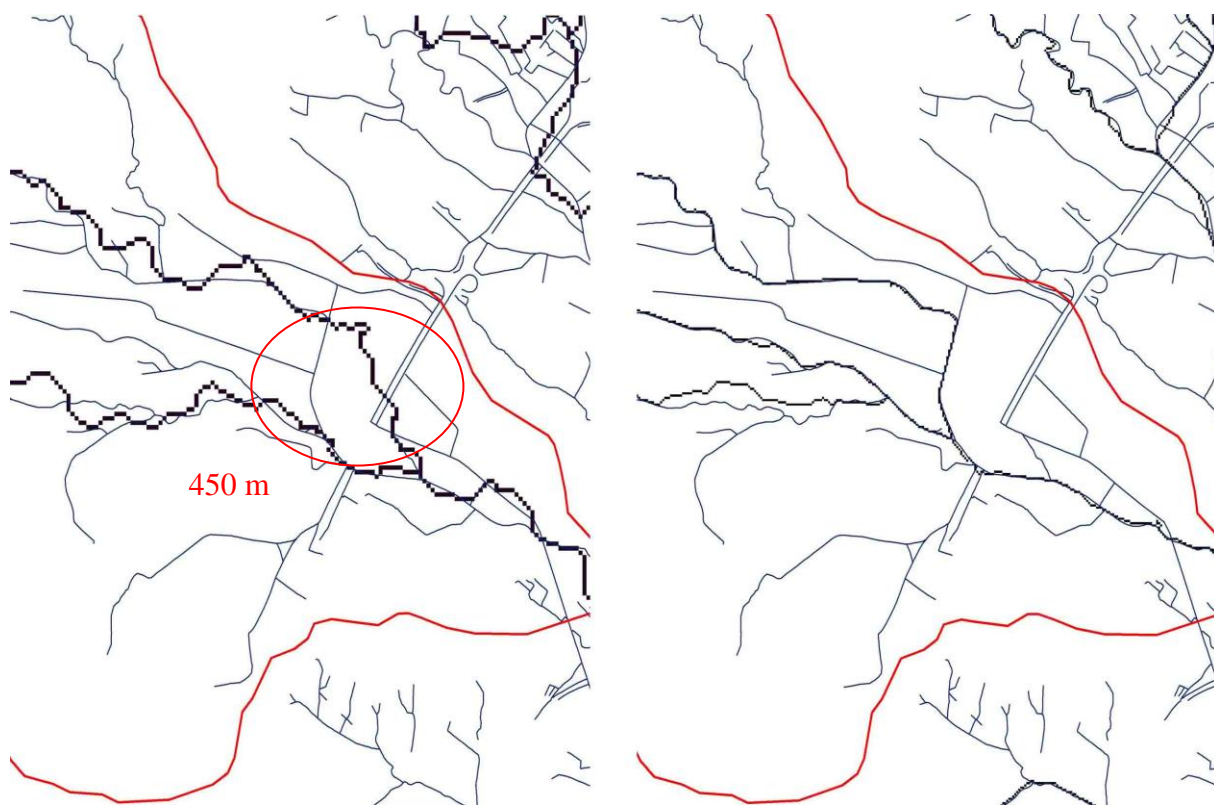
Ko se premaknemo nižje po toku proti ravninskim območjem (v obravnavanem primeru proti jugu), pa je zgodba popolnoma drugačna. Odstopanja med vodotoki, ki so rezultat modeliranja površinskih vodotokov na osnovi digitalnega modela reliefa, in vodotoki kartografske baze, se pri DMR 25 že v srednjem delu obravnavanega območja z majhnim nagibom povečajo in znašajo na nekaterih območjih tudi do 300 m v naravi. Največ težav se pojavi znova pri izlivih potokov in na mestih, kjer se potoki oz. reke razcepijo in so njihovi toki bolj ali manj vpredni ter relativno blizu. Nekoliko manjša vendar tudi očitna odstopanja se pojavijo tudi v primeru DMR 12,5 (slika 65).



*Slika 65: Opredeljeni tokovi DMR 25 (levo) in DMR 12,5 (desno) in odstopanja v srednjem delu*

Odstopanja pri DMR 12,5 se pojavljajo predvsem pri izlivih vodotokov (do 25 m), največjo težavo pa tudi tukaj predstavljajo potoki oz. reke, ki imajo dokaj razvejeno vejo tokov, ki so si med sabo geografsko blizu (slika 65).

Poglejmo si še primerjavo tokov v nižinskem delu, kjer je poleg naravnega toka površinske vode navzočih tudi veliko umetnih kanalov. Kot vidimo s slike 66, vodni tokovi, opredeljeni na osnovi DMR 12,5, sledijo glavnim vodotokom površja po podatkih kartografske baze. Položajna odstopanja znašajo največ 25 m. Tokovi voda, določeni na osnovi DMR 25, pa odstopajo po položaju glede na podatke o površinskih vodnih telesih (tokovih) kartografske baze tudi do 450 m. Težavo znova predstavljajo predvsem iztoki vodotokov.



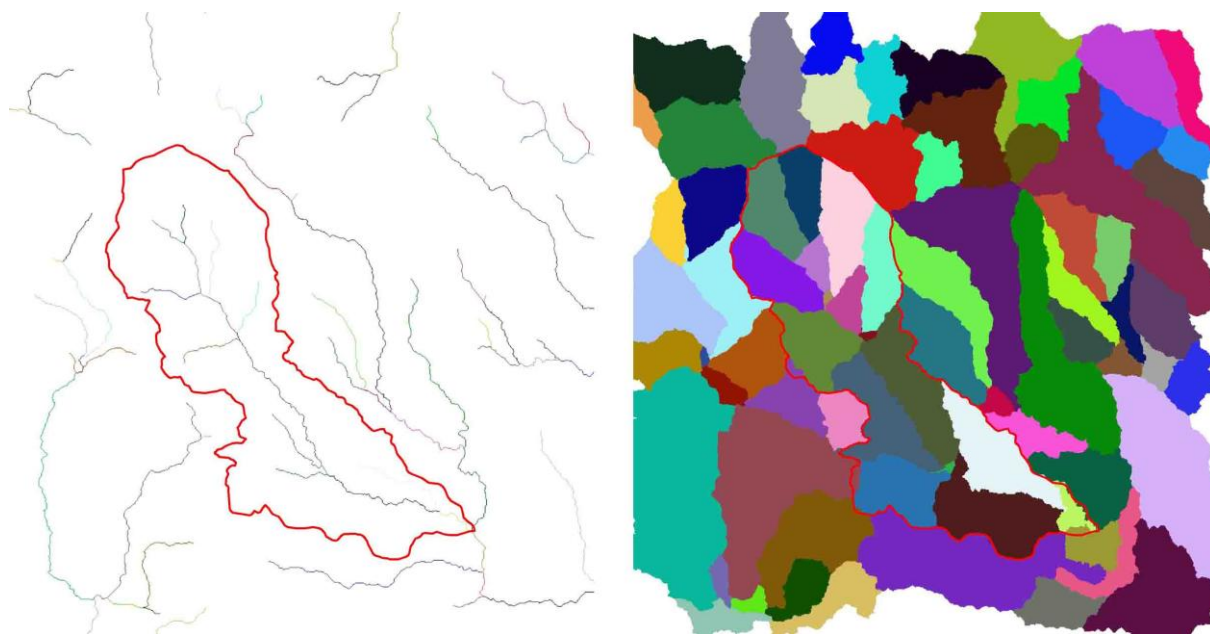
Slika 66: Opredeljeni tokovi DMR 25 (levo) in DMR 12,5 (desno) in odstopanja v nižinskem delu; (rdeča – meja območja)

Povzamemo lahko, da površinska vodna telesa (tokovi), opredeljena na osnovi DMR-jev, najbolj sovpadajo z vodnimi tokovi kartografske baze v hribovitih, strmejših predelih. Težave predstavljajo predvsem območja, kjer se vodotoki izlivajo drug v drugega in so si relativno blizu. Na območjih zmernejšega nagiba terena, to je med prehodom iz hribovitega v ravninski del, se položajna odstopanja med modeliranimi vodnimi tokovi na osnovi DMR-ja in podatki kartografske baze povečajo. V primeru uporabe DMR 25 ta odstopanja narastejo že do 300 m. Težave tudi na tem območju predstavljajo sotočja in vodotoki, ki se zlivajo skupaj, gor-vodno

pa tečejo relativno blizu drug drugemu. V ravninskem delu obravnavanega območja se položajno odstopanje opredeljenih vodnih tokov iz DMR 25 glede na podatke kartografske baze poveča na 450 m. Nekoliko manjša odstopanja so v primeru uporabe DMR 12,5, kjer tako modelirani vodotoki bolje sovpadajo z vektorskim slojem kartografske baze; težavo predstavljajo edino tokovi, ki se zlivajo skupaj in katerih tokovi gorvodno ležijo relativno blizu. Uporaba DMR 12,5 se je torej izkazala za veliko bolj primerno metodo opredeljevanja tokov površinskih vod kot DMR 25 in je zato primernejša za izdelavo prispevnih območij.

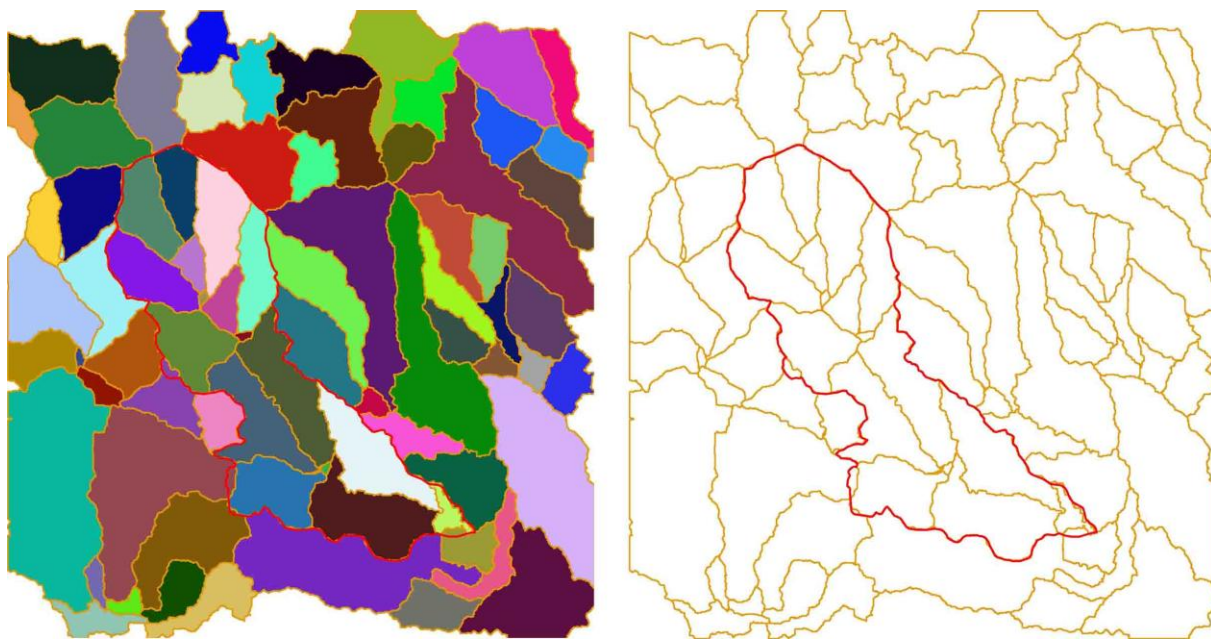
#### 4.1.3 Modeliranje razvodnic oziroma prispevnih območij

Za določitev razvodnic na obravnavanem območju je treba predhodno opraviti segmentacijo tokov površinskih vod, kjer določimo niz segmentov (delov vodotokov), vsakega s svojim identifikatorjem (slika 67). Na osnovi segmentacije tokov in ob uporabi predhodno pripravljenih podatkov o smeri vodnih tokov lahko upodobimo prispevna območja površinskih vodotokov. Rešitev temelji na pristopu, da določimo skupine rastrskih celic, katerih vode (smeri vodnih tokov) tečejo skozi predhodno določen segment in tako določimo njihova prispevna območja.



Slika 67: Segmentacija tokov (levo) in upodobitev prispevnih območij (desno)

Za nadaljne analize prispevnih območij površinskih vodotokov rastrski podatkovni sloj prispevnih območij spremenimo v vektorski zapis. Slednje storimo z razvojem poligonov prispevnih območij, kjer raster upodobitve prispevnih območij transformiramo v poligone prispevnih območij, t. i. razvodnice (slika 68).

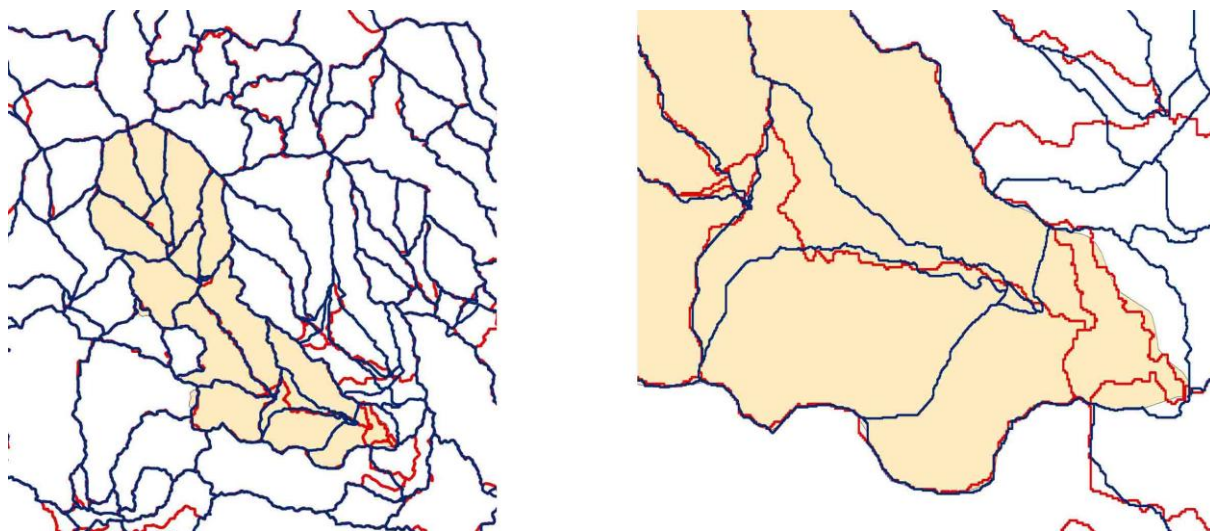


Slika 68: Upodobitev prispevnih območij (levo) in poligoni prispevnih območij (desno)

Tako pridobljene razvodnice smo grafično primerjali s slojem razvodnic obravnavanega območja, ki je v lasti Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO). Primerjava je bila izvedena tako za razvodnice, pridobljene na osnovi DMR 25, kot tudi za razvodnice, katerih vhodni podatek o terenu je predstavljal DMR 12,5. Zanimiva je tudi primerjava z razvodnicami, ki smo jih dobili ob (ne)uporabi funkcije priredbe DMR-ja (metoda *AGREE*) za vektorske podatke vodotokov kartografske baze.

Prva grafična primerjava je med razvodnicami, ki smo jih izračunali iz obeh uporabljenih digitalnih modelov reliefa (DMR 25 in DMR 12,5) kot vhodnih podatkov o obliki reliefa na obravnavanem območju. Na sliki 69 so rdeče označene razvodnice, ki so pridobljene na osnovi DMR 25, modre pa so razvodnice, modelirane na osnovi obdelave DMR 12,5. Kot je razvidno s slike 69, omenjene razvodnice sovpadajo na večini obravnavanega območja; do razlik prihaja med zgornjim, reliefno razgibanim območjem, in spodnjim, pretežno

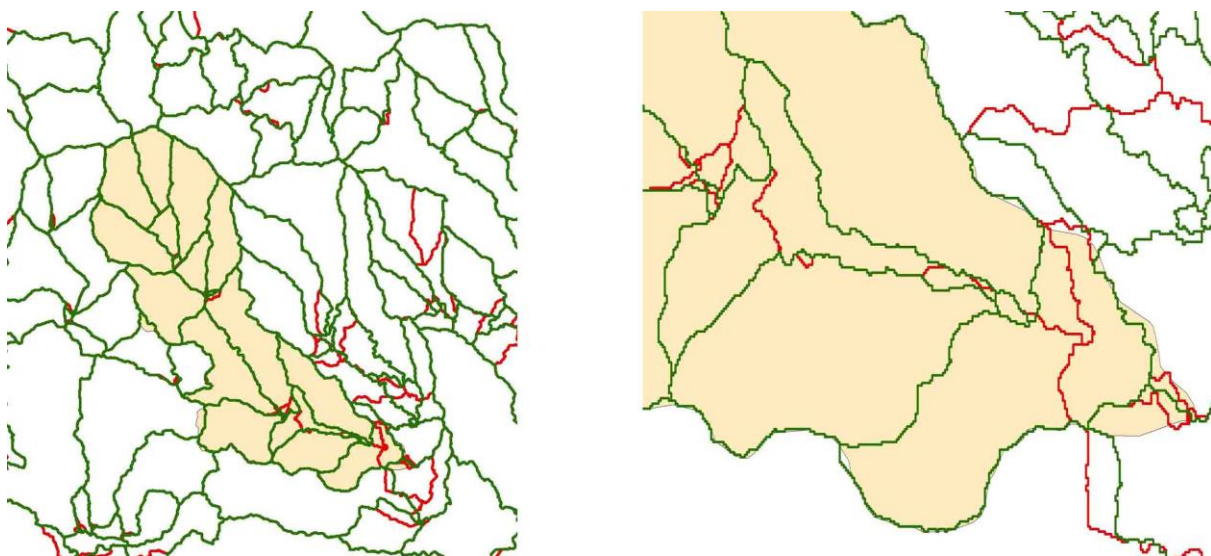
ravninskim delom obravnavanega območja. Na odstopanja na pretežno ravninskih območjih je bilo mogoče sklepati že v predhodnih korakih, ko smo do podobnih ugotovitev prišli pri opredeljenju tokov površinskih voda na osnovi obeh modelov reliefa.



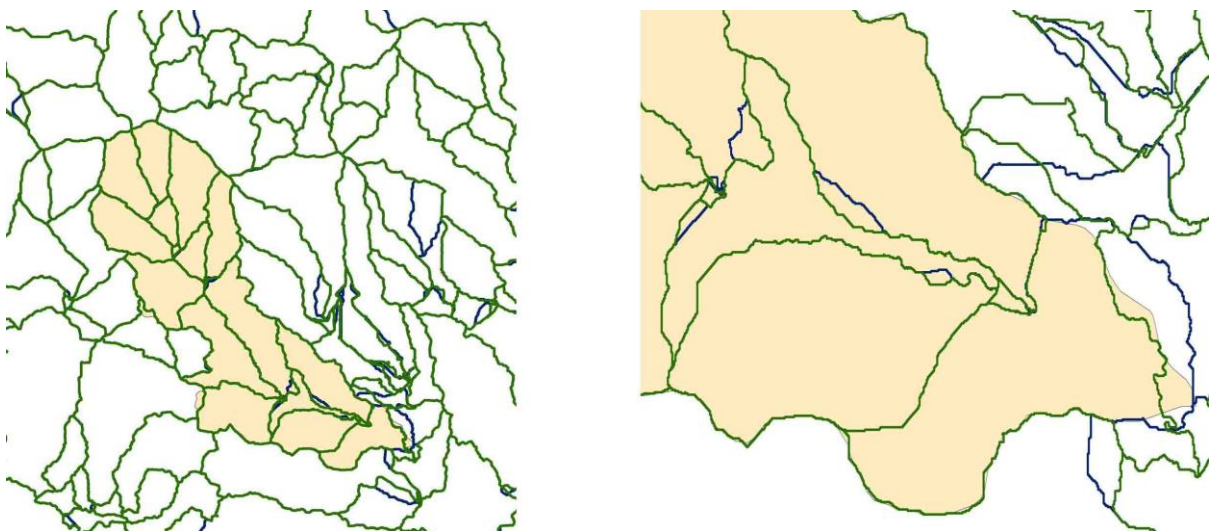
*Slika 69: Upodobitev razvodnic iz DMR 25 (rdeče) in DMR 12,5 (modro) na celotnem območju (levo) ter na ravninskem predelu (desno)*

Nadalje je zanimiva primerjava med razvodnicami, določenimi na osnovi obeh digitalnih modelov reliefa: DMR 25 (slika 70) in DMR 12,5 (slika 71), in razvodnicami, ki so bile določene na osnovi dodatne priredbe digitalnega modela reliefa za popravek vektorskega podatkovnega sloja površinskih vodotokov kartografske baze GKB 25. Prve razvodnice so označene rdeče in modro, razvodnice, določene na osnovi prirejenega modela reliefa pa zeleno (slika 70 in slika 71).





*Slika 70: Upodobitev razvodnic iz DMR 25 (rdeče) in z metodo AGREE (zeleno) na celotnem območju (levo) ter v ravnini (desno)*



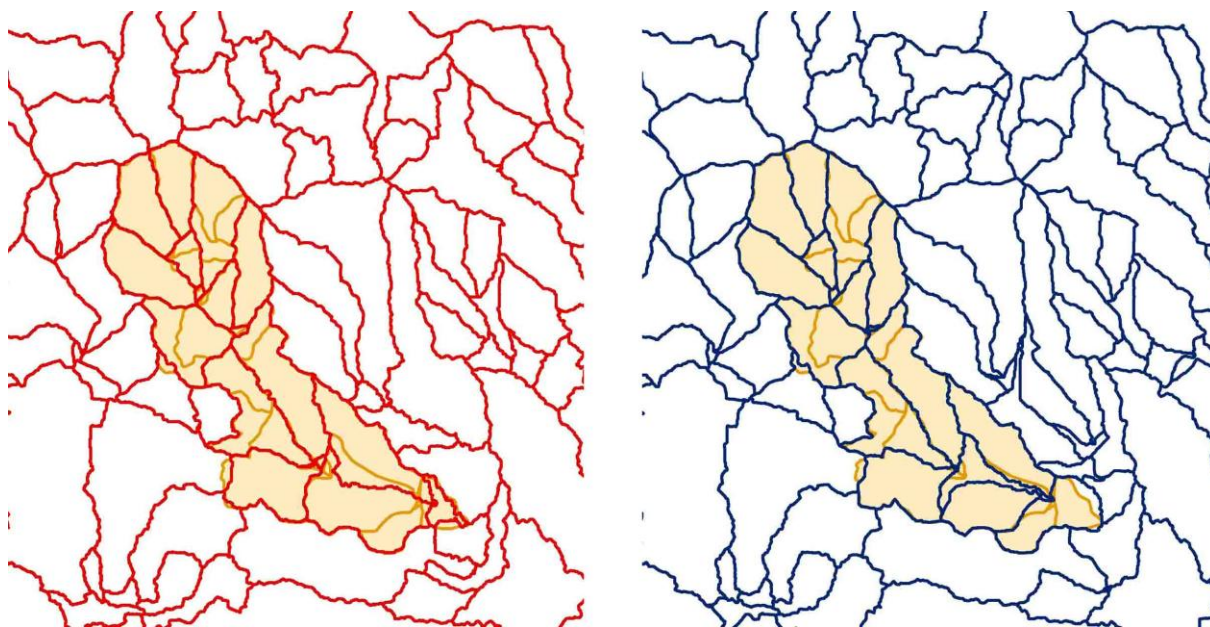
*Slika 71: Upodobitev razvodnic iz DMR 12,5 (rdeče) in z metodo AGREE (zeleno) na celotnem območju (levo) ter v ravnini (desno)*

Razvodnice obravnavanega območja, določene na osnovi dodatne priredbe digitalnega modela reliefa, se bistveno ne razlikujejo od razvodnic, pridobljenih samo z obdelavo danega digitalnega modela reliefa. Do razlik ponovno prihaja predvsem na ravninskih območjih. Večja odstopanja so zopet značilna za razvodnice, ki so pridobljene iz DMR 25, medtem ko razvodnice iz DMR 12,5 relativno dobro sovpadajo z razvodnicami, pridobljenimi s predhodno priredno digitalnega modela reliefa.

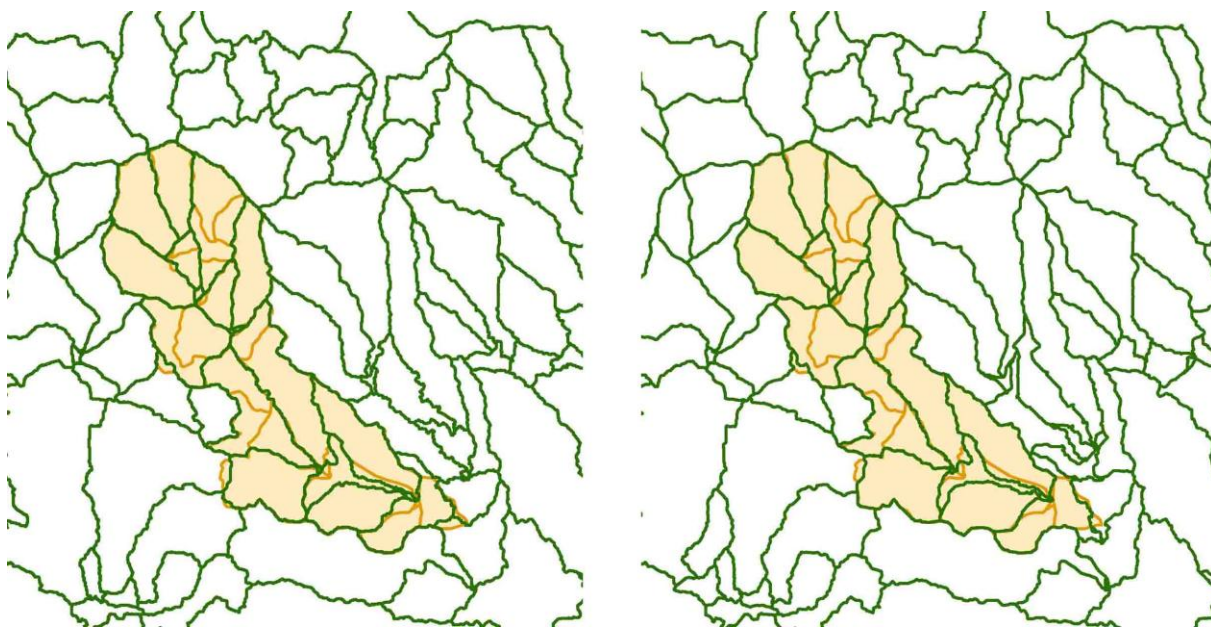
#### 4.1.4 Primerjava rezultatov modeliranja razvodnic s podatki ARSO

Modelirane razvodnice smo nadalje primerjali z razvodnicami, pridobljenimi na ARSO. Grafična primerjava modeliranih razvodnic na osnovi digitalnih modelov reliefa z razvodnicami ARSO je smiselna, saj slednje predstavljajo uradno delitev Slovenije na hidrološke prostorske enote. Pred primerjavo rezultatov našega modeliranja z razvodnicami ARSO je treba poudariti, da je modeliranje razvodnic interaktiven postopek in je redko popolnoma avtomatiziran. To pomeni, da je postopek podvržen subjektivnim odločitvam posameznika, ki se odloča na podlagi različnih dejavnikov in znanj, od osnovnih, kot so fizikalne lastnosti površja in hidroloških zakonitosti, do upravnih, kot so velikost razvodij, ki so praviloma oblikovani na osnovi namena modeliranja razvodij (npr. smotrno upravljanje voda, zemljišč).

Slika 72 (brez priredbe DMR-ja) in slika 73 (priredba DMR-ja) prikazujeta primerjavo razvodnic, pridobljenih na osnovi DMR 25 (levo) in DMR 12,5 (desno), in razvodnic agencije ARSO.



*Slika 72: Primerjava razvodnic iz DMR 25 (rdeče, levo) in iz DMR 12,5 (modro, desno) brez predhodne priredbe DMR-ja z razvodnicami ARSO (oranžno)*



Slika 73: Primerjava razvodnic iz DMR 25 (levo) in DMR 12,5 (desno) pridobljenih z metodo predhodne priredbe DMR-ja z razvodnicami ARSO (oranžno)

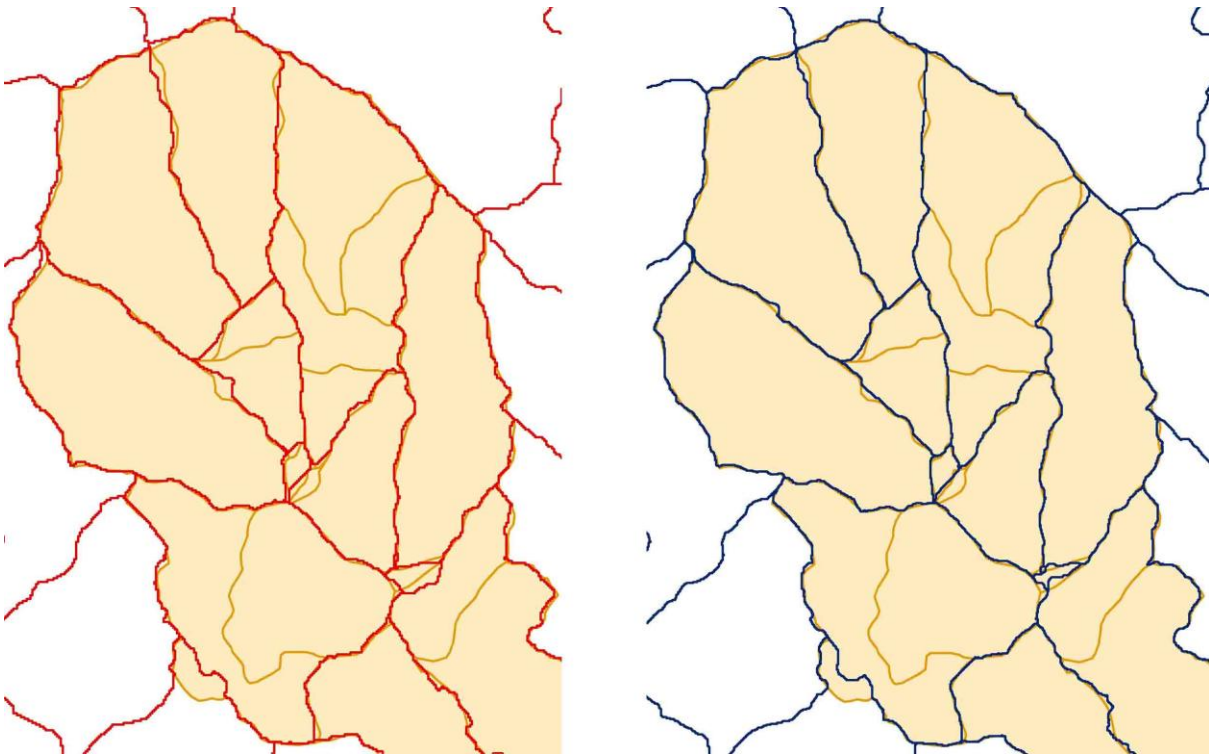
Pri primerjavi rezultatov modeliranja razvodnic z razvodnicami ARSO je treba poudariti, da razvodnice ARSO določajo prispevna območja različnih velikosti, ki znašajo na območju naše študije od  $0,08 \text{ km}^2$  do  $8,5 \text{ km}^2$ . Srednja vrednost površine prispevnih območij za obravnavano območje znaša po podatkih ARSO  $3 \text{ km}^2$ , kar smo tudi upoštevali kot vhodni podatek (parameter) pri določevanju razvodnic. Pri primerjalni analizi zato razvodnice ARSO, ki določajo prispevna območja manjša od  $3 \text{ km}^2$ , ignoriramo, hkrati pa ugotavljamo, da lahko ta območja obravnavamo kot del večjih prispevnih območij ( $3 \text{ km}^2$ ), saj praviloma v celoti ležijo znotraj večjih prispevnih območij (tako glede na razvodnice ARSO kot glede na razvodnice, določene na osnovi obeh DMR-jev). Pri primerjavi nas tako zanimajo le robovi tekom naloge razvitih prispevnih območij površinskih voda (razvodnic) – kako se le ti ujemajo z razvodnicami ARSO.

V nadaljevanju je podana primerjava naših rezultatov z razvodnicami ARSO za hribovit, reliefno bolj razgiban teren območja obravnave (slika 74 in slika 76) in za pretežno ravninski del obravnavanega območja (slika 75 in slika 77). Pri tem so posebej podane primerjave podatkov ARSO z rezultati našega modeliranja, ki vključuje razvodnice, pridobljene na osnovi uporabe obeh originalnih digitalnih modelov reliefa DMR 25 in DMR 12,5, in za

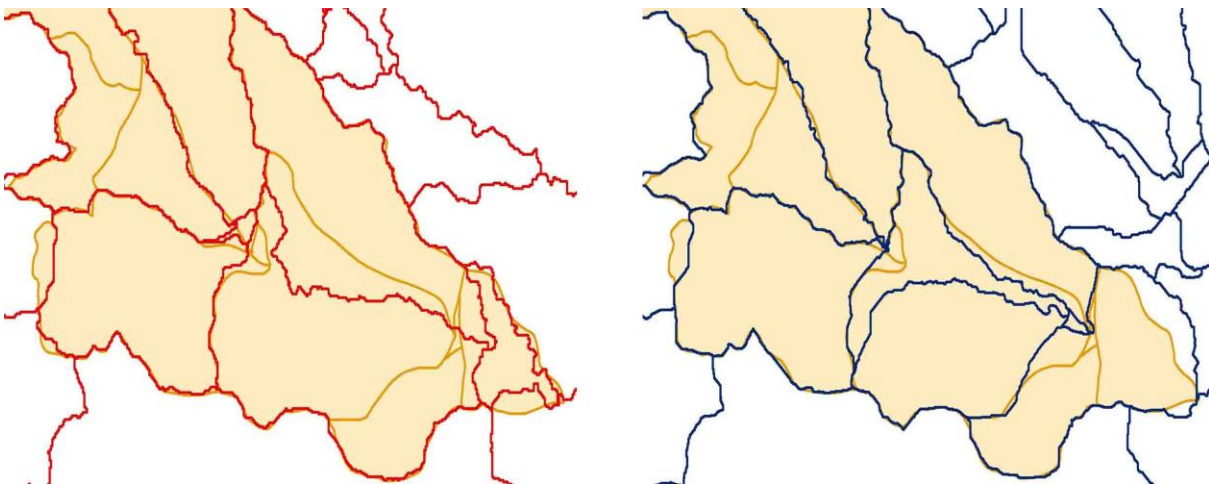
razvodnice, pridobljene ob pripravi obeh DMR-jev, ko je predhodno upoštevan popravek DMR-ja za podatke vodotokov kartografske baze.

Na slikah 74 in 76 opazimo, da v hribovitih območjih razvodnice, ki smo jih dobili z modeliranjem tako na osnovi originalnih DMR-jev kot na osnovi preredbe DMR-ja, relativno dobro sovpadajo z razvodnicami ARSO. Natančnejša analiza razlik pokaže na nekoliko večje odstopanje razvodnic iz vhodnega digitalnega modela reliefa, kjer znašajo maksimalna odstopanja med 170 m za DMR 25 in 130 m za DMR 12,5.

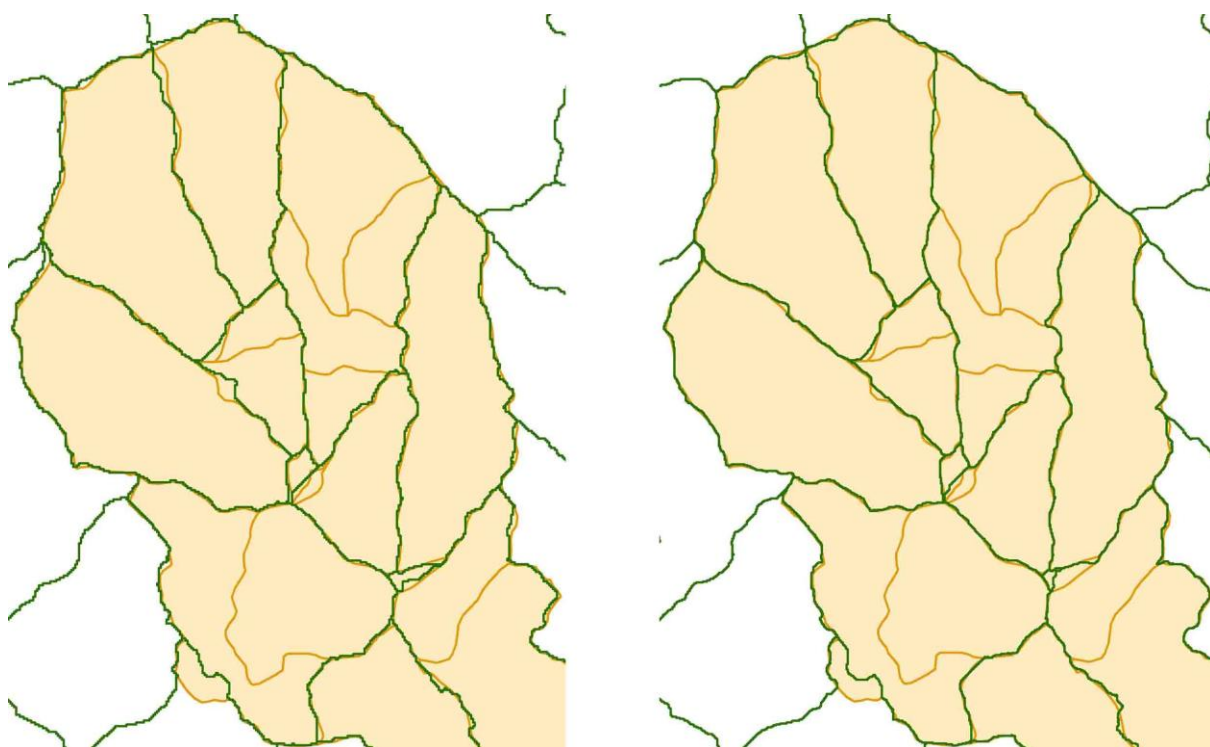
Na ravninskih, reliefno manj razgibanih predelih znotraj območja obravnave (sliki 75 in 77), prihaja do večjih razlik. Odstopanj razvodnic ARSO v primerjavi z našimi rezultati znašajo 900 m za DMR 25 in do 220 m za DMR 12,5, torej so odstopanja občutno večja v primeru uporabe DMR 25, kar je očitno tudi s slike 75. Poleg že omenjenih težav pri modeliranju vodotokov na ravninskih območjih na osnovi DMR-ja velja delno razlog za ta odstopanja pripisati tudi vhodnemu pragu (velikost prispevnih območij), ki smo ga določili na začetku, to je 3 km<sup>2</sup>. Avtomatizirani postopki delujejo na podlagi vhodnih podatkov, zato so bila ustvarjena prispevna območja znotraj vhodnega praga, medtem ko je izvorni sloj rezultat usklajevanj in predvsem interaktivnega odločanja strokovnjakov.



*Slika 74: Primerjava razvodnic v hribovitem območju, pridobljenih na osnovi DMR 25 (rdeče, levo) in DMR 12,5 (modro, desno), z razvodnicami ARSO (oranžno)*

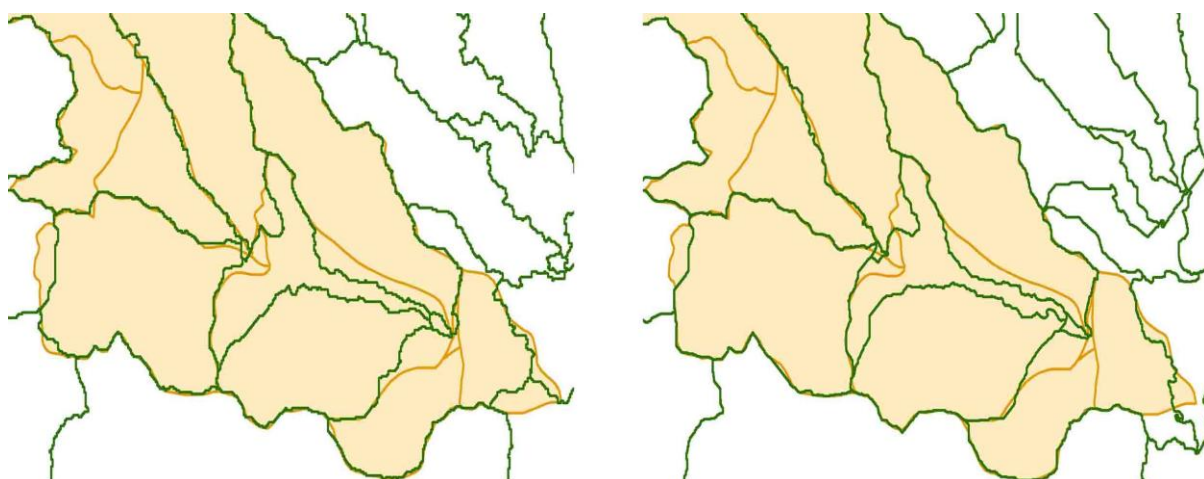


*Slika 75: Primerjava razvodnic v ravninskem območju, pridobljenih na osnovi DMR 25 (rdeče, levo) in DMR 12,5 (modro, desno), z razvodnicami ARSO (oranžno)*



Slika 76: Primerjava razvodnic v hribovitem območju, pridobljenih na osnovi DMR 25 (levo) in DMR 12,5 (desno) z metodo predhodne priredbe DMR-ja, z razvodnicami ARSO (oranžno)

Izpostaviti velja še razlike med rezultati metode modeliranja razvodnic površinskih voda na osnovi originalnega digitalnega modela reliefa in modeliranja razvodnic na osnovi priredbe modela reliefa, ki je očitna predvsem pri uporabi DMR 25 (glej sliko 75 in sliko 77).

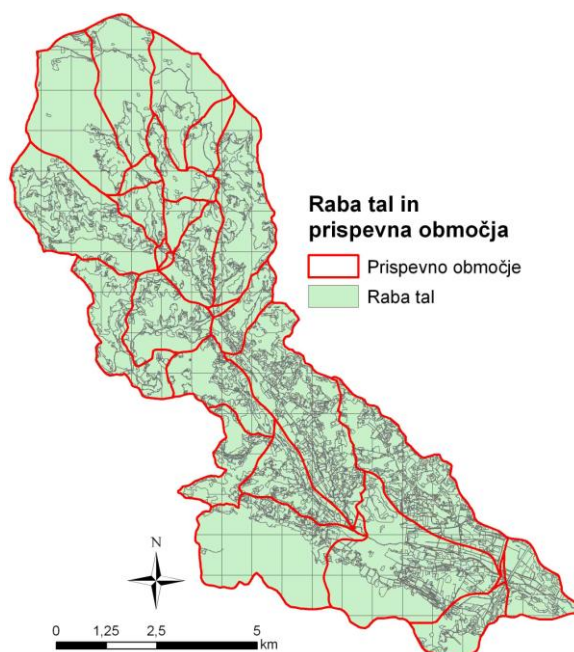


Slika 77: Primerjava razvodnic v ravninskem območju, pridobljenih na osnovi DMR 25 (levo) in DMR 12,5 (desno) z metodo predhodne priredbe DMR-ja, z razvodnicami ARSO (oranžno)

## 4.2 Določevanje prispevnih območij s pomočjo hidro mreže

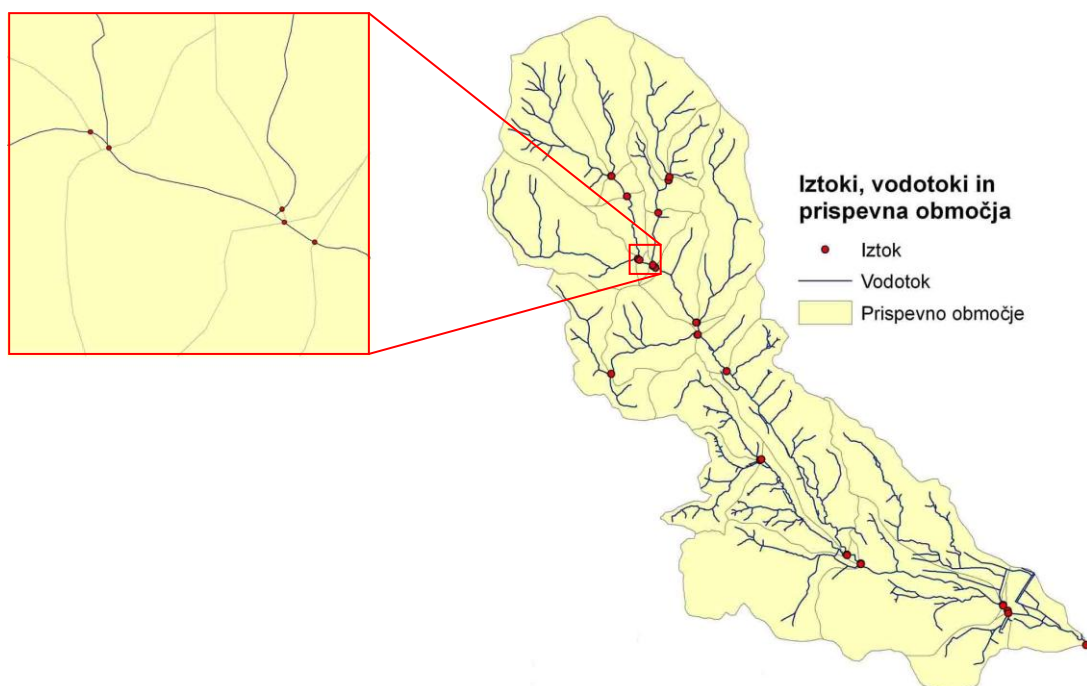
Cilj drugega dela naloge je bila določitev rabe tal znotraj prispevnih območij za obravnavano območje z namenom smotrnega upravljanja zemljišč in voda. Zakaj določitev rabe tal znotraj prispevnih območij? V uvodu je bila nakazana problematika smotrnega upravljanja z vodnimi viri, ki zahtevajo celovit pristop spremljanja kakovosti voda, kar vključuje tudi smotrno gospodarjenje zemljišč na prispevnih območjih. V nalogi navajamo (kmetijsko) rabo tal le kot primer analize stanja rabe zemljišč znotraj prispevnih območjih (kot primer iskanja razpršenih onesnaževalcev tal), podobno pa lahko na ta način analiziramo druge prostorske pojave znotraj prispevnih območij (npr. navzočnosti industrije, stavbna zemljišča, kanalizacija ipd.). Prispevno območje namreč predstavlja zaključeno hidrološko prostorsko enoto, primerno za razne analize kot so hidrološke, ekološke ipd.

Podatki, ki smo jih uporabili v tem delu naloge, so bili sloj vod kartografske baze GKB25, sloj rabe tal Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (MKGP) ter sloj razvodnic ARSO. Sami smo ustvarili še sloj iztokov, ki je pomemben del izgradnje hidro mreže. Prispevnim območjem znotraj razvodnic smo v atributno tabelo dodali podatke o rabi tal MKGP (slika 78).



Slika 78: Raba tal znotraj prispevnih območij (območje zgornjega toka reke Dravinje)

Za analizo pojavov, ki so zanimivi v povezavi s spremljanjem kakovosti voda, nas zanimajo pojavi znotraj vseh prispevnih območij do točke opazovanja in pa tudi območja, na katere nek pojav (npr. onesnaženost vode) vpliva – vplivna območja. Za ta namen je treba zgraditi hidro mrežo, ki ustvari povezave med elementi v okolici, v našem primeru med prispevnimi območji, in smerjo toka vode. Hidro omrežje smo zgradili s pomočjo programske rešitve *Arc Hydro*. Prvi korak pri izgradnji hidro mreže je določitev iztokov površinske vode s prispevnih območij, ki je v našem primeru nov točkovni podatkovni sloj (slika 79).



Slika 79: Iztoki iz prispevnih območij (območje zgornjega toka reke Dravinje)

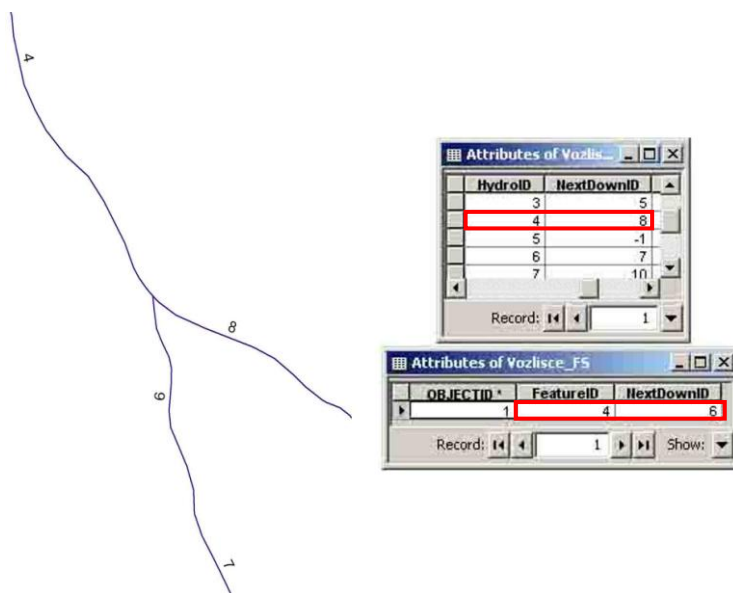
Nato smo uredili vektorski sloj vod, kjer smo predvsem odpravili napake, kot je na primer več točk na isti lokaciji, kar onemogoča izgradnjo hidro mreže. Segmentom znotraj sloja vod smo s pomočjo modula *Arc Hydro* dodatno določili smer toka, kar je ključnega pomena za razumevanje položaja posameznih gradnikov vodotoka v smislu gor-vodno ali dol-vodno. Smer toka se lahko določi popolnoma avtomatizirano ali interaktivno. Na začetku se vsem linijam doda hidrološki identifikator *HydroID*. Nato se z avtomatsko metodo ustvarita polji od in do vozlišča posamezne linije. Sledi funkcija, ki poišče naslednjo linijo dol-vodno (angl. *Find Next Downstream Line*) in ustvari polje naslednji dol-vodni ID (angl. *NextDownID*) (slika 80).



HydroID	FROM NODE	TO NODE	NextDownID
531	1	2	545
532	3	2	545
533	4	5	536
534	6	5	536
535	7	8	538
536	5	8	538
537	9	10	546
538	8	10	546
539	11	12	554
540	13	12	554

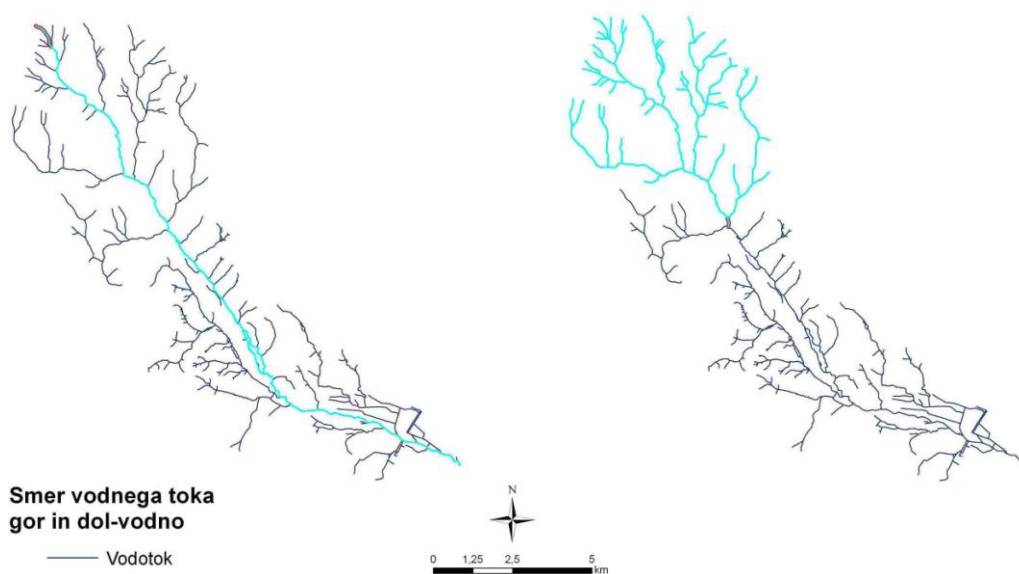
Slika 80: Atributi, ki so potrebni za določitev smeri toka vode

Na ta način uredimo topološke odnose znotraj sloja površinskih vodotokov. Slednje omogoča avtomatsko določitev segmentov hidro omrežja, ki ležijo pred določeno opazovano točko, ali pa segmentov, ki ležijo dol-vodno glede na opazovano točko mreže voda. Za linije, ki se razcepijo, na primer v delti pri izlivu reke, se avtomatsko ustvari ločena tabela, kjer se shranijo dodatne linije dol-vodno (slika 81).



Slika 81: Tabela dodatnih linij dol-vodno

Slika 82 prikazuje primer določitve segmentov hidro mreže za izbrano opazovano točko na mreži površinskih voda (za točko »signala«), ki se nahajajo dol-vodno ali gor-vodno.



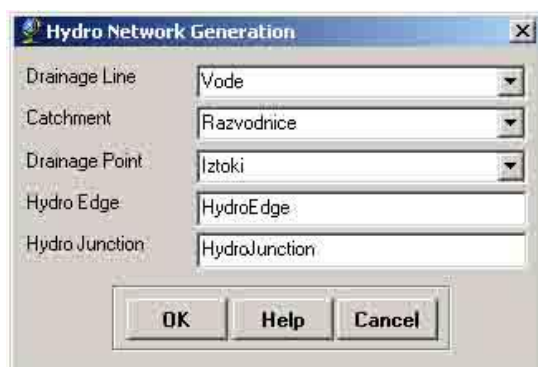
*Slika 82: Smer vodnega toka: dol-vodno (levo) in gor-vodno (desno) (območje zgornjega toka reke Dravinje)*

Nadaljna ureditev hidro mreže zahteva, da se vsakemu prispevnemu območju (sloj razvodnic) določi iztok in vodotoke znotraj njega (slika 83).



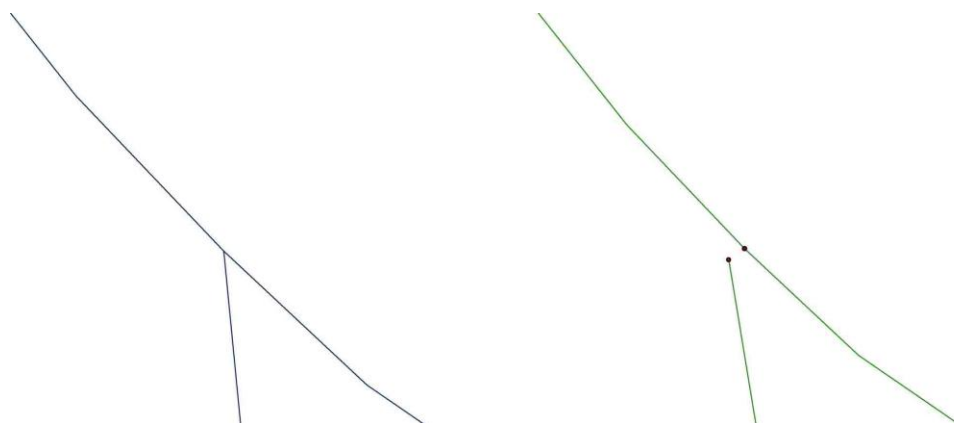
*Slika 83: Prispevna območja, vodotoki in iztoki (območje zgornjega toka reke Dravinje)*

Programsko orodje *Arc Hydro* zahteva, da imajo pri izgradnji hidro mreže vsi podatkovni sloji, ki jih obdelujemo z omenjenim orodjem, identični identifikator (ključ), to je atribut *HydroID*. Slednji omogoča izgradno relacij med posameznimi podatkovnimi sloji. Izgradnja hidro mreže je avtomatiziran postopek. Ustvarim jo s funkcijo »ustvari hidro mrežo« (angl. *Hydro Network Generation*), kjer topološko uredimo segmente z definicijo segmentov in stičišč oziroma vozlišč na osnovi vhodnih podatkov (slika 84).

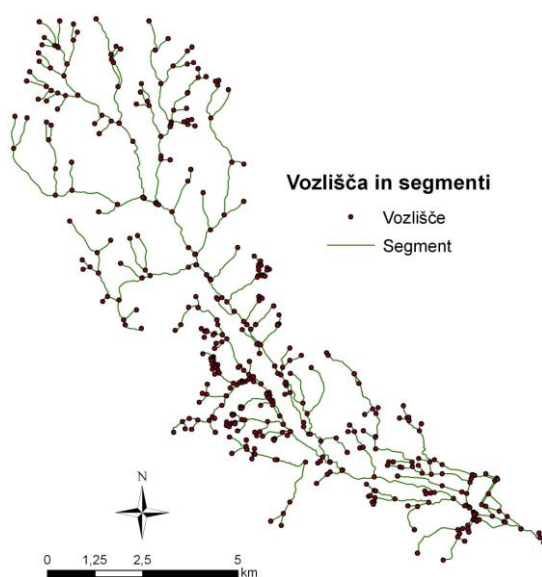


Slika 84: Vhodni podatki za izgradnjo hidro mreže ter izhodni segmenti (angl. *HydroEdge*) in vozlišča (angl. *HydroJunction*)

Pomanjkljivost programske rešitve *Arc Hydro* je, da je izgradnja hidro mreže mogoča le, če je izpolnjen pogoj, da dve točki (vozlišči) ne ležita na isti lokaciji. To je potrebno preveriti interaktivno pred izgradnjo same mreže. Primer so linije, ki se razcepijo (slika 85).



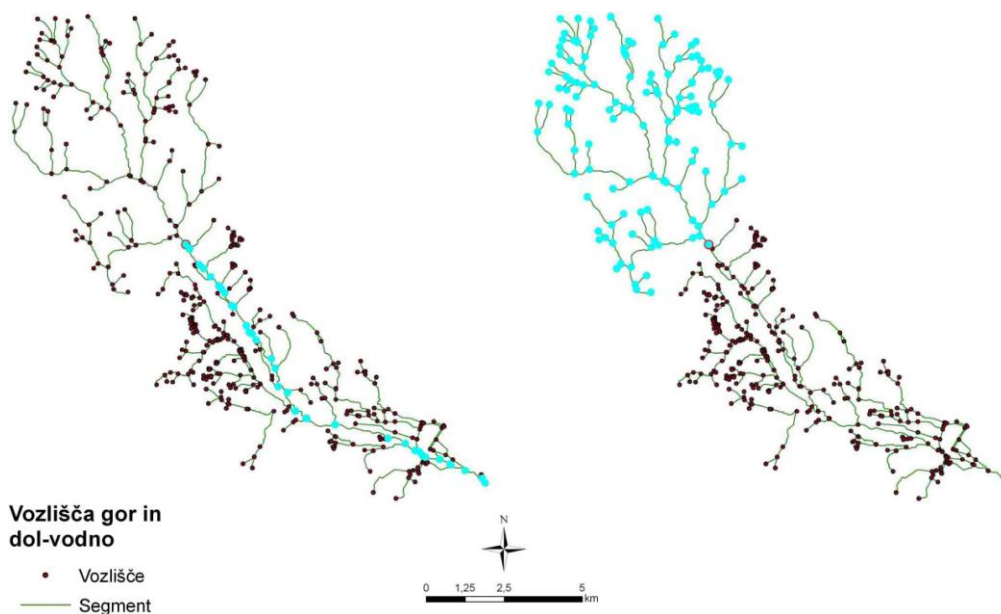
Slika 85: Originalna linija vodotoka (levo) in razcepljena linija za namene izgradnje hidro mreže (desno)



Slika 86: Hidro mreža (vozlišča, segmenti) (območje zgornjega toka reke Dravinje)

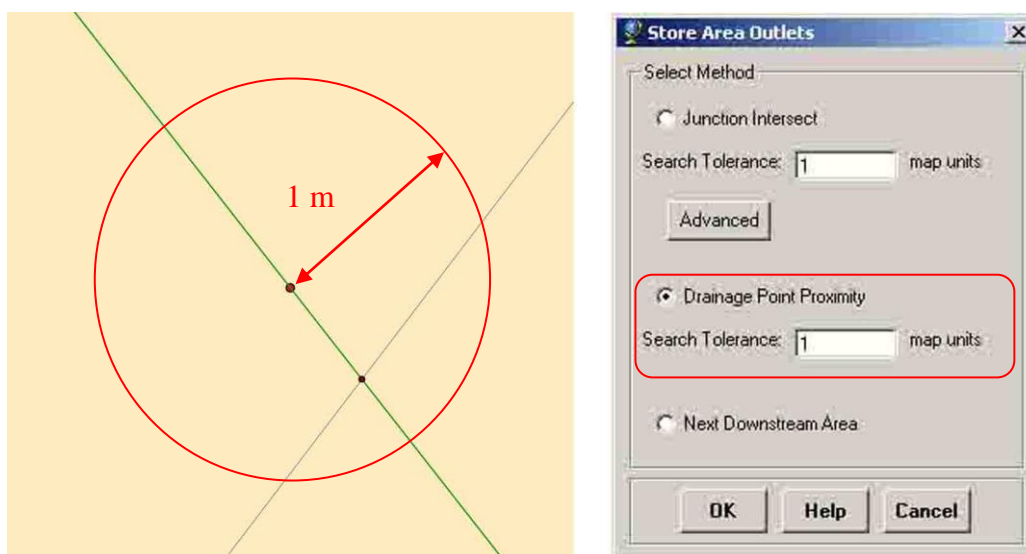
Programska rešitev *Arc Hydro* na osnovi tako pripravljenih podatkov avtomatsko generira topološko urejeno hidro mrežo. Rezultat so povezana vozlišča in segmenti mreže površinskih vodotokov (slika 86), med katerimi veljajo topološki odnosi gor-vodno, dol-vodno, naslednji atribut dol-vodno, ki so potrebni za prikaz gibanja vode skozi pokrajino in za povezavo z ostalimi elementi v prostoru, v našem primeru s prispevnimi območji. Ustvari se relacija med prispevnimi območji in hidro mrežo.

Slika 87 prikazuje uporabnost topološko urejene hidro mreže za obravnavano območje, kjer lahko za poljubno vozlišče hidro mreže določimo vse segmente in vsa vozlišča mreže površinskih voda, ki so pod vplivom izbrane signalne točke (dol-vodno); tako urejena hidro mreža nadalje omogoča določitev vseh segmentov in vozlišč mreže površinskih voda, ki vplivajo na izbrano vozlišče (gor-vodno).



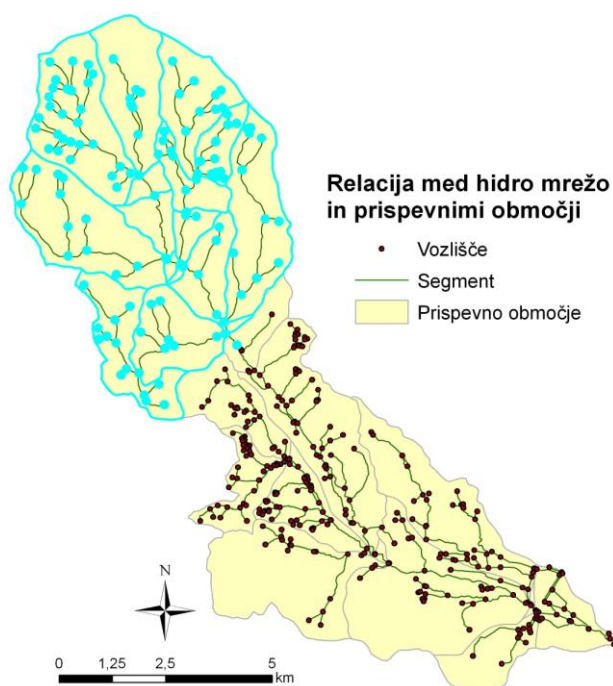
Slika 87: Hidro mreža: vozlišča dol-vodno (levo) in gor-vodno (desno) (območje zgornjega toka reke Dravinje)

Za določitev prispevnih površin je treba določiti še vozlišča hidro mreže, ki naj prevzamejo lastnosti iztokov iz prispevnih območij. Za ta namen uporabimo funkcijo, ki posebej določi iztoke iz območij (angl. *Store Area Outlets*). Vozlišče, ki je znotraj iskalnega območja s predhodno določenim dopustnim odstopanjem (angl. *Search Tolerance*), prevzame funkcijo iztoka iz območja in s tem nase veže pripadajoče prispevno območje (slika 88).



Slika 88: Funkcija, ki določi iztoke iz območij

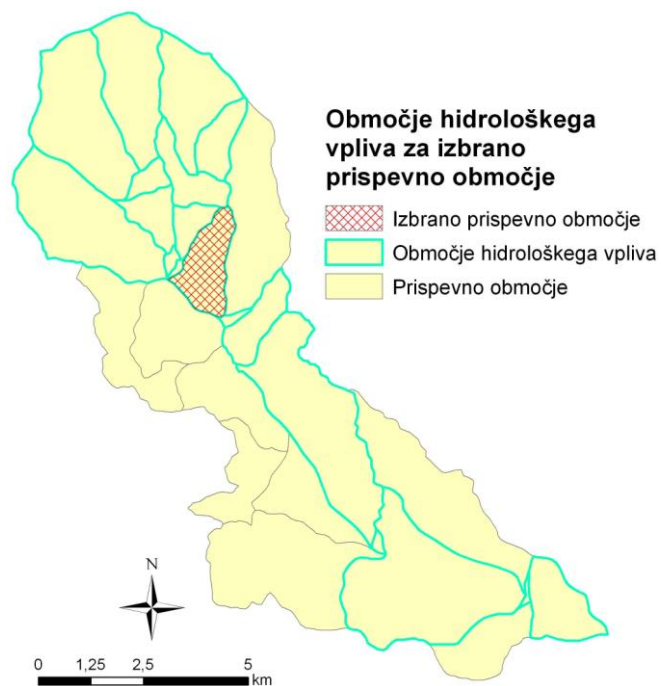
Na ta način je določena povezava (relacija) med hidro mrežo in prispevnimi območji (poligoni razvodnic). Tako lahko na primer poleg identifikacije segmentov in vozlišč hidro mreže, ki prispevajo k izbranemu vozlišču (gor-vodno), določimo celotno prispevno območje (skupino prispevnih območij) za izbrano točko hidro mreže (slika 89).



*Slika 89: Relacija hidro mreža – prispevna območja, ki omogoča določitev celotnega prispevnega območja za izbrano točko hidro mreže (območje zgornjega toka reke Dravinje)*

Relacija med hidro mrežo in prispevnimi območji pomeni tudi ureditev topoloških odnosov med prispevnimi območji, na podlagi katerih lahko ustvarimo ali ugotovimo območje hidrološkega vpliva. Območje hidrološkega vpliva pove (slika 90):

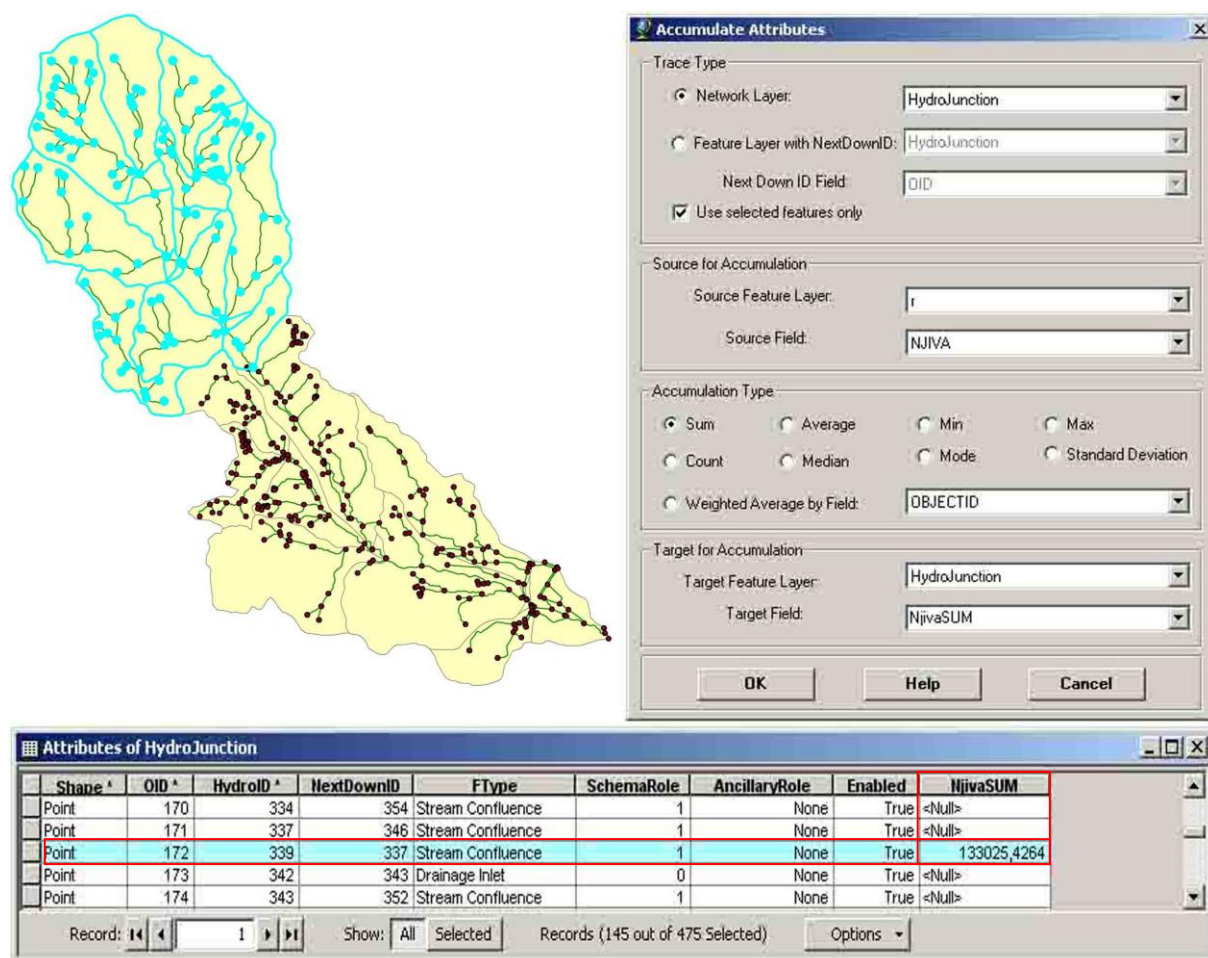
- katera območja so pod vplivom posameznega območja in
- katera območja vplivajo na posamezno območje.



Slika 90: Območje hidrološkega vpliva (območje zgornjega toka reke Dravinje)

Na osnovi tako opredeljenih prispevnih območij, ki jih lahko določamo za posamezne iztoke prispevnih območij, lahko opravimo različne analize prostorskih pojavov posameznih prispevnih območij. Hidrologa na primer zanima stanje voda prispevnih območij gor-vodno. Zanima ga lahko točno določena lastnost in njena pojavnost oz. pogostost v prispevnih območjih gor-vodno. Za določanje pojavljanja posamezne lastnosti prispevnih območij gor-vodno se uporabi sledenje s pomočjo hidro mreže. Z orodjem za zbiranje opisnih podatkov (angl. *Accumulate Attributes*), ki povzema lastnost prispevnih območij na podlagi relacije z vozlišči hidro mreže, lahko dobimo zbrane lastnosti prispevnih območij.

Kot primer si pogledjmo lastnosti rabe tal na prispevnem območju za izbrano točko (iztok) hidro mreže. Postopek zahteva izbor načina sledenja, za primer vzemimo način preko vozlišč hidro mreže. Vir podatkov za zbiranje (akumulacijo) atributov je raba tal. Sledi izbira operatorja – zanima nas na primer vsota določene rabe tal od izbranega območja navzgor zato izberemo operator vsote (angl. *Summation*) in tarče – kamor se zapišejo rezultati. V primeru na sliki 91 nas je zanimala površina vseh njiv izbranega prispevnega območja, tj. v prispevnem območju izbranega iztoka tega območja gor-vodno.



Slika 91: Akumulirana območja gor-vodno

Rezultat je vsota površin njiv gor-vodno od izbranega iztoka prispevnega območja, ki znaša 133.025 m<sup>2</sup>.

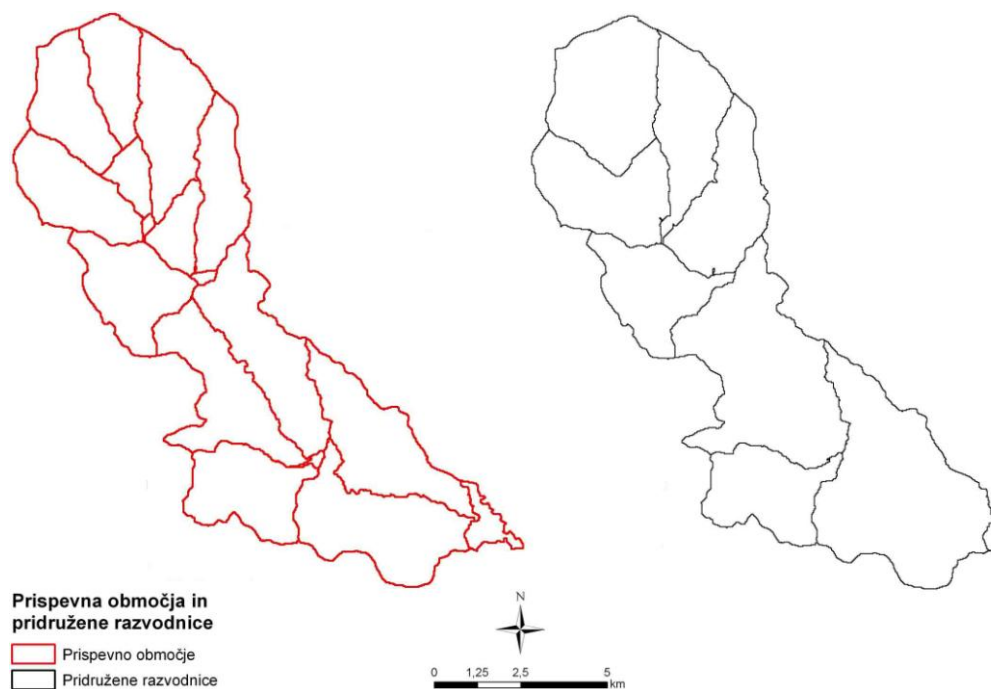
### 4.3 Določitev prispevnega območja za poljubno točko

Slabost analize prispevnih območij, predstavljene v prejšnjem poglavju, je predvsem v omejitvi »signalnih točk« na iztoke posameznih prispevnih območij. V praksi – tako pri hidroloških analizah kot na primer pri odločanju za smotrno upravljanje zemljišč, tal – se praviloma srečujemo s točkami opazovanj oziroma točkami pojavov vodnega sistema, ki imajo različno lokacijo in praviloma ne sovpadajo s točkami iztokov modeliranih razvodij. Če smo v prejšnjem primeru povzeli lastnosti celotnih prispevnih območij, pa nas v tem delu naloga zanima prispevno območje poljubne točke obravnavanega območja.



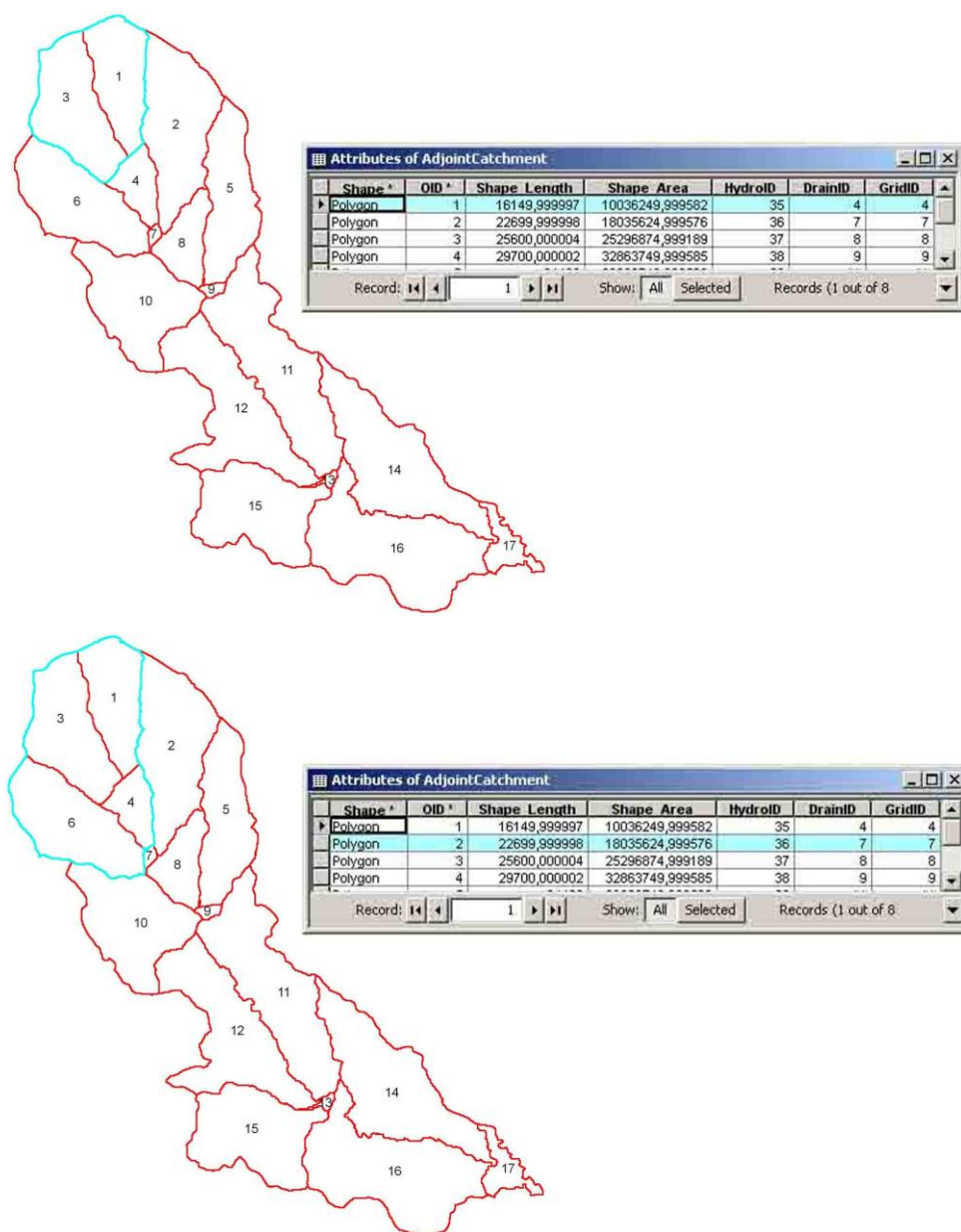
V tem primeru moramo določiti najprej cela prispevna območja do predhodnjega (zadnjega) iztoka glede na prispevno območje, kjer leži izbrana točka. Dodatno se mora na osnovi tokov površinskih voda določiti prispevno območje znotraj že generiranega razvodja. V ta namen programska rešitev *Arc Hydro* zahteva modeliranje razvodnic na osnovi lastnosti terena (digitalnega modela reliefa), zato razvodnice ARSO v tem primeru niso bile primerne.

Osnova določitve prispevnih območij za poljubno točko na obravnavanem območju je tako predstavljala izdelava razvodnic območja s pomočjo orodij *Arc Hydro* na osnovi DMR 12,5. Za izdelavo razvodnic in s tem prispevnih območij uporabimo korake, ki so opisani v poglavju 3.4. Za učinkovitejše določevanje prispevnih območij nadgradimo sloj razvodnic v sloj pridruženih razvodnic (angl. *Adjoint Catchments*). Sloj pridruženih razvodnic združi prispevna območja, ki se iztekajo v isto prispevno območje, in za vsako novo prispevno območje ustvari območje hidrološkega vpliva, s tem da ustvari poligon gor-vodno za vsako prispevno območje, in označi prispevna območja, ki ležijo dol-vodno (slika 92).



Slika 92: Prispevna območja (levo) in pridružene razvodnice (desno) (območje zgornjega toka reke Dravinje)

Sloj pridruženih razvodnic je s slojem razvodnic povezan preko atributov *HydroID* in *DrainID*. Atribut *DrainID* za vsako pridruženo prispevno območje (razvodje) pove, v katero prispevno območje se iztekajo površinske vode celotnega prispevnega območja (slika 93). Z drugimi besedami – za skupino posameznih prispevnih območij, ki ležijo v celoti gor-vodno od izbrane točk hidro mreže, se določi skupen izok.



Slika 93: Povezava prispevnih območij (označeni so s številkami) s pridruženimi prispevnimi območji preko atributa *DrainID* (območje zgornjega toka reke Dravinje)

Na sliki 94 je prikazan primer pridružene razvodnice hidrološkega območja, ki pravzaprav združi posamezne prispevne površine in tako posledično vpliva na bolj učinkovito določevanje prispevnih območij za poljubno točko vodnega sistema.

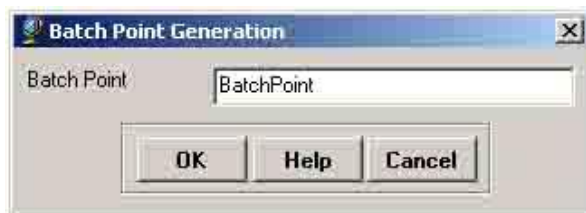


*Slika 94: Hidrološko območje s funkcijo pridružene razvodnice (območje zgornjega toka reke Dravinje)*

Poglejmo si sedaj postopek določitve prispevnih območij za poljubno točko obravnavanega območja. Najprej je treba izbrati točko, za katero želimo določiti prispevno območje. To lahko storimo na dva načina:

- (1) točko uvozimo kot ločen podatkovni sloj – na primer, točke posameznih merilnih mest ali
- (2) interaktivno s funkcijo usad točke (angl. *Batch Point*), ki jo ponuja rešitev *Arc Hydro*.

Za testni primer uporabimo funkcijo usad točke (slika 95).



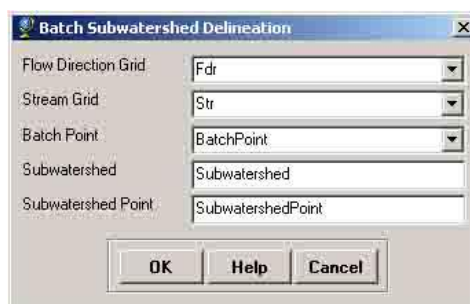
*Slika 95: Usad točke*

Lokacija točke se pri tem določi ročno, dodati pa je treba tudi osnovne podatke o točki, kot so ime, opis, določimo ali bomo točko uporabili za izdelavo prispevnega območja (angl. *BatchDone*) in ali bo pripeta na tok, ki smo ga generirali med postopkom izdelave prispevnih območij (angl. *SnapOn*). Določimo še tip točke – iztok (angl. *Outlet*) (slika 96).



Slika 96: Usad točke – določitev mesta poljubne točke (območje zgornjega toka reke Dravinje)

Sledi uporaba orodja »izdelave prispevnega pod-območja« (angl. *SubWatershed Delineation*). Vhodni podatki so rastrski podatki o smeri toka vode, ki je bil določen na osnovi DMR-ja, opredelitev toka in točka, ki smo jo generirali s funkcijo usad točke (slika 97).



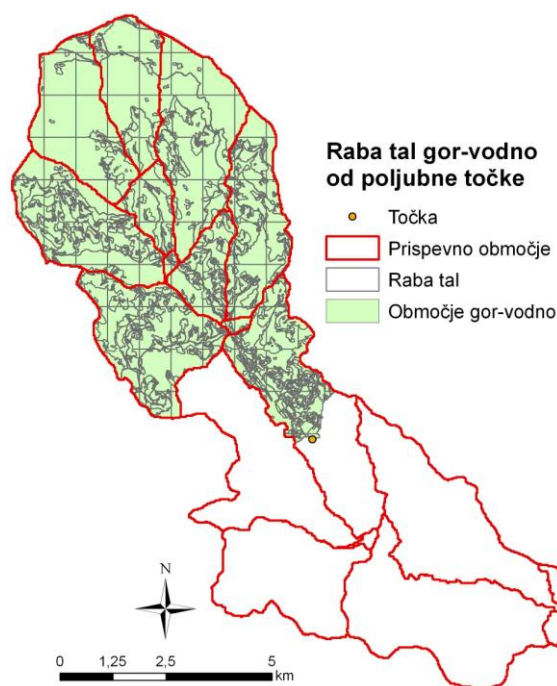
Slika 97: Vhodni podatki izdelave prispevnega pod-območja poljubne točke

Na tem mestu se izkaže pomen uporabe razvodnic, ki so bile določene na osnovi digitalnega modela reliefa, saj predstavljajo rastrski podatki o smeri toka površinske vode osnovo za določev prispevnega pod-območja znotraj predhodno določenega prispevnega območja, v katerem leži točka. Ostala prispevna območja se določijo na podlagi atributa naslednji dol (angl. *NextDownID*), s katerim se določijo prispevna območja, ki ležijo gor-vodno od izbranega razvodja. Tako določena prispevna območja površinskih voda se združijo in dobimo celotno prispevno območje gor-vodno od poljubno izbrane točke znotraj obravnavanega območja (slika 98).



*Slika 98: Prispevna območje površinskih voda gor-vodno od poljubne točke (območje zgornjega toka reke Dravinje)*

Na ta način pridobimo podatek o prispevnem območju površinskih vod za poljubno izbrano točko, ki nam omogoča, da s standardnimi orodji programskega okolja *ArcGIS* analizirano prostorsko opredeljene pojave na prispevnih območjih. V našem primeru smo si zastavili cilj določiti rabo zemljišč po podatkih MKGP na prispevnih območjih površinskih vodotokov gor-vodno (slika 99), lahko pa bi na ta način analizirali tudi druge pojave na prispevnih območjih, to je pojave, ki se nahajajo znotraj poligona opredeljenega prispevnega območja.



Slika 99: Raba tal prispevnega območja gor-vodno od izbrane točke  
(območje zgornjega toka reke Dravinje)

Programska rešitev *Arc Hydro* in okolje *ArcGIS* omogočata izdelavo povzetkov opisnih podatkov izbranih podatkovnih slojev znotraj prispevnih območij površinskih vod. Kot primer navajamo v nadaljevanju izpis površin po vrsti dejanske rabe (podatki Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano Republike Slovenije) prispevnega območja površinskih voda za izbrano točko (preglednica 2). Za posamezno vrsto dejanske rabe je povzeta površina znotraj prispevnega območja. Na ta način si lahko pristojne službe za spremljanje kakovosti voda, okolja, pomagajo na primer pri določitvi vira onesnaženosti voda in tako ustrezno ukrepajo.

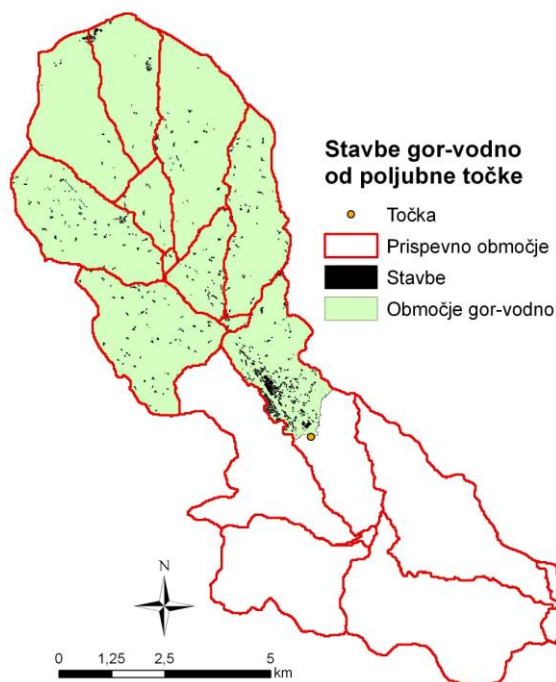
Kot je navedeno že v uvodnem delu naloge, so namreč najbolj problematični ravno razpršeni viri onesnaževanje voda, kot je na primer kmetijstvo. Z določitvijo prispevnih območij za točko opazovanja in na osnovi podatkov o rabi tal je mogoče lažje sklepati na vire onesnaževanja. Prav tako lahko take analize uporabimo preventivno, da s ciljem zagotavljanja kakovosti voda usmerjamo rabo zemljišč in upravljanje zemljišč v skladu z okoljskimi standardi, za kar bi morale skrbeti ustrezne svetovalne službe na osnovi pomembnih podatkov.

*Preglednica 2: Vrsta dejanske rabe tal gor-vodno od poljubne točke (na sliki 99)*

<b>Vrsta dejanske rabe</b>	<b>Šifra</b>	<b>Površina [m<sup>2</sup>]</b>
Njiva	1100	259.027
Vinograd	1211	116.176
Intenzivni sadovnjak	1221	5813
Ekstenzivni oz. travniški sadovnjak	1222	623.187
Trajni travnik	1300	13.219.552
Kmetijsko zemljišče v zaraščanju	1410	184.030
Drevesa in grmičevje	1500	245.510
Neobdelano kmetijsko zemljišče	1600	8798
Kmetijsko zemljišče, poraslo z gozdnim drevjem	1800	207.520
Gozd	2000	37.724.013
Pozidano in sorodno zemljišče	3000	3.147.506
Ostalo zamočvirjeno zemljišče	4220	591
Voda	7000	58.126

Dejavnike, ki vplivajo na kakovost površinskih voda, pa nikakor ne moremo omejiti le na kmetijstvo, kot je navedeno v predhodnjem odstavku. Na osnovi določenega prispevnega območja površinskih vod je mogoče v okolju GIS analizirati tudi druge prostorsko opredeljene podatke in sicer z enostavnim prekrivanjem ustreznih podatkovnih slojev s poligonom prispevnega območja.

Pogosti vir onesnaževanja voda so tudi urbana območja s stanovanjskimi, poslovnimi in industrijskimi območji. Za primer izbrane točke obravnavanega območja lahko tako določimo na osnovi podatkov katastra stavb (Geodetske uprave Republike Slovenije) tudi stavbe, ki ležijo na prispevnem območju površinskih voda, tj. gor-vodno (slika 100). Primer na sliki 100 prikazuje stavbe gor-vodno od poljubne točke. Število stavb gor-vodno je 2287.



Slika 100: Stavbe gor-vodno od poljubne točke (območje zgornjega toka reke Dravinje)





## 5 VREDNOTENJE REZULTATOV

V diplomskem delu smo si zadali nalogo določitve prispevnih območij površinskih voda z namenom smotrnega upravljanja zemljišč. Prispevna območja smo izdelali s programskim orodjem *ArcGIS*, z orodji v sklopu rešitve *Arc Hydro*. Ugotoviti smo želeli primernost avtomatiziranih postopkov določevanja prispevnih območij površinskih voda in uporabnost le-teh pri nadaljnjih prostorskih, hidroloških in ekoloških analizah.

V prvem delu smo določevali prispevna območja s pomočjo orodij v sklopu rešitve *Arc Hydro*. Za določitev prispevnih območij (razvodij) smo uporabili dva digitalna modela reliefa – predvsem z namenom primerjave rezultatov modelov razvodij in prikaza, kako natančnost vhodnih podatkov o reliefu vpliva na rezultate izdelave prispevnih območij površinskih voda. Prispevna območja, ki smo jih za testno območje (zgornji tok Dravinje) določili na osnovi DMR 12,5, so boljše sovpadala z razvodnicami Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO) kot prispevna območja, pridobljena na osnovi DMR 25. S tem smo potrdili, da natančnost vhodnih podatkov o obliki površja (DMR-ja) vpliva na natančnost končnih rezultatov, to je na prispevna območja. Predvsem za primer uporabe DMR 12,5 ob naknadni priredbi podatkov o obliki površja smo dobili sprejemljive rezultate, ki so pokazali, da avtomatizirani postopki izdelave prispevnih območij površinskih voda nudijo dobro oporo nadaljnjemu delu.

V drugem delu smo povzeli lastnosti prispevnih območij z izdelavo hidro mreže. Hidro mreža omogoča povezovanje elementov v prostoru z vodno mrežo in ureditev topoloških odnosov med njimi. Pristop se je izkazal kot zelo priročen za hiter povzetek lastnosti prispevnih območij. Sama izgradnja pa je dolgotrajen proces, saj je pred tem potrebno odpraviti vse napake znotraj linijskega sloja površinskih vod, kot je na primer napaka prekrivanja vozlišč, ki je posledica vektorizacije oziroma zajema vodnih teles na površju. Dodatno je tako treba urediti podatke znotraj prispevnih območij; v tem koraku je treba vse podatkovne sloje, katerih lastnosti nas zanimajo, predhodno omejiti na posamezna prispevna območja. Ko so vsi podatki urejeni, pa tako zgrajena hidro mreža omogoča zelo hiter povzetek lastnosti prispevnih območij, kar je lahko ključnega pomena pri pravočasnem in učinkovitem

ukrepanju v primeru onesnaženja voda. Slabost pristopa pa je predvsem povzemanje lastnosti prispevnih območij za cela razvodja (do iztoka v naslednje razvodje ali od iztoka v naslednje razvodje za primer določevanja območja vpliva).

V tretjem delu nas je zanimala določitev vplivnega območja za poljubno točko. Poljubna točka lahko predstavlja na primer merilno mesto ob vodotoku ali pa lokacijo, ki jo je ekipa opazila na terenu ob standardni kontroli kakovosti vodotokov. Pristop omogoča hiter pregled stanja gor-vodno od poljubne točke in tako hiter odziv na morebitno onesnaženje. Osnova k izdelavi prispevnega območje za poljubno točko je izgradnja prispevnih območij z orodjem *Arc Hydro* na osnovi modela reliefa in vodnih teles na površju. Natančnost tako določenih prispevnih območij je povezana z natančnostjo uporabljenih vhodnih podatkov, kot smo ugotovili že v prvem delu naloge.

Prispevna območja površinskih voda predstavljajo pomembno osnovo delitve prostora za namene upravljanja vodnih virov in z njim povezanim upravljanjem zemljišč; prispevna območja lahko predstavljajo osnovno enoto za ekološke, hidrološke in številne prostorske analize, pri ugotavljanja biološke raznolikosti in varovanju zdravja ljudi ter njihovega imetja. Kot primer sta v nalogi podani analiza rabe tal znotraj prispevnih območij površinskih voda in analiza rabe tal in pozidave znotraj prispevnega območja poljubno izbrane točke. Oboje lahko predstavlja na eni strani pomoč smotrnemu gospodarjenju zemljišč za namen zagotavljanja kakovosti voda, ali pa osnovo za odkrivanje slabih praks onesnaževanja voda in pomoč pri ustreznem odločanju v primeru prekomerne onesnaženosti voda, ki je določena na določeni točki opazovanja kakovosti voda.

## 6 ZAKLJUČEK

Površinske vode (tudi podzemne – podtalnica) delujejo kot indikator "zdravja" območja, saj se v njih spirajo vse človeške odplake: od komunalnih, industrijskih, do kmetijskih. Vode uporabljamo tudi v prometu in v vsakdanjem življenju za rekreacijo in v gospodinjstvih. S svojo močjo dajejo vode energijo, lahko pa tudi uničujejo imetje.

Zagotavljanje kakovosti voda je eno osnovnih gibal današnjega razvoja družbe, saj predstavlja voda enega ključnih naravnih virov za življenje. Ob razumevanju sistema kroženja vode na Zemlji hitro ugotovimo, da je zagotavljanje kakovosti voda povezano z varstvom okolja, varstvom narave. Dejavnosti človeka v prostoru, v okolju namreč posredno ali neposredno vplivajo na kakovost voda. V prvi meri je zato treba ugotoviti, kako dejavnosti človeka vplivajo na naravne vire. Pri tem velja posebej izpostaviti onesnaževanje voda zaradi nesmotrne rabe zemljišč ali direktnih izpustov nevarnih snovi v vodne tokove (onesnaženje zaradi kmetijstva, industrije, neurejenega odvodnjavanja odpadnih voda iz gospodinjstev ipd.). Če se osredotočimo na področje upravljanja zemljišč, nas tako zanima, kako spremembe rabe tal ali pa vnos onesnaževal v sklopu upravljanja zemljišč vplivajo na kakovost vode. Za te namene uporabljamo prispevna območja voda, ki predstavljajo osnovo za analizo številnih prostorsko opredeljenih podatkov. Ustrezna politika preko svetovalnih služb lahko na ta način usmerja upravljanje zemljišč s ciljem zagotavljanja kakovosti površinskih voda, prav tako lahko ustrezne službe spremljajo oziroma določajo potencialne vire onesnaženja.

V splošnem je potrebno zagotoviti takšno okoljsko politiko, ki na eni strani varuje pred rušilno močjo vod, na drugi strani pa varuje vode pred močjo človekovega posega v okolje. Zagotoviti je torej treba politiko, kjer razvoj družbe, gospodarstva sobiva z varovanjem in zdravjem okolja. Za to pa potrebujemo predvsem kakovostne podatke o potencialnih virih onesnaženja voda, ki jih lahko pridobimo tudi s pomočjo v tej diplomski nalogi opisanih postopkov upravljanja zemljišč.



## **VIRI**

AGREE Method – University of Austin, Texas  
[www.ce.utexas.edu](http://www.ce.utexas.edu) (20. 5. 2009).

Arc Hydr tools v 1.3 – Tutorial. 2009. ESRI.  
<http://support.esri.com/index.cfm?fa=downloads.dataModels.filteredGateway&dmid=15>  
(16. 1. 2009).

ARSO. 2009. Spletna stran Agencije Republike Slovenije za okolje.  
<http://www.arso.gov.si/> (11. 5. 2009).

Bat, M., Dobnikar Tehovnik, M., Mihorko, P., Grbović, J. 2003. Tekoče vode. V: Uhan, J. (ur.), Bat, M. (ur.). Vodno bogastvo Slovenije. Ljubljana: 27–37.  
[http://www.arso.gov.si/vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/Vodno\\_bogastvo\\_2tekoc\\_e\\_vode.pdf](http://www.arso.gov.si/vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/Vodno_bogastvo_2tekoc_e_vode.pdf) (23. 4. 2009).

Božič, L. 2003. Mednarodno pomembna območja za ptice v Sloveniji 2: Predlogi posebnih zaščitnih območij (SPA) v Sloveniji 2 = Important bird areas (IBA) in Slovenia. 2, Proposed special protected areas (SPA) in Slovenia. Ljubljana: Društvo za opazovanje in proučevanje ptic Slovenije DOPPS - Birdlife Slovenia.

Čehić, S. 2007. Pogled na vode v Sloveniji. Ljubljana: Statistični urad republike Slovenije – Posebne publikacije, št. 9. 27, Okolje: 61 str.  
[http://www.stat.si/doc/pub/Pogled\\_na\\_vode\\_v\\_Sloveniji.pdf](http://www.stat.si/doc/pub/Pogled_na_vode_v_Sloveniji.pdf) (23. 4. 2009).

Direktiva o celovitem preprečevanju in nadzorovanju onesnaževanja 2008/1/ES. Uradni list Evropske unije.  
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:024:0008:0029:SL:PDF>  
(15. 9. 2009).

Direktiva o čiščenju komunalne odpadne vode 91/271/EGS in sprememba 98/15/ES. Uradni list Evropske unije.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=DD:15:02:31991L0271:SL:pdf>

(15. 9. 2009).

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=DD:15:04:31998L0015:SL:pdf>

(15. 9. 2009).

Direktiva o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike 2000/60/ES. Uradni list Evropskih unije.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/sl/dd/15/05/32000L0060SL.pdf> (15. 9. 2009).

Direktiva o varstvu voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijskih virov 91/676/EGS. Uradni list Evropskih unije.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=DD:15:02:31991L0676:SL:PDF>

(15. 9. 2009).

Djokic, D. 2008. Comprehensive Terrain Preprocessing Using Arc Hydro Tools. ESRI, Redlands, California.

<http://support.esri.com/index.cfm?fa=downloads.dataModels.filteredGateway&dmid=15>

(16. 1. 2009).

Gajski, D. 2000. Geomorfološko izboljšanje DMR-ja s poudarkom na uporabi podatkov, pridobljenih z laserskim skeniranjem = Geomorfologic improvement of DTM-s especially as derived from laser scanner data. Geodetski vestnik 44, 4: 390–406.

Globovnik, L., Vidmar, A. 2004. Zasnova integriranega ekspertnega informacijskega sistema za upravljanje z vodami v Sloveniji = The concept of integrated expert information system for water management planning in Slovenia. Acta hydrotechnica 22, 36.

<ftp://ksh.fgg.uni-lj.si/acta/a36lg.pdf> (25. 3. 2009).

GURS. 2009. TOPO 25 – hidrografija, Geodetska uprava Republike Slovenije.  
[http://prostor.gov.si/cepp/GURS\\_izpisvse.jsp?ID={1614DDB1-5216-11D2-BC1C-00A0C9067C11}](http://prostor.gov.si/cepp/GURS_izpisvse.jsp?ID={1614DDB1-5216-11D2-BC1C-00A0C9067C11}) (12. 6. 2009).

IODE. 2009. Vektorski in rastrski podatki.  
[http://www.oceanteacher.org/oceanteacher/index.php/Geographic\\_Information\\_System\\_Data\\_Models](http://www.oceanteacher.org/oceanteacher/index.php/Geographic_Information_System_Data_Models) (25. 5. 2009).

IzVRS. 2009. Kartografske podlage. Ljubljana, Inštitut za vode Republike Slovenije.

Jud, S. 2008. Izdelava GIS-aplikacije za potrebe vzdrževanja osi državnih cest z dostopom do odprtokodne podatkovne baze PostgreSQL. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za geodezijo, Geodetska smer: 55 str.

Kvamme, K., Oštir-Sedej, K., Stančič, Z., Šumrada, R. 1997. Geografski informacijski sistemi. Ljubljana, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti: 476 str.

Maidment R. D. (Ur.) 2002. Arc Hydro: GIS for Water Resources. ESRI Press, Redlands, California: 208 str.

Maidment, D., Morehouse, S., Grise, S. 2002. Arc Hydro framework. V: Maidment, R. D. (ur.). Arc Hydro: GIS for Water Resources. ESRI Press, Redlands, California: 13–32.

Medresorska komisija za kemijsko varnost – <http://www.mz.gov.si>  
[http://www.uk.gov.si/si/delovna\\_podrocja/medresorska\\_komisija\\_za\\_kemijsko\\_varnost/](http://www.uk.gov.si/si/delovna_podrocja/medresorska_komisija_za_kemijsko_varnost/)  
(25. 7. 2009).

Mikoš, M., Krajnc, A., Matičič, B., Müller, J., Rakovec, J., Roš, M., Brilly, M. 2003. Hidrološko izrazje = Terminology in hydrology. Acta hydrotechnica 20, 32.  
[ftp://ksh.fgg.uni-lj.si/acta/a32\\_1.pdf](ftp://ksh.fgg.uni-lj.si/acta/a32_1.pdf) (25. 6. 2009).



---

MKGP. 2007. Program razvoja podeželja Republike Slovenije za obdobje 2007 – 2013, Priloga 3: Opis Območij z omejenimi možnostmi za kmetijsko dejavnost.

[http://www.mkgp.gov.si/fileadmin/mkgp.gov.si/pageuploads/saSSo/PRP\\_2007-2013/PRP30maj/prp3105/PRP19jun07/PRP16jul07/PRP25jul07/Priloga\\_3\\_PRP\\_2007\\_-\\_2013\\_\\_K.pdf](http://www.mkgp.gov.si/fileadmin/mkgp.gov.si/pageuploads/saSSo/PRP_2007-2013/PRP30maj/prp3105/PRP19jun07/PRP16jul07/PRP25jul07/Priloga_3_PRP_2007_-_2013__K.pdf) (12. 7. 2009).

MKGP. 2008. Priročnik za uporabo grafičnega spletnega pregledovalnika MKGP, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano Republike Slovenije.

[http://rkg.gov.si/GERK/documents/Viewver\\_UporabniskaNavodila.pdf](http://rkg.gov.si/GERK/documents/Viewver_UporabniskaNavodila.pdf) (15. 8. 2009).

MZRS. 2009. Medresorska komisija za kemijsko varnost, Ministrstvo za Zdravje RS

[http://www.uk.gov.si/si/delovna\\_podrocja/medresorska\\_komisija\\_za\\_kemijsko\\_varnost/](http://www.uk.gov.si/si/delovna_podrocja/medresorska_komisija_za_kemijsko_varnost/) (23. 5. 2009).

NOAA. 2009. Tematske plasti ali podatkovni sloji.

<http://www.ncddc.noaa.gov/technology/gis> (25. 5. 2009).

Olivera, F., Furnans, J., Maidment, D., Djokic, D., Ye, Z. 2002. Drainage systems. V: Maidment, R. D. (ur.). Arc Hydro: GIS for Water Resources. ESRI Press, Redlands, California: 55–86.

Olivera, F., Maidment, D., Honeycutt, D. 2002. Hydro networks. V: Maidment, R. D. (ur.). Arc Hydro: GIS for Water Resources. ESRI Press, Redlands, California: 33–53.

Perko, D. 1998. Regionalizacija Slovenije = The regionalization of Slovenia. Geografski zbornik 38: 12–57.

[http://giam.zrc-sazu.si/zbornik/perko\\_38.pdf](http://giam.zrc-sazu.si/zbornik/perko_38.pdf) (5. 8. 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.

<ftp://ksh.fgg.uni-lj.si/acta/a30-gp.pdf> (9. 3. 2009).

Podobnikar, T. 2003. Kronologija izdelave digitalnega modela reliefa = Chronology of digital terrain model production of Slovenia. *Geodetski vestnik* 47, 1–2: 47–54.

Podobnikar, T., Mlinar, J. 2006. Izdelava in vzdrževanje digitalnega modela reliefa Slovenije z integracijo obstoječih virov = Production and maintenance of digital elevation model of Slovenia with data Integration. *Geodetski vestnik* 50, 3: 472–480.

Podobnikar, T. 2006. Digitalni model reliefa iz različnih podatkov. *Življenje in tehnika* 57, 4. <http://iaps.zrc-sazu.si/Files/File/Publikacije/digitalni%20model.pdf> (1. 6. 2009).

Rejec Brancelj, I. 2003. Morje. V: Uhan, J. (ur.), Bat, M. (ur.). *Vodno bogastvo Slovenije*. Ljubljana: 69–73.  
[http://www.arso.gov.si/vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/Vodno\\_bogastvo\\_6morje.pdf](http://www.arso.gov.si/vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/Vodno_bogastvo_6morje.pdf) (23. 4. 2009).

Remec Rekar, Š., Bat, M. 2003. Jezera. V: Uhan, J. (ur.), Bat, M. (ur.). *Vodno bogastvo Slovenije*. Ljubljana: 39–45.  
[http://www.arso.gov.si/vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/Vodno\\_bogastvo\\_3jezera.pdf](http://www.arso.gov.si/vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/Vodno_bogastvo_3jezera.pdf). (23. 4. 2009).

Sathyamoorthy, D. 2008. Extraction of Watersheds from Digital Elevation Models Using Mathematical Morphology. *Journal of Applied Sciences* 8 (6): 956–965.  
<http://scialert.net/pdfs/jas/2008/956-965.pdf> (10. 3. 2009).

SRP (Salt River Project). 2009. Bilanca vode na Zemlji.  
<https://www.srpnet.com> (12. 6. 2009).

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

UN Water – UN water statistics. 2009. United Nations (Združeni narodi).  
<http://www.unwater.org/statistics.html> (15. 6. 2009).

USGS (U. S. Geological Survey). 2009. Kroženje vode na Zemlji.  
<http://www.usgs.gov/> (12. 6. 2009).

Vovk Korže, A., Bricelj, M. 2004. Vodni svet Slovenije: Priročnik za interdisciplinarno proučevanje voda. Ljubljana, Zveza geografskih društev Slovenije, Pedagoška fakulteta Maribor: 62 str.  
[http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/publikacije/drugo/vodni\\_svet.pdf](http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/publikacije/drugo/vodni_svet.pdf)  
(30. 3. 2009).

Zec, S., Petrovič, D. 2006. Izdelava reliefne karte dela Pomurja = Production of the relief map of a part of Pomurje. Geodetski vestnik 50, 4: 642–653.

Zakon o kemikalijah (uradno prečiščeno besedilo) (ZKEM–UPB1). UL RS št. 110/03 in 16/08: 4165-4176.

Zakon o ohranjanju narave (ZON). UL RS št. 96/04: 11541-11574.

Zakon o varstvu okolja (uradno prečiščeno besedilo) (ZVO-1-UPB1). UL RS št. 39/06 in 70/08: 4818-4853.

Zakon o vodah (ZV-1). UL RS št. 67/02 in 57/08: 7648-7680.



Kovačič, P. 2009. Določevanje prispevnih območij ... za smotrno upravljanje zemljišč.

Dipl. nal. – UNI. Ljubljana, UL, FGG, Oddelek za geodezijo, Geodetska smer.

---