

CGS plus d.o.o

**Geološki zavod
Slovenije**

**Kmetijski inštitut
Slovenije**

TMP MIR 2006

**Informacijska podpora pri odločanju
z vidika prehodnosti terena**

(i-PREHOD)

**Zajem in priprava podatkov
za prehodnost vodotokov**

(ZAKLJUČNO POROČILO)

Ljubljana, 2008



O PROJEKTU

Naročnik:

Republika Slovenija, Ministrstvo za obrambo, Vojkova cesta 55, Ljubljana

Agencija:

Javna agencija za tehnološki razvoj Republike Slovenije, Dunajska cesta 22, Ljubljana

Izvajalci:

CGS plus d.o.o., Brnčičeva 13, Ljubljana

Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 14, Ljubljana

Kmetijski inštitut Slovenije, Hacquetova 17, Ljubljana

Naslov projekta:

Informacijska podpora pri odločanju z vidika prehodnosti terena
(i-PREHOD)

Številka pogodbe:

TP MIR 06/RR/11

Naslov podprojekta:

DS3 Zajem in priprava podatkov za prehodnost vodotokov

Vodja podprojekta: dr. Alenka Šajn-Slak, univ. dipl. biol.

Oznaka dokumenta: Zaključno poročilo

 **CGS PLUS**, Inovativne informacijske in okoljske tehnologije, d.o.o.

V realizaciji projekta so sodelovali:

Matjaž Šajn, univ. dipl. ing. gradb.

Tomaž Dimnik, univ. dipl. ing. gradb.

dr. Alenka Šajn Slak, univ. dipl. biol.

Samo Čarman, dipl. inž. stroj.

dr. Gregor Petkovšek, univ. dipl. ing. gradb.

mag. Matjaž Ivačič, univ. dipl. ing. geod.

Dejan Gregor, prof. geog. in nem. jezika

Uroš Barlič, univ. dipl. ing. gradb.

Andrej Beden, dipl. ing. gradb.

Žiga Ramšak, univ. dipl. ing. rač.

Marina Trojer, dipl. inž. rač.

Vesna Vidmar, štud. gradb.

Poročilo so pripravili:

dr. Alenka Šajn Slak, univ. dipl. biol.

dr. Gregor Petkovšek, univ. dipl. ing. gradb.

mag. Matjaž Ivačič, univ. dipl. ing. geod.

Samo Čarman, dipl. inž. stroj.

Dejan Gregor, prof. geog. in nem. jezika

Kraj in datum: Ljubljana, 31. december 2008

Kazalo vsebine

O PROJEKTU.....	iii
Kazalo vsebine.....	v
Kazalo slik.....	vii
Kazalo preglednic.....	x
1 POVZETEK CILJEV, AKTIVNOSTI IN REZULTATOV.....	1
1.1 Cilji delovnega sklopa.....	1
1.2 Aktivnosti za doseganje cilja.....	1
1.3 Rezultati delovnega sklopa.....	1
2 UVOD.....	2
3 PRIPRAVA GIS SLOJEV ZA HITRO OCENO PREHODNOSTI VODOTOKOV.....	3
3.1 KRITERIJI PREHODNOSTI NOTRANJIH CELINSKIH VODA.....	3
3.2 IZDELAVA SLOJEV ŠIRIN VODOTOKOV IN NAGIBA TERENA NA OŽJEM OBMOČJU VODOTOKA.....	8
3.2.1 Izdelava slojev širin vodotokov.....	8
3.2.2 Izdelava slojev nagiba terena.....	13
3.3 PODATKI O OBSTOJEČIH PREMOSTITVAH IN DRUGI CESTNI INFRASTRUKTURI.....	22
3.4 IZDELAVA ZBIRNIH SLOJEV MOŽNIH PREHODOV.....	25
4 IZDELAVA METODE ZA OPREDELITEV PREHODNOSTI VODOTOKOV NA PODLAGI HIDRAVLIČNIH PARAMETROV.....	26
4.1 OPIS METODE.....	26
4.1.1 Uvod.....	26
4.1.2 Krivulja trajanja pretokov.....	27
4.1.3 Izvrednotenje vodostajev in srednjih pretočnih hitrosti iz pretokov.....	29
4.1.4 Izvrednotenje največjih pretočnih hitrosti.....	30
4.1.5 Načini prehodov.....	31
4.1.6 Orodje za oceno prehodnosti vodotokov.....	33
4.2 APLIKACIJA METODE NA IZBRANIH LOKACIJAH.....	35
4.2.1 Sava Radovljica.....	36
4.2.2 Sava Šentjakob.....	40
4.2.3 Sava Hrastnik.....	44
4.2.4 Sava Čatež.....	48
4.2.5 Sora Suha.....	52
4.2.6 Kolpa Radenci.....	56
4.2.7 Savinja Nazarje.....	60
4.2.8 Savinja Laško.....	64
4.2.9 Savinja Veliko Širje.....	68
4.2.10 Kamniška Bistrica Kamnik.....	73
4.3 APLIKACIJA METODE NA IZBRANEM ODSEKU VODOTOKA.....	77
4.3.1 Prehodnost odseka Kamniške Bistrice za različne tipe vozil.....	82
4.4 PREDSTAVITEV METODE IN NJENE UPORABE INŽENIRSKI ENOTI.....	84
5 IZDELAVA PREDLOGA ZA NAKUP SETA ZA IZVIDOVANJE (TERENSKA MERILNA OPREMA) ZA PREHAJANJE NOTRANJIH CELINSKIH VODA.....	85
5.1 PREGLED OPREME ZA IZVIDOVANJE ZA POTREBE PREHODA NOTRANJIH CELINSKIH VODA.....	85
5.1.1 Izhodišča.....	85
5.1.2 Hitra ocena nekaterih parametrov pomembnih za prehajanje vodotokov na terenu.....	88

5.1.3	Standardne metode za merjenje hitrosti toka	88
5.1.4	Naprednejše metode za merjenje hitrosti vodnega toka – naprave ADCP	89
5.1.5	Side scan sonarji	91
5.1.6	Opis opreme	93
5.2	PREDLOG IZVIDOVALNEGA SETA	102
6	ZAKLJUČKI.....	105
7	CITIRANI VIRI.....	106

Kazalo slik

<i>Slika 1: Obrazložitev funkcije ZonalThickness iz priročnika za Arc/Info.....</i>	8
<i>Slika 2: Primer vhodnih in izhodnih podatkov pri stroškovnih analizah.....</i>	9
<i>Slika 3: Izračun dolžine po haversini.....</i>	10
<i>Slika 4: Primer topografske karte merila 1:25.000.....</i>	11
<i>Slika 5: Primer topografske karte z združenimi vsebinami.....</i>	14
<i>Slika 6: Prikaz senčenega reliefa DMV 12,5 za območje Bleda.....</i>	14
<i>Slika 7: Prikaz naklonov (zeleno – ravnina, rdeče – strm naklon) za območje Bleda.....</i>	15
<i>Slika 8: Prikaz senčenega reliefa DMV5 na območju med štajersko AC in Kamniško Bistrico.....</i>	15
<i>Slika 9: Način lidarskega snemanja.....</i>	16
<i>Slika 10: Realistično obdelan lidarski posnetek.....</i>	17
<i>Slika 11: Primer prikaza oblaka lidarskih točk.....</i>	17
<i>Slika 12: Izrez geodetskega posnetka Kamniške Bistrice.....</i>	18
<i>Slika 13: GPS meritev moti obrečno grmovje pri sprejemu satelitskih signalov.....</i>	19
<i>Slika 14: Brežina testnega območja ob Kamniški Bistrici.....</i>	20
<i>Slika 15: Primerjava meritve profila z Promark3 in MMCX napravo.....</i>	20
<i>Slika 16: Primer GPS naprave z natančnejšo zunanjo anteno.....</i>	20
<i>Slika 17: Primer reliefnega senčenega prikaza DMV 5.....</i>	21
<i>Slika 18: Primer mreže državnih cest.....</i>	23
<i>Slika 19: Navigacijska baza podatkov Tele Atlas v vmesniku Google.....</i>	24
<i>Slika 20: Primer krivulje trajanja pretokov.....</i>	27
<i>Slika 21: Primer hitrostnega polja izmerjenega z napravo ADCP.....</i>	30
<i>Slika 22: Uporabniški vmesnik za izračun prehodnosti vodotokov na podlagi največje pretočne hitrosti in največje globine vode.....</i>	33
<i>Slika 23: Merska postaja Sava Radovljica.....</i>	36
<i>Slika 24: Prerez prečnega profila Sava Radovljica.....</i>	37
<i>Slika 25: Krivulja trajanja pretokov Sava Radovljica.....</i>	37
<i>Slika 26: Krivulja trajanja največjih pretočnih globin Sava Radovljica.....</i>	38
<i>Slika 27: Krivulja trajanja največjih pretočnih hitrosti Sava Radovljica.....</i>	38
<i>Slika 28: Primer izračuna za prehod skupine tanki brez naprav za podvodni prehod Sava Radovljica.....</i>	39
<i>Slika 29: Merska postaja Sava Šentjakob.....</i>	40
<i>Slika 30: Prerez prečnega profila Sava Šentjakob.....</i>	41
<i>Slika 31: Krivulja trajanja pretokov Sava Šentjakob.....</i>	41
<i>Slika 32: Krivulja trajanja največjih pretočnih globin Sava Šentjakob.....</i>	42
<i>Slika 33: Krivulja trajanja največjih pretočnih hitrosti Sava Šentjakob.....</i>	42
<i>Slika 34: Primer izračuna za prehod skupine tanki brez naprav za podvodni prehod Sava Šentjakob.....</i>	43
<i>Slika 35: Merska postaja Sava Hrastnik.....</i>	44
<i>Slika 36: Prerez prečnega profila Sava Hrastnik.....</i>	45
<i>Slika 37: Krivulja trajanja pretokov Sava Hrastnik.....</i>	45
<i>Slika 38: Krivulja trajanja največjih pretočnih globin Sava Hrastnik.....</i>	46
<i>Slika 39: Krivulja trajanja največjih pretočnih hitrosti Sava Hrastnik.....</i>	46
<i>Slika 40: Primer izračuna za prehod skupine tanki brez naprav za podvodni prehod Sava Hrastnik.....</i>	47
<i>Slika 41: Merska postaja Sava Čatež.....</i>	48
<i>Slika 42: Prerez prečnega profila Sava Čatež.....</i>	49
<i>Slika 43: Krivulja trajanja pretokov Sava Čatež.....</i>	49
<i>Slika 44: Krivulja trajanja največjih pretočnih globin Sava Čatež.....</i>	50
<i>Slika 45: Krivulja trajanja največjih pretočnih hitrosti Sava Čatež.....</i>	50

<i>Slika 46: Primer izračuna za prehod skupine tanki brez naprav za podvodni prehod Sava Čatež</i>	51
<i>Slika 47: Merska postaja Sora Suha</i>	52
<i>Slika 48: Prerez prečnega profila Sora Suha</i>	53
<i>Slika 49: Krivulja trajanja pretokov Sora Suha</i>	53
<i>Slika 50: Krivulja trajanja največjih pretočnih globin Sora Suha</i>	54
<i>Slika 51: Krivulja trajanja največjih pretočnih hitrosti Sora Suha</i>	54
<i>Slika 52: Primer izračuna za prehod skupine tanki brez naprav za podvodni prehod Sora Suha</i>	55
<i>Slika 53: Merska postaja Kolpa Radenci</i>	56
<i>Slika 54: Prerez prečnega profila Kolpa Radenci</i>	57
<i>Slika 55: Krivulja trajanja pretokov Kolpa Radenci</i>	57
<i>Slika 56: Krivulja trajanja največjih pretočnih globin Kolpa Radenci</i>	58
<i>Slika 57: Krivulja trajanja največjih pretočnih hitrosti Kolpa Radenci</i>	58
<i>Slika 58: Primer izračuna za prehod skupine tanki brez naprav za podvodni prehod Kolpa Radenci</i>	59
<i>Slika 59: Merska postaja Savinja Nazarje</i>	60
<i>Slika 60: Prerez prečnega profila Savinja Nazarje</i>	61
<i>Slika 61: Krivulja trajanja pretokov Savinja Nazarje</i>	61
<i>Slika 62: Krivulja trajanja največjih pretočnih globin Savinja Nazarje</i>	62
<i>Slika 63: Krivulja trajanja največjih pretočnih hitrosti Savinja Nazarje</i>	62
<i>Slika 64: Primer izračuna za prehod skupine tanki brez naprav za podvodni prehod Savinja Nazarje</i>	63
<i>Slika 65: Merska postaja Savinja Laško</i>	64
<i>Slika 66: Prerez prečnega profila Savinja Laško</i>	65
<i>Slika 67: Krivulja trajanja pretokov Savinja Laško</i>	65
<i>Slika 68: Krivulja trajanja največjih pretočnih globin Savinja Laško</i>	66
<i>Slika 69: Krivulja trajanja največjih pretočnih hitrosti Savinja Laško</i>	66
<i>Slika 70: Primer izračuna za prehod skupine tanki brez naprav za podvodni prehod Savinja Laško</i>	67
<i>Slika 71: Merska postaja Savinja Veliko Širje</i>	68
<i>Slika 72: Prerez prečnega profila Savinja Veliko Širje</i>	69
<i>Slika 73: Krivulja trajanja pretokov Savinja Veliko Širje</i>	69
<i>Slika 74: Krivulja trajanja največjih pretočnih globin Savinja Veliko Širje</i>	70
<i>Slika 75: Krivulja trajanja največjih pretočnih hitrosti Savinja Veliko Širje</i>	71
<i>Slika 76: Primer izračuna za prehod skupine tanki brez naprav za podvodni prehod Savinja Veliko Širje</i>	72
<i>Slika 77: Merska postaja Kamniška Bistrica Kamnik</i>	73
<i>Slika 78: Prerez prečnega profila Kamniška Bistrica Kamnik</i>	74
<i>Slika 79: Krivulja trajanja pretokov Kamniška Bistrica Kamnik</i>	74
<i>Slika 80: Krivulja trajanja največjih pretočnih globin Kamniška Bistrica Kamnik</i>	75
<i>Slika 81: Krivulja trajanja največjih pretočnih hitrosti Kamniška Bistrica Kamnik</i>	75
<i>Slika 82: Primer izračuna za prehod skupine tanki brez naprav za podvodni prehod Kamniška Bistrica Kamnik</i>	76
<i>Slika 83: Izbrani odsek Kamniške Bistrice za aplikacijo metode za ocenjevanje prehodnosti</i>	77
<i>Slika 84: Postavitev numeričnega modela v programu HEC-RAS (tloris, levo) in primerjava rezultatov z meritvami (desno)</i>	78
<i>Slika 85: Merjenje hitrostnega polja z napravo ADCP na Kamniški Bistrici</i>	79
<i>Slika 86: Hitrostno polje izmerjeno na Kamniški Bistrici z napravo ADCP</i>	80
<i>Slika 87: Postavljanje premostitve preko Kamniške Bistrice</i>	80
<i>Slika 88: Prehodnost Kamniške Bistrice na izbranem odseku za skupino Vozila 1</i>	82
<i>Slika 89: Prehodnost Kamniške Bistrice na izbranem odseku za skupino Vozila 2</i>	82
<i>Slika 90: Prehodnost Kamniške Bistrice na izbranem odseku za skupino Vozila 3</i>	83
<i>Slika 91: Prehodnost Kamniške Bistrice na izbranem odseku za skupino Tanki brez naprav za podvodni prehod</i>	83

<i>Slika 92: Prehodnost Kamniške Bistrice na izbranem odseku za skupino Tanki z napravami za podvodni prehod.....</i>	84
<i>Slika 93: Hidrometrično krilo za merjenje hitrosti toka vode</i>	88
<i>Slika 94: Dopplerjev pojav</i>	89
<i>Slika 95: Celice ADCP merilnega pretvornika.....</i>	90
<i>Slika 96: Meritve hitrostnega polja z napravo in analizo ADCP</i>	91
<i>Slika 97: Primer izpisa rezultatov meritev z napravo Workhorse Rio Grande</i>	91
<i>Slika 98: Delovanje sonarja.....</i>	92
<i>Slika 99: Ustvarjanje slike s sonarjem.....</i>	92
<i>Slika 100: OTT ADC Acoustic digital current meter.....</i>	93
<i>Slika 101: Scan Sonar Towfish</i>	95
<i>Slika 102: 4100 Side Scan System</i>	96
<i>Slika 103: 4700-DFX Dynamically Focused Multi-Pulse</i>	98
<i>Slika 104: 4300-MPX High Speed Side Scan System</i>	99
<i>Slika 105: 4400-SAS Synthetic Aperture Side Scan Sonar</i>	100
<i>Slika 106: BenthosC3D side scan sonar.....</i>	101
<i>Slika 107: Delovanje naprave ADC.....</i>	102
<i>Slika 108: C3D Side scan /Bathymetry system</i>	104

Kazalo preglednic

<i>Preglednica 1: Prehajanje vodotokov v odvisnosti od višine in hitrosti vode</i>	<i>4</i>
<i>Preglednica 2: Možnost premikanja glede na naklonske razrede</i>	<i>5</i>
<i>Preglednica 3: Karakteristike vozil v SV povezane s prehajanjem vodotokov</i>	<i>7</i>
<i>Preglednica 4: Podatkovne zbirke uporabljene v projektu i-PREHOD</i>	<i>22</i>
<i>Preglednica 5: Primer prikaza vodostajev avtomatskih merilnih postaj ARSO (torek, 4. november 2008, ob 12:00)</i>	<i>28</i>
<i>Preglednica 6: Vozila 1, ki premagajo globino vode 0,6 m.....</i>	<i>32</i>
<i>Preglednica 7: Vozila 2, ki premagajo globino vode 0,8 m.....</i>	<i>32</i>
<i>Preglednica 8: Vozila 3, ki premagajo globino vode 1,0m.....</i>	<i>32</i>
<i>Preglednica 9: Primerjava izmerjenega pretoka na Kamniški Bistrici na vodomerni postaji ARSO in na izbranem odseku z napravo ADCP</i>	<i>81</i>
<i>Preglednica 10: Tehnične karakteristike Scan Sonar Towfish</i>	<i>95</i>
<i>Preglednica 11: Tehnične karakteristike 4100 Side Scan System</i>	<i>96</i>
<i>Preglednica 12: Tehnične karakteristike 4125-P Search & Recovery Side Scan System</i>	<i>97</i>
<i>Preglednica 13: Tehnične karakteristike 4700-DFX Dynamically Focused Multi-Pulse</i>	<i>98</i>
<i>Preglednica 14: Tehnične karakteristike 4300-MPX High Speed Side Scan System</i>	<i>99</i>
<i>Preglednica 15: Tehnične karakteristike 4400-SAS Synthetic Aperture Side Scan Sonar</i>	<i>100</i>
<i>Preglednica 16: Tehnične karakteristike Benthis C3D side scan sonarja</i>	<i>101</i>
<i>Preglednica 17: SWOT matrika za ADC</i>	<i>103</i>
<i>Preglednica 18: SWOT matrika za C3D Side scan / Bathymetry system</i>	<i>104</i>

DS3: ZAJEM IN PRIPRAVA PODATKOV ZA PREHODNOST VODOTOKOV

1 POVZETEK CILJEV, AKTIVNOSTI IN REZULTATOV

1.1 Cilji delovnega sklopa

- a) pripravljene rastrske tematske karte za hitro oceno prehodnosti voda;
- b) izdelana metodologija za opredelitev prehodnosti vodotokov;
- c) izdelan predlog nakupa opreme za izvidovanje za prehajanje notranjih celinskih voda.

1.2 Aktivnosti za doseganje cilja

- pregledali smo relevantno literaturo o prehajanju vodotokov in postavili kriterije;
- pridobili smo podatke ter izdelali sloj širin vodotokov in nagiba terena za skupno aplikacijo;
- pridobili smo podatke o obstoječih premostitvah in drugi cestni infrastrukturi;
- izdelali smo metodo za opredelitev prehodnosti vodotokov na podlagi hidravličnih parametrov, metoda ni vgrajena v skupno aplikacijo;
- metodo smo aplicirali na izbranih 10-ih lokacijah ARSO postaj na različnih vodotokih;
- metodo smo aplicirali tudi na odseku Kamniške Bistrice;
- metodo in rezultate delovnega sklopa smo predstavili inženirski enoti v Novem mestu novembra 08;
- pripravili smo pregled opreme za izvidovanje za potrebe prehoda notranjih celinskih voda in izdelali predlog za nakup opreme.

1.3 Rezultati delovnega sklopa

- tematski rastrski sloj naklonov terena ob vodotokih;
- metoda za opredelitev prehodnosti vodotokov na podlagi hidravličnih parametrov;
- predlog za nakup hidrometrične opreme.

2 UVOD

Vode so količinski in kvalitativni vojaškogeografski prostorski dejavnik. Zaradi dejstva, da voda prekriva kar tri četrtine našega planeta, obenem pa je nujno potrebna za obstoj življenja, so nadzemne in podzemne vode izjemno pomemben dejavnik, ki pomembno zaznamuje vojaške aktivnosti na strateški, operativni in taktični ravni.

Vojaška analiza rek obsega ugotavljanje hidrografskih značilnosti za načrtovanje in izvedbo aktivnosti na rekah, vzdolž in prek njih, za dostop do obale, prečkanje rek in izrabo rečnih obal za utrjevanje in razmejitev med enotami (Bratun, 2005).

Vodotoki so najbolj dinamičen (spremenljiv) del vodnega kroga in zato najbolj dinamičen vojaškogeografski prostorski dejavnik, ki močno vpliva na možnosti prehajanja terena. Rečna korita oz. struge in s tem rečna mreža se neprestano spreminjajo in prilagajajo razmeram v lokalnem kroženju vode. Nekatere spremembe so hitre (npr. ob visokih vodah se spremenijo vodostaj, hitrost toka, oblika ali celo potek korita), druge pa bolj postopne (izsušitev zaradi upadanja gladine podzemne vode, zakrasedanje). Večina slovenskih rek ima hudourniški značaj. To pomeni, da pretoki zelo hitro narastejo in hitro tudi upadejo, večji del vode pa odteče ob visokovodnih ali celo poplavnih valovih. Ugotavljanje prehodnosti vodotokov za vojaške potrebe zato predstavlja poseben izziv.

Slovenija je bogata z vodami, čeprav niso enakomerno prostorsko razporejene. Vodne površine v Sloveniji pokrivajo okoli 272 km², v geoloških enotah, ki lahko prevajajo in akumulirajo podzemno vodo, pa je okoli 50 m³/s dinamičnih zalog (ARSO spletna stran). Rečna mreža se začne s stalnimi ali občasnimi izviri različne izdatnosti in nadaljuje s hudourniki in potoki, ki se združujejo v vedno večje reke. Dolžina vodotokov, med katere so vštet tudi kopani kanali in večji melioracijski jarki, znaša okoli 28 000 km (1,4 km/km²; EWN-Si, Kataster vodotokov ARSO). Od tega je vsaj 16 000 km takih, ki so vsaj občasno brez vode, ob izjemnejših sušah pa se dolžina vodotokov lahko zmanjša pod 12 000 km (0,6 km/km²). Stoječe površinske vode, med katere uvrščamo jezera, mlake, rečne mrtvice in vodna zajetja antropogenega izvora (zadrževalniki in ribniki) imajo skupno površino 68,93 km² in pokrivajo 0,3 odstotka celotnega ozemlja Slovenije, kar je tudi Evropsko povprečje.

V projektu i-PREHOD smo prehodnost vodotokov ugotavljali na dva načina. Za aplikacijo smo izdelali zbirni sloj širin vodotokov in nagiba terena, saj sta to edina parametra, ki se v času ne spreminjata hitro in lahko njuni veličini opredelimo za območje celotne Slovenije. Za natančnejšo določitev prehoda pa je zaradi dinamičnih sprememb vodnih teles neposredno pred prehodom potrebno opraviti posebne meritve na terenu in hidravlične izračune, koristno je tudi poznavanje hidravličnega modeliranja. V ta namen smo izdelali metodo za ovrednotenje prehodnosti vodotoka pri danem pretoku glede na hidravlične kriterije, predstavili njene teoretične temelje in uporabnost za napovedovanje prehodnosti. Proučili smo tudi hidrometrično opremo za izvidovanje za ugotavljanje prehodnosti notranjih celinskih voda na terenu, s katerimi inženirske enote SV še niso opremljene. Oprema za izvidovanje (terenska merilna oprema) za prehajanje notranjih celinskih voda je namenjena pridobitvi informacij, ki omogočijo končno določitev mikrolokacije prehoda reke.

3 PRIPRAVA GIS SLOJEV ZA HITRO OCENO PREHODNOSTI VODOTOKOV

3.1 KRITERIJI PREHODNOSTI NOTRANJIH CELINSKIH VODA

Kriterije prehodnosti notranjih celinskih voda smo proučevali iz obstoječe literature in iz spletnih virov. Literaturo smo pridobili na MORS-u in v inženirskih enotah SV. Proučili smo tudi vire na Fakulteti za družbene vede Univerze v Ljubljani. Ugotovili smo, da je poznavanje problematike prehajanja vodotokov v nekaterih vojskah v tujini (posebno v inženirskih enotah ameriške vojske) zelo dobro, medtem ko novejša slovenska literatura obravnava vodotoke le z vojaškogeografskega in ne s hidrotehničnega vidika. Izjema je starejša literatura jugoslovanske vojske, ki pa je žal zastarela.

Najpomembnejši kriteriji prehodnosti notranjih celinskih voda so:

- širina
- globina
- hitrost
- pretok
- specifični odtok
- pretočni režim
- naklon terena
- rečna mreža
- dolžina vodotokov

Širina

Po Bratunu (2005) delimo reke po širini na majhne (do 5 m), srednje (do 50 m) in velike (nad 50 m). Majhne in srednje reke se obvladuje s prehodi preko mostov in z brodenjem. Večina rek v Sloveniji so po širini majhne ali srednje. Po Marjanoviću (1983) delimo reke na majhne (60 m), srednje velike (60-300 m) in velike (nad 300 m).

Globina

Globina vode bistveno vpliva na možnosti prehoda vodnega telesa. Vodotoke po globini delimo na plitke (do 2 m), srednje globoke (do 10 m) in globoke (Bratun, 2005), Marjanović (1983) pa smatra za globoke vodotoke z globino nad 5 m. Reke v Sloveniji so po Bratunu plitke in srednje globoke. Vse hitrotekoče reke imajo zelo spremenljivo globino na krajših razdaljah. Prehodnost v odvisnosti od globine in hitrosti toka je prikazana v Preglednici 1.

Hitrost

Hitrost vodnega toka je eden najpomembnejših parametrov, ki ga moramo upoštevati pri prehajanju vodotokov. Hiter tok vode pri prečkanju reke povzroča zanašanje vozil in spodnašanje ljudi. Na hitro tekočih vodah so pontonski mostovi neuporabni, take vode pa so

ovira tudi za oklepna vozila. Po Marjanoviću (1983) so vodotoki lahko počasni (do 0,5 m/s), srednje hitri (0,5 – 1 m/s), hitri (1 - 2 m/s) in zelo hitri (nad 2 m/s). Večina rek v Sloveniji ima zaradi razgibanega reliefa in izvirov v višjih legah hiter ali celo hudourniški tok (nad 5 m/s).

Preglednica 1: Prehajanje vodotokov v odvisnosti od višine in hitrosti vode

Vrste enot	Hitrost rečnega toka v m/s		
	do 1 m/s	1 – 2 m/s	nad 2 m/s
	Maks. globina vode ob prehodu čez vodotok		
pehota	1 m	0,8 m	0,6 m
artilerija	0,7 m	0,6 m	0,5 m
konji	1,25 m	1 m	0,8 m
terenska vozila	0,5 m	0,4 m	0,3 m
tanki	0,9 – 2,1 m		
	do 5 m ob hitrosti vode 1,5 do maks. 2 m/s (posebej opremljeni)		

Vir: Marjanovič 1983

Pretok

Pretok je parameter, s katerim opišemo vodnatost vodotokov. Izražamo ga v enoti m^3/s , izračunavamo pa iz hitrosti vodotoka in prečnega profila. Prehajanje vodotokov je s pretokom povezano le posredno.

Naša najbolj vodnata reka je Drava, katere srednji letni pretok (sQs) pod sotočjem s Pesnico presega $320m^3/s$. Razen Save in Mure imajo ostale reke bistveno manjša porečja in zato precej manjši pretok.

Specifični odtok

Specifični odtok (q) je parameter, s katerim opišemo vodnatost porečja. Gre za razmerje med pretokom (Q) in površino vodozirnega zaledja in ga izražamo v $l/s km^2$. Prehajanje vodotokov je s specifičnim odtokom povezano posredno. Z enako velikih površin odteče različna količina vode. To je posledica različnih hidrografskih dejavnikov (količina in oblika padavin, izhlapevanje, relief, geološka zgradba...). Če upoštevamo le sq_s (specifični odtok na podlagi obdobjnega srednjega pretoka), je med našimi velikimi rekami najbolj vodnata Soča ($77,7 l/s km^2$), povprečna vrednost za Slovenijo pa znaša $28 l/s km^2$.

Pretočni režim

Pretočni režim opisuje spreminjanje vodnatosti reke preko leta. Zaradi geografske – predvsem podnebne – raznolikosti vodozbirnih zaledij, lahko vodotoke, glede na značilno spreminjanje pretokov preko leta, in vire, iz katerih se napajajo, razdelimo v grobem v štiri pretočne režime: dežni, dežno – snežni, snežno – dežni in snežni. Od podnebnih elementov so poleg razporeditve in agregatnega stanja padavin pomembni tudi letni poteki evapotranspiracije, temperatur in trajanja in debeline snežne odeje. Pomembno vlogo pri njihovem oblikovanju ima orografija, pedološka in kamninska sestava ter, prisotnost rastlinske odeje, vrsta rabe tal idr.

Naklon terena

Naklon je lastnost reliefa, ki odločilno vpliva na možnost premikanja v prostoru. Ta parameter igra pomembno vlogo tudi pri prehajanju vodotokov, saj dostop do rečne struge omejujejo bregovi, ki so lahko položni (npr. peščeni bregovi), strmi (tudi hidrotehnično urejeni) ali celo navpični. Vse reke, ki imajo strme brežine, so lahko visoke prek 1m, imajo hitrost vode nad 2 m/s, nimajo ravnega korita ali pa je blatno in predstavljajo protitankovske ovire (Marjanović, 1983).

Preglednica 2: Možnost premikanja glede na naklonske razrede

naklon	Lahko se gibljejo (na suhih in trdnih tleh)
do 10°	Tovarna in terenska vozila, motorna vozila (s kolesi) s prikolico (upoštevajoč mikroreliefne oblike)
10°-20°	Tovarna in terenska vozila, motorna vozila (s kolesi) brez prikolice in zaprežena vozila
20°-30°	Vozila goseničarji ali polgoseničarji – brez prikolice do 30°, s prikolico do 25°, tovorna živina do 25° a pri zmanjšani obremenitvi do 35°
30°-40°	Tanki in samohodna vozila do 35°, na krajše razdalje tudi tanki do 40°, tovorna živina
40°-60°	Moštvo z držanjem za rastje in tla
>60°	Usposobljeno moštvo s posebno opremo za vzpenjanje

Vir: Gorjup (1983), Marjanović (1983)

Gostota rečne mreže

Vodotoki izbranega območja sestavljajo rečno mrežo. Merilo njene gostote je dolžina vodotokov na določeni površini. Gostota rečne mreže je odvisna od geološke zgradbe in reliefne razčlenjenosti območja. Gostejša kot je rečna mreža, slabša je prehodnost in boljša je oskrba z vodo.

Rečna mreža 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 (okrog 3 km/km²).

Dolžina vodotokov

Po Bratunu (2005) so reke kratke (do 50 m), srednje (do 200 km) in dolge (daljše od 200m). Večina slovenskih vodotokov sodi med srednje dolge in kratke. Najdaljša je Sava, ki od izvira v Zelencih do hrvaške meje meri 221 km. Več kot 100 km merijo še Drava, Mura in Kolpa, ki so tudi mejne reke. Čez 100 km meri od izvira nad slapom Rinka tudi Savinja, ki pa se v Logarski dolini izgubi v produ in ima stalen tok šele od izvira Črne (95 km). Približno toliko merita tudi Soča (95,8 km do italijanske meje) in Krka (94 km). Od 46 vodotokov daljših od 25 km, jih je v Jadranskem povodju le 5.

Preglednica 3: Karakteristike vozil v SV povezane s prehajanjem vodotokov

Vrsta vozila	Znamka	Tip	Podtip	Nam.uporab.vozila	Vetikalna ovira	Horizontalna ovira	Max.brodenje vozila	Max.vzpon	Max.prečni nagib	Maksimalna hitrost
					m	m	m	%	%	km / h
TOA	STEYR-DAIMLER-PUCH	230	GE 6	OSEBE			0,6			146
TOAS	STEYR-DAIMLER-PUCH	230	GE 4	ZVEZA			0,6			146
TOAS	STEYR-DAIMLER-PUCH	230	GE 9	OSEBE & TOVOR			0,6			146
TOA	STEYR-PUCH	PINZGAUER	710 M	OSEBE & TOVOR				70	20	100
TV	TAM	150	T 11 BV 6x6	OSEBE & TOVOR	0,5	0,6	1,0	71	35	90
TV	TAM	110	T 7 BV 4x4	OSEBE & TOVOR	0,5	0,6	1,0	67	35	90
TV	TAM	80	T 5 B	OSEBE & TOVOR						90
DV	TAM	110	T 7 BV 4x4	AVTODVIGALO	0,5	0,6	1,0	67	35	90
TS	TAM	125	T 10 ACV	VODA						90
TS	TAM	150	T 11 BV 6x6 ABH	DELOVNO VOZILO	0,5	0,6	1,0	71	35	90
TS	TAM	150	T 11 BV 6x6	DELAVNICA	0,5	0,6	1,0	71	35	90
TV	IVECO	EUROCARGO	ML100E18WR	ADR	0,4	0,5	0,8	60	30	90
TS	IVECO	EUROCARGO	ML100E18WR	ZVEZA	0,4	0,5	0,8	60	30	90
DV	MB	ACTROS	4140 AK 8x8	EUROBRIDGE						90
TS	MB	ACTROS	3331 A 6x6	EUROBRIDGE						90
TS	IVECO	EUROTRAKKER	MP380E48W	PREKUCNIK				60	30	90

3.2 IZDELAVA SLOJEV ŠIRIN VODOTOKOV IN NAGIBA TERENA NA OŽJEM OBMOČJU VODOTOKA

Širina vodotoka je le eden od parametrov, ki vpliva na prehodnost vodotoka. V povezavi s tem sta globina in hitrost bolj pomembna faktorja. Širina vodotoka je podatek, ki ga lahko relativno hitro in v večjem obsegu zajamemo v digitalno obliko. Pri tem lahko uporabimo različne metode, ki so v nadaljevanju tudi predstavljene.

Nagib terena se izračunava avtomatsko iz podatkov digitalnega modela višin, kjer moramo upoštevati omejitve takšnega pristopa. Manjša kot je celica modela višin, bolj natančen je izračun nagiba terena.

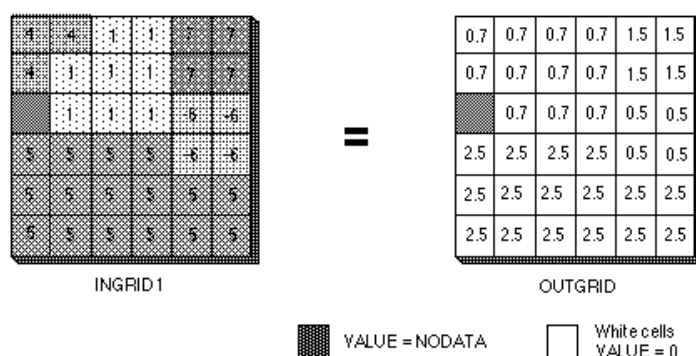
3.2.1 Izdelava slojev širin vodotokov

Pri izdelavi rastrskega sloja vodotokov lahko uporabimo različne vire in metode. V kolikor nimamo dodatnih podatkov takrat je vodotok popolna ovira. Lahko pa v primeru dodatnih meritev oz. pogojev rastrski sloj vodotokov opremimo z dodatnimi podatki.

Izračun težavnosti prehoda s funkcijami Map Algebre

Širino vodotoka lahko v rastrskem modelu izdelamo s pomočjo funkcije ZonalThickness.

Funkcija ZONALTHICKNESS za vsako območje (vodotoka) izračuna razdaljo do najbližjega roba. Na ta način lahko dobimo utežne podatke o težavnosti prehoda čez vodotok. Pri tem algoritmu moramo imeti vodotok razdeljen na območja enakih širin. Pri enaki globini in dovoljeno nizkem pretoku bo algoritem na primer izbral najožji prehod.



EXPRESSION:

OUTGRID = ZONALTHICKNESS(INGRID1)

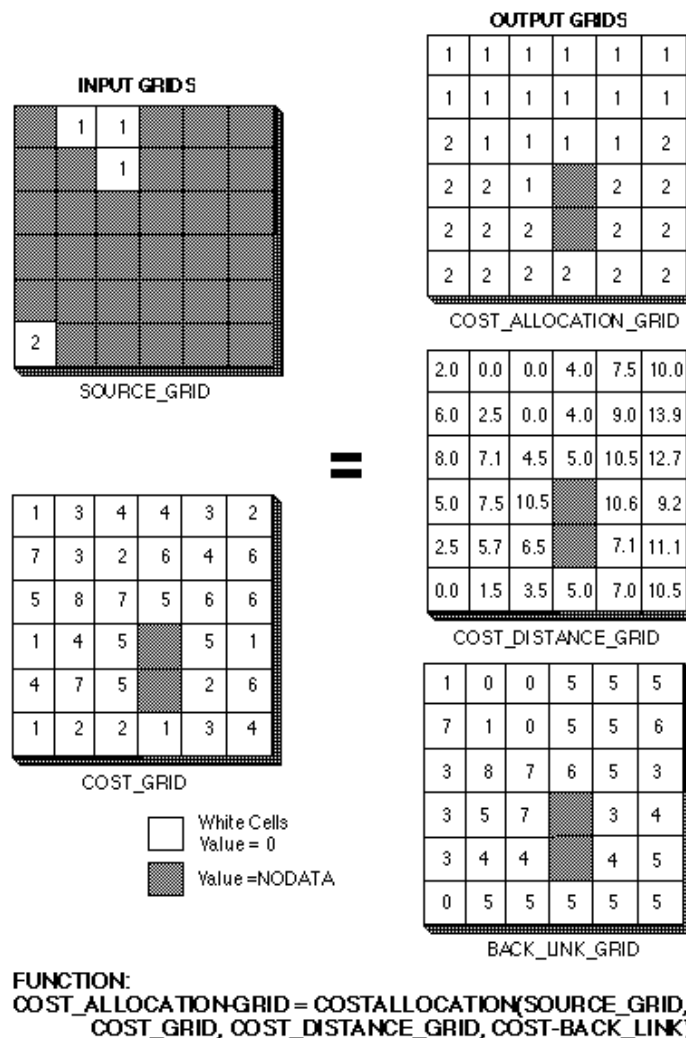
Slika 1: Obrazložitev funkcije ZonalThickness iz priročnika za Arc/Info.

Zgornja metoda ima omejitve pri velikosti poligonov, saj bi za praktično uporabo morali rečne odseke razbiti na homogene celote v smislu enakih lastnosti prehoda.

Izračun uteži za prehod vodotoka

Za izračun stroškov ob prehodu vodotoka lahko uporabimo stroškovne rastrske analize. To metodo lahko nadgradimo tudi z rezultati meritev globine in pretokov. V primeru dovolj natančne baze je ta metoda lahko precej uporabna. Seveda je tu analogija z prehodnostmi zaradi geološke sestave in zaradi pedološke plasti.

Na spodnji sliki je prikazan kratek primer vhodnih in izhodnih podatkov pri stroškovnih analizah.



Slika 2: Primer vhodnih in izhodnih podatkov pri stroškovnih analizah

Izračun širine vodotoka iz poligonskih podatkov

V tem primeru smo uporabili poligonski sloj podatkov o vodotokih. Postopek je bil sledeč:

1. Pripravili smo morfološko homogene poligone (prek svoje središčnice so bili skoraj zrcalni na obeh straneh)
2. Izračunali smo površino, obseg
3. Dolžina središčnice = Obseg/2 (generalizacija, ampak minimizirana zaradi koraka 1!)
4. Širina = Površina / Dolžina središčnice
5. Klasifikacija v 5 razredov (0,1,2,3,5)
6. Funkcija poligon to raster (ESRI GRID), kjer je bila označena funkcija maksimalnih površin (ohrani zveznost vodnih površin, posebej pri manjših vodotokih s širino manjšo od 12.5 m)
7. Preverjanje z vektorskim slojem

Dolžino smo računali po haversini.

$$\begin{aligned}
 dlon &= lon_2 - lon_1 \\
 dlat &= lat_2 - lat_1 \\
 a &= \sin^2(dlat/2) + \cos(lat_1) * \sin^2(dlon/2) \\
 c &= 2 * \arcsin(\min(1, \sqrt{a})) \\
 d &= c * (Earth\ radius)
 \end{aligned}$$

Slika 3: Izračun dolžine po haversini

Vir: Spherkit : The Spatial Interpolation Toolkit, Robert G. Raskin

Obseg vodnih površin smo računali po Pitagorovi formuli, ki računa razdalje med vektorskimi pari.

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Površino vodnih površin smo računali po formuli:

$$A = 0.5 \cdot \sum_{i=1}^{N-1} [(x_2 - x_1) \cdot (y_2 - y_1)]$$

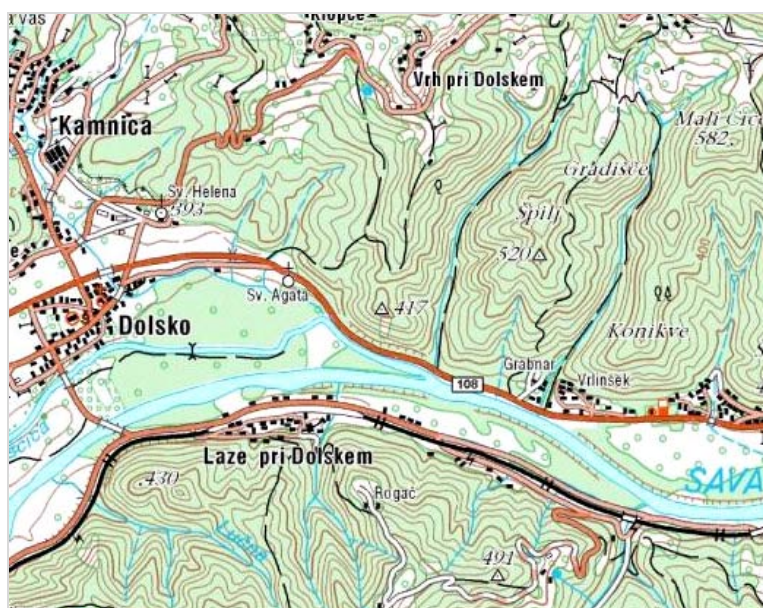
Širina vodotokov je bila porazdeljena v naslednje razrede

Razred	Vrednost
pod 2 m	5 - prehodno
2-5 m	3
5-10 m	2
10-20 m	1
nad 20 m	0 - neprehodno

Največja širina vodotoka/jezera je bila 609 m.

Primerne podatkovne zbirke za izračun širine vodotoka.

Topografske karte



Slika 4: Primer topografske karte merila 1:25.000

Topografske karte večjih meril npr. med 1:25000 in 1:5000 so pogojno primerne za izdelavo osnovnega sloja vodnih površin. Poleg omejitev v položajni natančnosti in verjetne zastaranosti imajo vseeno določene prednosti pred nekaterimi drugimi tehnikami. Npr. digitalizacija topografskih kart upošteva tudi znanje kartografa ob kreiranju takšne karte. Upošteval je srednjo višino vodotoka, vrisal hudournike, slepe rokave ipd., česar se ob enkratni interpretaciji npr. satelitskega posnetka ne vidi. Prav tako pa kartografska baza podatkov ob nizkih vodostajih ne da realne vrednosti.

Karta rabe prostora npr. Corine

CORINE (COoRdinating of INformation on the Environment) je evropski program za usklajevanje informacij o okolju, ki ga je leta 1985 sprejela Evropska unija. Glavni namen te baze je določiti in smiselno razvrstiti pokrovnost tal. Podatki o pokrovnosti tal v kombinaciji z drugimi tematskimi podatki so v glavnem namenjeni kmetijstvu, gozdarstvu, regionalnemu in prostorskemu načrtovanju, inventarizaciji naravnih virov, spremljanju okolja ter sprememb v njem. Glavna prednost CORINE Land Cover baze podatkov je primerljivost z bazami drugih evropskih držav.

Karta rabe tal, ki izhaja iz Corine klasifikacije, vsebuje tudi vodne površine. So možen izbor za kreiranje baze vodotokov. Potrebno pa je podrobno poznavanje postopka zajema podatkov in lastnosti posameznega razreda. Skupaj vsebuje Corine klasifikacija 44 razredov od katerih jih v Sloveniji lahko identificiramo 37. Med njimi je za potrebe te naloge zanimiv predvsem razred 7000 (Vode) v katerega uvrščamo površine, pokrite s površinskimi vodami, kot so jezera, reke, potoki in jarki v katerih se nahaja voda.

Predlogi za nadaljnje delo

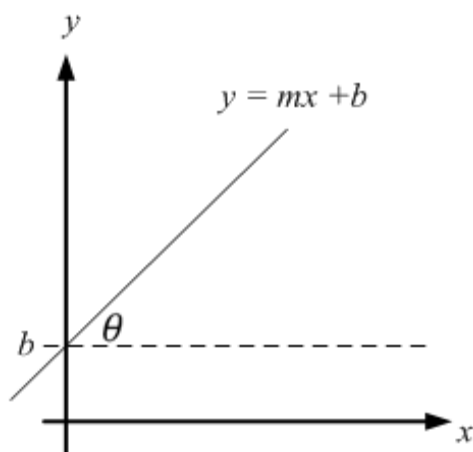
Obstoječo podatkovno bazo vodotokov, ki smo jo izdelali v projektu i-PREHOD, bi v prihodnosti lokalno lahko povezali z rezultati meritev ARSO in naredili nekakšno dinamično bazo, kjer bi imeli ob različnih višinah vodotokov zraven še podatke o pretoku. Prav tako bi lahko naredili različne poligone (območja) za različne vodostaje.

Ena od možnosti je tudi integracija meritev profilov (klasičnih ali sonarsko izmerjenih) ter njihova integracija v model reliefa. S tem bi dobili osnovo za globine in oblike vodne struge.

3.2.2 Izdelava slojev nagiba terena

Funkcija izračuna naklona

Naklon se izračuna po matematičnem modelu, ki računa odnos med inklinacijo linije ali krivulje z drugo linijo ali krivuljo.



$$n \equiv \frac{\Delta y}{\Delta x} = \tan \theta$$

n – naklon

Δy , Δx - sprememba v koordinatah na isti razdalji

θ - kot med linijo naklona in x-osjo

Naklonski razredi

Naklonski razredi so opisani v poglavju Kriteriji prehodnosti notranjih celinskih voda.

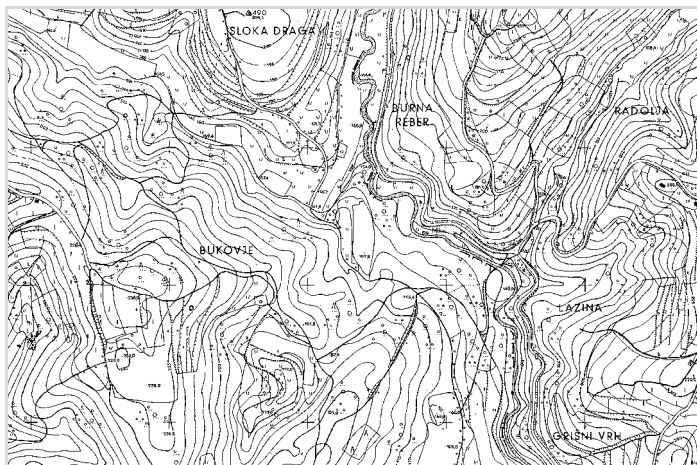
Nakloni površja odločilno vplivajo na možnost premikanja. Na splošno velja, da se z nadmorsko višino povečuje naklon, z rastjo naklona pa se povečuje delež gozda, manjša pa obseg poselitve.

Vertikalna razčlenjenost terena ima velik vpliv na mobilnost vojaških vozil in na vojaške aktivnosti. Poleg samega nagiba zemljišča je potrebno upoštevati še hidrometeorološke pogoje, reliefne in mikroreliefne oblike, sestavo tal in vegetacijo.

Primerne podatkovne zbirke za izračun nagiba terena

Topografske karte TK25, TTN5, DTN5

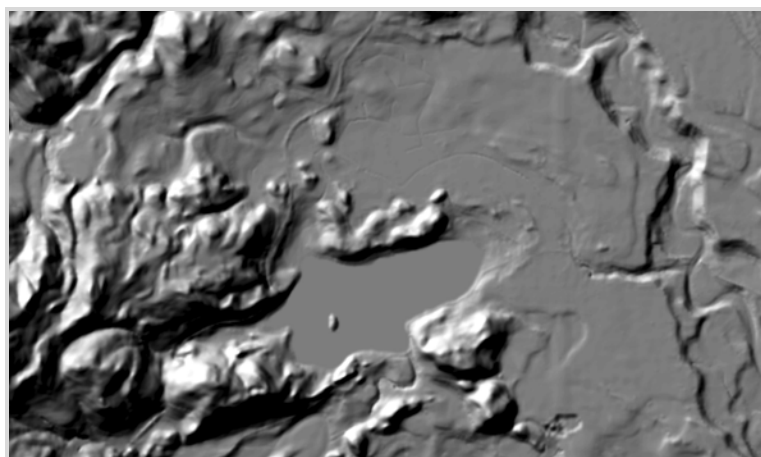
Za izračun nagiba terena lahko uporabimo tudi digitalizirane plastnice in druge kartografske vsebine, ki predstavljajo geomorfološke oblike. Tako lahko iz plastnic generiramo model višin in iz njega izdelamo karto naklonov. Poleg tega pa lahko izločimo posebne geomorfološke znake, ki predstavljajo strma pobočja, osamljene skale, rebri, skalnate robove, stene, plazove.. Vsi ti parametri so lahko dodatna informacija avtomatsko generiranim bazam.



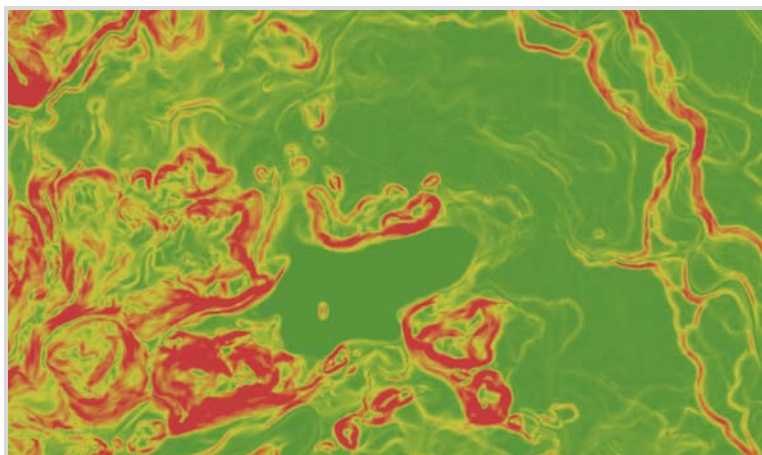
Slika 5: Primer topografske karte z združenimi vsebinami

Digitalni model višin 12.5

Pri izdelavi nagibov terena ob vodotokih smo uporabili digitalni model višin z ločljivostjo 12,5 m in ugotovili, da je uporabljeni sloj v nekaterih primerih premalo natančen, zato smo se v nadaljevanju projekta odločili za preizkus DMV z ločljivostjo 5m.



Slika 6: Prikaz senčenega reliefa DMV 12,5 za območje Bleda

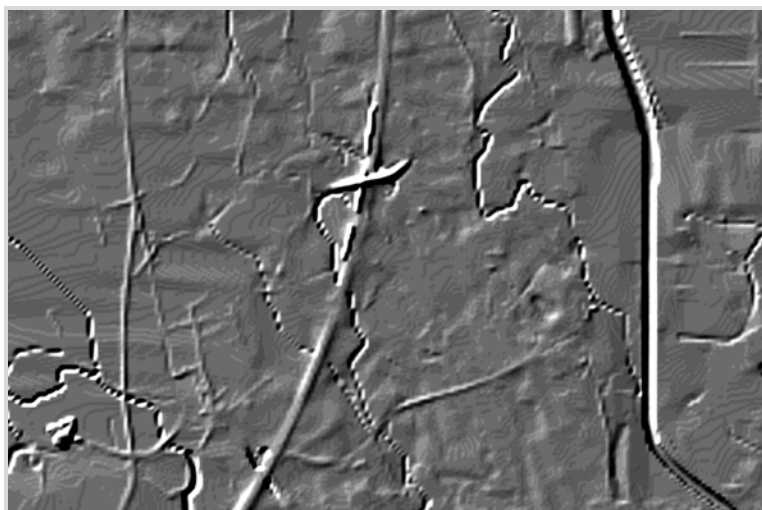


Slika 7: Prikaz naklonov (zeleno – ravnina, rdeče – strm naklon) za območje Bleda

Digitalni model višin DMV5

Digitalni model višin - DMV 5 je izdelan z avtomatskim stereoizvrednotenjem aeroposnetkov iz leta 2006 s pomočjo korelacije. Tam, kjer stereoizvrednotenje ni možno, pa iz raznih geodetskih podatkov. Na zaraščenih območjih so bili uporabljeni starejši posnetki in Digitalni model Slovenije (12,5x12,5m). Digitalni model reliefa je način opisa oblikovanosti zemeljskega površja. Služi kot osnovni informacijski sloj za analize v prostoru. Podatki so primerni za izvajanje prostorskih analiz, za uporabo pri vizualizaciji oziroma upodabljanju prostora, uporabni so za izdelavo topografskih in tematskih kart ter v druge namene.

Iz spodnje slike se da dokaj dobro razbrati določena zemeljska dela, korito Kamniške Bistrice in cestno mrežo.

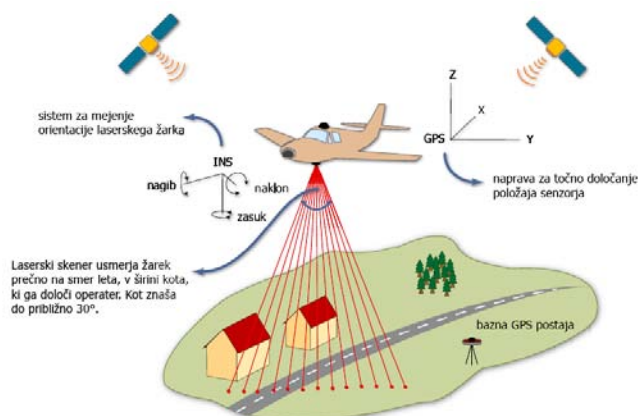


Slika 8: Prikaz senčenega reliefa DMV5 na območju med štajersko AC in Kamniško Bistrico

Tehnologija LIDAR

Tehnologija laserskega (lidarskega) skeniranja se vedno bolj uveljavlja kot ena od najboljših metod za zajem trirazsežnih prostorskih podatkov. Izraz lidar je okrajšava za LIght Detection and Ranging, torej »svetlobno zaznavanje in merjenje razdalj«. Laserska naprava, običajno nameščen na letalu ali helikopterju, izseva pulze laserske svetlobe, nato pa senzor meri odbito energijo. Laserski pulz se lahko odbije od antropogenih elementov okolja, npr. od zgradb ali cest ali od naravnih površin, npr. drevja, grmovja, trave, skal, zemlje in podobno. Skupaj s podatki o položaju snemalnega sistema lahko izračunamo točko odboja na površju, ji pripišemo red odboja (prvi, drugi,... zadnji) in njegovo jakost. Iz oblaka točk nato izdelamo zelo natančen digitalni model višin. Raznolikost uporabe lidarskih podatkov je izjemna, med pomembnejša področja pa štejemo izdelavo modelov mest, upravljanje gozdov, varstvo pred naravnimi nesrečami in ocenitev škod, varovanje okolja, rekonstrukcijo in sistematično iskanje arheoloških najdišč, evidentiranje kulturne dediščine, meritve obalnih območij, kartiranje infrastrukturnih koridorjev ter meritve na dnevnih kopih in deponijah.

Lidar podatki bi bili v nalogi lahko učinkovito uporabljeni, saj poleg natančnejšega prikaza reliefa in zato natančnejšega nagiba terena lahko dobimo tudi podatke o ovirah na terenu, gozdovih, elektrovodih ipd.



Slika 9: Način lidarskega snemanja

Vir: <http://iaps.zrc-sazu.si>, avtorja: Žiga Kokalj, Krištof Oštir

Letala in helikopterji so uporabni za lidarsko snemanje večjih površin. Podobna tehnologija se uporablja tudi pri statičnem oz. mobilnem 3D skeniranju. V tem primeru lahko določeno manjše območje relativno hitro posnamemo tudi iz stojišča, avtomobila ali iz nizko letečega helikopterja ali manjšega brezpilotnega letala.

Rezultat lidarskega snemanja je oblak točk, ki iz katerega lahko izdelamo kvalitetne baze reliefa, vegetacij, stavb ali vodnih površin.



Slika 10: Realistično obdelan lidarski posnetek

Zgornja slika prikazuje možnosti obdelave podatkov lidarskega snemanja. Digitalni model višin je bil zajet iz oblaka točk talnega odboja. Iz točk površinskega odboja, pa so generirani objekti kot so drevesa in trstičje. Pri lidarskem snemanju lahko namreč iz točk prvega odboja generiramo podatke o vegetaciji, iz točk talnega odboja pa digitalni model reliefa.

Brez interpretacije je oblak točk po 3d skeniranju oz. lidarskem snemanju videti kot na naslednji sliki. Iz množice točk je potrebno izločiti točke reliefa in izdelati DMR, izdelati npr. model mostu in obcestno vegetacijo.



Slika 11: Primer prikaza oblaka lidarskih točk

Podatki pridobljeni s terenskimi meritvami

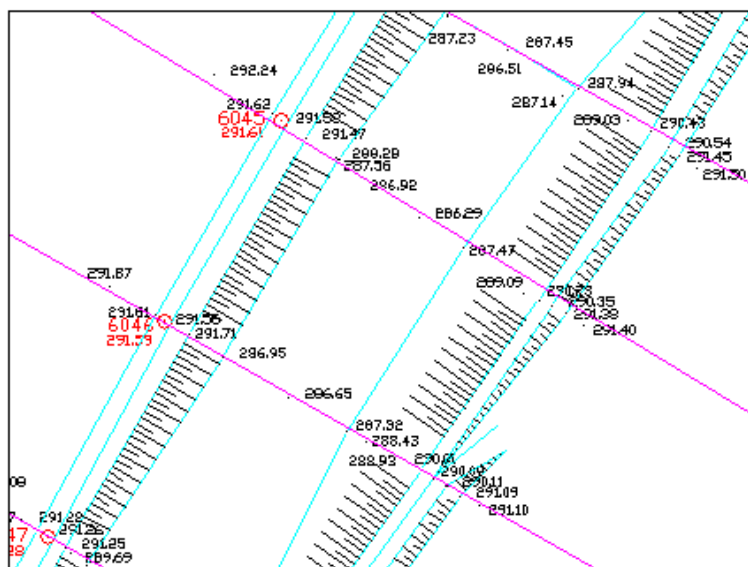
Vsi predhodno omenjeni viri podatkov imajo pomanjkljivost glede ažurnosti in natančnosti določanja naklonov predvsem v neposredni bližini vodotokov in pri določanju mikroreliefnih oblik. Tehnološko se trenutno še najbolj približa tem zahtevam tehnologija Lidar, potem pa že pridemo do terenskih meritev in obveščevalnih podatkov.

Pri terenskih meritvah lahko za potrebe vojske uporabimo prilagojene metode inženirske geodezije. Predvsem uporabljamo klasične geodetske naprave, totalne postaje, GPS meritve ali kombinacijo predhodno naštetih metod.

V študiji smo na testnem območju primerjali tri vire podatkov in sicer:

Geodetski posnetek

Pridobili smo predhodno izdelan geodetski posnetek testnega območja Kamniške Bistrice v DWG formatu. Uporabljena je bila metoda GPS in klasičnih meritev. Glede na lastnosti in zahtevnosti pogojev geodetskih meritev lahko trdimo, da je ta meritev še najbolj natančna. Problem predstavlja edino dolgotrajnost in zamudnost meritev.



Slika 12: Izrez geodetskega posnetka Kamniške Bistrice

Vir: za potrebe študije prijazno odstopil g. Marko Valič, VGP Projekt d.o.o.

Meritve z GPS napravami

Za potrebe te študije in za testiranje dveh geodetskih naprav smo opravili meritve profilov ob vodotoku. Uporabili smo dve različni GPS napravi in sicer Magellan Professional Promark3 in MobileMapper CX.

Za primerjavo smo izvedli snemanje dveh rečnih profilov (nad vodo), ki smo ju primerjali z geodetskim posnetkom. Interpretacija rezultatov je dala naslednje:

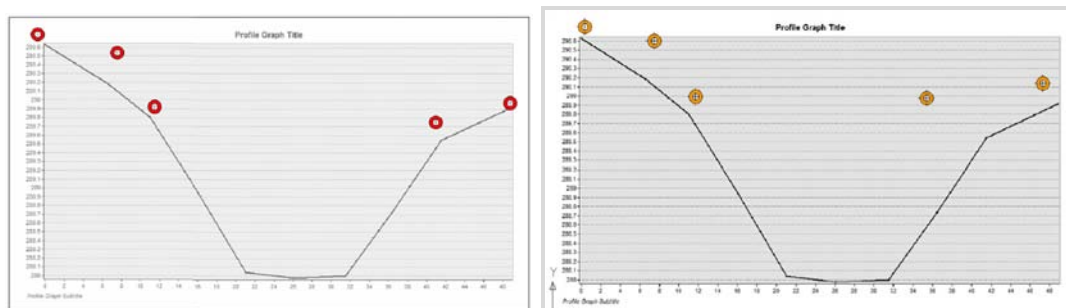
- obrečno grmičevje moti prejem GPS signala, zato hitrejša Stop&Go metoda ni dala zadovoljivih rezultatov
- statična metoda s PM3 je bila dovolj natančna a zamudna in zato neprimerna
- MM CX naprava z zunanjo natančnejšo anteno omogoča hitrejše delo. Višinska natančnost je absolutno manj natančna, relativno pa uporabna za kartiranje. Lahko zaključimo, da je ta naprava pogojno uporabna
- predlagana rešitev je kombinirana GPS in klasična meritev
- v tem primeru bi v kratkem času uspelo tudi kartiranje z GPS napravo z vizualno oceno (ali enostavno napravo) nagiba
- izkušen strokovnjak bi lahko z obhodom terena ob vodotoku lahko vnesel vse potrebne parametre za oceno prehodnosti vodotoka in nagiba brežine; ti podatki bi se nato obdelali sočasno z drugimi podatki npr. DMV5.



Slika 13: GPS meritev moti obrečno grmovje pri sprejemu satelitskih signalov



Slika 14: Brežina testnega območja ob Kamniški Bistrici



Slika 15: Primerjava meritve profila z Promark3 in MMCX napravo

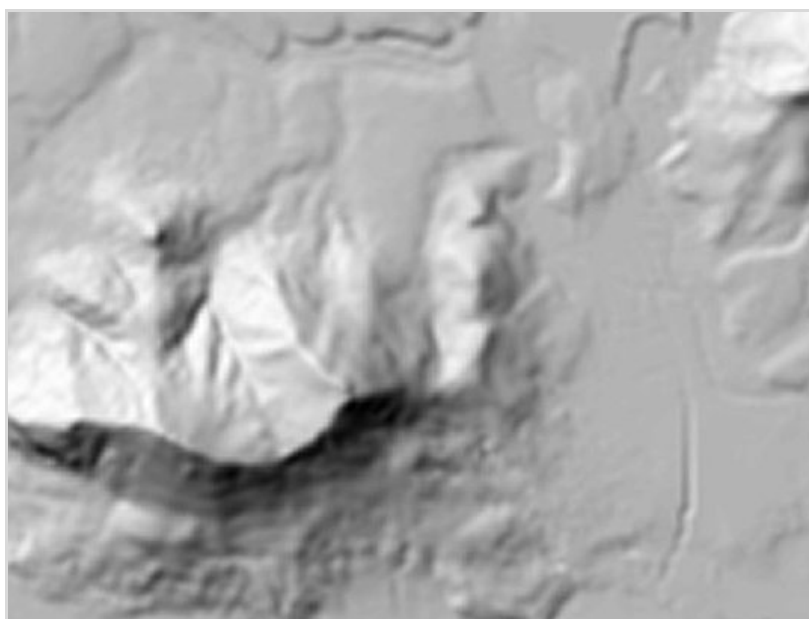
V grafu smo primerjali rečni profil iz geodetskega posnetka, ter meritve karakterističnih točk posnetih z GPS. V kolikor ni obrežne vegetacije, je rezultat obeh naprav zadovoljliv.



Slika 16: Primer GPS naprave z natančnejšo zunanjo anteno

Digitalni model višin 5m

DMV5 v primerjavi z geodetskim posnetkom ni dal dovolj informacij o naklonih, zato smatramo, da kljub nižji ločljivosti nima informacij o mikroreliefnih oblikah. To se je izkazalo na testnem območju Kamniške Bistrice, kjer je struga reke regulirana in so brežine utrjene. Predpostavljamo, da je na drugih območjih, kjer se obrečni teren spušča proti reki v manjšem naklonu, tudi DMV5 primeren za nadaljnjo uporabo v aplikaciji. Zaradi tehnologije zajema podatkov DMV5 v določenih primerih ni izrazito bolj natančen kot DMV 12,5.



Slika 17: Primer reliefnega senčenega prikaza DMV 5

Vir: Geodetska uprava RS

3.3 PODATKI O OBSTOJEČIH PREMOSTITVAH IN DRUGI CESTNI INFRASTRUKTURI

Uporabljene baze podatkov

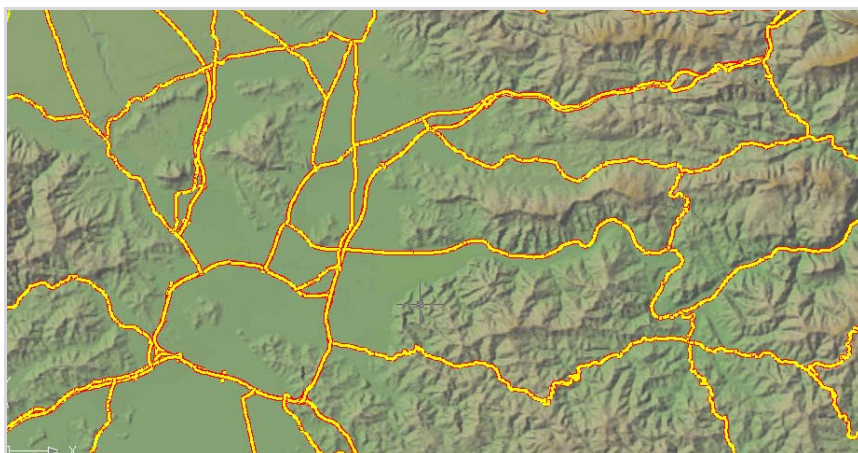
V sklopu projekta i-PREHOD smo za delo in testiranje aplikacije uporabili naslednje podatkovne zbirke, ki smo jih za potrebe naloge prejeli na MORŠ. Lastniki in upravljavci baz so znotraj posameznih resornih ministrstev oziroma podjetij.

Preglednica 4: Podatkovne zbirke uporabljene v projektu i-PREHOD

Naziv	Lastnik	Format	Zaznamki
Državne ceste	Direkcija RS za ceste	SHP	3D podatki osi
Banka cestnih podatkov	Direkcija RS za ceste	XLS	Podatki o cestah, objektih, opremi in obremenitvah
Prometne obremenitve	Direkcija RS za ceste	XLS	Podatki o povprečnih dnevni obremenitvah za leto 2007
Vodostaji na merilnih postajah	Agencija RS za okolje	XLS	Podatki o povprečnih dnevni vodostajih
Objekti na cestah	Direkcija RS za ceste	SHP	Med podatki so tudi mostovi in podvozi s podatki o nosilnosti
Prepusti	Direkcija RS za ceste	SHP	Podatki o prepustih, premerih in materialih
Železnica	Slovenske železnice	ESRI Coverage	Podatki o tirih, objektih in postajah
Podrobnejši podatki o železniški infrastrukturi	Slovenske železnice	SHP	Podatki o usekih, mostovih, predorih in drugi opremi
Raba tal	Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano	SHP	Med drugimi tudi podatki o vodnih površinah

Obstoječe podatkovne zbirke o cestah in mostovih

Za potrebe vzdrževanja cest v Sloveniji se vodijo in vzdržujejo različne baze cest, med katerimi je verjetno najbolj popolna baza državnih cest. Poleg osnovne baze osi cestnih odsekov so pomembne še druge na odseke vezane baze podatkov. Veliko tega je v BCP, t.i. banki cestnih podatkov, ter v bazi prometnih obremenitev.

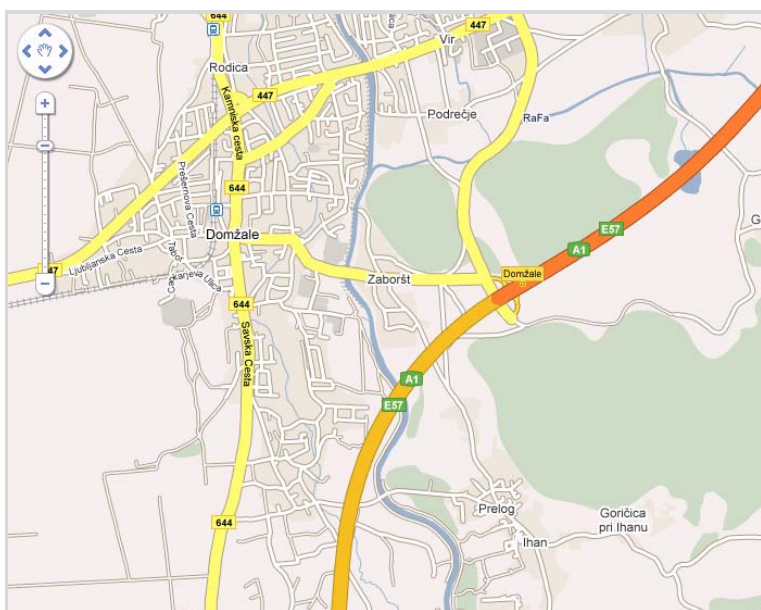


Slika 18: Primer mreže državnih cest

Vir: DRSC

Komercialne navigacijske baze

Komercialne baze cestnih podatkov za potrebe avto navigacije se iz leta v leto bolj razvijajo in tudi zagotavljajo dovolj visoko natančnost. S številom uporabnikov cestne navigacije narašča tudi zanesljivost tovrstne pomoči voznikom. Ob določenih dopolnitvah bi bile izkušnje in metode lahko uporabne tudi v vojaške namene. Potrebno bi bilo seveda poskrbeti za kriptiranje podatkov in dodajanje vojaških vsebin v baze npr. osne obremenitve, zaprte ceste, posredovanje informacij v realnem času ipd. Primera komercialnih baz za cestno navigacijo sta Tele Atlas in NAVTEQ.



Slika 19: Navigacijska baza podatkov Tele Atlas v vmesniku Google

Vir: Google Maps

Ostale baze cest

V Sloveniji bi lahko obstoječe podatkovne zbirke o cestah dopolnili še s podatki o gozdnih cestah in planinskih ter drugih pešpoteh, ter s podatki o gozdnih vlakih. Tem se stanje iz leta v leto spreminja, zato bi morali vzpostaviti sistem javljanja podatkov o stanju v centralno bazo. Taki parcialni sistemi že obstajajo, nimamo pa podatkov, kako in na kakšen način so vojski uporabni oz. dostopni.

3.4 IZDELAVA ZBIRNIH SLOJEV MOŽNIH PREHODOV

Zbirni sloj možnih prehodov preko vodotokov in vodnih objektov je rezultat vseh podatkov, ki smo jih v procesu študije uspeli pridobiti. Izhajamo iz obstoječih podatkov, ki so nam bili na voljo in smo jih opisali v prejšnjih poglavjih.

Iz vhodnih podatkov smo izdelali rastrski sloj v resoluciji 12,5 m. Vodotok brez dodatnih informacij ali terenskih meritev smatramo kot oviro. Zato so vse celice vodotoka v zbirnem sloju dobile vrednost 0, kar pomeni neprevozno za vsa vozila.

V primeru dodatnih informacij (globina vode, hitrost toka, oblika in trdnosti dna) lahko to vrednot dvignemo in tako omogočimo prehodnost specialnih vozilom in enotam.

Predlog obravnavanja vodotoka v smislu prehodnosti je:

Primer 1: *Neprehodna vodna površina*

Brez dodatnih informacij o vodnem telesu je voda obravnavana kot ovira. Ne moremo namreč usmeriti enote na območje, kjer je možnost prehoda nična.

Primer 2: *Pogojno prehodna vodna površina za specialna vozila*

V primeru dodatnih informacij o vodotoku ali samo delu vodotoka, lahko vodotok postane prehodan. V primeru, da je specialna enota pridobila podatke ali izmerila, da je največja globina vodotoka na določenem odseku npr. $< 0,5$ m in hitrost toka dovolj nizka, takrat lahko usmerimo določena vozila preko. V tem primeru ustrezne celice vodotoka iz 0 spremenimo v 20, kar bi pomenilo, da se vozilo lahko giblje z 20% običajne hitrosti.

Primer 3: *Pogojno prehodna območja z dodatnimi tehničnimi objekti*

V primeru, da je vodotok po prejšnji točki neprehoden, obenem pa je po kriteriju rabe tal dovoz možen, brežina pa utrjena, tedaj je možna postavitev začasne mostne ali pontonske konstrukcije. V tem primeru, bi morali prehodnost vodotoka ovrednotiti z vrednostjo, ki je npr. malo čez 0: še vedno prehodna, toda ob velikem vložku energije (sredstev).

4 IZDELAVA METODE ZA OPREDELITEV PREHODNOSTI VODOTOKOV NA PODLAGI HIDRAVLIČNIH PARAMETROV

4.1 OPIS METODE

4.1.1 Uvod

V okviru sklopa 3 smo razvili metodo za opredelitev prehodnosti vodotokov na podlagi dveh hidravličnih parametrov, in sicer:

- največje pretočne hitrosti
- največje pretočne globine

Omenjeni hidravlični količini sodita poleg topografskih omejitev (npr. nagibi brežine) in lastnosti tal med glavne omejitvene dejavnike za vojaške enote pri prehajanju vodotokov. V nasprotju z ostalimi dejavniki, ki so s časom manj spremenljivi, pa so parametri povezani s tokom vode, lahko bistveno spremenljivi. Razlogi za to so sledeči:

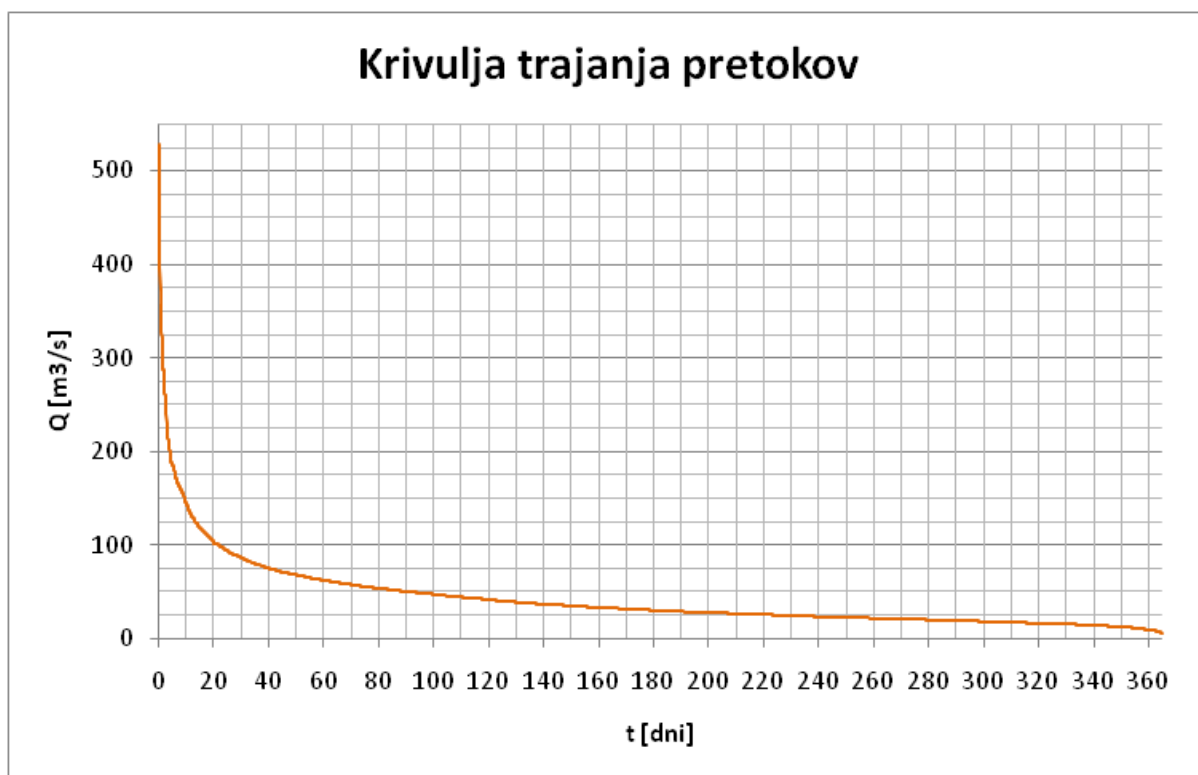
- pretok vode v strugi (količina vode, ki preteče skozi presek vodotoka v časovni enoti) se spreminja
- morfologija dna se spreminja, saj lahko vodni tok erodira dno rečne struge in brežino, premešča plavine in jih drugje spet odlaga

Pri slovenskih vodotokih so lahko razlike v pretoku tudi 100-kratne. Posledica tega so tudi spremembe v pretočni hitrosti in pretočni globini. O posameznem prerezu vodotoka torej pogosto ne moremo dati enostavne ocene ali je prerez prehoden ali ne. Določen prerez je namreč lahko pri nizkih vodostajih prehoden, pri visokih pa ne. Smiselno je torej iskati odgovor na naslednja vprašanja:

- koliko časa je nek prerez prehoden, in koliko časa ni prehoden, na primer v odstotkih časa ali v dneh na leto,
- ali je v danem trenutku prerez prehoden,
- ali je pri izbranem pretoku, če ga lahko za predvidenem času prehoda napovemo ali vsaj ocenimo, prerez prehoden?

4.1.2 Krivulja trajanja pretokov

Da bi dobili odgovor na prejšnja vprašanja, potrebujemo podatek o časovni porazdelitvi pretokov v prečnem prerezu vodotoka, kar predstavlja krivuljo trajanja pretokov. Krivulja podaja odnos med časom in pretokom. Vrednost pretoka pri določenem času (običajno izraženem v dnevih na leto) nam pove, koliko dni na leto se pojavlja pretok, ki je večji ali enak vrednosti na krivulji v določenem času. Primer pretočne krivulje za prerez Save v Radovljici je podan spodaj.



Slika 20: Primer krivulje trajanja pretokov

Na zgornjem grafu opazimo, da se pretok, ki je večji od $100 \text{ m}^3/\text{s}$, v povprečju pojavlja 20 dni na leto.

Krivulje trajanja pretokov so za merska mesta (vodomerne postaje) opazovalne mreže ARSO (Agencija Republike Slovenije za okolje, ki je organ v sklopu Ministrstva za okolje in prostor) dosegljive na ARSO, ali pa jih lahko izračunamo iz podatkov o izmerjenih dnevni pretokih. To storimo tako, da pretoke razvrstimo po velikosti, časovno skalo pa prilagodimo tako, da teče od 0 do 365 dni, oziroma od 0 do 100%.

Opazovalna mreža ARSO obsega nekaj več kot 30 opazovalnih postaj. Primer prikaza izmerjenih vodostajev prikazuje spodnja preglednica (vir: spletna stran ARSO MOP).

Preglednica 5: Primer prikaza vodostajev avtomatskih merilnih postaj ARSO (torek, 4. november 2008, ob 12:00)

Opazovalna postaja	Vodostaj	Pretok		Temperatura	Decil pretoka
	cm	m ³ /s		°C	
Mura G. Radgona	99	105		10.8	5.
Ščavnica Pristava	47	1.77		12.1	7.
Velika Krka Hodoš	11	0.06		10.0	-
Drava Ptuj	517	-	-	9.5	-
Drava Borl	58	17.1	pada	11.4	6.
Bistrica Muta	35	1.01	pada	10.1	2.
Rogatnica Polehnik	91	1.03		10.7	-
Sava D. Blejski m.	91	-	-	7.8	-
Sava Boh. Sv. Janez	149	16.9		8.0	9.
Sava Radovljica	104	73.4		8.6	8.
Sava Hrastnik	303	210	pada	11.0	7.
Sava Jesenice/Dol.	211	299		11.5	7.
Sora Suha	122	18.6		12.1	6.
Kamniška B. Kamnik	80	7.14		8.3	6.
Medija Zagorje	21	0.98		11.8	-
Mestinjšč. Sodna v	211	1.72		10.8	10.
Ljubljanska Moste	103	58.1		10.4	-
Iška Iška vas	147	0.82		9.7	4.
Gradaščica Dvor	90	1.45		10.3	4.
Savinja Nazarje	80	18.2	pada	9.6	7.
Savinja Medlog	191	23.0		10.2	7.
Savinja Laško	127	29.6		10.2	6.
Savinja Vel. Širje	222	27.4	pada	-	6.
Paka Šoštanj	160	0.52		11.7	-
Voglajna Črnolica	60	1.00		10.6	-
Krka Podbočje	105	46.6		10.7	7.
Soča Log Čezsoški	185	87.8		8.0	10.
Koritnica Kal-Kor	201	-	-	7.9	-
Učja Žaga	145	4.91		-	8.
Idrija Podroteja	111	5.68		8.6	5.
Cerknica Cerkno	142	0.99		11.2	-
Vipava Dolenje	78	9.15		9.6	5.
Reka Cerkven.mlin	159	5.44		10.2	6.

Za prereze vodotokov, kjer podatki o izmerjenih pretokih niso na razpolago, imamo več možnosti. Če je na voljo vodomerna postaja v bližini na istem ali bližnjem vodotoku, lahko predpostavimo, da so pretoki v določenem sorazmerju z velikostjo prispevne površine. Posebej za visoke vode to razmerje ni nujno premo, pač pa je lahko tudi potenčno. Poleg tega moramo upoštevati tudi morebitne razlike v nagibu površja, tipu tal in pokrovnosti. V primeru, da želimo napraviti analizo za vodotok, vzdolž katerega nimamo nobenega primerno dolgega niza podatkov o pretokih, pa je vsekakor treba opraviti vsaj krajši časovni niz meritev ali pa te podatke pridobiti iz drugega vira.

4.1.3 Izvrednotenje vodostajev in srednjih pretočnih hitrosti iz pretokov

Osnovni podatek o stanju vodotoka je pretok. Za oceno prehodnosti vodotoka moramo določiti pretočne globine in pretočne hitrosti. Zvezo med pretokom in omenjenima količinama lahko dobimo na dva načina:

- z meritvami
- z numeričnimi modeli

Prvi način je zanesljiv, vendar je omejen na prereze, kjer imamo znano pretočno krivuljo (odnos med vodostajem in pretokom). To so mesta vodomernih postaj ARSO. Na podlagi vodostaja in geometrije pretočnega prereza lahko enostavno določimo največjo pretočno globino in srednjo pretočno hitrost. Vendar pa je uporaba tega načina razmeroma omejena. Medtem ko podatke o pretokih, ki jih dobimo s teh postaj, lahko uporabimo za daljši odsek vodotoka, oziroma jih s pomočjo razmerja prispevnih površin lahko dovolj zanesljivo uporabimo za prereze, ki so razmeroma daleč od merskega mesta, pa to ne velja za globine in hitrosti. Te so namreč odvisne tudi od oblike pretočnega prereza, ki pa se vzdolž vodotoka spreminja. Ni priročno, da bi se vselej zanašali le na izmerjene zveze med pretoki in vodostaji ter posledično pretočnimi hitrostmi in globinami, saj je malo verjetno, da bi načrtovali prehod žive sile in vojaške tehnike le v prerezih opazovalne mreže.

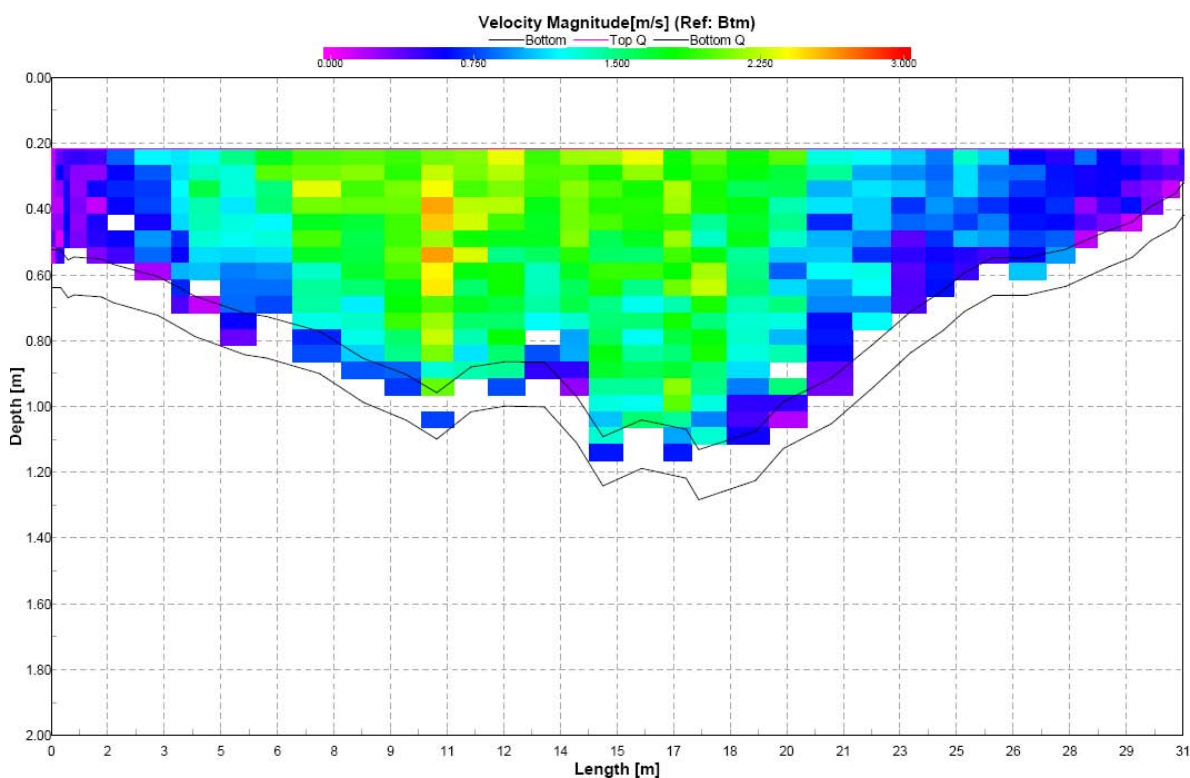
V primerih, ko želimo informacijo o prehodnosti poljubnega prereza vzdolž vodotoka, si pomagamo z numeričnimi simulacijami toka vode, za katere uporabljamo numerične modele. Tudi ti modeli dajejo zanesljive rezultate, v kolikor zagotovimo ustrezno kakovost vhodnih podatkov (poleg pretokov predvsem geometrija vodotoka) in smo model primerno umerili. Danes obstaja precej numeričnih modelov za simulacijo toka vode, pa tudi npr. plavin in onesnažil, v vodotokih. Med najbolj zanesljive in najbolj razširjene komercialne modele sodijo programi iz skupine MIKE Danskega hidravličnega inštituta, ki jih je mogoče uporabljati za številna področja, od napovedovanja poplav v velikih rečnih sistemih, do optimizacije delovanja sistemov akumulacij. Za potrebe ocene prehodnosti so primerni tudi manj zmogljivi, nekomercialni numerični modeli. V našem primeru smo se odločili za program HEC-RAS, ki ga je razvil hidrološki inženirski center (HEC – Hydrologic Engineering Center) znotraj inženirske enote ameriške vojske (USACE – US Army Corps of Engineers). Program je precej razširjen in uporabljen ne le v ZDA, pač pa tudi v Evropi in ima pomembno mesto tudi v hidrotehnični praksi v Sloveniji. Namenjen je analizi rečnih sistemov iz raznih vidikov, kot so npr. varstvo pred poplavami, analiza delovanja

hidrotehničnih zgradb itd. Poleg pretočnih globlin in hitrosti je možno z njim izračunati tudi vrsto drugih parametrov.

4.1.4 Izvrednotenje največjih pretočnih hitrosti

V tem koraku opisujemo metodo za določitev največje pretočne hitrosti, ki je merodajna za prehod vodotoka. Hidravlični modeli, ki se uporabljajo za simulacijo toka vode v vodotokih, namreč dajo kot rezultat povprečno hitrost v profilu, oziroma v najboljšem primeru oceno porazdelitve hitrosti prečno na vodotok. V prerezih opazovalne mreže je mogoče dobiti razmerje med srednjo in največjo pretočno hitrostjo za datume in pretoke, pri katerih so bile meritve opravljene.

Ugotovili smo, da je število terenskih meritev razmeroma majhno, prihaja pa tudi do precejšnih sprememb profila. Te so sicer karakteristične za večino slovenskih vodotokov, za katere je značilna velika gibljivost dna zaradi znatnih stopenj premeščanja rinjenih plavin. Simulacije prečne porazdelitve hitrosti s programom HEC-RAS ne dajejo najboljših porazdelitve hitrosti po profilu, saj ne upoštevajo vertikalne porazdelitve hitrosti, ki je pomemben dejavnik pri plitvejših rekah, za katere je zlasti smiselno delati ocene prehodnosti. Zato smo se odločili za uporabo empiričnih enačb. Te smo za lokacije vodomernih postaj dobili na podlagi analize rezultatov hidrometričnih meritev ARSO. Meritve so bile opravljene z napravo ADCP na čolničku, ki je prvenstveno namenjena merjenju pretokov. Naprava izmeri pretočne hitrosti v velikem številu točk in jih nato integrira po pretočnem prerezu, da dobi pretok. Stranski produkt meritve je torej hitrostno polje. Primer rezultatov je prikazan spodaj.



Slika 21: Primer hitrostnega polja izmerjenega z napravo ADCP

Pri meritvi posameznih vrednosti hitrostnega polja, ki poteka v razmeroma kratkem času, lahko pride do odstopanj od pravih časovno povprečnih vrednosti, bodisi zaradi nenatančnosti meritve bodisi zaradi razlike med časovno povprečno vrednostjo in trenutno vrednostjo zaradi turbulentnih pulzacij. Prostorska resolucija meritve je pogosto 10 cm ali manj v vertikalni smeri in je manjša od merodajnih dimenzij za prehod vozil. Zato smo namesto največje izmerjene hitrosti v izračunih prehodnosti upoštevali 90% hitrost, t.j. vrednost, od katere je 90% hitrosti v izmerjenem hitrostnem polju manjših. Razmerje med tako določeno in srednjo vrednostjo se je za večino postaj ujemalo s teoretičnimi predpostavkami, kjer predpostavljamo logaritmično razporeditev hitrosti po vertikali. V tem primeru velja

$$V_{\text{največja}} = 1.25 v_{\text{srednja}}$$

To razmerje dobro velja v primeru pravilnih širokih rečnih strug z ravnim dnom. Če upoštevamo, da je pri ožjih in manj pravilnih rečnih strugah tudi vpliv prečne porazdelitve na razmerje med največjo in srednjo pretočno hitrostjo podoben, potem je

$$V_{\text{največja}} = 1.25 \times 1.25 v_{\text{srednja}} = 1.5625 v_{\text{srednja}}$$

Pričakovano razmerje se torej teoretično giblje med

$$1.25 v_{\text{srednja}} < V_{\text{največja}} < 1.5625 v_{\text{srednja}}$$

Točna vrednost pa je odvisna od oblike pretočnega prereza.

4.1.5 Načini prehodov

V nadaljevanju opisujemo kriterije prehodov, ki smo jih upoštevali pri ugotavljanju prehodnosti vodotokov na mestih ARSO avtomatskih vodomernih postaj. Vir podatkov so tehnični podatki vozil, ki jih uporablja Slovenska vojska, ter Prelaz preko reka (Pifat, Vojnoistraživački zavod Beograd, 1980) in Inženjerski priručnik (Vojna štamparija Beograd, 1971).

Vozila 1: V to skupino sodijo vozila, našeta v spodnji preglednici. Največja globina vode, ki jo ta vozila premagajo, znaša 0,6 m.

Preglednica 6: Vozila 1, ki premagajo globino vode 0,6 m

Vrsta vozila	Znamka	Tip	Podtip
TOA	STEYR-DAIMLER-PUCH	230	GE 6
TOAS	STEYR-DAIMLER-PUCH	230	GE 4
TOAS	STEYR-DAIMLER-PUCH	230	GE 9

Vozila 2: V to skupino sodijo vozila, naštetá v spodnji preglednici. Največja globina vode, ki jo ta vozila premagajo, znaša 0,8 m.

Preglednica 7: Vozila 2, ki premagajo globino vode 0,8 m

Vrsta vozila	Znamka	Tip	Podtip
TV	IVECO	EUROCARGO	ML100E18WR
TS	IVECO	EUROCARGO	ML100E18WR

Vozila 3: V to skupino sodijo vozila, naštetá v spodnji preglednici. Največja globina vode, ki jo ta vozila premagajo, znaša 1,0 m.

Preglednica 8: Vozila 3, ki premagajo globino vode 1,0m

Vrsta vozila	Znamka	Tip	Podtip
TV	TAM	150	T 11 BV 6x6
TV	TAM	110	T 7 BV 4x4
DV	TAM	110	T 7 BV 4x4
TS	TAM	150	T 11 BV 6x6 ABH
TS	TAM	150	T 11 BV 6x6

Tanki z napravami za podvodni prehod: Kot največjo globino vode, ki jo ta vozila lahko premagajo, smo upoštevali 5 m, ob pogoju, da največja pretočna hitrost ne preseže 1.5 m/s.

Tanki brez naprav za podvodni prehod: Kot največjo globino vode, ki jo ta vozila lahko premagajo, smo upoštevali 2.1 m, ob pogoju, da največja pretočna hitrost ne preseže 2 m/s.

Pri tem je treba upoštevati, da tudi tanki z napravami za podvodni prehod pod pogoji plitvega in globokega brodenja zmorejo premagati večje pretočne (bočne) hitrosti, saj v teh pogojih na tank še ne deluje celotna vzgonska sila, kot pri podvodnem brodenju. Pri manjši vzgonski sili je normalna sila na podlago večja, s tem tudi trenjska sila in posledično oprijem gosonic na dno.

Splavi 1: Splavi – kriterij 1: kot največjo pretočno hitrost za možnost prečenja s splavi smo upoštevali 2 m/s.

Splavi 2: Splavi – kriterij 2: kot največjo pretočno hitrost za možnost prečenja s splavi smo upoštevali 3 m/s. Prehod pri tej hitrosti je težak.

4.1.6 Orodje za oceno prehodnosti vodotokov

Končni rezultat izdelave opisane metode za oceno prehodnosti vodotokov je orodje za izračun prehodnosti vodotokov na podlagi hitrosti in globine, ki temelji na podatkih o krivulji trajanja pretokov in izračunanih hitrostih in globinah za različne pretoke. Orodje je integrirano v program za delo s preglednicami MS Excel, in ima enostaven uporabniški vmesnik. Izdelano orodje omogoča dve vrsti analiz:

- za podani pretok je mogoče določiti največjo hitrost in globino v danem profilu. Na ta način je možno za trenutno (oz katerokoli znano) situacijo napovedati, ali je prehod možen ali ne.
- na podlagi podatka o največji dovoljeni hitrosti in globini za posamezno tehniko prehoda je mogoče ugotoviti, kolikšna je verjetnost (v dnevih na leto), da bo posamezen profil prehod. Na ta način je mogoče opredeliti lokacije, kjer je možnost prehoda največja.

Uporabniški vmesnik je predstavljen na spodnji sliki:

Verjetnost prehoda			Vrednosti parametrov		
<u>Omejitve prehoda:</u>			<u>Vnos pretoka:</u>		
Globina:	2.1	[m]	Q tren:	50	[m ³ /s]
Hitrost:	2	[m/s]			
Q(merodajni)	15.51		h _{max} tren:	2.50	[m]
Prehodno:	36	[dni]	V _{max} tren:	0.92	[m/s]

t [%]	t [dni]	Q [m ³ /s]	H[m]-ARSO	V _{pov} [m/s]	V _{max}	h _{max}
100	365.00	5.56	0.26	0.10	0.16	1.85
99.5	363.18	7.75	0.33	0.13	0.21	1.93
99	361.35	8.85	0.36	0.15	0.24	1.96
97	354.05	11.47	0.42	0.18	0.29	2.02
94	343.10	13.69	0.47	0.21	0.34	2.07
90	328.50	15.51	0.51	0.23	0.37	2.10
85	310.25	17.20	0.54	0.25	0.41	2.13
80	292.00	19.00	0.57	0.27	0.44	2.16
70	255.50	21.80	0.61	0.30	0.49	2.21
60	219.00	25.49	0.66	0.34	0.55	2.26
50	182.50	30.00	0.71	0.38	0.62	2.31
40	146.00	35.70	0.78	0.44	0.72	2.37
30	109.50	44.18	0.86	0.51	0.83	2.45
20	73.00	56.41	0.96	0.62	1.01	2.55
15	54.75	64.97	1.02	0.69	1.12	2.62
10	36.50	78.60	1.11	0.79	1.29	2.71
6	21.90	99.00	1.22	0.93	1.51	2.82
3	10.95	136.00	1.42	1.14	1.86	3.02
1	3.65	203.69	1.73	1.45	2.36	3.34
0.5	1.83	271.06	2.01	1.69	2.75	3.62
0	0.01	528	2.89	2.31	3.76	4.5

Možnost prehoda:	NE
------------------	----

Slika 22: Uporabniški vmesnik za izračun prehodnosti vodotokov na podlagi največje pretočne hitrosti in največje globine vode

Za izbrani prerez vodotoka je postopek dela sledeč:

1. *Vnesemo vrednost* v polje **Globina**: največja dovoljena globina vode za izbrano vrsto prehoda
2. *Vnesemo vrednost* v polje **Hitrost**: največja dovoljena pretočna hitrost za izbrano vrsto prehoda
3. V polju **Prehodno** se izpiše, koliko dni na leto je prerez ob podanih hidravličnih kriterijih prehoden
4. Če nas zanima, ali je prerez v danem trenutku prehoden, *vnesemo* še podatek o trenutnem pretoku v polje **Q_{tren}** . Podatek lahko pridobimo od ARSO , npr na njihovi spletni strani.
5. V polju **Možnost prehoda** se izpiše, ali je prerez ob podanem pretoku in podanih hidravličnih kriterijih prehoden

Če želimo orodje uporabiti za kateri drug prerez, moramo zamenjati osrednjo preglednico. V njej so rezultati hidrološko-hidravlične analize, ki jih mora opraviti ustrezno usposobljen ekspert.

4.2 APLIKACIJA METODE NA IZBRANIH LOKACIJAH

Metodo za določanje prehodnosti vodotokov smo uporabili na 10 lokacijah, kjer se nahajajo vodomerne postaje opazovalne mreže ARSO:

- Sava, Radovljica
- Sava, Šentjakob
- Sava, Hrastnik
- Sava, Čatež
- Sora, Suha
- Kolpa, Radenci
- Savinja, Nazarje
- Savinja, Laško
- Savinja, Veliko Širje
- Kamniška Bistrica, Kamnik

Za aplikacijo metode na izbranih lokacijah smo uporabili naslednje vhodne podatke:

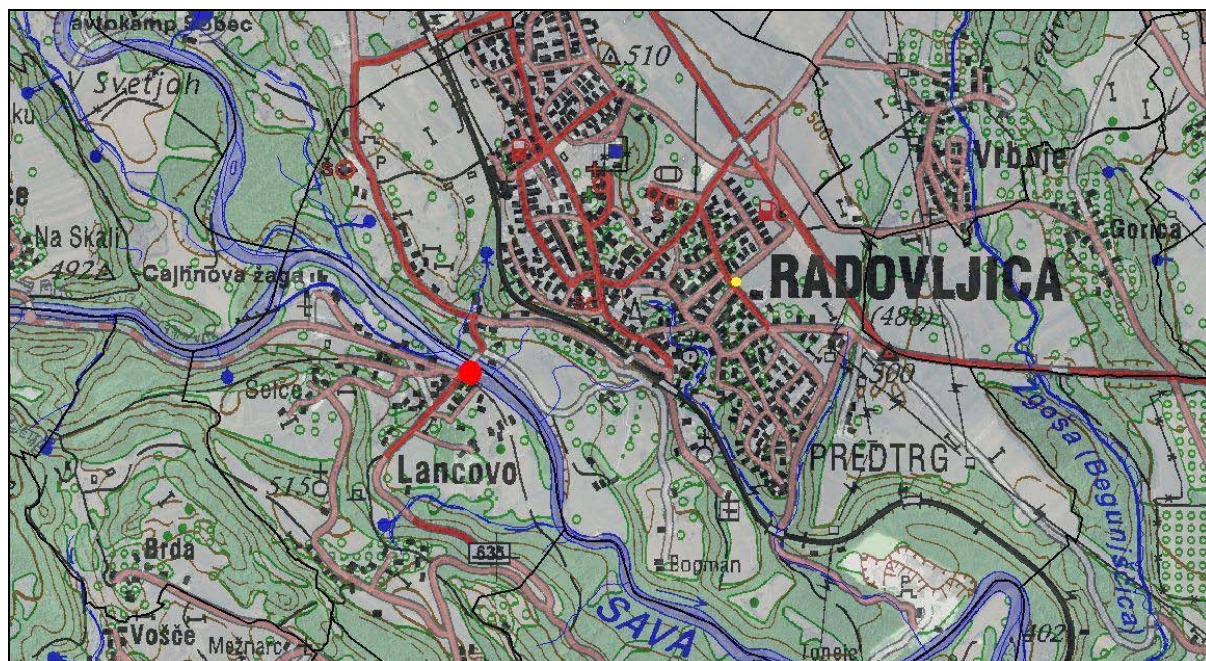
- Podatki o srednjih dnevni pretokih za obdobje zadnjih 20 let oziroma odvisno od dosegljivosti. Te podatke smo uporabili za izdelavo krivulje trajanja pretokov. Vir podatkov: MOP ARSO.
- Pretočne krivulje za postaje. Vir podatkov: MOP ARSO.
- Izmerjeni hitrostni profili. Te podatke smo uporabili za izvrednotenje razmerja med srednjo pretočno hitrostjo in največjo pretočno hitrostjo. Vir podatkov: MOP ARSO.
- Podatki o načinih prehoda. Vir podatkov: Slovenska vojska in literatura, opisana v poglavju 3.1.5.

Vir slikovnega gradiva je spletni Atlas okolja (MOP ARSO).

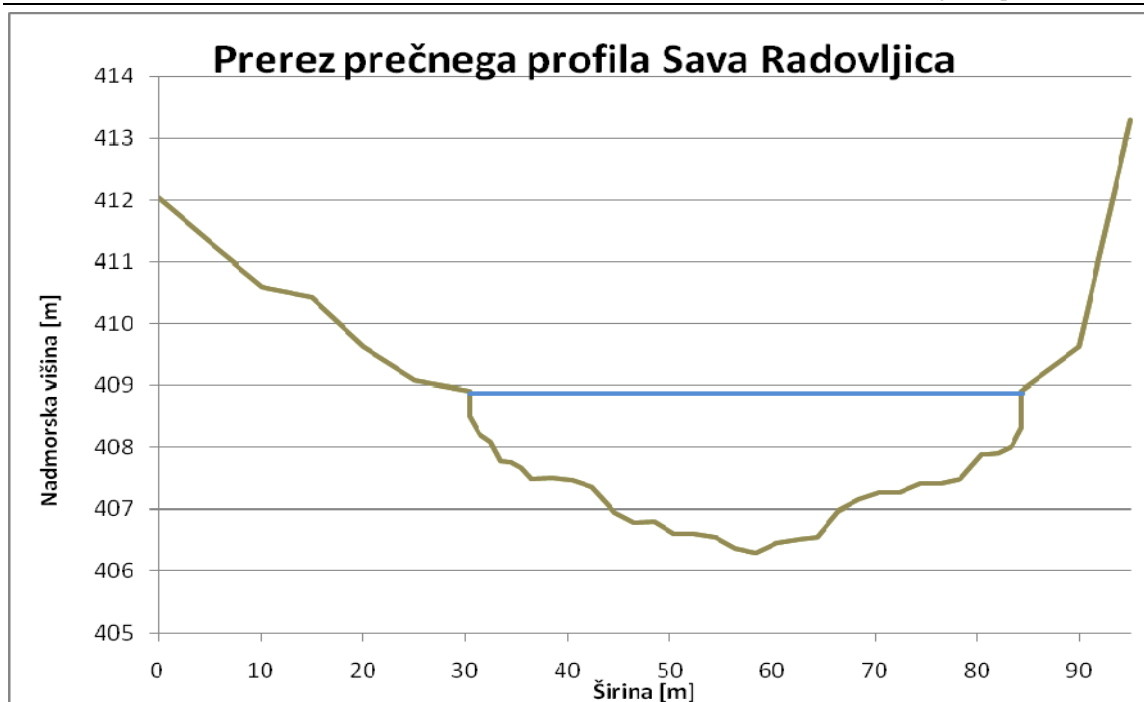
4.2.1 Sava Radovljica

Opis merskega mesta

Merska postaja Sava Radovljica se nahaja na reki Sava v bližini mostu, ki je del glavne ceste med mestom Radovljica in naseljem Lancovo.



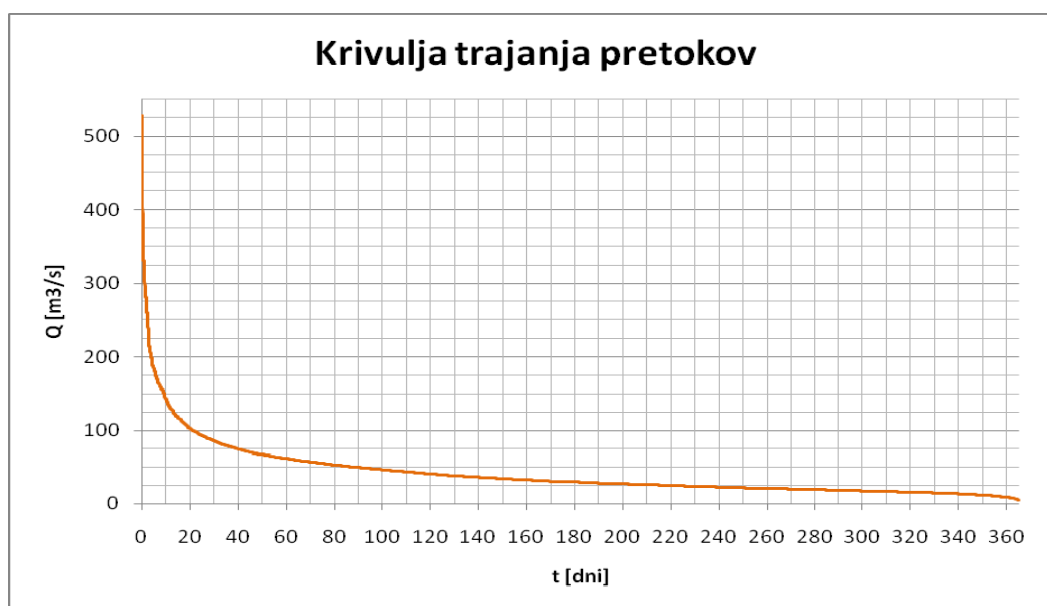
Slika 23: Merska postaja Sava Radovljica



Slika 24: Prerez prečnega profila Sava Radovljica

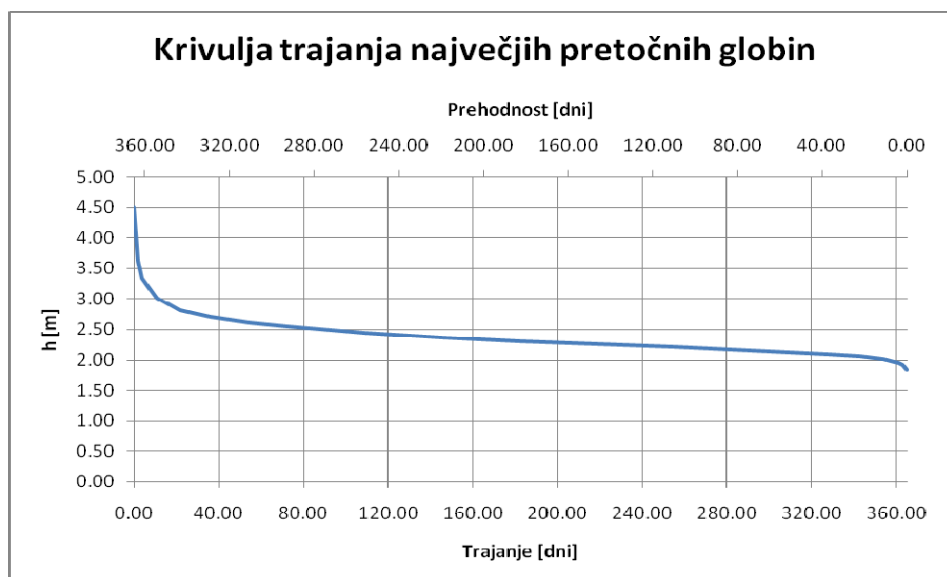
Pri srednjem pretoku $Q_{sr} = 41.95 \text{ m}^3/\text{s}$ znaša širina vodne gladine 54 m. Širina dna je okrog 42 m. Globina znaša 2.43 m. Približni nagib leve brežine znaša 12 %. Približni nagib desne brežine znaša 73 % .

Hidrološke in hidravlične značilnosti



Slika 25: Krivulja trajanja pretokov Sava Radovljica

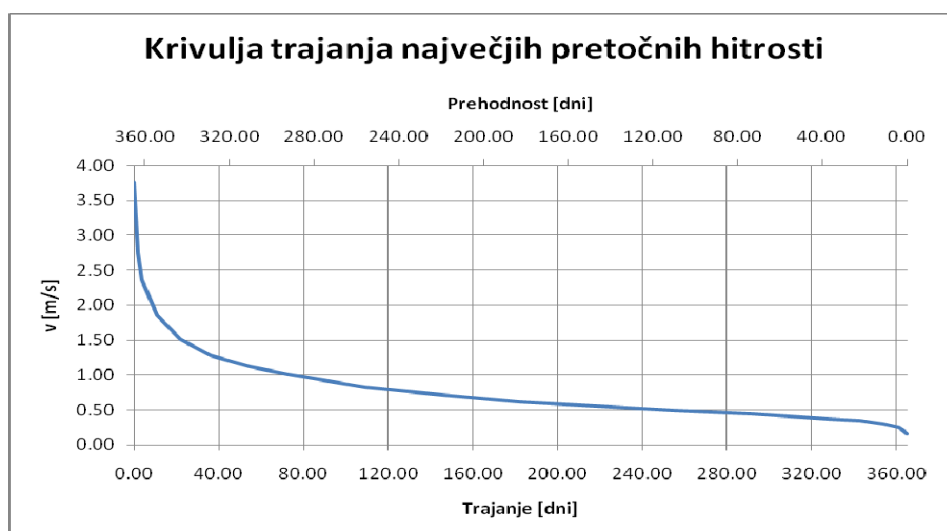
Srednji pretok znaša $41.95 \text{ m}^3/\text{s}$. Najvišji izmerjeni pretok znaša $528 \text{ m}^3/\text{s}$. Najnižji izmerjeni pretok znaša $5.56 \text{ m}^3/\text{s}$. V 98 % časa se pretoki gibljejo med $8.85 \text{ m}^3/\text{s}$ in $203.69 \text{ m}^3/\text{s}$, v 80% časa pa med $15.51 \text{ m}^3/\text{s}$ in $78.6 \text{ m}^3/\text{s}$.



Slika 26: Krivulja trajanja največjih pretočnih globin Sava Radovljica

Največja izmerjena pretočna globina je 4.5 m. Najmanjša največja izmerjena globina v prerezu je v obravnavanem času znašala 1.85 m. V 98 % časa se globine gibljejo med 1.96 m in 3.34 m, v 80% časa pa med 2.10 m in 2.70 m.

Vse dni v letu je največja pretočna globina nižja od 5 m. 36 dni v letu je največja pretočna globina nižja od 2.1 m. Nič dni v letu je največja pretočna globina nižja od 1.0 m. Nič dni v letu je največja pretočna globina nižja od 0.8 m. Nič dni v letu je največja pretočna globina nižja od 0.6 m.



Slika 27: Krivulja trajanja največjih pretočnih hitrosti Sava Radovljica

Največja pretočna hitrost znaša 3.76 m/s. Najnižja največja izmerjena hitrost je 0.16 m/s. V 98 % časa se hitrosti gibljejo med 0.24 m/s in 2.36 m/s, v 80% časa pa med 0.37 m/s in 1.29 m/s.

342 dni na leto so največje pretočne hitrosti nižje od 1.5 m/s. 356 dni na leto so pretočne hitrosti nižje od 2 m/s. 363 dni na leto so pretočne hitrosti nižje od 3 m/s.

Možnosti za prehod

Verjetnost prehodnosti

Omejitve prehoda:

Globina: [m]
 Hitrost: [m/s]
 Q(merodajni): 15.51
 Prehodno: [dni]

Vrednosti parametrov

Vnos pretoka:

Q_{tren}: [m³/s]
 h_{max tren}: [m]
 v_{max tren}: [m/s]

t [%]	t [dni]	Q [m ³ /s]	H[m]-ARSO	v _{poz} [m/s]	v _{max}	h _{max}
100	365.00	5.56	0.26	0.10	0.16	1.85
99.5	363.18	7.75	0.33	0.13	0.21	1.93
99	361.35	8.85	0.36	0.15	0.24	1.96
97	354.05	11.47	0.42	0.18	0.29	2.02
94	343.10	13.69	0.47	0.21	0.34	2.07
90	328.50	15.51	0.51	0.23	0.37	2.10
85	310.25	17.20	0.54	0.25	0.41	2.13
80	292.00	19.00	0.57	0.27	0.44	2.16
70	255.50	21.80	0.61	0.30	0.49	2.21
60	219.00	25.49	0.66	0.34	0.55	2.26
50	182.50	30.00	0.71	0.38	0.62	2.31
40	146.00	35.70	0.78	0.44	0.72	2.37
30	109.50	44.18	0.86	0.51	0.83	2.45
20	73.00	56.41	0.96	0.62	1.01	2.55
15	54.75	64.97	1.02	0.69	1.12	2.62
10	36.50	78.60	1.11	0.79	1.29	2.71
6	21.90	99.00	1.22	0.93	1.51	2.82
3	10.95	136.00	1.42	1.14	1.86	3.02
1	3.65	203.69	1.73	1.45	2.36	3.34
0.5	1.83	271.06	2.01	1.69	2.75	3.62
0	0.01	528	2.89	2.31	3.76	4.5

Možnost prehoda:

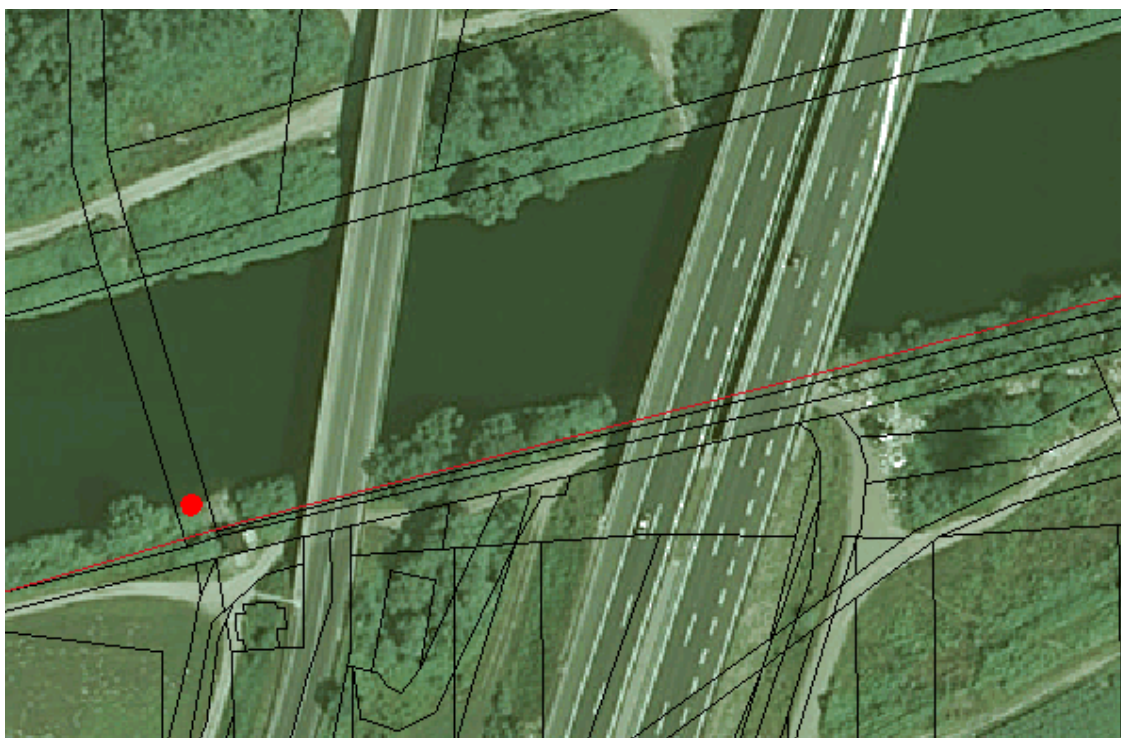
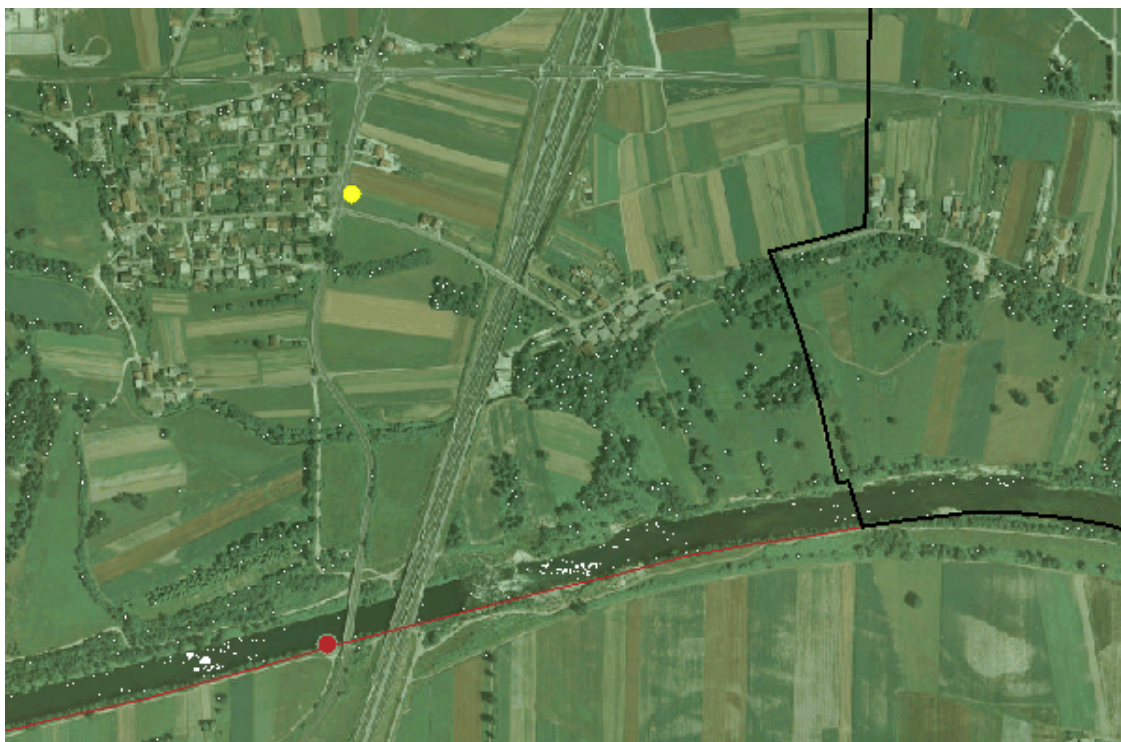
Skupina vozil	Prehodnost [dni na leto]
Vozila 1	0
Vozila 2	0
Vozila 3	0
Tanki z napravami za podvodni prehod	342
Tanki brez naprav za podvodni prehod	36
Splav 1	356
Splav 2	363

Slika 28: Primer izračuna za prehod skupine tanki brez naprav za podvodni prehod Sava Radovljica

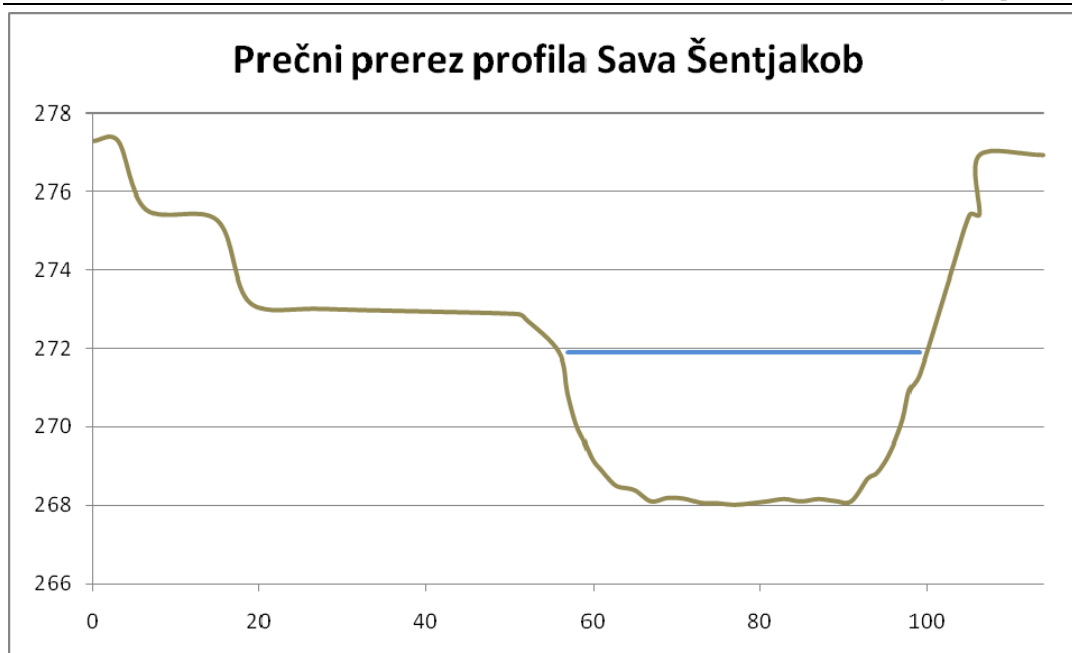
4.2.2 Sava Šentjakob

Opis merskega mesta

Merska postaja Sava Šentjakob se nahaja na reki Sava v bližini zaselka Šentjakob ob Savi



Slika 29: Merska postaja Sava Šentjakob

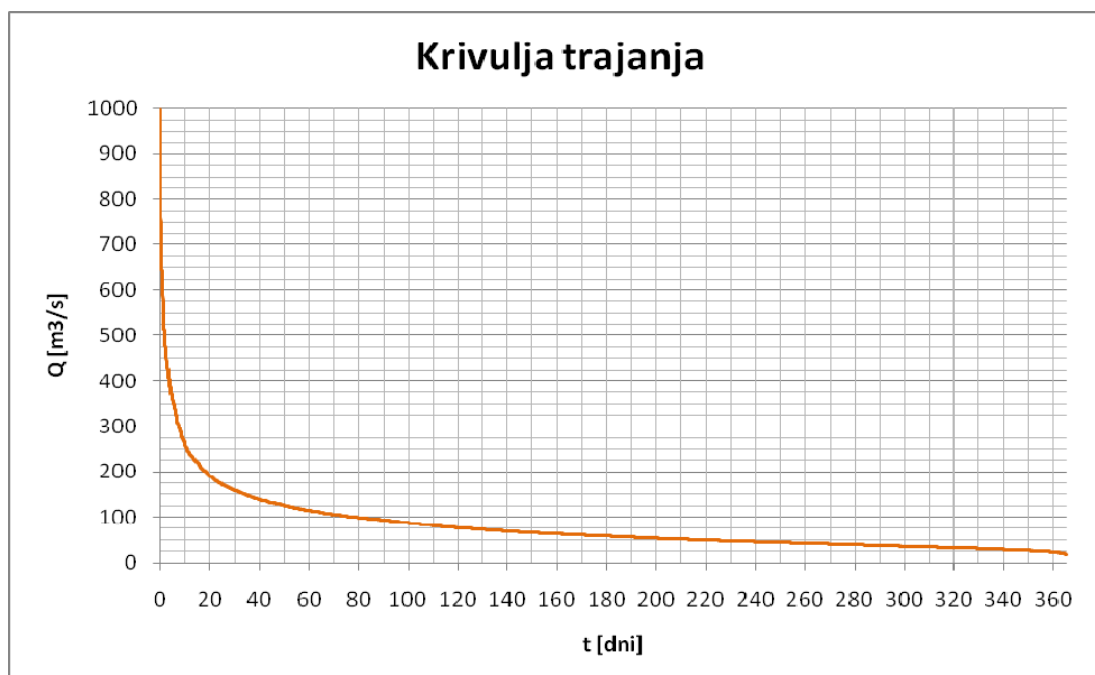


Slika 30: Prerez prečnega profila Sava Šentjakob

Pri srednjem pretoku $Q_{sr} = 80.39 \text{ m}^3/\text{s}$ znaša širina vodne gladine 44 m. Širina dna je okrog 33 m. Globina znaša 3.87 m.

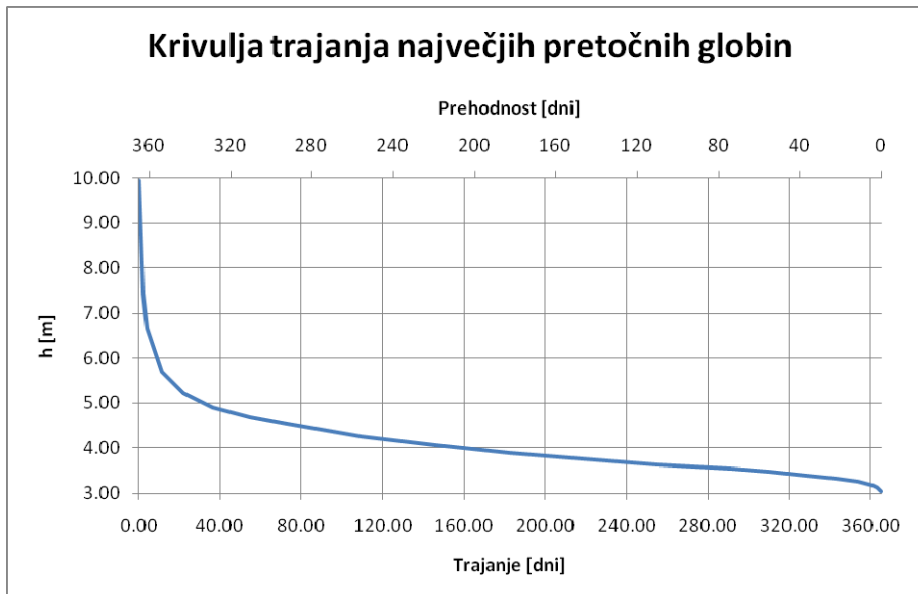
Približni nagib leve brežine znaša 6 %. Približni nagib desne brežine znaša 20 % .

Hidrološke in hidravlične značilnosti



Slika 31: Krivulja trajanja pretokov Sava Šentjakob

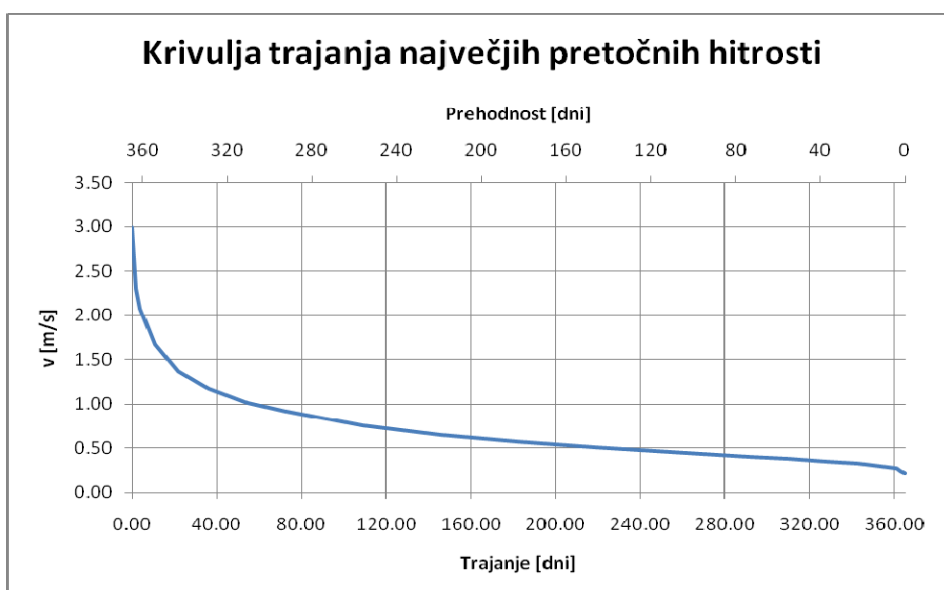
Srednji pretok znaša $80.39 \text{ m}^3/\text{s}$. Najvišji izmerjeni pretok znaša $997 \text{ m}^3/\text{s}$. Najnižji izmerjeni pretok znaša $19.10 \text{ m}^3/\text{s}$. V 98 % časa se pretoki gibljejo med $23.30 \text{ m}^3/\text{s}$ in $393.85 \text{ m}^3/\text{s}$, v 80% časa pa med $32.50 \text{ m}^3/\text{s}$ in $145.97 \text{ m}^3/\text{s}$.



Slika 32: Krivulja trajanja največjih pretočnih globin Sava Šentjakob

Največja izmerjena pretočna globina je 9.95 m. Najmanjša največja izmerjena globina v prerezu je v obravnavanem času znašala 3.05 m. V 98 % časa se globine gibljejo med 3.18 m in 6.66 m, v 80% časa pa med 3.40 m in 4.90 m.

354 dni v letu je največja pretočna globina nižja od 5 m. Nič dni v letu je največja pretočna globina nižja od 2.1 m. Nič dni v letu je največja pretočna globina nižja od 1.0 m. Nič dni v letu je največja pretočna globina nižja od 0.8 m. Nič dni v letu je največja pretočna globina nižja od 0.6 m.



Slika 33: Krivulja trajanja največjih pretočnih hitrosti Sava Šentjakob

Največja pretočna hitrost znaša 2.99 m/s. Najnižja največja izmerjena hitrost je 0.22 m/s. V 98 % časa se hitrosti gibljejo med 0.27 m/s in 2.07 m/s, v 80% časa pa med 0.35 m/s in 1.17 m/s. 347 dni na leto so največje pretočne hitrosti nižje od 1.5 m/s. 360 dni na leto so pretočne hitrosti nižje od 2 m/s. 365 dni na leto so pretočne hitrosti nižje od 3 m/s.

Možnosti za prehod

Verjetnost prehodnosti

Omejitve prehoda:

Globina:	2.1	[m]
Hitrost:	2	[m/s]
Q(merodajni)	19.10	
Prehodno:	0	[dni]

Vrednosti parametrov

Vnos pretoka:

Q _{tren} :	50	[m ³ /s]
h _{max} tren:	3.57	[m]
v _{max} tren:	0.50	[m/s]

t [%]	t [dni]	Q [m ³ /s]	H[m]-ARSO	v _{pov} [m/s]	v _{max}	h _{max}
100	365.00	19.10	3.00	0.17	0.22	3.17
99.5	363.18	21.70	3.04	0.19	0.25	3.21
99	361.35	23.30	3.07	0.21	0.27	3.23
97	354.05	26.40	3.11	0.23	0.30	3.28
94	343.10	29.30	3.15	0.25	0.33	3.32
90	328.50	32.50	3.20	0.27	0.35	3.37
85	310.25	35.30	3.23	0.29	0.38	3.40
80	292.00	38.00	3.27	0.31	0.40	3.44
70	255.50	44.00	3.34	0.35	0.46	3.50
60	219.00	50.55	3.41	0.39	0.51	3.58
50	182.50	58.58	3.50	0.44	0.57	3.67
40	146.00	68.08	3.60	0.50	0.65	3.77
30	109.50	82.80	3.72	0.58	0.76	3.89
20	73.00	104.00	3.89	0.70	0.91	4.06
15	54.75	120.75	4.01	0.78	1.02	4.18
10	36.50	145.97	4.19	0.90	1.17	4.36
6	21.90	182.83	4.42	1.05	1.37	4.58
3	10.95	246.09	4.77	1.28	1.67	4.94
1	3.65	393.85	5.45	1.59	2.07	5.63
0.5	1.83	500.02	5.90	1.76	2.30	6.07
0	0.01	997	7.55	2.29	2.99	7.73

Možnost prehoda:

NE

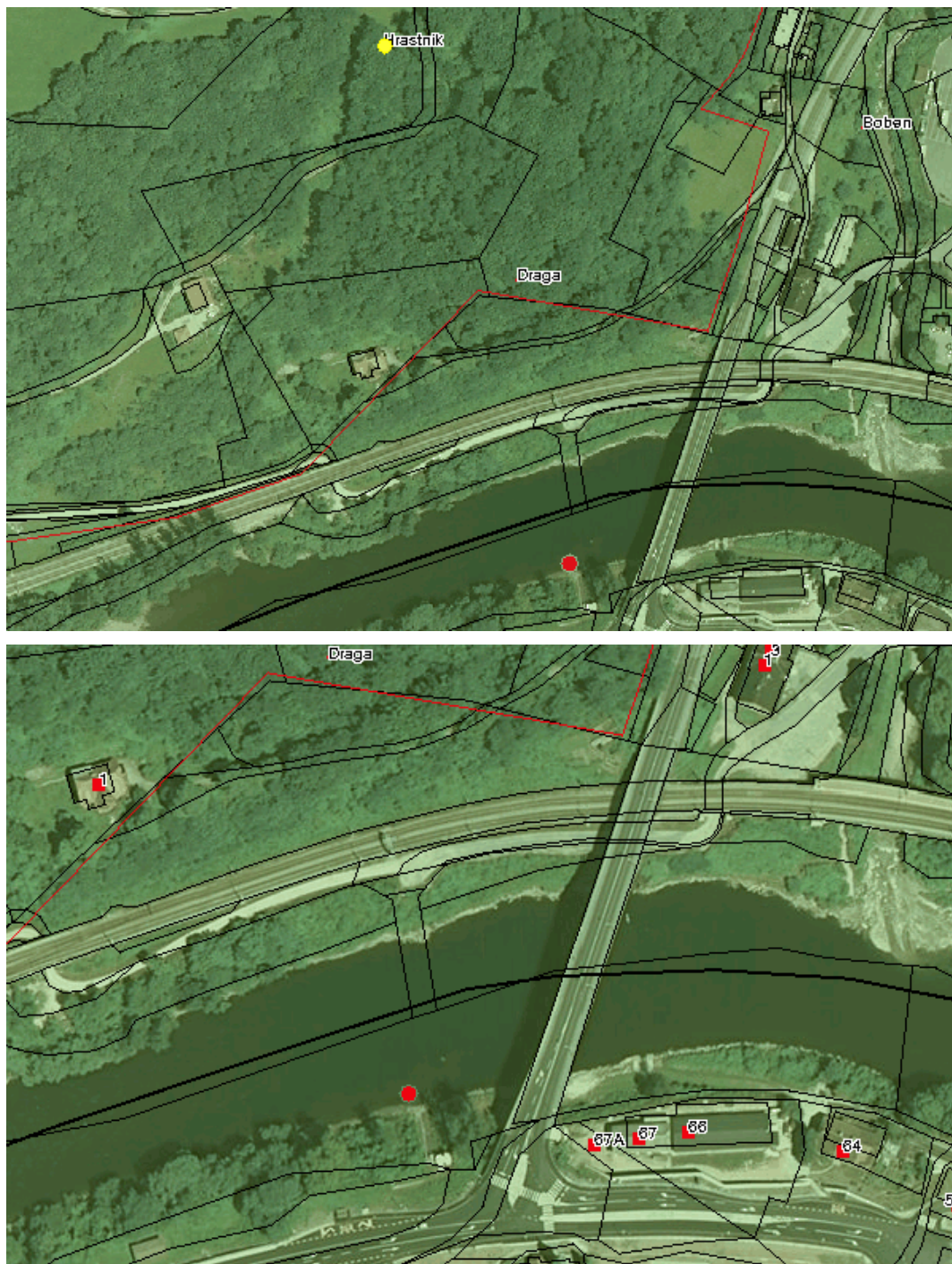
Skupina vozil	Prehodnost [dni na leto]
Vozila 1	0
Vozila 2	0
Vozila 3	0
Tanki z napravami za podvodni prehod	347
Tanki brez naprav za podvodni prehod	0
Splav 1	360
Splav 2	365

Slika 34: Primer izračuna za prehod skupine tanki brez naprav za podvodni prehod Sava Šentjakob

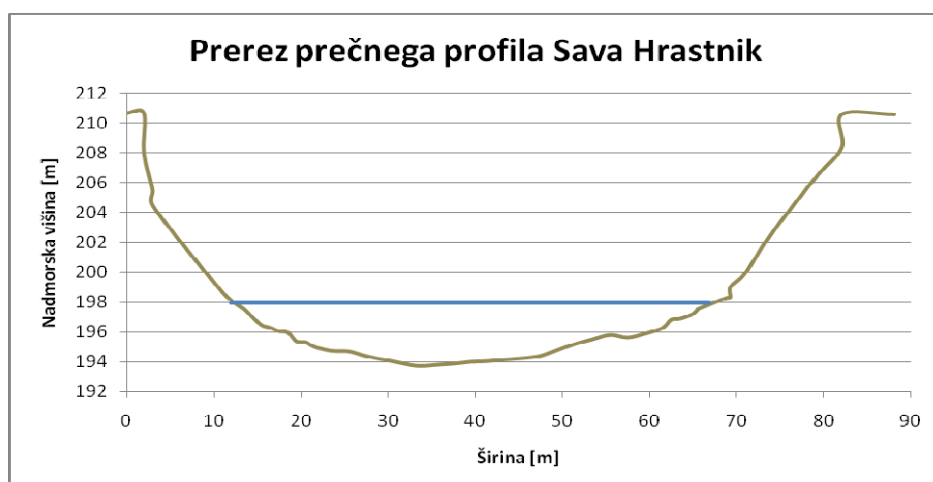
4.2.3 Sava Hrastnik

Opis merskega mesta

Merska postaja Sava Hrastnik se nahaja na reki Sava v bližini mostu, v bližini zaselka Hrastnik ob Savi



Slika 35: Merska postaja Sava Hrastnik

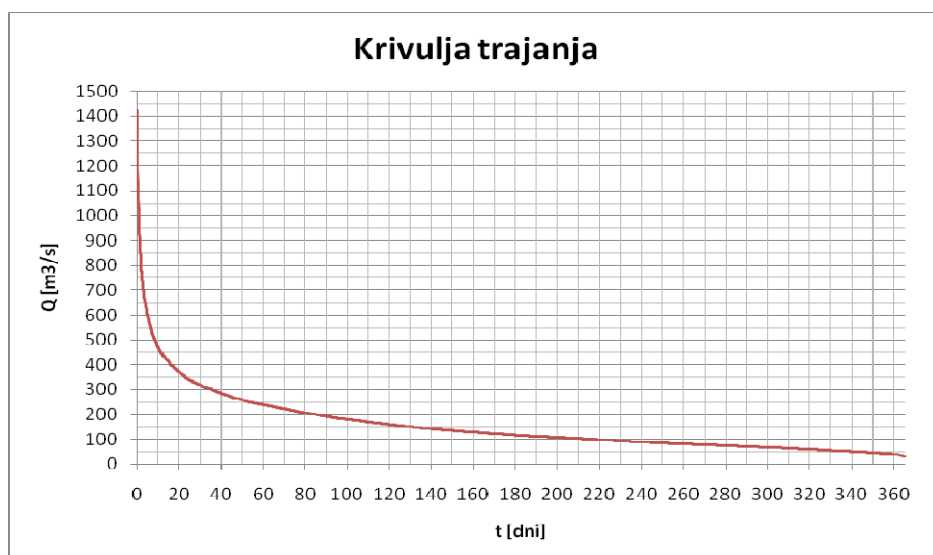


Slika 36: Prerez prečnega profila Sava Hrastnik

Pri srednjem pretoku $Q_{sr} = 154.58 \text{ m}^3/\text{s}$ znaša širina vodne gladine 55 m. Širina dna je okrog 48 m. Globina znaša 4.16 m.

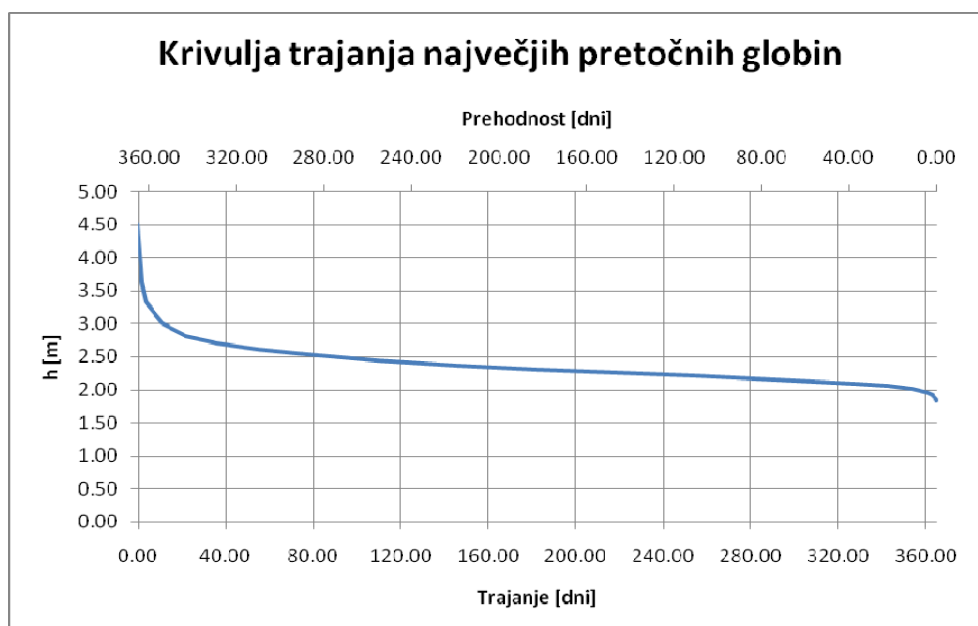
Približni nagib leve brežine znaša 30 %. Približni nagib desne brežine znaša 37 % .

Hidrološke in hidravlične značilnosti



Slika 37: Krivulja trajanja pretokov Sava Hrastnik

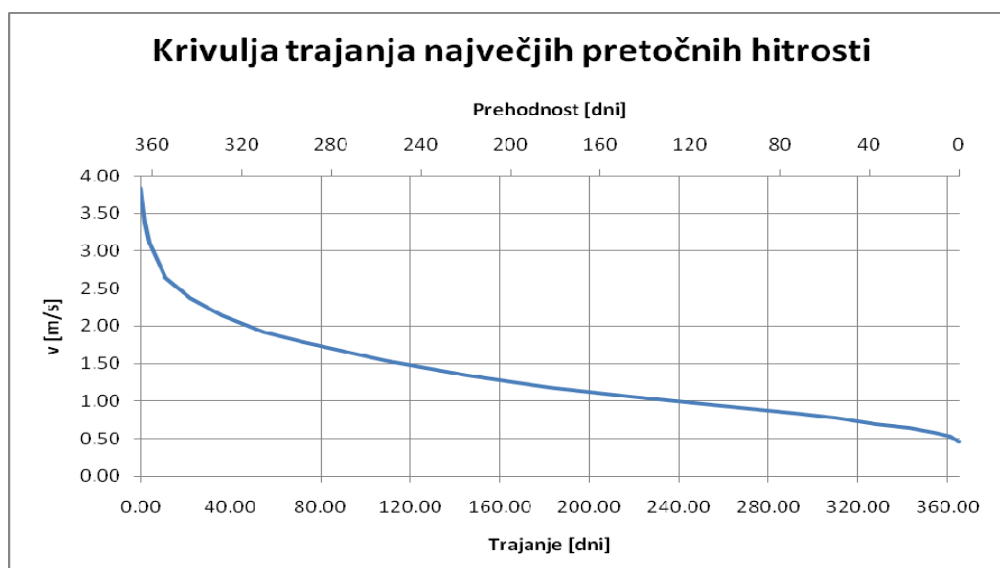
Srednji pretok znaša $154.58 \text{ m}^3/\text{s}$. Najvišji izmerjeni pretok znaša $1423.14 \text{ m}^3/\text{s}$. Najnižji izmerjeni pretok znaša $30.80 \text{ m}^3/\text{s}$. V 98 % časa se pretoki gibljejo med $37.46 \text{ m}^3/\text{s}$ in $663.00 \text{ m}^3/\text{s}$, v 80% časa pa med $55.06 \text{ m}^3/\text{s}$ in $294.61 \text{ m}^3/\text{s}$.



Slika 38: Krivulja trajanja največjih pretočnih globin Sava Hrastnik

Največja izmerjena pretočna globina je 9.95 m. Najmanjša največja izmerjena globina v prerezu je v obravnavanem času znašala 3.05 m. V 98 % časa se globine gibljejo med 3.14 m in 6.66 m, v 80% časa pa med 3.40 m in 4.90 m.

332 dni v letu je največja pretočna globina nižja od 5 m. Nič dni v letu je največja pretočna globina nižja od 2.1 m. Nič dni v letu je največja pretočna globina nižja od 1.0 m. Nič dni v letu je največja pretočna globina nižja od 0.8 m. Nič dni v letu je največja pretočna globina nižja od 0.6 m.



Slika 39: Krivulja trajanja največjih pretočnih hitrosti Sava Hrastnik

Največja pretočna hitrost znaša 3.83 m/s. Najnižja največja izmerjena hitrost je 0.46 m/s. V 98 % časa se hitrosti gibljejo med 0.53 m/s in 3.11 m/s, v 80% časa pa med 0.70 m/s in 2.15 m/s.

249 dni na leto so največje pretočne hitrosti nižje od 1.5 m/s. 316 dni na leto so pretočne hitrosti nižje od 2 m/s. 359 dni na leto so pretočne hitrosti nižje od 3 m/s.

Možnosti za prehod

Verjetnost prehodnosti

Omejitve prehoda:

Globina:	2.1	[m]
Hitrost:	2	[m/s]
Q(merodajni)	30.80	
Prehodno:	0	[dni]

Vrednosti parametrov

Vnos pretoka:

Q _{tren} :	50	[m ³ /s]
h _{max tren} :	3.34	[m]
v _{max tren} :	0.65	[m/s]

t [%]	t [dni]	Q [m ³ /s]	H[m]-ARSO	v _{pos} [m/s]	v _{max}	h _{max}
100	365.00	30.80	1.68	0.33	0.46	3.05
99.5	363.18	35.10	1.77	0.36	0.50	3.14
99	361.35	37.46	1.82	0.38	0.53	3.18
97	354.05	43.17	1.89	0.42	0.59	3.26
94	343.10	48.50	1.96	0.46	0.64	3.32
90	328.50	55.06	2.03	0.50	0.70	3.40
85	310.25	63.30	2.11	0.56	0.78	3.47
80	292.00	69.90	2.17	0.60	0.84	3.54
70	255.50	82.89	2.28	0.68	0.95	3.64
60	219.00	97.69	2.40	0.76	1.06	3.76
50	182.50	114.25	2.52	0.85	1.18	3.89
40	146.00	137.00	2.68	0.96	1.34	4.05
30	109.50	169.70	2.89	1.10	1.53	4.26
20	73.00	217.02	3.16	1.28	1.78	4.53
15	54.75	247.65	3.32	1.38	1.92	4.69
10	36.50	294.61	3.54	1.54	2.15	4.90
6	21.90	357.64	3.86	1.70	2.37	5.23
3	10.95	453.39	4.33	1.90	2.65	5.70
1	3.65	663.00	5.29	2.23	3.11	6.66
0.5	1.83	840.11	6.07	2.42	3.37	7.44
0	0.01	1423.14	8.58	2.75	3.83	9.95

Možnost prehoda:

NE

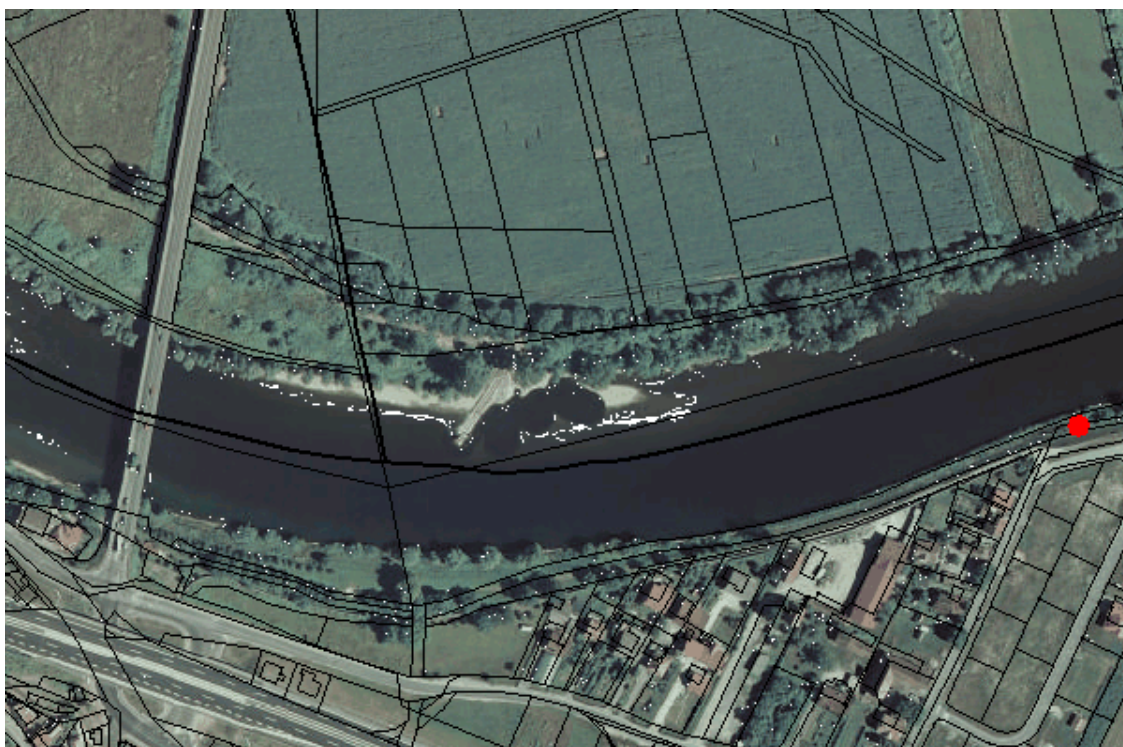
Skupina vozil	Prehodnost [dni na leto]
Vozila 1	0
Vozila 2	0
Vozila 3	0
Tanki z napravami za podvodni prehod	349
Tanki brez naprav za podvodni prehod	0
Splav 1	316
Splav 2	359

Slika 40: Primer izračuna za prehod skupine tanki brez naprav za podvodni prehod Sava Hrastnik

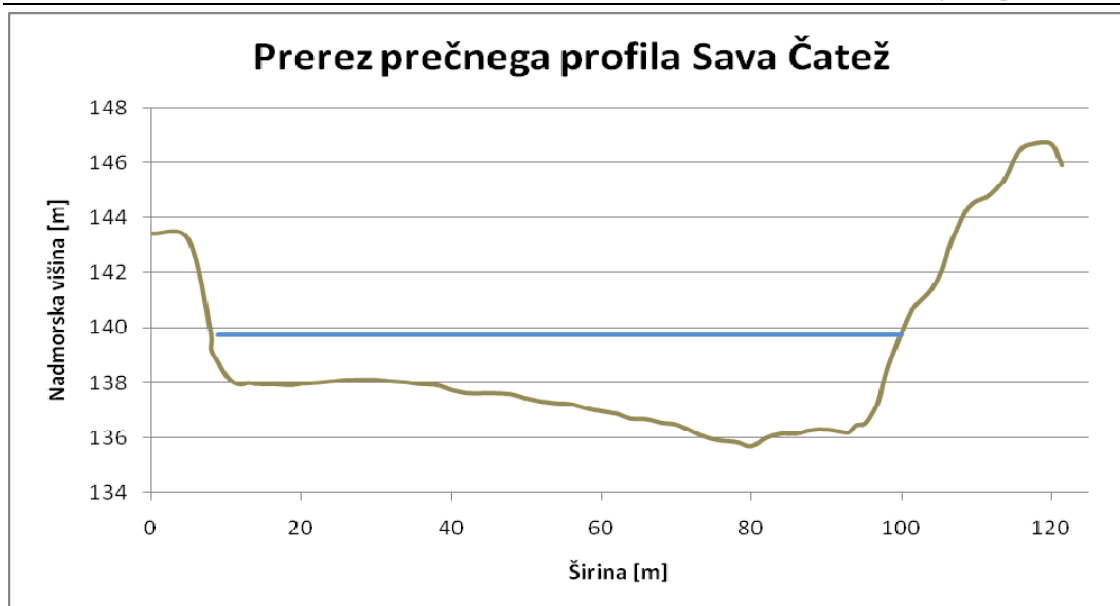
4.2.4 Sava Čatež

Opis merskega mesta

Merska postaja Sava Čatež se nahaja na reki Sava v bližini zaselka Čatež ob Savi



Slika 41: Merska postaja Sava Čatež

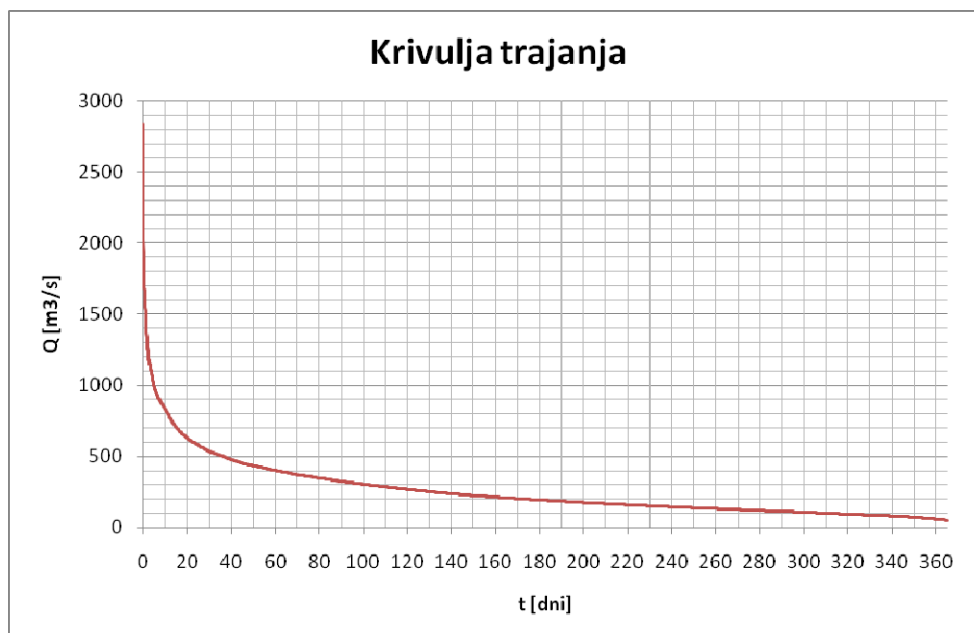


Slika 42: Prerez prečnega profila Sava Čatež

Pri srednjem pretoku $Q_{sr} = 257.61 \text{ m}^3/\text{s}$ znaša širina vodne gladine 92 m. Širina dna je okrog 85 m. Globina znaša 3.97 m.

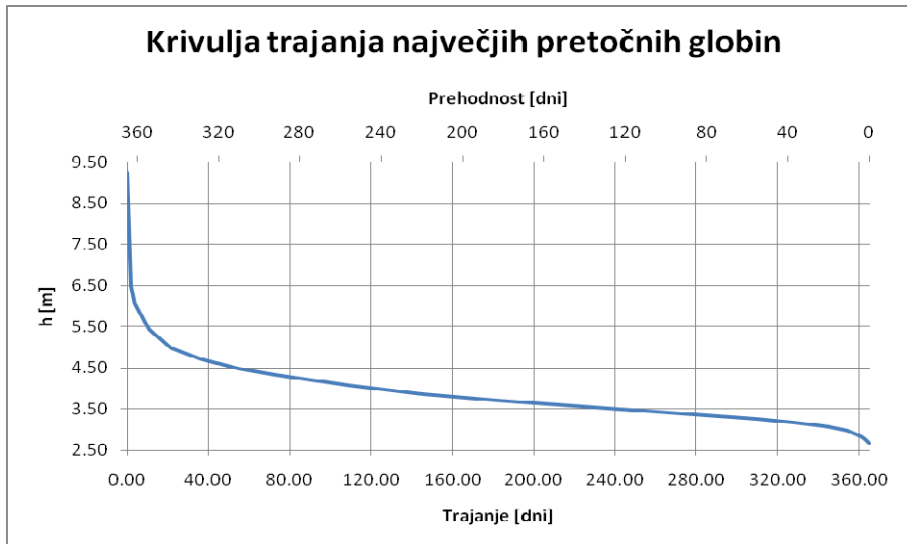
Približni nagib leve brežine znaša 50 %. Približni nagib desne brežine znaša 25 % .

Hidrološke in hidravlične značilnosti



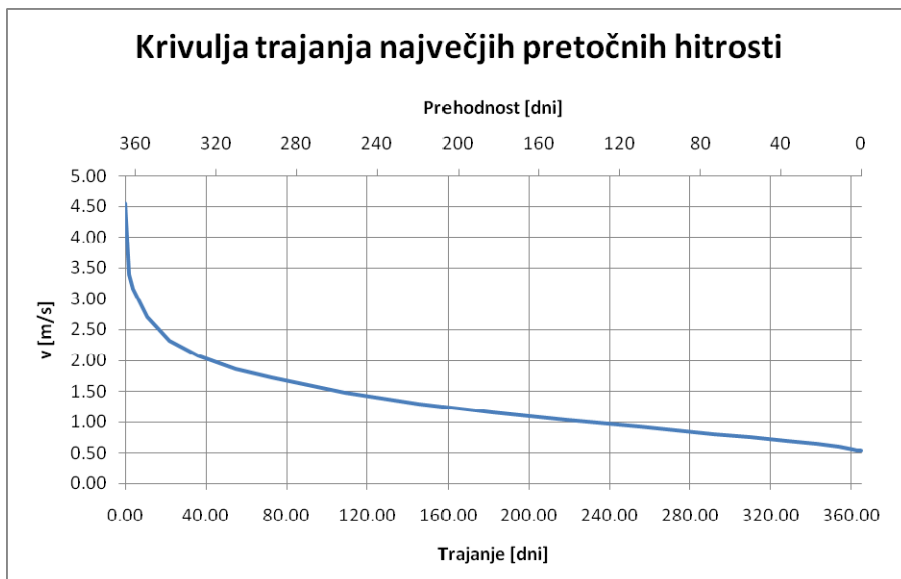
Slika 43: Krivulja trajanja pretokov Sava Čatež

Srednji pretok znaša $257.61 \text{ m}^3/\text{s}$. Najvišji izmerjeni pretok znaša $2834.00 \text{ m}^3/\text{s}$. Najnižji izmerjeni pretok znaša $48.27 \text{ m}^3/\text{s}$. V 98 % časa se pretoki gibljejo med $55.25 \text{ m}^3/\text{s}$ in $1093.58 \text{ m}^3/\text{s}$, v 80% časa pa med $87.39 \text{ m}^3/\text{s}$ in $498.76 \text{ m}^3/\text{s}$.



Slika 44: Krivulja trajanja največjih pretočnih globin Sava Čatež

Največja izmerjena pretočna globina je 9.25 m. Najmanjša največja izmerjena globina v prerezu je v obravnavanem času znašala 2.68 m. V 98 % časa se globine gibljejo med 2.83 m in 6.05 m, v 80% časa pa med 3.17 m in 4.71 m. 343 dni v letu je največja pretočna globina nižja od 5 m. Nič dni v letu je največja pretočna globina nižja od 2.1 m. Nič dni v letu je največja pretočna globina nižja od 1.0 m. Nič dni v letu je največja pretočna globina nižja od 0.8 m. Nič dni v letu je največja pretočna globina nižja od 0.6 m.



Slika 45: Krivulja trajanja največjih pretočnih hitrosti Sava Čatež

Največja pretočna hitrost znaša 4.55 m/s. Najnižja največja izmerjena hitrost je 0.55 m/s. V 98 % časa se hitrosti gibljejo med 0.56 m/s in 3.16 m/s, v 80% časa pa med 0.71 m/s in 2.08 m/s.

Največje pretočne hitrosti nižje od 1.5 m/s so 257 dni na leto 321 dni na leto so pretočne hitrosti nižje od 2 m/s. 358 dni na leto so pretočne hitrosti nižje od 3 m/s.

Možnosti za prehod

Verjetnost prehodnosti

Omejitve prehoda:

Globina:	2.1	[m]
Hitrost:	2	[m/s]
Q(merodajni)	48.27	
Prehodno:	0	[dni]

Vrednosti parametrov

Vnos pretoka:

Q :	50	[m ³ /s]
h _{max} :	2.72	[m]
v _{max} :	0.55	[m/s]

t [%]	t [dni]	Q [m ³ /s]	H[m]-ARSO	vpov[m/s]	vmax	hmax
100	365.00	48.27	1.09	0.45	0.55	2.68
99.5	363.18	52.61	1.19	0.45	0.55	2.77
99	361.35	55.25	1.24	0.46	0.56	2.83
97	354.05	66.05	1.38	0.50	0.61	2.97
94	343.10	77.40	1.50	0.54	0.66	3.09
90	328.50	87.39	1.58	0.58	0.71	3.17
85	310.25	99.12	1.66	0.63	0.77	3.25
80	292.00	111.53	1.74	0.67	0.81	3.33
70	255.50	134.67	1.86	0.76	0.92	3.45
60	219.00	160.00	1.99	0.85	1.03	3.58
50	182.50	190.65	2.12	0.95	1.16	3.71
40	146.00	229.00	2.27	1.07	1.30	3.86
30	109.50	285.92	2.48	1.22	1.48	4.07
20	73.00	363.67	2.73	1.42	1.73	4.33
15	54.75	417.03	2.89	1.53	1.86	4.49
10	36.50	498.76	3.11	1.71	2.08	4.71
6	21.90	606.87	3.38	1.91	2.32	4.98
3	10.95	805.52	3.83	2.23	2.71	5.43
1	3.65	1093.58	4.45	2.60	3.16	6.05
0.5	1.83	1300.00	4.88	2.80	3.40	6.48
0	0.01	2834.00	7.66	3.74	4.55	9.25

Možnost prehoda:

NE

Skupina vozil	Prehodnost [dni na leto]
Vozila 1	0
Vozila 2	0
Vozila 3	0
Tanki z napravami za podvodni prehod	257
Tanki brez naprav za podvodni prehod	0
Splav 1	321
Splav 2	358

Slika 46: Primer izračuna za prehod skupine tanki brez naprav za podvodni prehod Sava Čatež

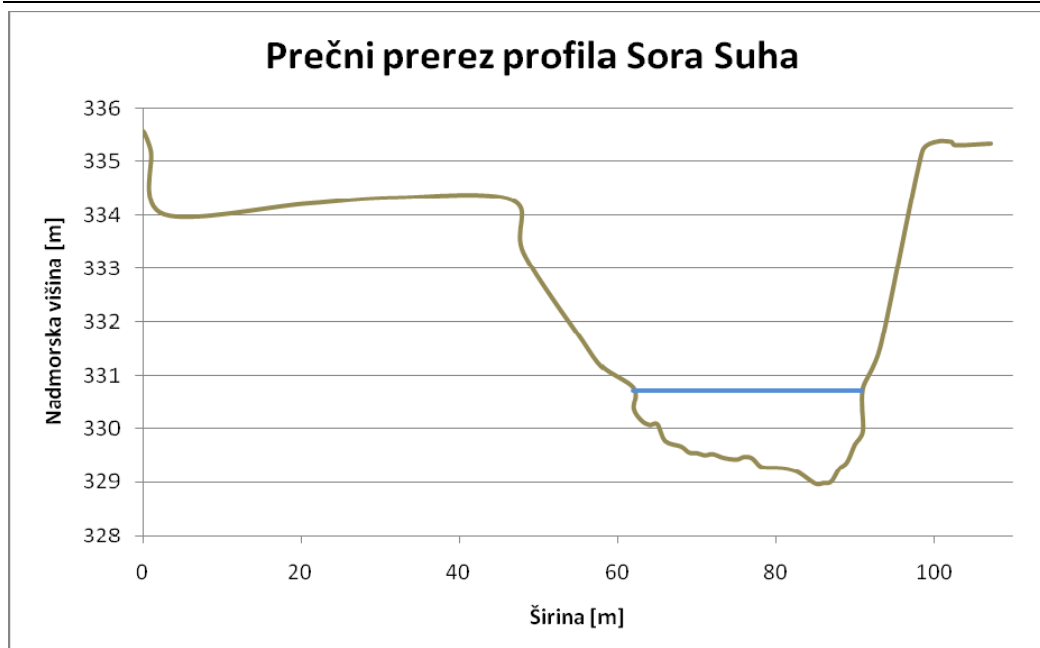
4.2.5 Sora Suha

Opis merskega mesta

Merska postaja Sora Suha se nahaja na reki Sora v bližini zaselka Suha



Slika 47: Merska postaja Sora Suha

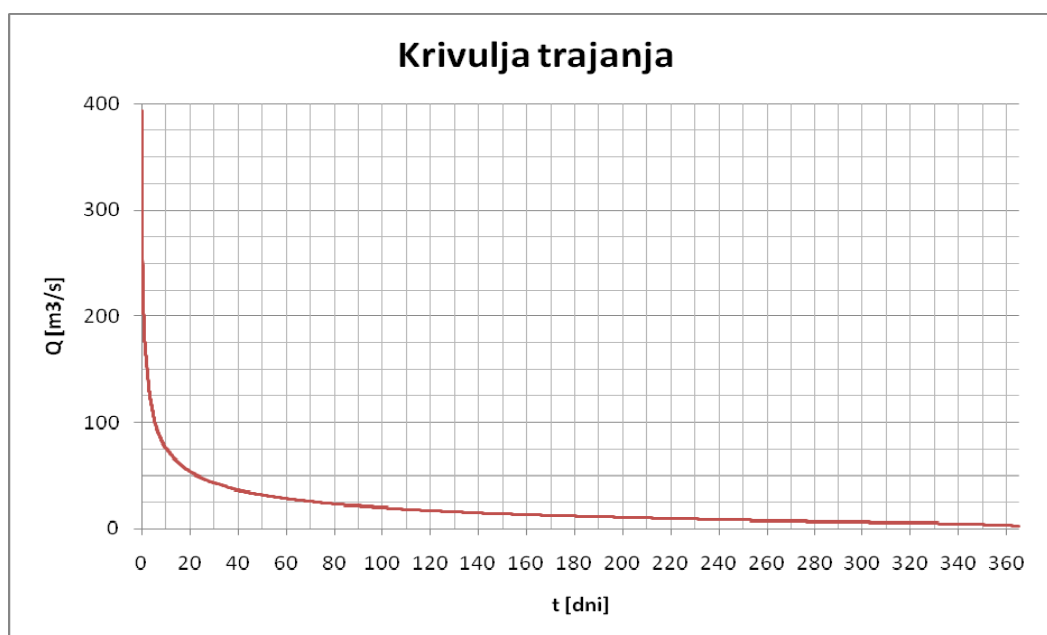


Slika 48: Prerez prečnega profila Sora Suha

Pri srednjem pretoku $Q_{sr} = 18.33 \text{ m}^3/\text{s}$ znaša širina vodne gladine 29 m. Širina dna je okrog 22 m. Globina znaša 1.76 m.

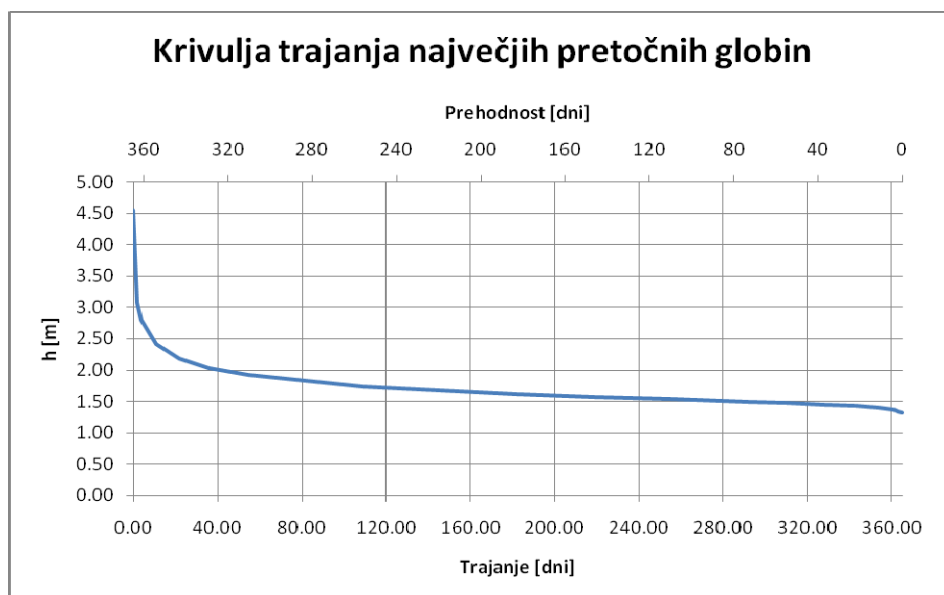
Približni nagib leve brežine znaša 1 %. Približni nagib desne brežine znaša 30 % .

Hidrološke in hidravlične značilnosti



Slika 49: Krivulja trajanja pretokov Sora Suha

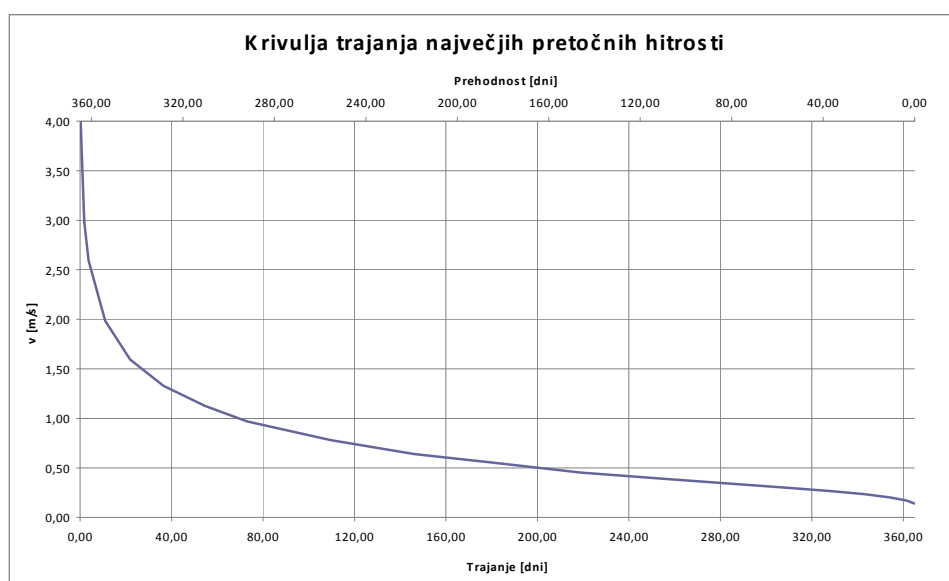
Srednji pretok znaša $18.33 \text{ m}^3/\text{s}$. Najvišji izmerjeni pretok znaša $393 \text{ m}^3/\text{s}$. Najnižji izmerjeni pretok znaša $2.14 \text{ m}^3/\text{s}$. V 98 % časa se pretoki gibljejo med $2.70 \text{ m}^3/\text{s}$ in $119.00 \text{ m}^3/\text{s}$, v 80% časa pa med $4.65 \text{ m}^3/\text{s}$ in $37.87 \text{ m}^3/\text{s}$.



Slika 50: Krivulja trajanja največjih pretočnih globin Sora Suha

Največja izmerjena pretočna globina je 4.54 m. Najmanjša največja izmerjena globina v prerezu je v obravnavanem času znašala 1.33 m. V 98 % časa se globine gibljejo med 1.37 m in 2.41 m, v 80% časa pa med 1.45 m in 2.04 m.

Vse dni v letu je največja pretočna globina nižja od 5 m. 334 dni v letu je največja pretočna globina nižja od 2.1 m. Nič dni v letu je največja pretočna globina nižja od 1.0 m. Nič dni v letu je največja pretočna globina nižja od 0.8 m. Nič dni v letu je največja pretočna globina nižja od 0.6 m.



Slika 51: Krivulja trajanja največjih pretočnih hitrosti Sora Suha

Največja pretočna hitrost znaša 4.16 m/s. Najnižja največja izmerjena hitrost je 0.14 m/s. V 98 % časa se hitrosti gibljejo med 0.17 m/s in 2.59 m/s, v 80% časa pa med 0.27 m/s in 1.33 m/s.

337 dni na leto so največje pretočne hitrosti nižje od 1.5 m/s. 354 dni na leto so pretočne hitrosti nižje od 2 m/s. 363 dni na leto so pretočne hitrosti nižje od 3 m/s.

Možnosti za prehod

Verjetnost prehodnosti

Omejitve prehoda:

Globina:	2.1	[m]
Hitrost:	2	[m/s]
Q(merodajni)	43.08	
Prehodno:	334	[dni]

Vrednosti parametrov

Vnos pretoka:

Q _{tren} :	50	[m ³ /s]
h _{max tren} :	2.18	[m]
v _{max tren} :	1.58	[m/s]

t [%]	t [dni]	Q [m ³ /s]	H[m]-ARSO	v _{gov} [m/s]	v _{max}	h _{max}
100	365.00	2.14	0.83	0.09	0.14	1.33
99.5	363.18	2.49	0.85	0.10	0.16	1.35
99	361.35	2.70	0.87	0.11	0.17	1.37
97	354.05	3.33	0.90	0.13	0.20	1.40
94	343.10	4.00	0.93	0.15	0.23	1.43
90	328.50	4.65	0.95	0.17	0.27	1.45
85	310.25	5.36	0.98	0.19	0.30	1.48
80	292.00	5.96	1.00	0.21	0.33	1.50
70	255.50	7.41	1.04	0.25	0.39	1.54
60	219.00	9.02	1.07	0.29	0.45	1.57
50	182.50	11.13	1.12	0.35	0.55	1.62
40	146.00	13.97	1.18	0.41	0.64	1.68
30	109.50	17.93	1.25	0.50	0.78	1.75
20	73.00	24.29	1.36	0.62	0.97	1.86
15	54.75	29.79	1.43	0.72	1.13	1.93
10	36.50	37.87	1.54	0.85	1.33	2.04
6	21.90	50.90	1.69	1.02	1.59	2.19
3	10.95	73.14	1.91	1.27	1.98	2.41
1	3.65	119.00	2.29	1.66	2.59	2.79
0.5	1.83	158.46	2.58	1.91	2.98	3.08
0	0.01	393	4.04	2.66	4.16	4.54

Možnost prehoda:

NE

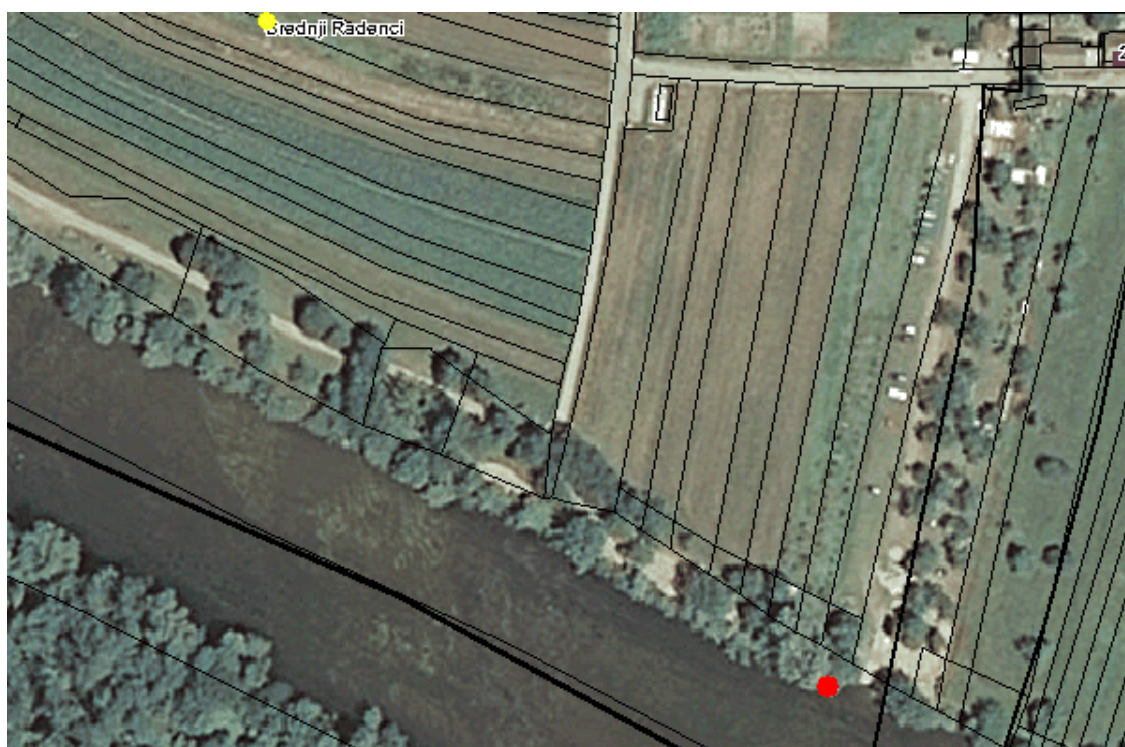
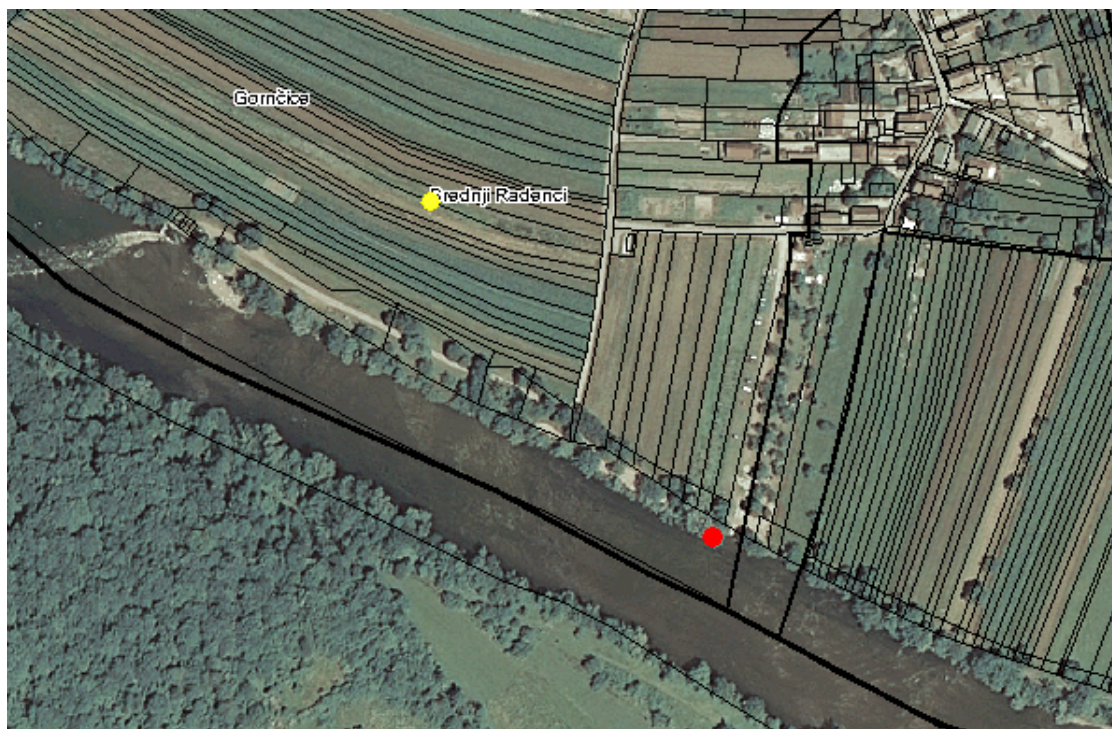
Skupina vozil	Prehodnost [dni na leto]
Vozila 1	0
Vozila 2	0
Vozila 3	0
Tanki z napravami za podvodni prehod	337
Tanki brez naprav za podvodni prehod	334
Splav 1	354
Splav 2	363

Slika 52: Primer izračuna za prehod skupine tanki brez naprav za podvodni prehod Sora Suha

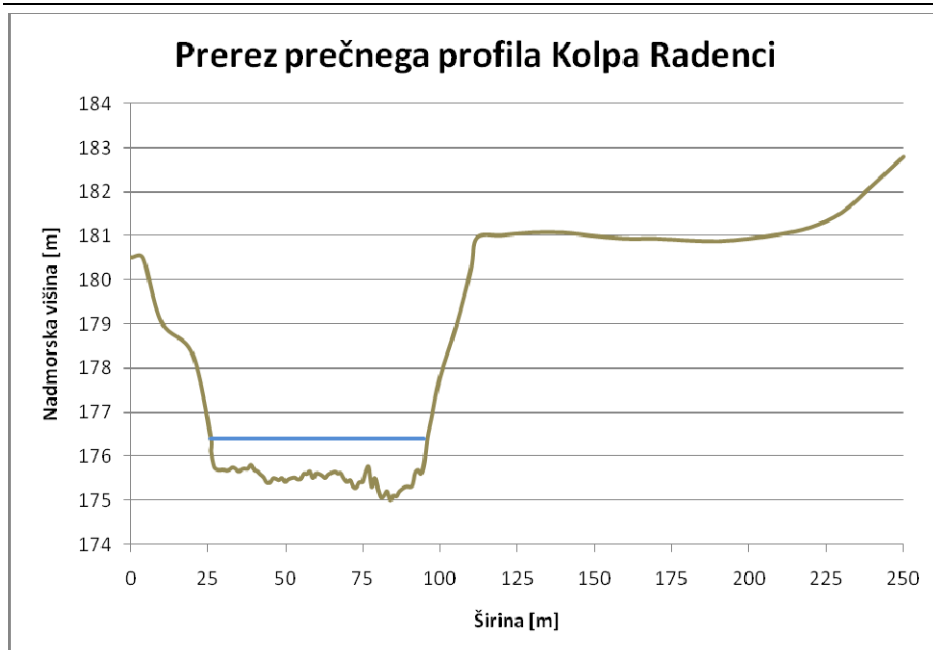
4.2.6 Kolpa Radenci

Opis merskega mesta

Merska postaja Kolpa Radenci se nahaja na reki Kolpa v bližini zaselka Srednji Radenci.



Slika 53: Merska postaja Kolpa Radenci

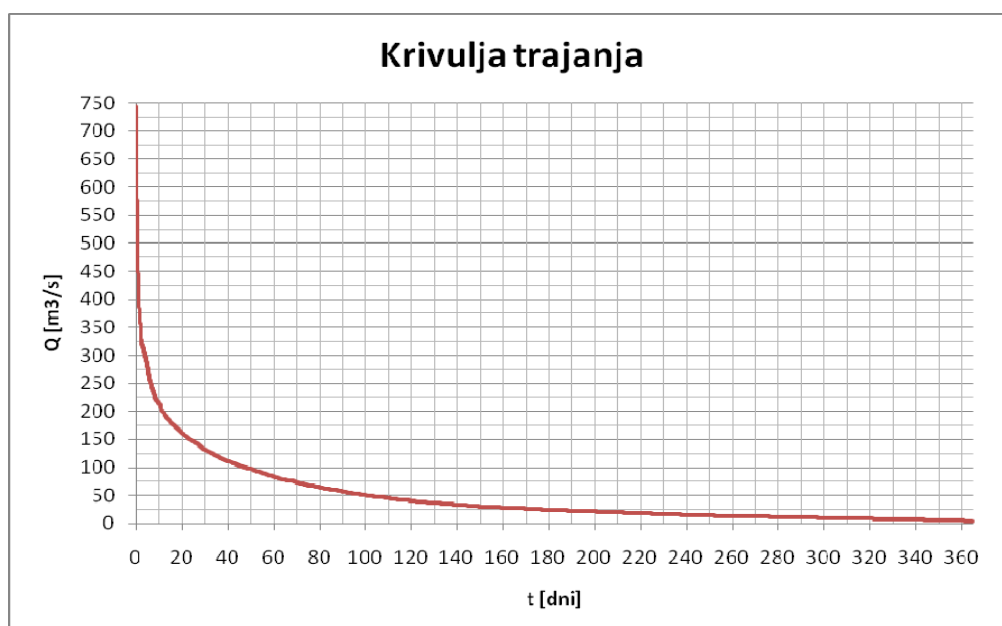


Slika 54: Prerez prečnega profila Kolpa Radenci

Pri srednjem pretoku $Q_{sr} = 47.28 \text{ m}^3/\text{s}$ znaša širina vodne gladine 70 m. Širina dna je okrog 66 m. Globina znaša 1.36 m.

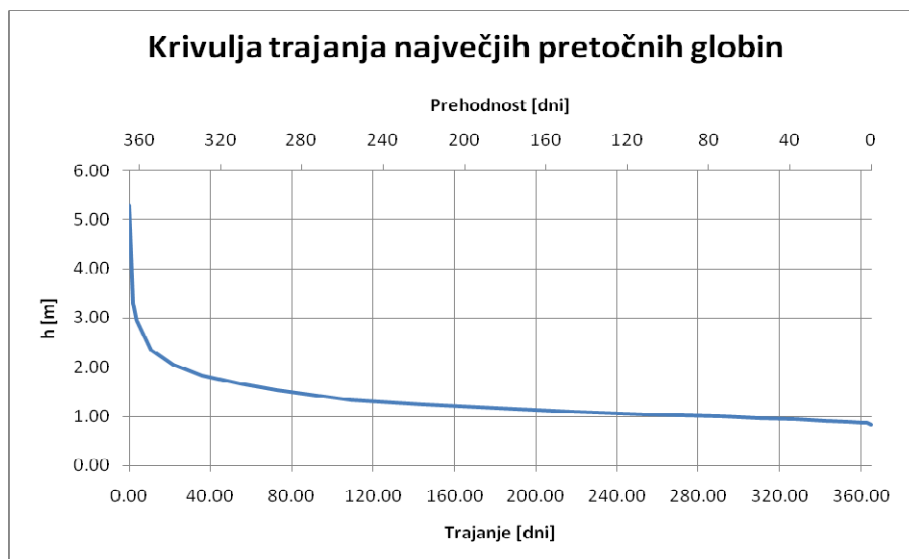
Približni nagib leve brežine znaša 15 %. Približni nagib desne brežine znaša 15 % .

Hidrološke in hidravlične značilnosti



Slika 55: Krivulja trajanja pretokov Kolpa Radenci

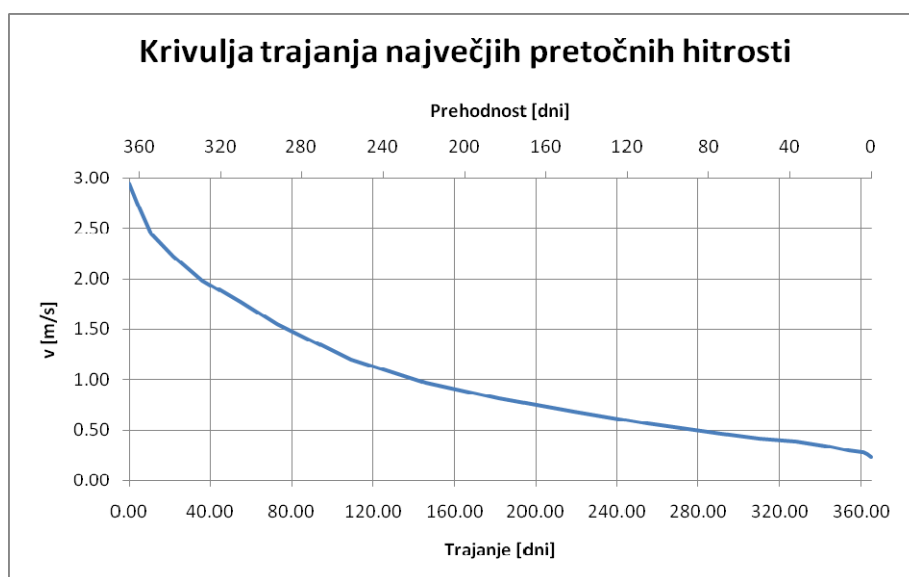
Srednji pretok znaša $47.28 \text{ m}^3/\text{s}$. Najvišji izmerjeni pretok znaša $744.44 \text{ m}^3/\text{s}$. Najnižji izmerjeni pretok znaša $3.52 \text{ m}^3/\text{s}$. V 98 % časa se pretoki gibljejo med $4.58 \text{ m}^3/\text{s}$ in $312.00 \text{ m}^3/\text{s}$, v 80% časa pa med $7.72 \text{ m}^3/\text{s}$ in $118.00 \text{ m}^3/\text{s}$.



Slika 56: Krivulja trajanja največjih pretočnih globin Kolpa Radenci

Največja izmerjena pretočna globina je 5.28 m. Najmanjša največja izmerjena globina v prerezu je v obravnavanem času znašala 0.84 m. V 98 % časa se globine gibljejo med 0.88 m in 2.94 m, v 80% časa pa med 0.95 m in 1.83 m.

364 dni v letu je največja pretočna globina nižja od 5 m. 334 dni v letu je največja pretočna globina nižja od 2.1 m. 73 dni v letu je največja pretočna globina nižja od 1.0 m. Nič dni v letu je največja pretočna globina nižja od 0.8 m. Nič dni v letu je največja pretočna globina nižja od 0.6 m.



Slika 57: Krivulja trajanja največjih pretočnih hitrosti Kolpa Radenci

Največja pretočna hitrost znaša 3.76 m/s. Najnižja največja izmerjena hitrost je 0.16 m/s. V 98 % časa se hitrosti gibljejo med 0.24 m/s in 2.36 m/s, v 80% časa pa med 0.37 m/s in 1.29 m/s.

329 dni na leto so največje pretočne hitrosti nižje od 1.5 m/s. 359 dni na leto so pretočne hitrosti nižje od 2 m/s. 364 dni na leto so pretočne hitrosti nižje od 3 m/s.

Možnosti za prehod

Verjetnost prehodnosti

Omejitve prehoda:

Globina:	2.1	[m]
Hitrost:	2	[m/s]
Q(merodajni)	15.51	
Prehodno:	36	[dni]

Vrednosti parametrov

Vnos pretoka:

Q _{tren} :	50	[m ³ /s]
h _{max} tren:	2.50	[m]
v _{max} tren:	0.92	[m/s]

t [%]	t [dni]	Q [m ³ /s]	H[m]-ARSO	v _{pov} [m/s]	v _{max}	h _{max}
100	365.00	5.56	0.26	0.10	0.16	1.85
99.5	363.18	7.75	0.33	0.13	0.21	1.93
99	361.35	8.85	0.36	0.15	0.24	1.96
97	354.05	11.47	0.42	0.18	0.29	2.02
94	343.10	13.69	0.47	0.21	0.34	2.07
90	328.50	15.51	0.51	0.23	0.37	2.10
85	310.25	17.20	0.54	0.25	0.41	2.13
80	292.00	19.00	0.57	0.27	0.44	2.16
70	255.50	21.80	0.61	0.30	0.49	2.21
60	219.00	25.49	0.66	0.34	0.55	2.26
50	182.50	30.00	0.71	0.38	0.62	2.31
40	146.00	35.70	0.78	0.44	0.72	2.37
30	109.50	44.18	0.86	0.51	0.83	2.45
20	73.00	56.41	0.96	0.62	1.01	2.55
15	54.75	64.97	1.02	0.69	1.12	2.62
10	36.50	78.60	1.11	0.79	1.29	2.71
6	21.90	99.00	1.22	0.93	1.51	2.82
3	10.95	136.00	1.42	1.14	1.86	3.02
1	3.65	203.69	1.73	1.45	2.36	3.34
0.5	1.83	271.06	2.01	1.69	2.75	3.62
0	0.01	528	2.89	2.31	3.76	4.5

Možnost prehoda: NE

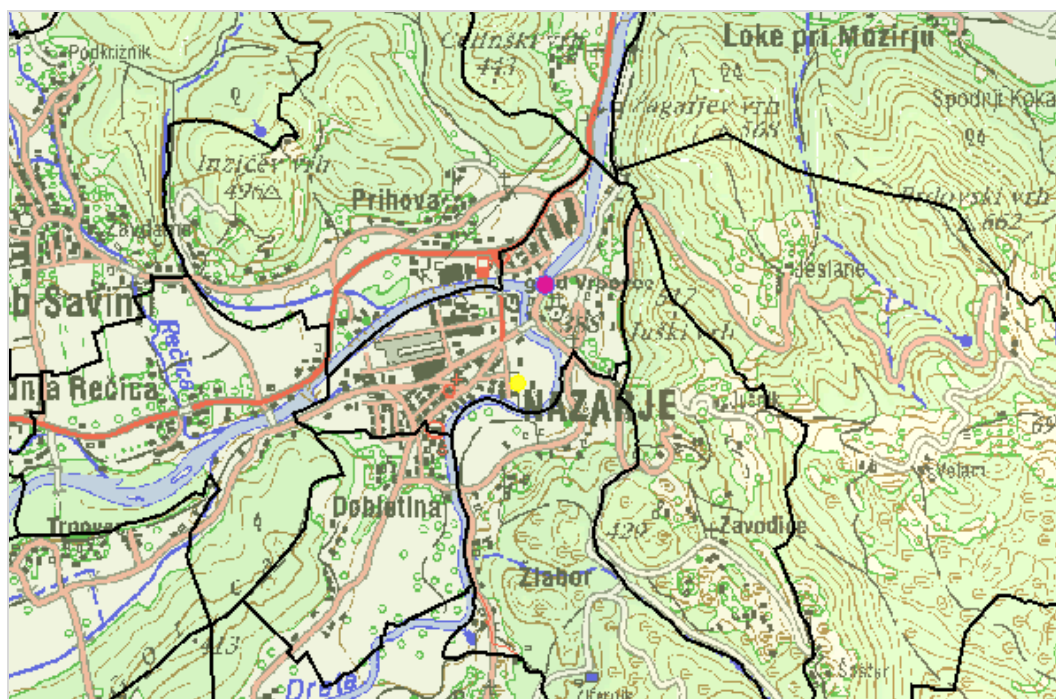
Skupina vozil	Prehodnost [dni na leto]
Vozila 1	0
Vozila 2	0
Vozila 3	0
Tanki z napravami za podvodni prehod	342
Tanki brez naprav za podvodni prehod	36
Splav 1	356
Splav 2	365

Slika 58: Primer izračuna za prehod skupine tanki brez naprav za podvodni prehod Kolpa Radenci

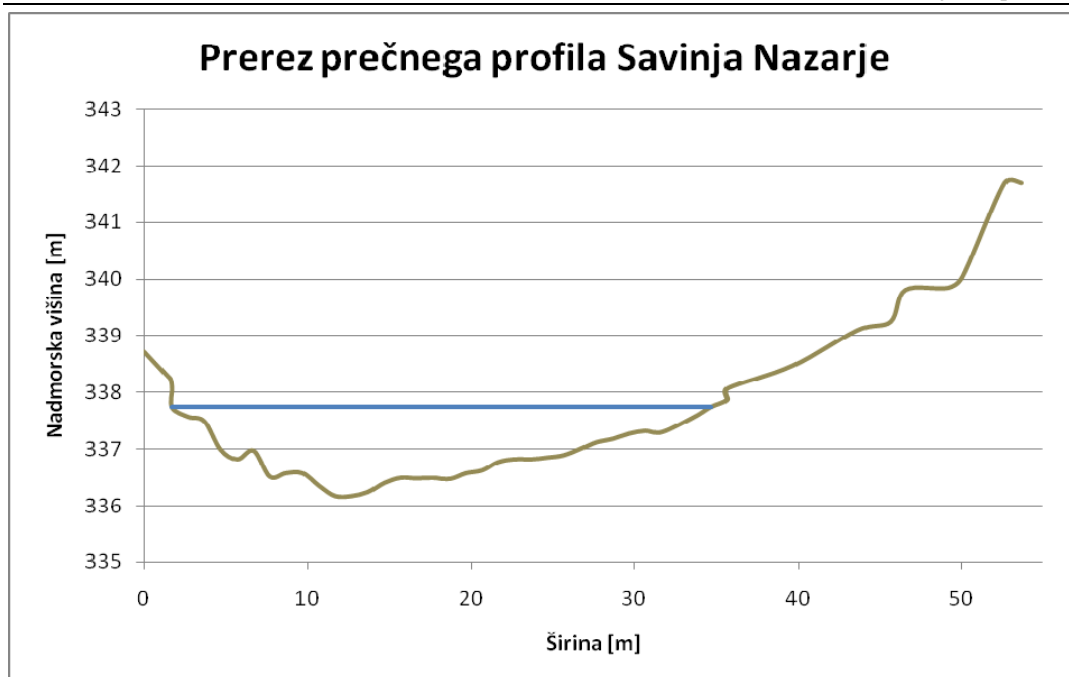
4.2.7 Savinja Nazarje

Opis merskega mesta

Merska postaja Savinja Nazarje se nahaja na reki Savinja pri gradu Vrbovec v Nazarjah



Slika 59: Merska postaja Savinja Nazarje

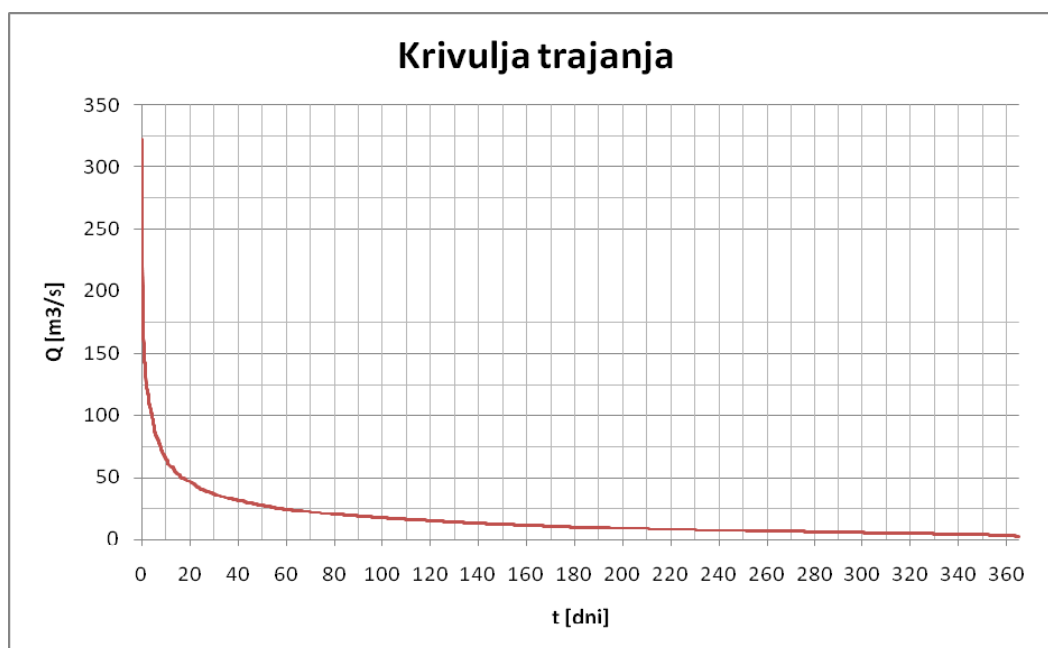


Slika 60: Prerez prečnega profila Savinja Nazarje

Pri srednjem pretoku $Q_{sr} = 15.92 \text{ m}^3/\text{s}$ znaša širina vodne gladine 33 m. Širina dna je okrog 25 m. Globina znaša 1.55 m.

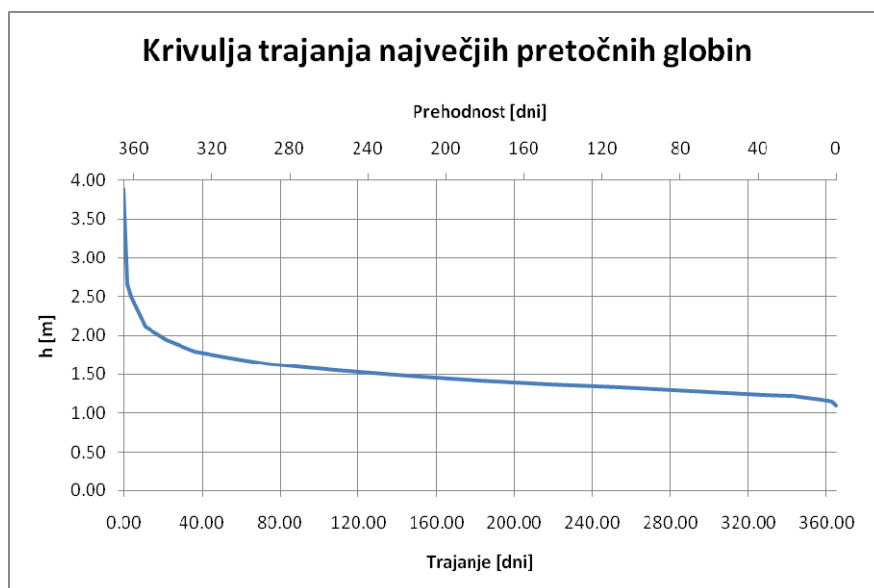
Približni nagib leve brežine znaša 30 %. Približni nagib desne brežine znaša 25 %.

Hidrološke in hidravlične značilnosti



Slika 61: Krivulja trajanja pretokov Savinja Nazarje

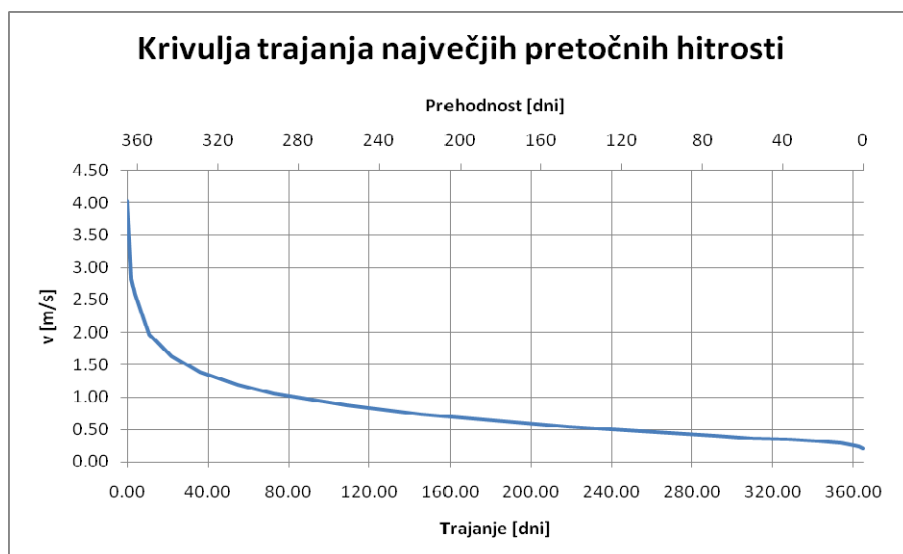
Srednji pretok znaša $15.93 \text{ m}^3/\text{s}$. Najvišji izmerjeni pretok znaša $322 \text{ m}^3/\text{s}$. Najnižji izmerjeni pretok znaša $1.98 \text{ m}^3/\text{s}$. V 98 % časa se pretoki gibljejo med $2.71 \text{ m}^3/\text{s}$ in $103.00 \text{ m}^3/\text{s}$, v 80% časa pa med $4.14 \text{ m}^3/\text{s}$ in $32.60 \text{ m}^3/\text{s}$.



Slika 62: Krivulja trajanja največjih pretočnih globin Savinja Nazarje

Največja izmerjena pretočna globina je 3.88 m. Najmanjša največja izmerjena globina v prerezu je v obravnavanem času znašala 1.10 m. V 98 % časa se globine gibljejo med 1.16 m in 2.49 m, v 80% časa pa med 1.24 m in 1.38 m.

Vse dni v letu je največja pretočna globina nižja od 5 m. 352 dni v letu je največja pretočna globina nižja od 2.1 m. Nič dni v letu je največja pretočna globina nižja od 1.0 m. Nič dni v letu je največja pretočna globina nižja od 0.8 m. Nič dni v letu je največja pretočna globina nižja od 0.6 m.



Slika 63: Krivulja trajanja največjih pretočnih hitrosti Savinja Nazarje

Največja pretočna hitrost znaša 4.02 m/s. Najnižja največja izmerjena hitrost je 0.20 m/s. V 98 % časa se hitrosti gibljejo med 0.25 m/s in 2.58 m/s, v 80% časa pa med 0.34 m/s in 1.38 m/s.

335 dni na leto so največje pretočne hitrosti nižje od 1.5 m/s. 354 dni na leto so pretočne hitrosti nižje od 2 m/s. 363 dni na leto so pretočne hitrosti nižje od 3 m/s.

Možnosti za prehod

Verjetnost prehodnosti

Omejitve prehoda:

Globina: [m]
 Hitrost: [m/s]
 Q(merodajni): 58.71
 Prehodno: [dni]

Vrednosti parametrov

Vnos pretoka:

Q_{tren}: [m³/s]
 h_{max tren}: [m]
 v_{max tren}: [m/s]

t [%]	t [dni]	Q [m ³ /s]	H[m]-ARSO	v _{poz} [m/s]	v _{max}	h _{max}
100	365.00	1.98	0.30	0.13	0.20	1.10
99.5	363.18	2.55	0.35	0.15	0.23	1.15
99	361.35	2.71	0.36	0.16	0.25	1.16
97	354.05	3.16	0.39	0.18	0.28	1.19
94	343.10	3.72	0.42	0.20	0.31	1.22
90	328.50	4.14	0.44	0.22	0.34	1.24
85	310.25	4.65	0.46	0.23	0.36	1.26
80	292.00	5.19	0.48	0.25	0.39	1.28
70	255.50	6.50	0.53	0.30	0.47	1.33
60	219.00	7.96	0.57	0.34	0.53	1.37
50	182.50	9.76	0.62	0.40	0.63	1.42
40	146.00	12.40	0.68	0.47	0.73	1.48
30	109.50	15.93	0.75	0.55	0.86	1.55
20	73.00	21.20	0.83	0.67	1.05	1.64
15	54.75	25.70	0.90	0.76	1.19	1.71
10	36.50	32.60	0.99	0.88	1.38	1.80
6	21.90	43.79	1.13	1.04	1.63	1.94
3	10.95	60.58	1.31	1.25	1.95	2.12
1	3.65	103.00	1.67	1.65	2.58	2.49
0.5	1.83	124.78	1.83	1.80	2.81	2.65
0	0.01	322	3.05	2.57	4.02	3.88

Možnost prehoda:

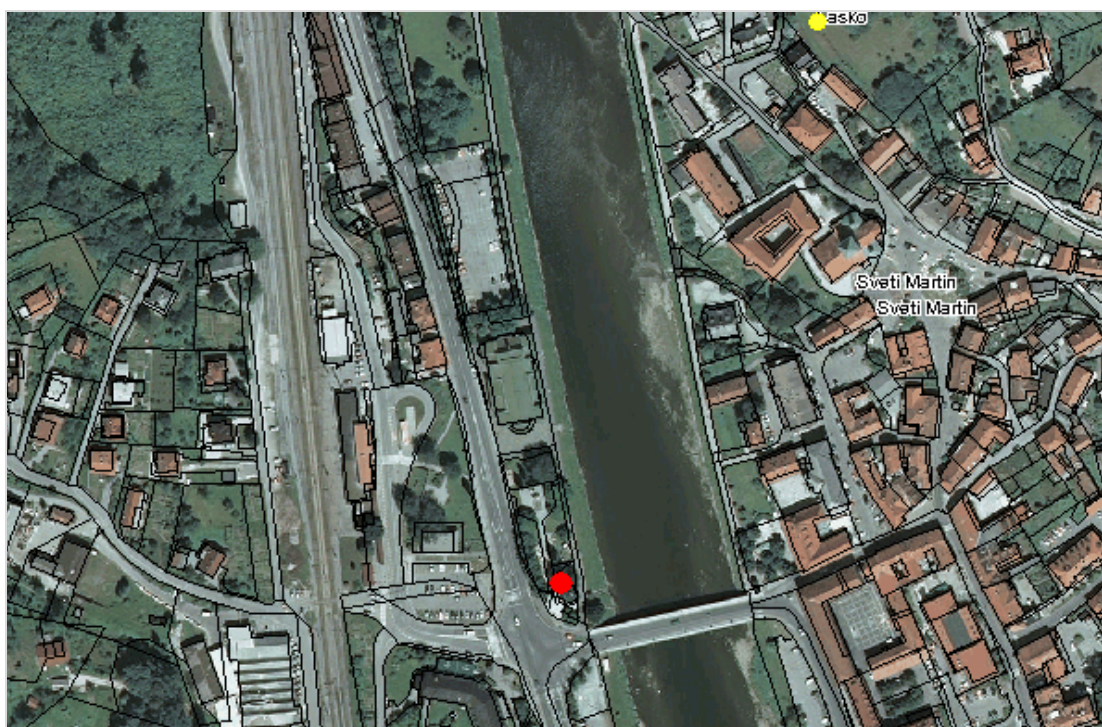
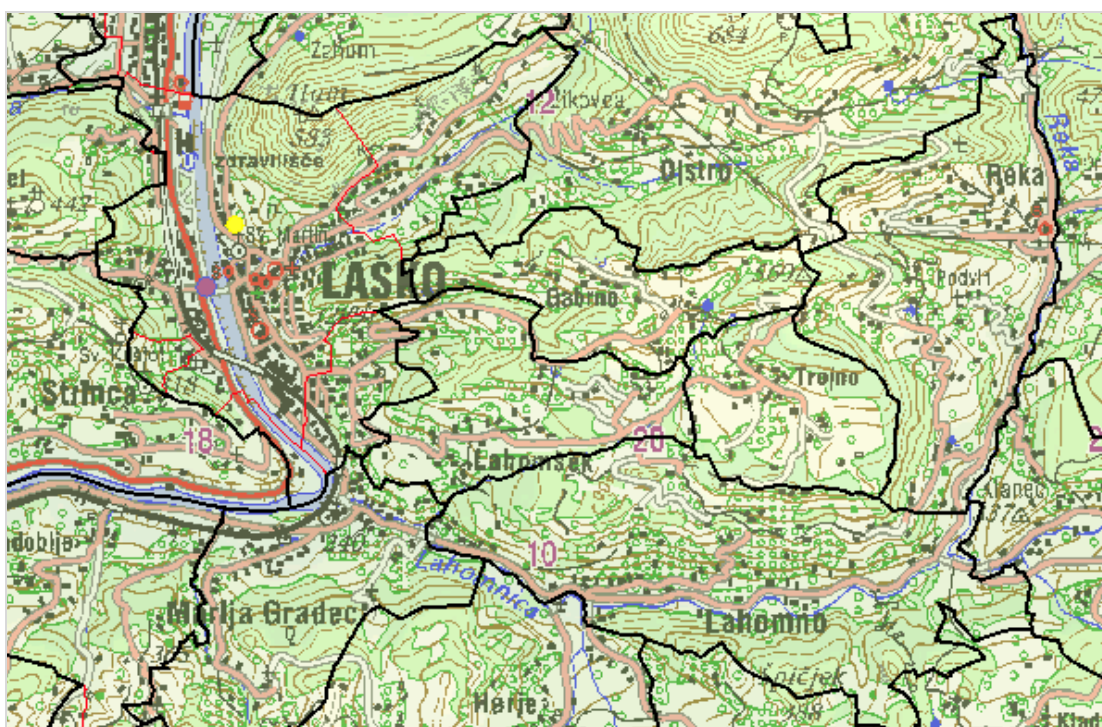
Skupina vozil	Prehodnost [dni na leto]
Vozila 1	0
Vozila 2	0
Vozila 3	0
Tanki z napravami za podvodni prehod	335
Tanki brez naprav za podvodni prehod	352
Splav 1	354
Splav 2	363

Slika 64: Primer izračuna za prehod skupine tanki brez naprav za podvodni prehod Savinja Nazarje

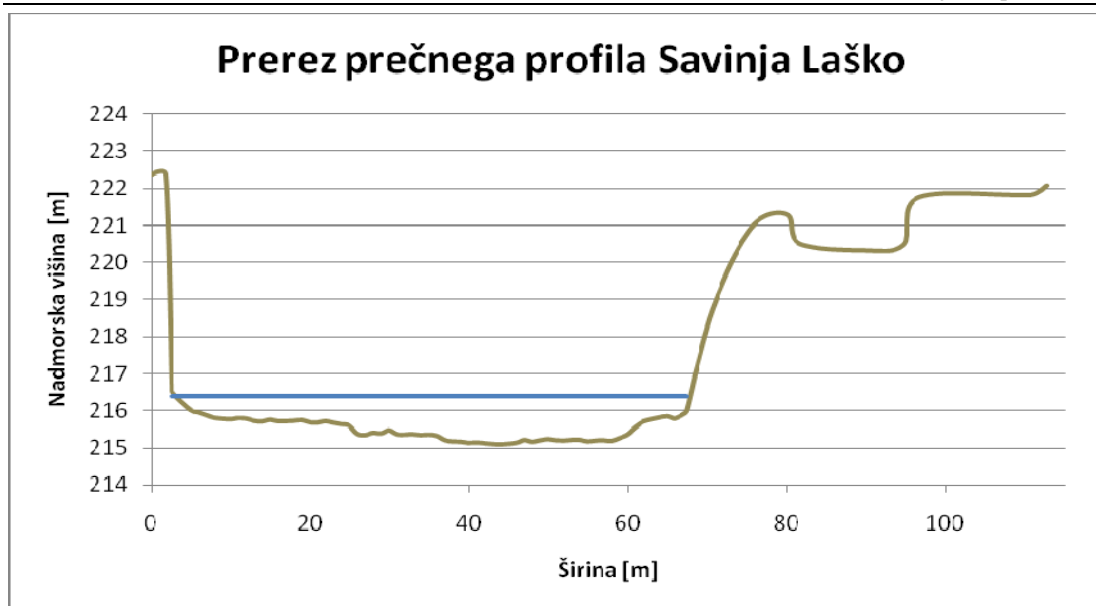
4.2.8 Savinja Laško

Opis merskega mesta

Merska postaja Savinja Laško se nahaja na reki Savinja v mestu Laško



Slika 65: Merska postaja Savinja Laško

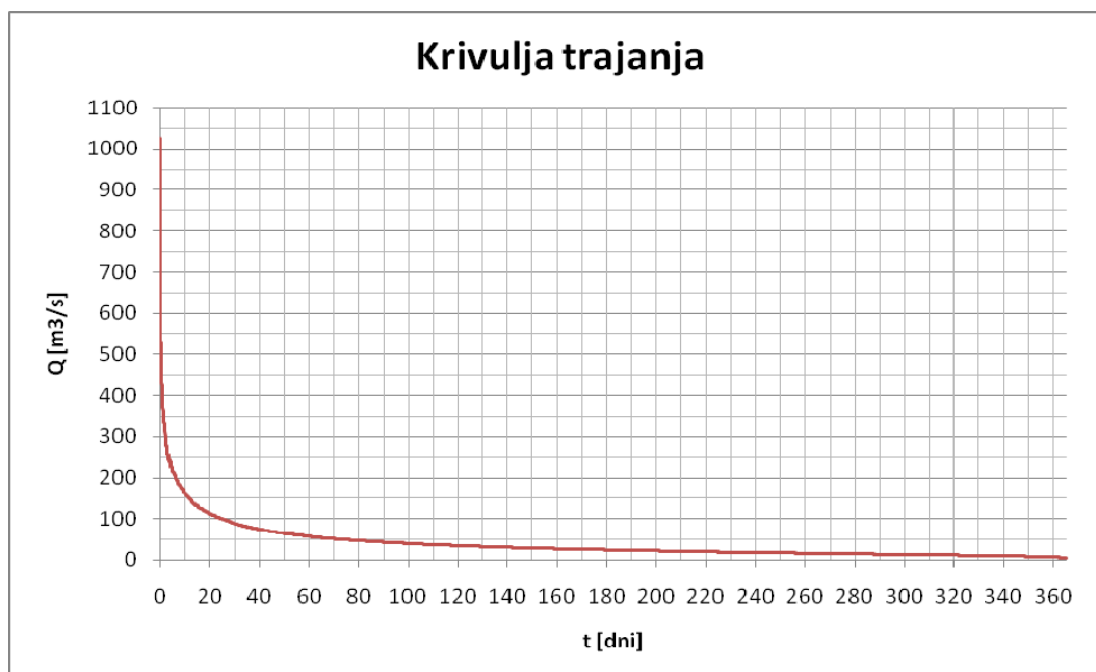


Slika 66: Prerez prečnega profila Savinja Laško

Pri srednjem pretoku $Q_{sr} = 37.92 \text{ m}^3/\text{s}$ znaša širina vodne gladine 65 m. Širina dna je okrog 58 m. Globina znaša 1.28 m.

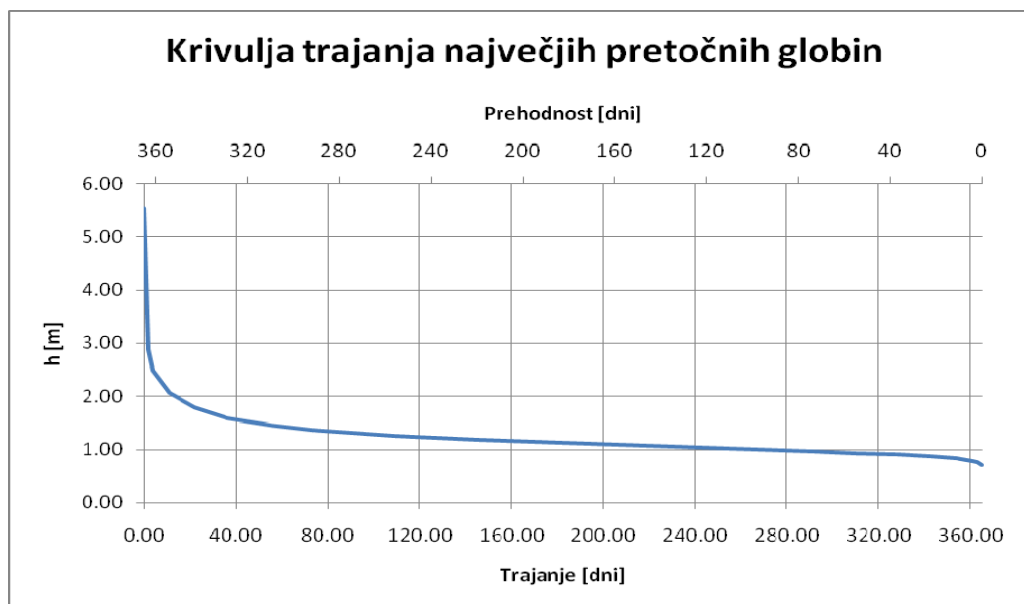
Približni nagib leve brežine znaša 80 %. Približni nagib desne brežine znaša 25 % .

Hidrološke in hidravlične značilnosti



Slika 67: Krivulja trajanja pretokov Savinja Laško

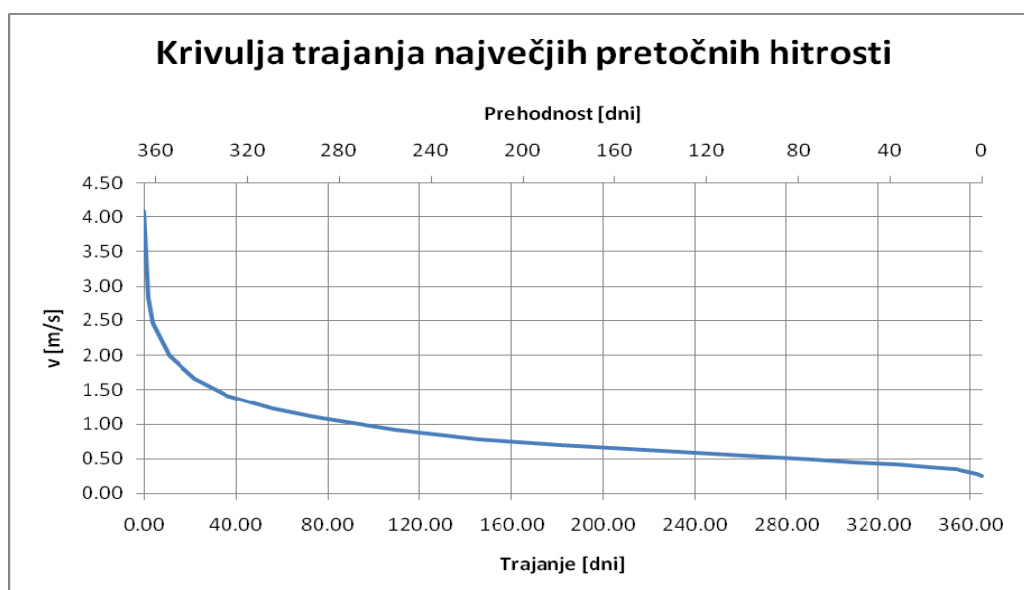
Srednji pretok znaša $37.92 \text{ m}^3/\text{s}$. Najvišji izmerjeni pretok znaša $1025.46 \text{ m}^3/\text{s}$. Najnižji izmerjeni pretok znaša $3.74 \text{ m}^3/\text{s}$. V 98 % časa se pretoki gibljejo med $5.42 \text{ m}^3/\text{s}$ in $240.94 \text{ m}^3/\text{s}$, v 80% časa pa med $9.76 \text{ m}^3/\text{s}$ in $77.18 \text{ m}^3/\text{s}$.



Slika 68: Krivulja trajanja največjih pretočnih globin Savinja Laško

Največja izmerjena pretočna globina je 5.54 m. Najmanjša največja izmerjena globina v prerezu je v obravnavanem času znašala 0.7 m. V 98 % časa se globine gibljejo med 0.78 m in 2.46 m, v 80% časa pa med 0.90 m in 1.59 m.

364 dni v letu je največja pretočna globina nižja od 5 m. 354 dni v letu je največja pretočna globina nižja od 2.1 m. 102 dni v letu je največja pretočna globina nižja od 1.0 m. 6 dni v letu je največja pretočna globina nižja od 0.8 m. Nič dni v letu je največja pretočna globina nižja od 0.6 m.



Slika 69: Krivulja trajanja največjih pretočnih hitrosti Savinja Laško

Največja pretočna hitrost znaša 4.08 m/s. Najnižja največja izmerjena hitrost je 0.25 m/s. V 98 % časa se hitrosti gibljejo med 0.29 m/s in 2.46 m/s, v 80% časa pa med 0.42 m/s in 1.41 m/s.

333 dni na leto so največje pretočne hitrosti nižje od 1.5 m/s. 354 dni na leto so pretočne hitrosti nižje od 2 m/s. 363 dni na leto so pretočne hitrosti nižje od 3 m/s.

Možnosti za prehod

Verjetnost prehodnosti

Omejitve prehoda:

Globina:	2.1	[m]
Hitrost:	2	[m/s]
Q(merodajni)	154.43	
Prehodno:	354	[dni]

Vrednosti parametrov

Vnos pretoka:

Q _{uren} :	50	[m ³ /s]
h _{max tren} :	1.38	[m]
v _{max tren} :	1.12	[m/s]

t [%]	t [dni]	Q [m ³ /s]	H[m]-ARSO	v _{pov} [m/s]	v _{max}	h _{max}
100	365.00	3.74	0.77	0.18	0.25	0.70
99.5	363.18	4.68	0.82	0.20	0.28	0.75
99	361.35	5.42	0.85	0.21	0.29	0.78
97	354.05	7.00	0.90	0.25	0.35	0.83
94	343.10	8.47	0.94	0.27	0.38	0.87
90	328.50	9.76	0.97	0.30	0.42	0.90
85	310.25	11.18	1.00	0.32	0.45	0.93
80	292.00	12.62	1.03	0.35	0.49	0.96
70	255.50	15.71	1.08	0.40	0.56	1.01
60	219.00	19.07	1.13	0.45	0.63	1.06
50	182.50	23.10	1.19	0.50	0.70	1.12
40	146.00	28.10	1.25	0.56	0.78	1.18
30	109.50	35.90	1.32	0.65	0.91	1.26
20	73.00	48.93	1.43	0.79	1.10	1.37
15	54.75	60.00	1.52	0.88	1.23	1.46
10	36.50	77.18	1.65	1.01	1.41	1.59
6	21.90	106.00	1.84	1.19	1.66	1.78
3	10.95	154.00	2.12	1.43	2.00	2.06
1	3.65	240.94	2.55	1.76	2.46	2.49
0.5	1.83	326.24	2.92	2.02	2.82	2.87
0	0.01	1025.46	5.60	2.92	4.08	5.54

Možnost prehoda:

DA

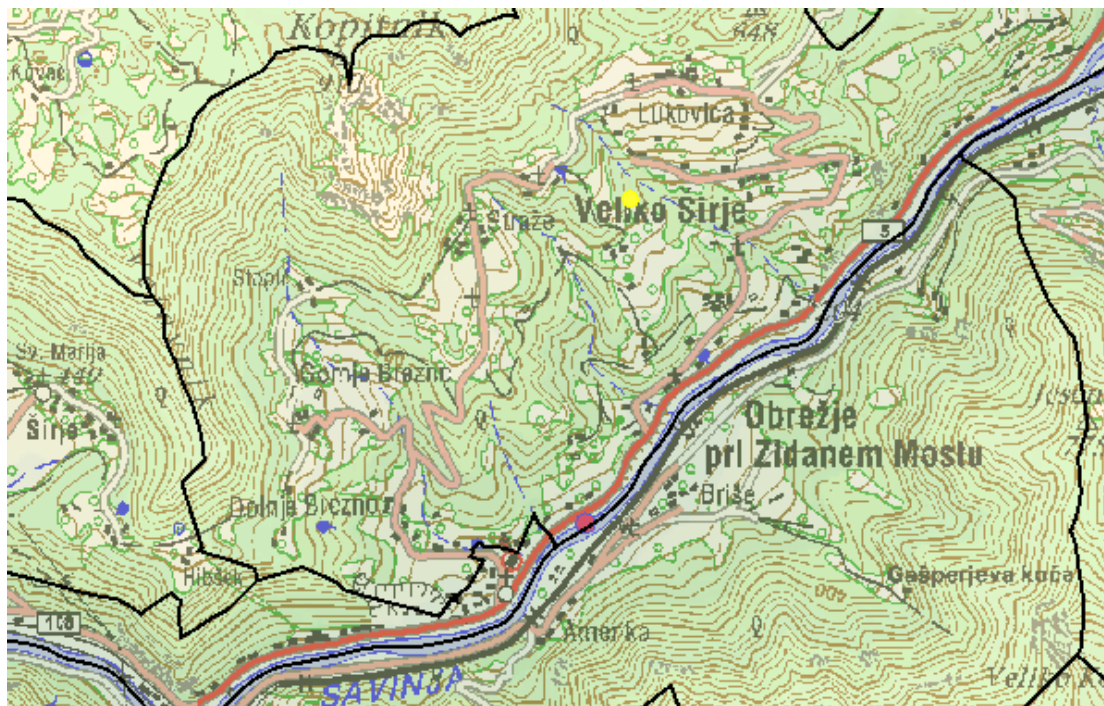
Skupina vozil	Prehodnost [dni na leto]
Vozila 1	0
Vozila 2	6
Vozila 3	102
Tanki z napravami za podvodni prehod	333
Tanki brez naprav za podvodni prehod	354
Splav 1	354
Splav 2	363

Slika 70: Primer izračuna za prehod skupine tanki brez naprav za podvodni prehod Savinja Laško

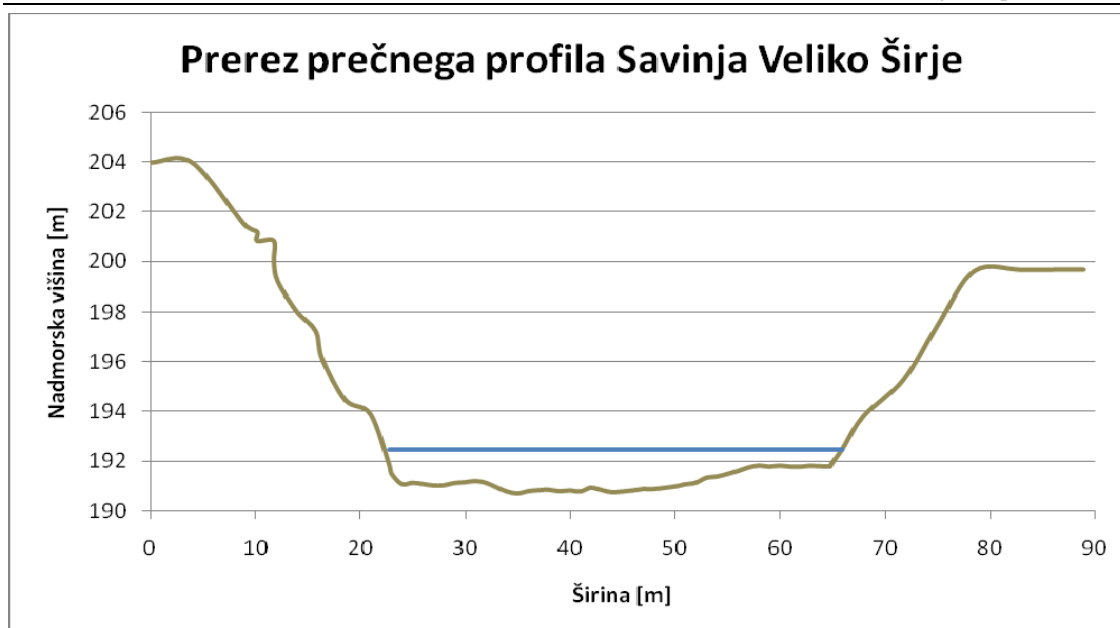
4.2.9 Savinja Veliko Širje

Opis merskega mesta

Merska postaja Savinja Veliko Širje se nahaja na reki Savinja v bližini zaselka Veliko Širje



Slika 71: Merska postaja Savinja Veliko Širje

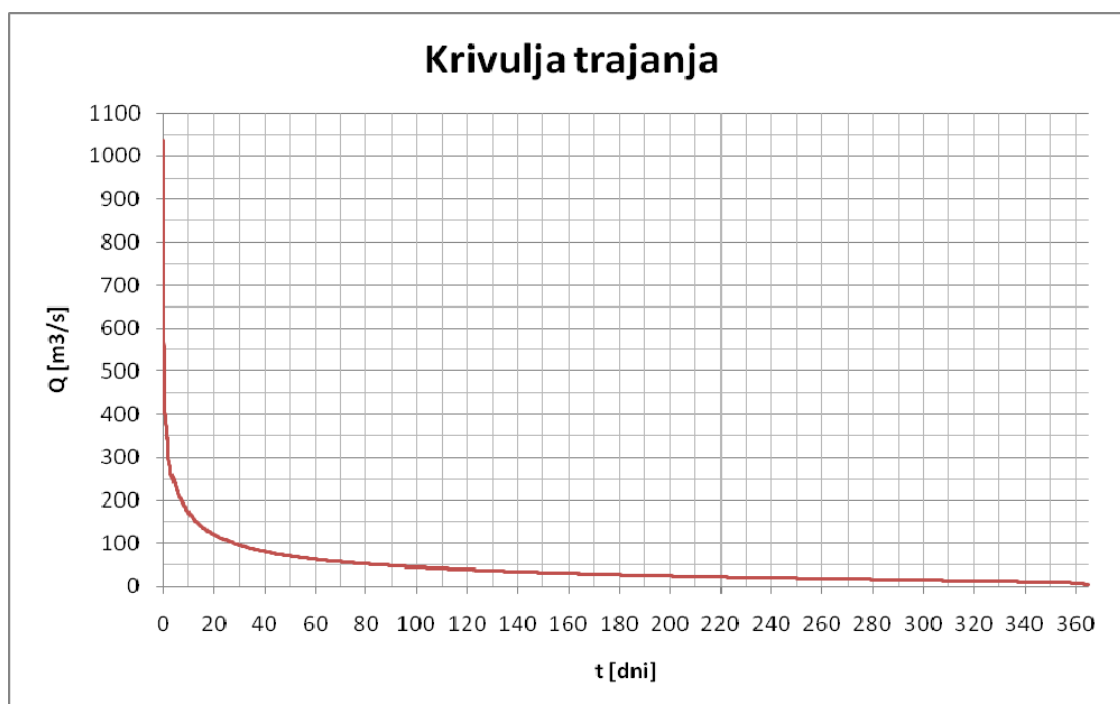


Slika 72: Prerez prečnega profila Savinja Veliko Širje

Pri srednjem pretoku $Q_{sr} = 41.77 \text{ m}^3/\text{s}$ znaša širina vodne gladine 44 m. Širina dna je okrog 39 m. Globina znaša 1.73 m.

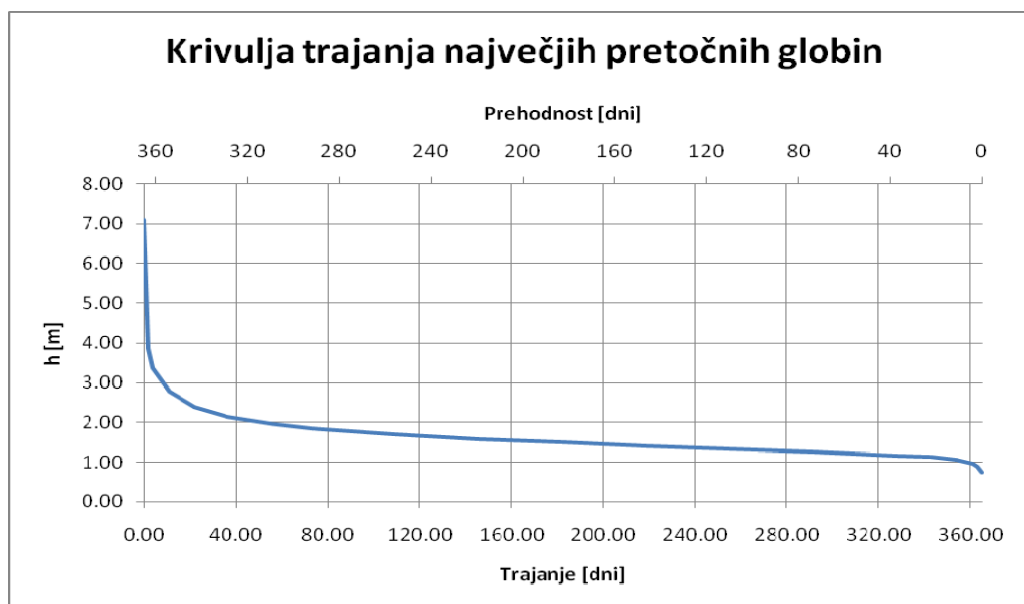
Približni nagib leve brežine znaša 40 %. Približni nagib desne brežine znaša 30 % .

Hidrološke in hidravlične značilnosti



Slika 73: Krivulja trajanja pretokov Savinja Veliko Širje

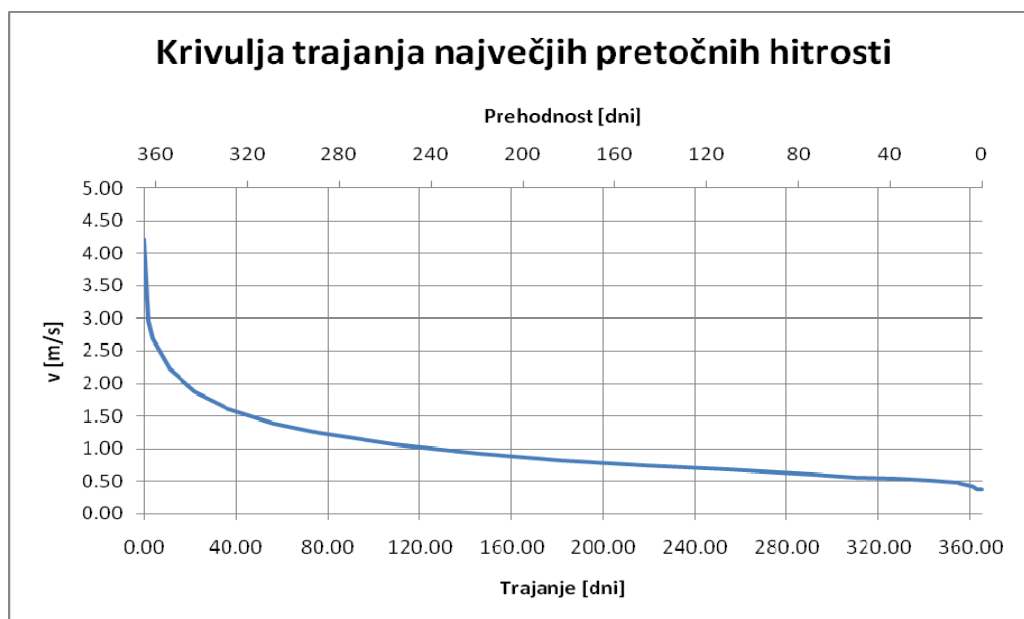
Srednji pretok znaša $41.77 \text{ m}^3/\text{s}$. Najvišji izmerjeni pretok znaša $1037.11 \text{ m}^3/\text{s}$. Najnižji izmerjeni pretok znaša $4.10 \text{ m}^3/\text{s}$. V 98 % časa se pretoki gibljejo med $6.86 \text{ m}^3/\text{s}$ in $252.68 \text{ m}^3/\text{s}$, v 80% časa pa med $11.37 \text{ m}^3/\text{s}$ in $84.14 \text{ m}^3/\text{s}$.



Slika 74: Krivulja trajanja največjih pretočnih globin Savinja Veliko Širje

Največja izmerjena pretočna globina je 7.09 m. Najmanjša največja izmerjena globina v prerezu je v obravnavanem času znašala 0.75 m. V 98 % časa se globine gibljejo med 0.98 m in 3.37 m, v 80% časa pa med 1.16 m in 2.14 m.

363 dni v letu je največja pretočna globina nižja od 5 m. 324 dni v letu je največja pretočna globina nižja od 2.1 m. 5 dni v letu je največja pretočna globina nižja od 1.0 m. 1 dni v letu je največja pretočna globina nižja od 0.8 m. Nič dni v letu je največja pretočna globina nižja od 0.6 m.



Slika 75: Krivulja trajanja največjih pretočnih hitrosti Savinja Veliko Širje

Največja pretočna hitrost znaša 4.20 m/s. Najnižja največja izmerjena hitrost je 0.37 m/s. V 98 % časa se hitrosti gibljejo med 0.41 m/s in 2.68 m/s, v 80% časa pa med 0.53 m/s in 1.60 m/s.

319 dni na leto so največje pretočne hitrosti nižje od 1.5 m/s. 347 dni na leto so pretočne hitrosti nižje od 2 m/s. 363 dni na leto so pretočne hitrosti nižje od 3 m/s.

Možnosti za prehod

Verjetnost prehodnosti

Omejitve prehoda:

Globina: [m]
 Hitrost: [m/s]
 Q(merodajni) 79.80
 Prehodno: [dni]

Vrednosti parametrov

Vnos pretoka:

Q: [m³/s]
 h_{max}: [m]
 v_{max}: [m/s]

t [%]	t [dni]	Q [m ³ /s]	H[m]-ARSO	vpov[m/s]	vmax	hmax
100	365.00	4.10	1.40	0.34	0.46	0.65
99.5	363.18	5.44	1.65	0.27	0.37	0.90
99	361.35	6.86	1.74	0.30	0.41	0.98
97	354.05	9.01	1.83	0.35	0.48	1.08
94	343.10	10.27	1.88	0.37	0.50	1.13
90	328.50	11.37	1.92	0.39	0.53	1.16
85	310.25	13.13	1.97	0.41	0.56	1.22
80	292.00	14.84	2.02	0.44	0.60	1.27
70	255.50	18.08	2.09	0.49	0.67	1.34
60	219.00	21.74	2.17	0.54	0.73	1.42
50	182.50	26.30	2.25	0.60	0.82	1.50
40	146.00	32.40	2.34	0.68	0.92	1.59
30	109.50	40.70	2.45	0.78	1.06	1.70
20	73.00	54.51	2.60	0.92	1.25	1.86
15	54.75	65.70	2.71	1.03	1.40	1.97
10	36.50	84.14	2.88	1.18	1.60	2.14
6	21.90	113.22	3.12	1.37	1.86	2.38
3	10.95	164.00	3.51	1.64	2.23	2.77
1	3.65	252.68	4.11	1.97	2.68	3.37
0.5	1.83	333.27	4.59	2.18	2.96	3.85
0	0.01	1037.11	7.83	3.09	4.20	7.09

Možnost prehoda:

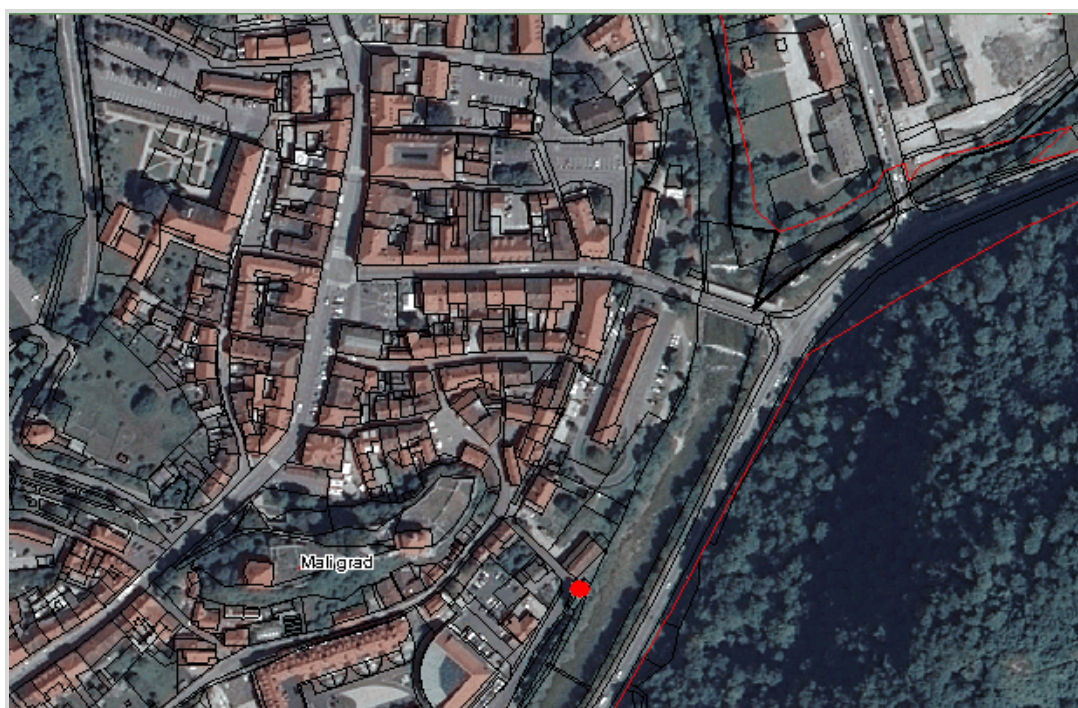
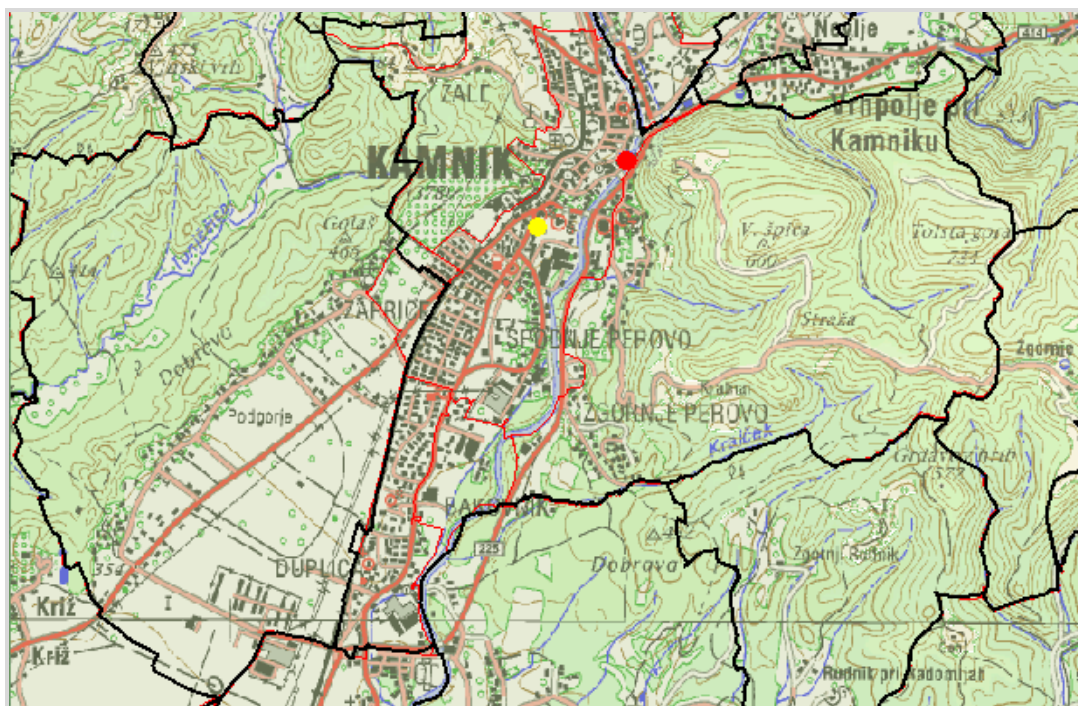
Skupina vozil	Prehodnost [dni na leto]
Vozila 1	0
Vozila 2	1
Vozila 3	5
Tanki z napravami za podvodni prehod	319
Tanki brez naprav za podvodni prehod	324
Splav 1	347
Splav 2	363

Slika 76: Primer izračuna za prehod skupine tanki brez naprav za podvodni prehod Savinja Veliko Širje

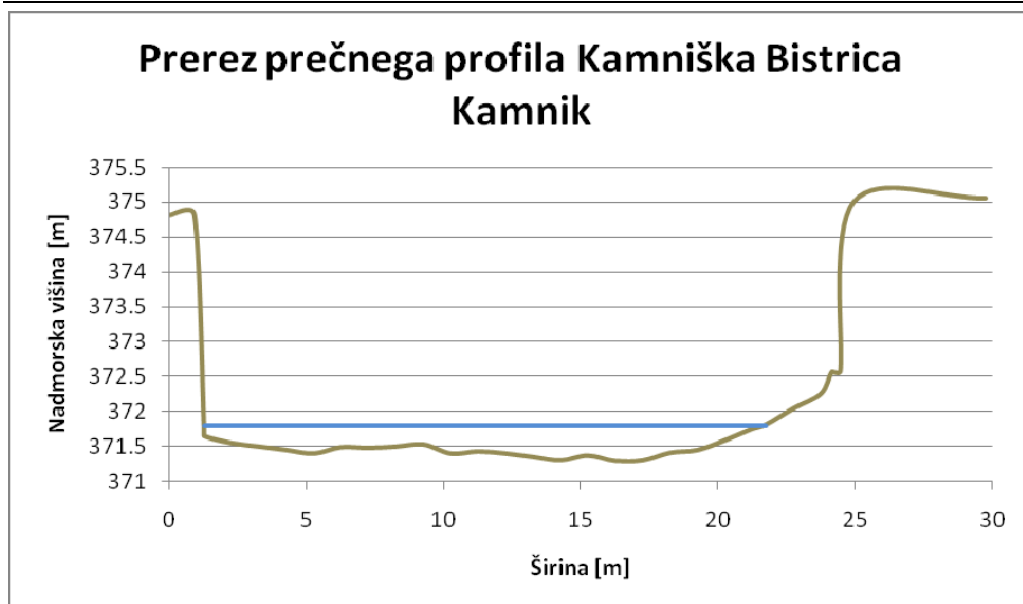
4.2.10 Kamniška Bistrica Kamnik

Opis merskega mesta

Merska postaja Kamniška Bistrica Kamnik se nahaja na reki Kamniška Bistrica, ki teče skozi mesto Kamnik



Slika 77: Merska postaja Kamniška Bistrica Kamnik

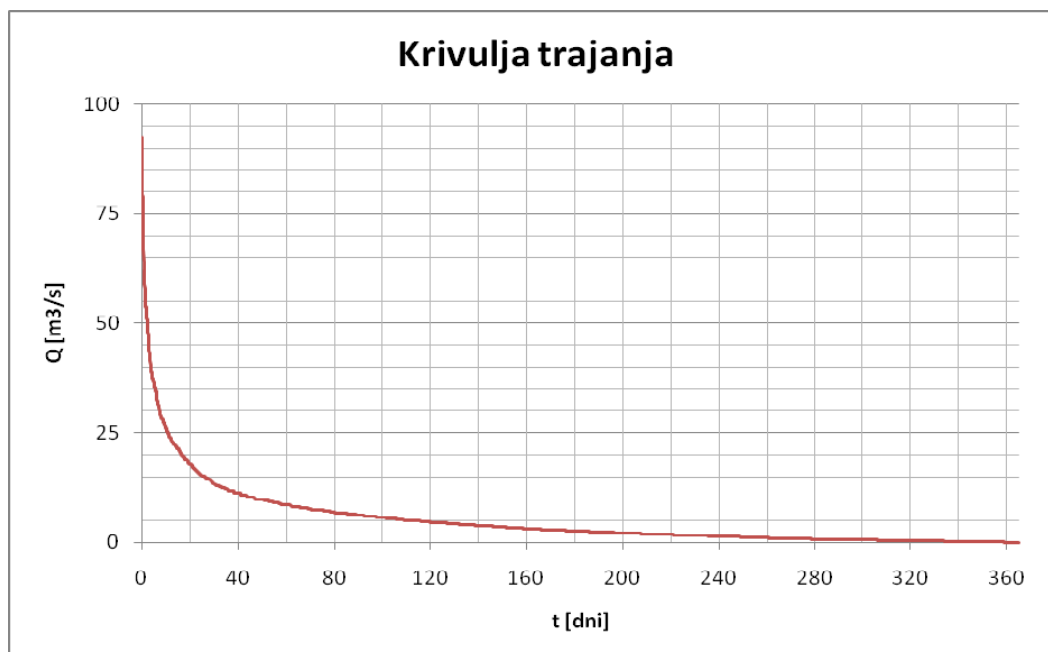


Slika 78: Prerez prečnega profila Kamniška Bistrica Kamnik

Pri srednjem pretoku $Q_{sr} = 5.21 \text{ m}^3/\text{s}$ znaša širina vodne gladine 20 m. Širina dna je okrog 18 m. Globina znaša 0.5 m.

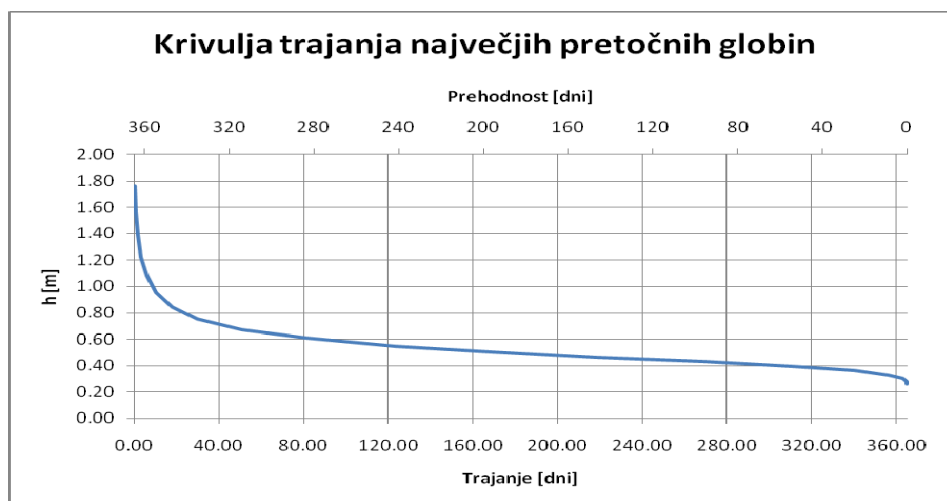
V profilu vodomerne postaje sta obe brežini izredno strmi in neprimerni za prehod vozil.

Hidrološke in hidravlične značilnosti



Slika 79: Krivulja trajanja pretokov Kamniška Bistrica Kamnik

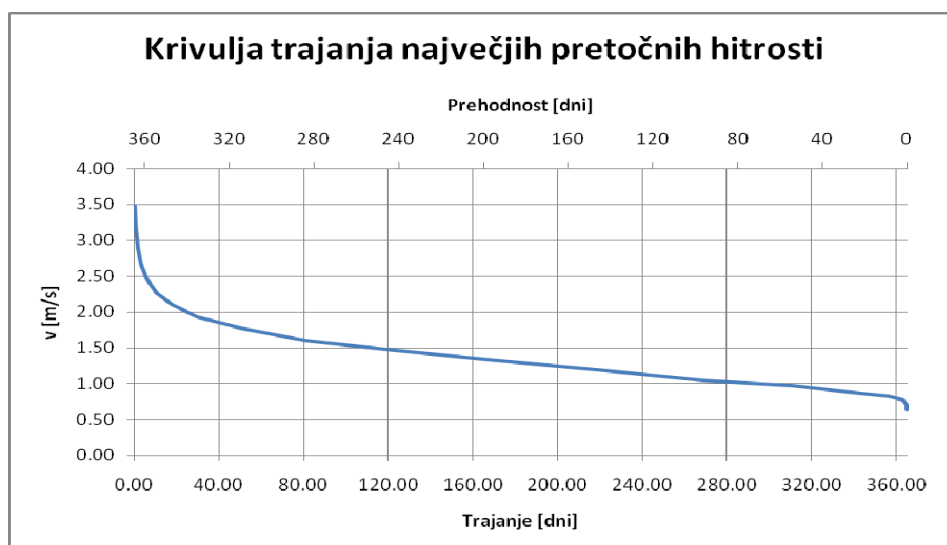
Srednji pretok znaša $5.21 \text{ m}^3/\text{s}$. Najvišji izmerjeni pretok znaša $74.29 \text{ m}^3/\text{s}$. Najnižji izmerjeni pretok znaša $0.94 \text{ m}^3/\text{s}$. V 98 % časa se pretoki gibljejo med $0.82 \text{ m}^3/\text{s}$ in $2.49 \text{ m}^3/\text{s}$, v 80% časa pa med $0.92 \text{ m}^3/\text{s}$ in $1.82 \text{ m}^3/\text{s}$.



Slika 80: Krivulja trajanja največjih pretočnih globin Kamniška Bistrica Kamnik

Največja izmerjena pretočna globina je 1.76 m. Najmanjša največja izmerjena globina v prerezu je v obravnavanem času znašala 0.26 m. V 98 % časa se globine gibljejo med 0.3 m in 1.10 m, v 80% časa pa med 0.38 m in 0.70 m.

Vse dni v letu je največja pretočna globina nižja od 5 m. Vse dni v letu je največja pretočna globina nižja od 2.1 m. 356 dni v letu je največja pretočna globina nižja od 1.0 m. 341 dni v letu je največja pretočna globina nižja od 0.8 m. 275 dni v letu je največja pretočna globina nižja od 0.6 m.



Slika 81: Krivulja trajanja največjih pretočnih hitrosti Kamniška Bistrica Kamnik

Največja pretočna hitrost znaša 3.47 m/s. Najnižja največja izmerjena hitrost je 0.64 m/s. V 98 % časa se hitrosti gibljejo med 0.81 m/s in 2.49 m/s, v 80% časa pa med 0.92 m/s in 1.82 m/s.

254 dni na leto so največje pretočne hitrosti nižje od 1.5 m/s. 340 dni na leto so pretočne hitrosti nižje od 2 m/s. 363 dni na leto so pretočne hitrosti nižje od 3 m/s.

Možnosti za prehod

Verjetnost prehodnosti

Omejitve prehoda:

Globina:	2.1	[m]
Hitrost:	2	[m/s]
Q(merodajni)	16.58	
Prehodno:	340	[dni]

Vrednosti parametrov

Vnos pretoka:

Q _{tren} :	50	[m ³ /s]
h _{max tren} :	1.43	[m]
v _{max tren} :	2.97	[m/s]

t [%]	t [dni]	Q [m ³ /s]	H[m]-ARSO	v _{poz} [m/s]	v _{max}	h _{max}
100	365.00	0.94	0.76	0.41	0.64	0.26
99.98	364.93	1.18	0.78	0.45	0.70	0.28
99.53	363.28	1.48	0.80	0.50	0.78	0.30
97.61	356.28	1.87	0.83	0.53	0.82	0.33
93.23	340.29	2.35	0.87	0.56	0.87	0.37
85.27	311.24	2.96	0.89	0.62	0.96	0.39
73.69	268.97	3.72	0.93	0.67	1.04	0.43
60.03	219.11	4.69	0.96	0.77	1.19	0.46
46.344	169.16	5.90	1.00	0.85	1.32	0.50
33.83	123.48	7.43	1.05	0.94	1.46	0.55
22.35	81.58	9.35	1.11	1.03	1.60	0.61
13.89	50.70	11.77	1.17	1.14	1.77	0.67
8.17	29.82	14.82	1.25	1.24	1.92	0.75
4.85	17.70	18.66	1.34	1.35	2.09	0.84
2.87	10.48	23.49	1.45	1.46	2.26	0.95
1.62	5.91	29.58	1.58	1.58	2.45	1.08
0.87	3.18	37.23	1.72	1.72	2.67	1.22
0.43	1.57	46.87	1.89	1.87	2.90	1.39
0.19	0.69	59.01	2.06	2.05	3.18	1.56
0.07	0.26	74.29	2.26	2.24	3.47	1.76

Možnost prehoda:

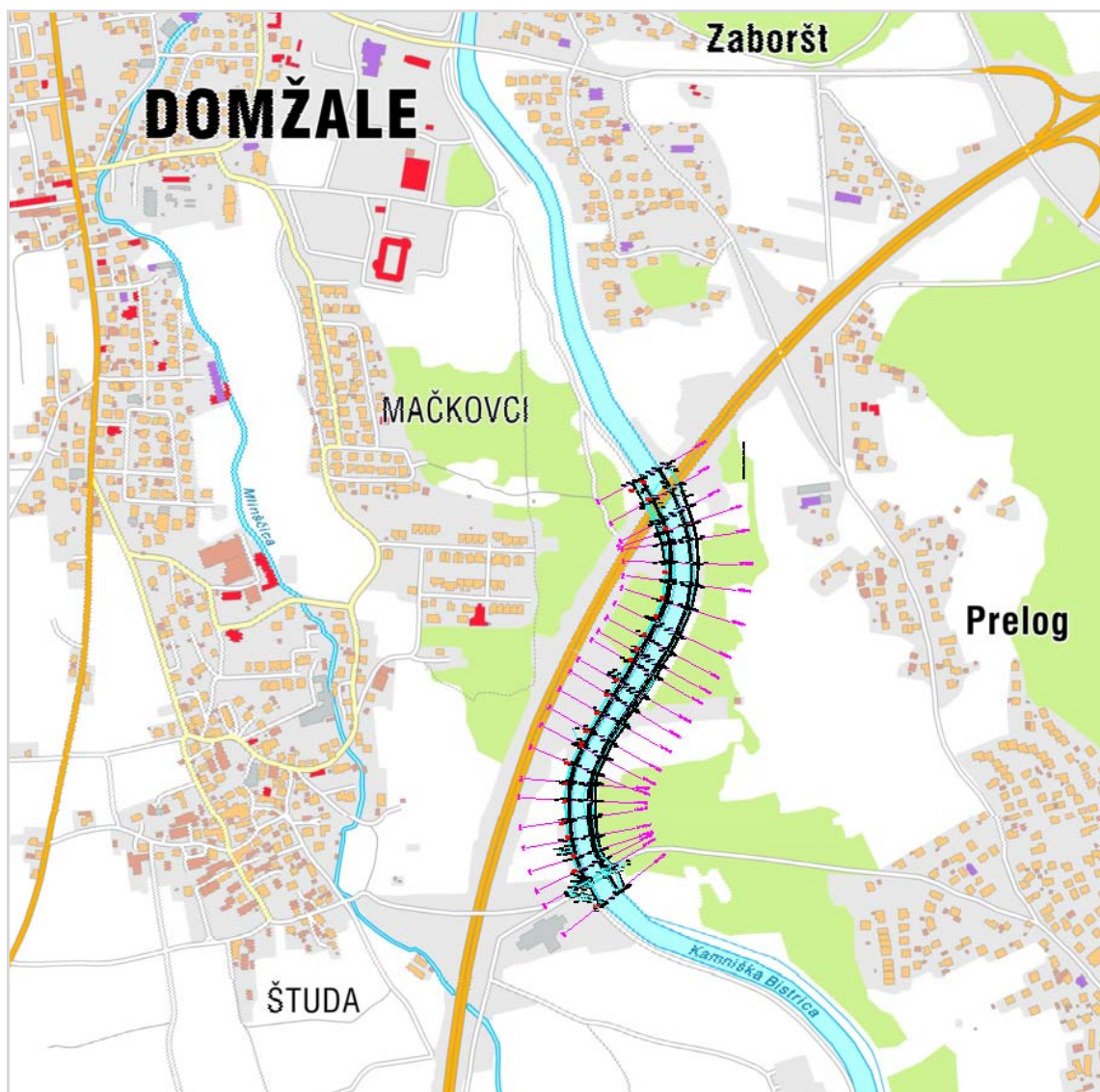
NE

Skupina vozil	Prehodnost [dni na leto]
Vozila 1	275
Vozila 2	340
Vozila 3	340
Tanki z napravami za podvodni prehod	354
Tanki brez naprav za podvodni prehod	340
Splav 1	340
Splav 2	363

Slika 82: Primer izračuna za prehod skupine tanki brez naprav za podvodni prehod Kamniška Bistrica Kamnik

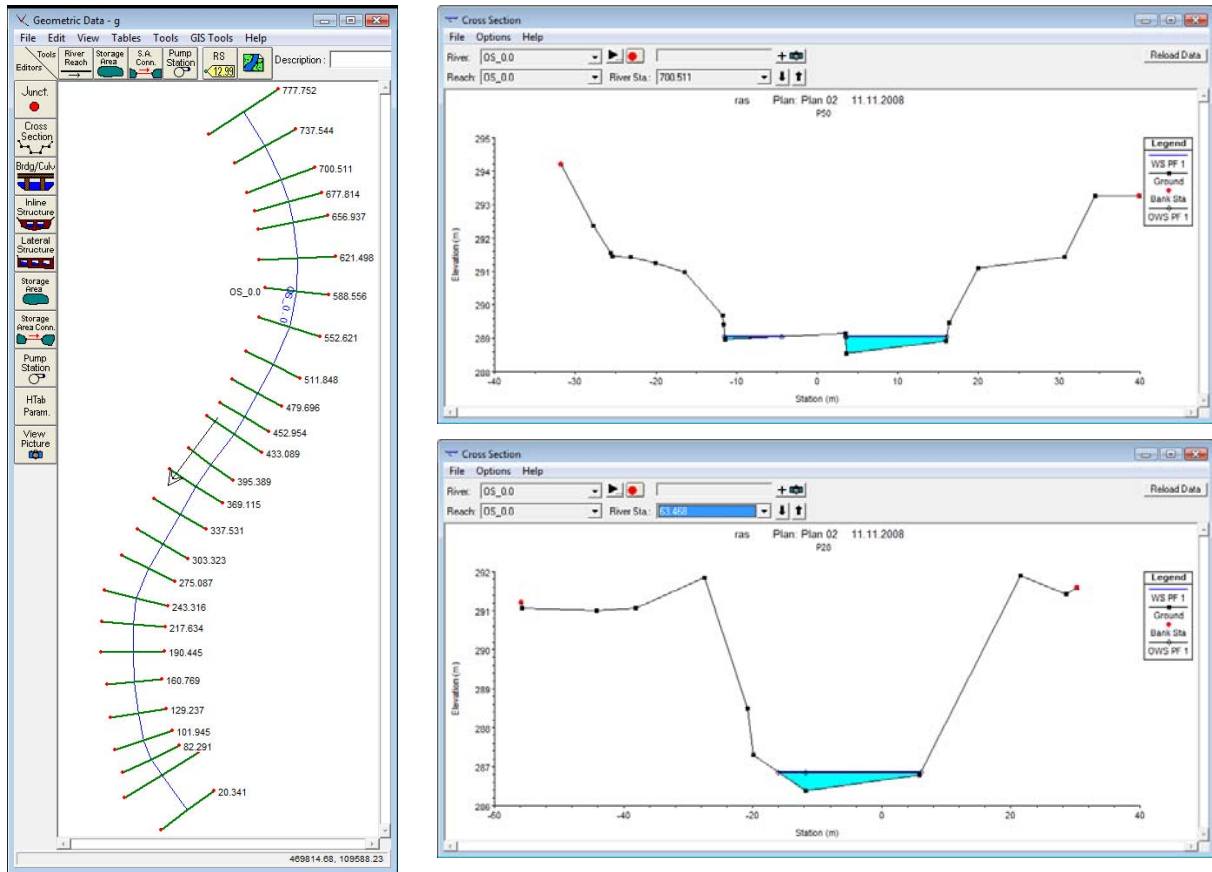
4.3 APLIKACIJA METODE NA IZBRANEM ODSEKU VODOTOKA

Metodo smo preverili na odseku realnega vodotoka, s čimer smo predstavili primer njene uporabnosti za določanje možnosti najugodnejšega prehoda vodotoka na določenem odseku. Za potrebe naloge smo izbrali odsek Kamniške Bistrice pod Domžalami, in sicer med avtocestnim mostom in mostom nad čistilno napravo Domžale. Odsek je kot testni primer zanimiv zato, ker je urejen s pragovi, tako da se zlasti pri nižjih vodostajih izmenjujejo območja s plitvim in hitrim tokom ter globokim in počasnejšim.



Slika 83: Izbrani odsek Kamniške Bistrice za aplikacijo metode za ocenjevanje prehodnosti

Odsek je dolg približno 800 m. Geometrija 26 prečnih profilov je bila določena z geodetsko izmero. Nato je bil postavljen hidravlični model v programu HEC-RAS. Ta je bil umerjen s pomočjo hidrometrične meritve in natančnega geodetskega posnetka gladine z GPS napravo Promark 3 RTK v dveh profilih.



Slika 84: Postavitev numeričnega modela v programu HEC-RAS (tloris, levo) in primerjava rezultatov z meritvami (desno)



Slika 85: Merjenje hitrostnega polja z napravo ADCP na Kamniški Bistrici

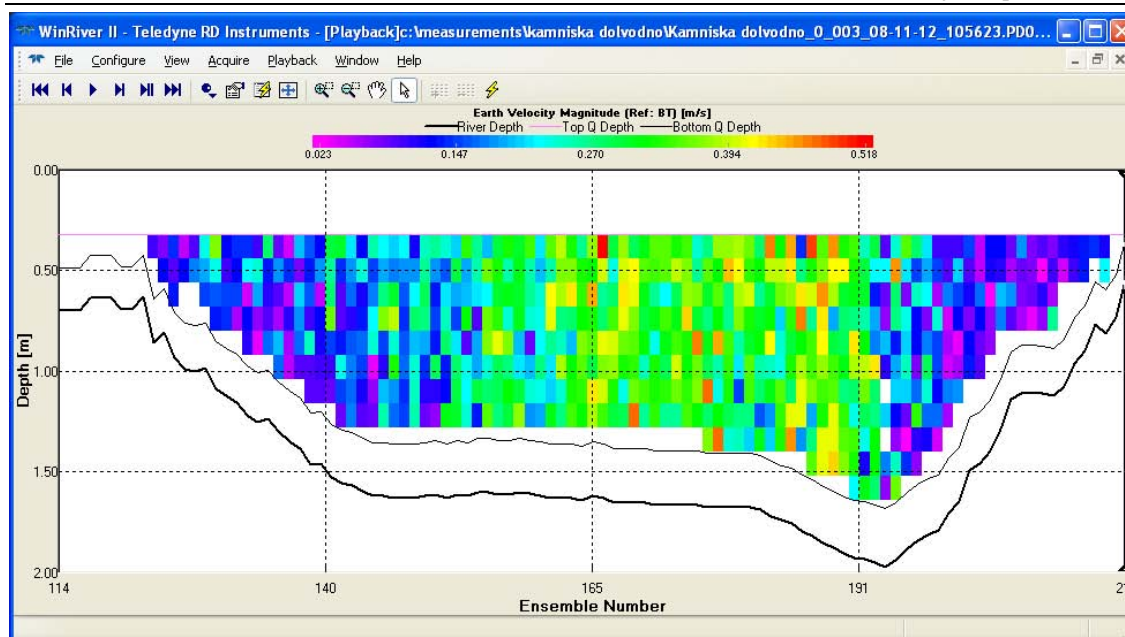
Omenjena meritev je bila opravljena dne 12. 11. 2008, izmerjen pretok pa je bil $3 \text{ m}^3/\text{s}$. Za hidrometrično meritev smo uporabili ultrazvočni Dopplerjev merilnik pretoka – ADCP – proizvajalca RD Instruments, nameščenega na posebnem čolničku – trimaranu. Proizvajalec ponuja različne načine merjenja («mode»). Glede na obliko dna, hitrost reke in druge hidravlične pogoje smo se odločili za mode 12, ki ima prednost predvsem v tem, da omogoča hitro vzorčenje in je primeren tudi za plitvejšše reke s počasnim tokom.

Po liniji prečnega prereza, dobljenega z geodetsko meritvijo, smo naredili vrvno premostitev in pod njo zapeljali čolniček z ultrazvočnim merilnikom prek reke. Po standardu (ISO/TS 24154:2005) je potrebno opraviti 4 takšne meritve (poleg prve preliminarne), nato se izračuna povprečno vrednost meritev in standardni odklon.

Ob relativno nizkem pretoku v času meritve se je izkazalo, da vrednotenje robnih pogojev pomembno vpliva na skupni pretok, zato je bilo nujno zelo natančno opraviti meritev na terenu.

Po opravljeni meritvi smo izmerjene podatke obdelali s pomočjo programa WinRiver proizvajalca ADCP merilnikov RD Instruments in izdelali izhodno datoteko, ki je bila ena od vhodnih podatkov pri umerjanju hidravličnega modela.

Rezultat ene od meritev je podan na spodnji sliki.



Slika 86: Hitrostno polje izmerjeno na Kamniški Bistrici z napravo ADCP

V okviru projekta smo sicer opravili številne meritve pretoka na različnih profilih izbranega odseka Kamniške Bistrice. Meritve so potekale skozi celo leto ob različnih vodostajih. Prav različni vodostaji so potrdili fleksibilnost merilne opreme RD Instruments (ADCP merilnik). Z izbiro ustreznega načina merjenja smo namreč lahko prišli do verodostojnih podatkov. Izmerjeni podatki so služili predvsem kontroli hidravličnega modela.

Sama izvedba merjenja je pogosto predstavljala poseben izziv. Za merjenje pretokov na prečnih presekih, kjer meritev z mostu ni bila možna, je bilo potrebno narediti premostitev s pomočjo vrvi. Slednjo smo prek reke napeljali s pomočjo loka in puščice.



Slika 87: Postavljanje premostitve preko Kamniške Bistrice

Omenjeni odsek smo poleg popisa z meritvami opredelili tudi hidrografsko. Odsek leži dolvodno od vodomerne postaje Kamnik. Pod vodomerno postajo je Kamniška Bistrica s kanalom povezana s Pšato. Tik nad avtocestnim mostom se v Kamniško Bistrico izliva vodotok Rača. Med vodomerno postajo in obravnavanim odsekom so tudi mlinščice oziroma

odvzemi vode. Velikost prispevne površine Kamniške Bistrice nad sotočjem z Račo je 211 km², prispevna površina Rače pa znaša 164 km² (Vir: Eionet-SI: Evropsko okoljsko in informacijsko opazovalno omrežje, <http://nfp-si.eionet.europa.eu/Dokumenti/GIS/splosno/vode>). Naravne značilnosti obeh povodij, zlasti topografija, pa so precej drugačne, zato je drugačen tudi koeficient odtoka. Da bi čim boljše ocenili razmerje pretokov na vodomerni postaji Kamnik in na obravnavanem odseku, smo opravili več meritev pretoka na odseku. Primerjava je podana v spodnji preglednici.

Preglednica 9: Primerjava izmerjenega pretoka na Kamniški Bistrici na vodomerni postaji ARSO in na izbranem odseku z napravo ADCP

Datum	VP Kamnik	Obravnavani odsek
13. 8. 2008	4.1 m ³ /s	4.0 m ³ /s
16. 10. 2008	2.9 m ³ /s	3.0 m ³ /s
12. 11. 2008	4.7 m ³ /s	6.4 m ³ /s

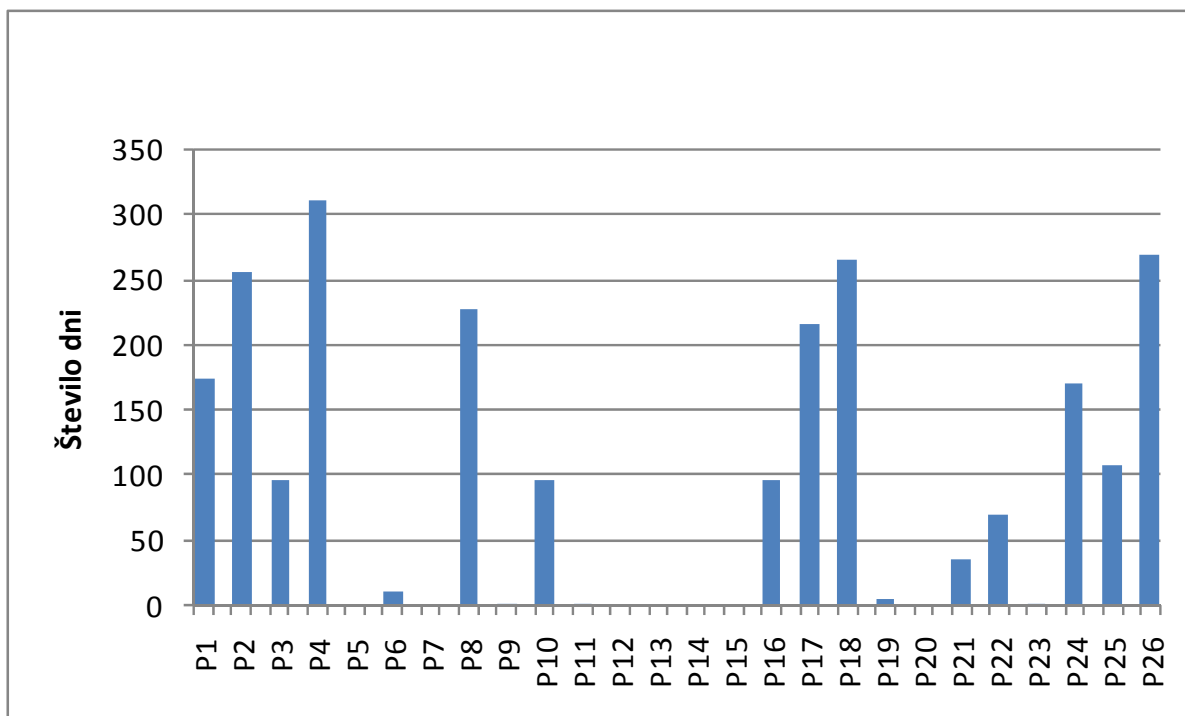
Vir: lastni vir podatkov, MOP ARSO

Kot je razvidno iz preglednice, se razmerje pretokov zlasti pri majhnih pretokih spreminja. Pri meritvi dne 12. 11. 2008 je bil izmerjen tudi pretok Kamniške Bistrice nad sotočjem z Račo (2.7 m³/s) in pretok Rače (3.7 m³/s). Tak rezultat je deloma posledica prej omenjenih odvzemov, od katerih je eden speljan v Račo. Zaradi teh dejstev bi za ugotovitev dejanskega trajanja pretokov potrebovali poglobljeno hidrološko študijo, kar pa ni predmet te raziskave. Glede na rezultate meritev in prispevne površine za potrebe testiranja aplikacije privzemamo, da je razmerje med pretokom na obravnavanem odseku in na vodomerni postaji približno enako 1.5.

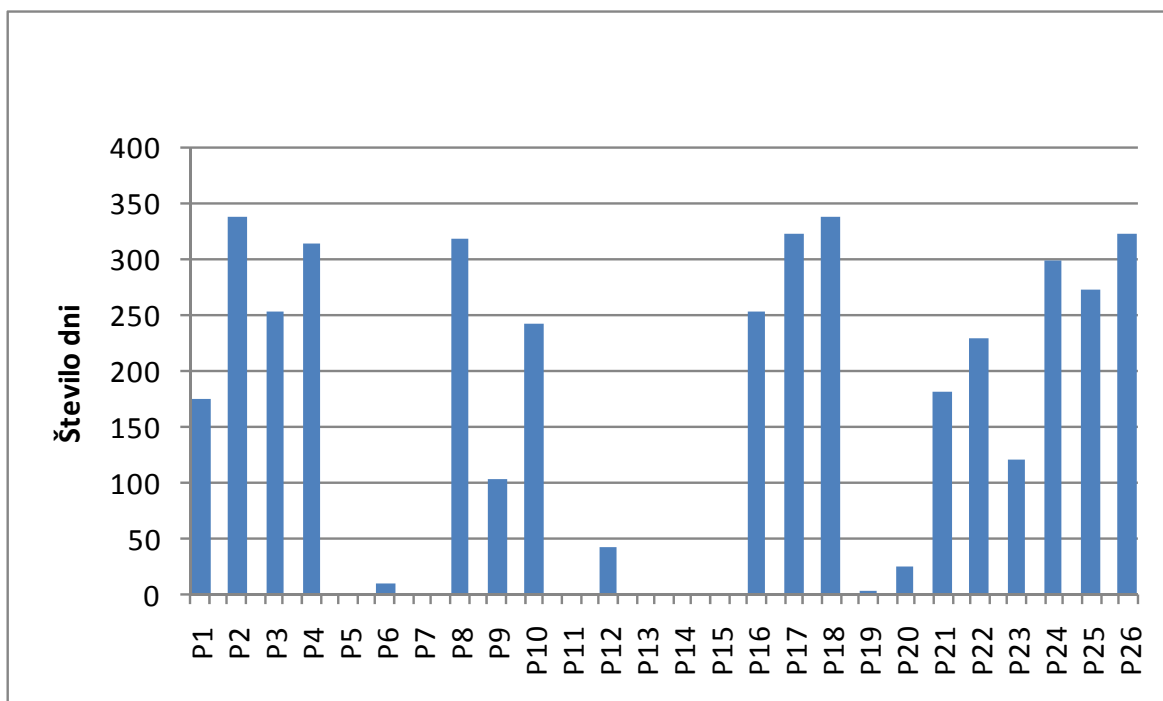
Nagibi brežin na omenjenem odseku se gibljejo med 15% in skoraj 90%, pri čemer je s tega vidika ugodnejši zgornji del obravnavanega odseka, t.j. nagibi brežin so tam manjši. Obrežje je večinoma zaraščeno.

Zaradi majhne širine odsek ni zanimiv za prehod s splavi. Prehodnost za ostale vrste prehodov z vidika hidravličnih parametrov je podana v naslednjih točkah.

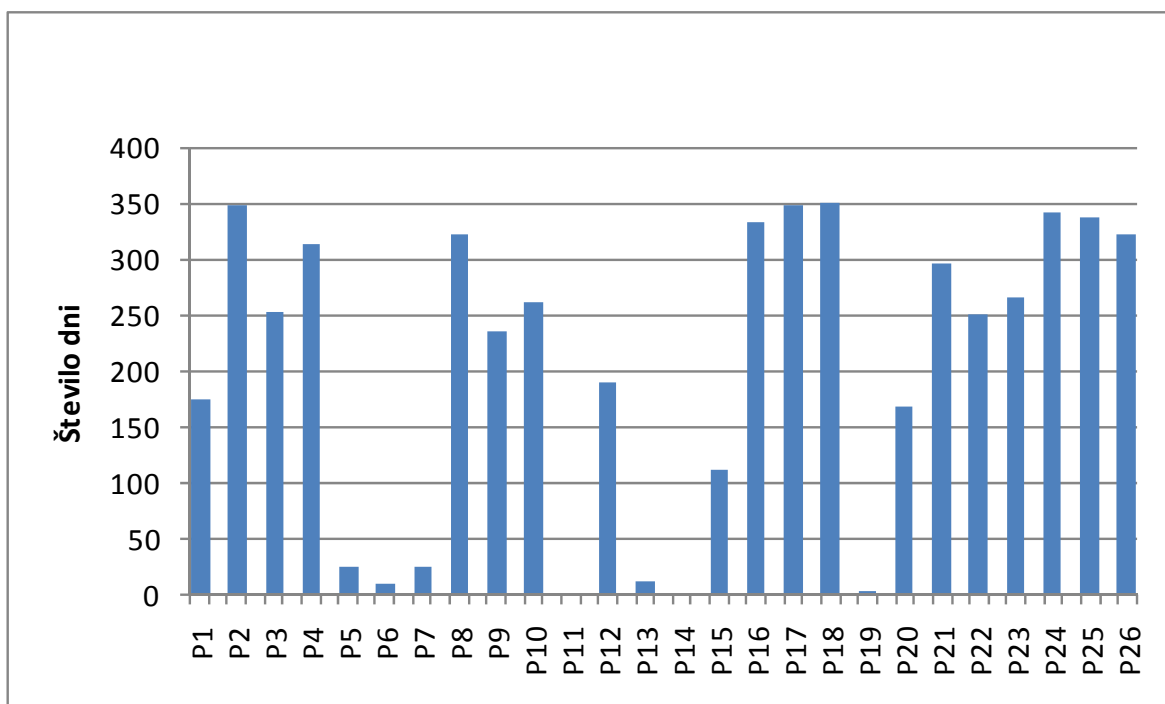
4.3.1 Prehodnost odseka Kamniške Bistrice za različne tipe vozil



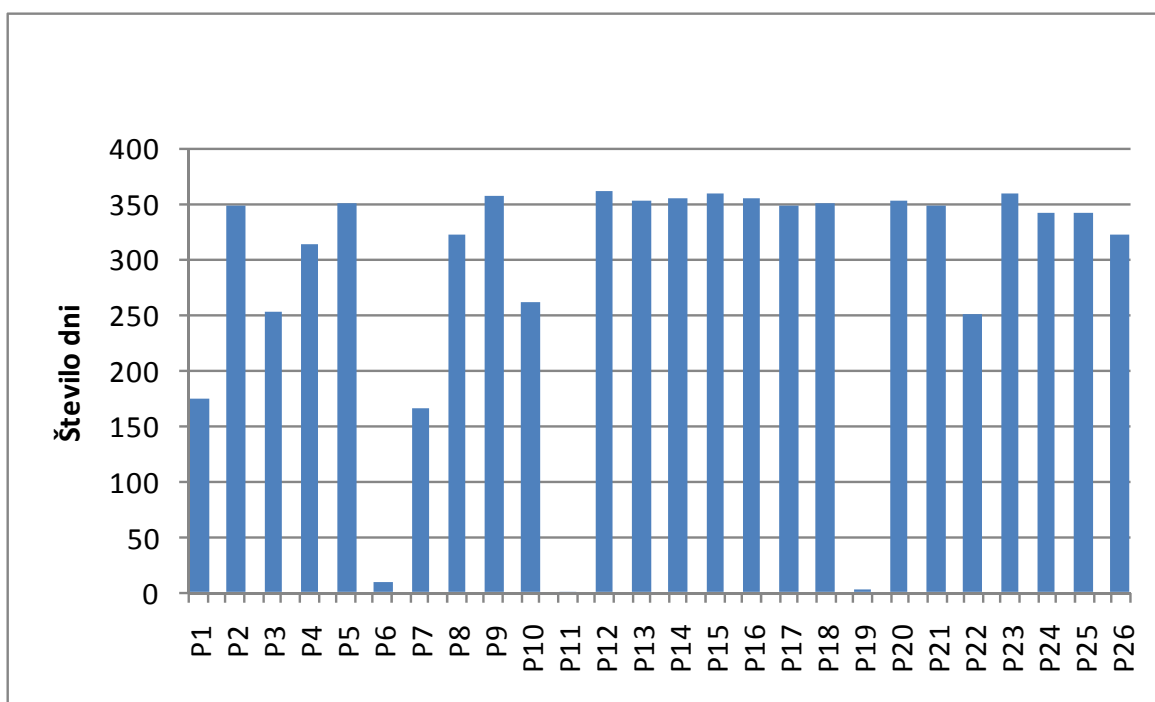
Slika 88: Prehodnost Kamniške Bistrice na izbranem odseku za skupino Vozila 1



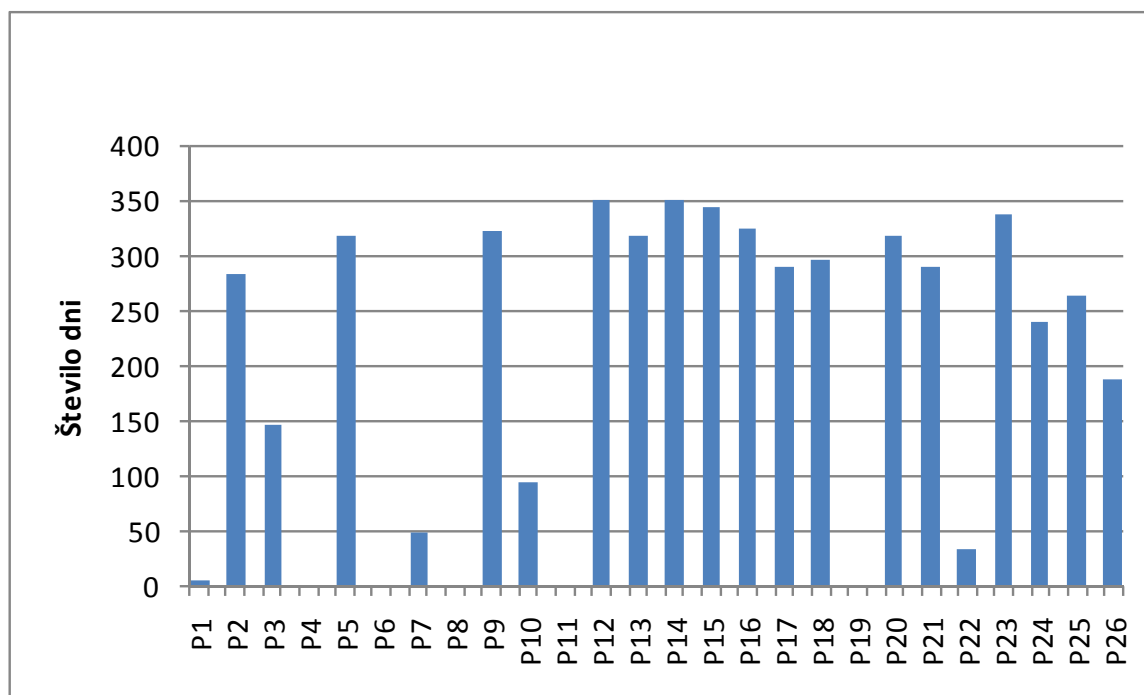
Slika 89: Prehodnost Kamniške Bistrice na izbranem odseku za skupino Vozila 2



Slika 90: Prehodnost Kamniške Bistrice na izbranem odseku za skupino Vozila 3



Slika 91: Prehodnost Kamniške Bistrice na izbranem odseku za skupino Tanki brez naprav za podvodni prehod



Slika 92: Prehodnost Kamniške Bistrice na izbranem odseku za skupino Tanki z napravami za podvodni prehod

Pri računu prehodnosti smo se strogo držali kriterijev o prehodnosti za tanke z oziroma brez naprav za podvodni prehod. Iz primerjave med obema grafoma bi lahko sklepali, da tanki brez naprav za podvodni prehod lažje prehajajo analizirani odsek kot tanki z napravami. To je posledica tega, da je pri tankih z napravami za podvodni prehod predpisana manjša največja dovoljena hitrost vodnega toka. Ta pa velja le pri podvodnem brodenju, ker je tedaj tank v celoti potopljen in nanj deluje večja vzgonska sila kot pri plitvem in globokem brodenju. Zato sta normalna in trenjska sila manjši in se odnašanje vozila pojavi že pri nižjih hitrostih vodnega toka. Dejansko pa pri enaki potopljenosti ni razlike v največji dovoljeni hitrosti vodnega toka. Pri plitvem in globokem brodenju je največja dovoljena hitrost vodnega toka v resnici enaka, v tem primeru torej veljajo za obe vrsti tankov enaki pogoji in je tudi prehodnost enaka, to je taka, kot je prikazano na grafu za tanke brez naprav za podvodni prehod.

4.4 PREDSTAVITEV METODE IN NJENE UPORABE INŽENIRSKI ENOTI

Rezultate delovnega sklopa Zajem in priprava podatkov za prehodnost vodotokov smo 17. novembra 2008 predstavili inženirski enoti v Vojašnici v Novem mestu. Delavnica je bila sestavljena iz treh sklopov: Kriteriji za prehajanje vodotokov, Osnove hidrotehnike in Metoda za ocenjevanje prehodnosti vodotokov. Z omenjeno enoto smo sicer imeli tekom projekta stalno sodelovanje (trije obiski s predstavitevjo delnih in končnih rezultatov).

5 IZDELAVA PREDLOGA ZA NAKUP SETA ZA IZVIDOVANJE (TERENSKA MERILNA OPREMA) ZA PREHAJANJE NOTRANJIH CELINSKIH VODA

5.1 PREGLED OPREME ZA IZVIDOVANJE ZA POTREBE PREHODA NOTRANJIH CELINSKIH VODA

5.1.1 Izhodišča

Prehajanje rek predstavlja vojaškimi enotami izziv, ker zahteva posebne postopke in opremo ter veliko natančnejše načrtovanje kot pri običajni operaciji. Izbira mesta prehoda je v veliki meri odvisna od geografskih značilnosti rečnih bregov. Poveljnik lahko z ažurnimi podatki o vodotoku (iz katastra vodotokov in s konkretnimi meritvami na terenu) poveča hitrost prehoda preko reke s hitrejšo in natančnejšo izbiro lokacije prehoda.

Inženirske enote v Slovenski vojski še niso opremljene z opremo za izvidovanje za ugotavljanje prehodnosti rek. Opredelili smo potrebe SV glede opreme za izvidovanje za prehajanje vodotokov in sicer:

- a) Merilna oprema naj bo enostavno prenosljiva (1 pripadnik)
- b) Merilna oprema naj bo nameščena na robu čolna in naj omogoča:
 - določitev hitrosti reke in njene globine,
 - določitev oblike dna na 5cm natančno v širini 5m,
 - določitev trdnosti tal.
- c) Programska oprema naj bo uporabniku prijazna, hitro operativna in enostavna za uporabo.

Proučili smo kriterije, pomembne za oceno prehodnosti notranjih celinskih voda. Informacije smo črpali preko svetovnega spleta, žal pa dostopa do NATO literature nismo uspeli pridobiti. Nekateri rezultati, ki jih podajamo v nadaljevanju, predstavljajo izhodišča za izdelavo predloga za nakup seta za izvidovanje.

Kriteriji, ki jih je potrebno upoštevati ob oceni prehodnosti vodotokov, so:

- lokacija in stanje obstajajočih področij prečkanja (obstojećih mostov),
- širina, globina in hitrost reke,
- stanje in profil rečnega dna,
- višina, naklon in stabilnost obrežja,
- stanje cestnih omrežij na obeh straneh reke,
- prevoznost poplavnih območij.

Analiza vodotoka naj vključuje:

- merjenje hitrosti toka,

- zabeleženje strmosti naklonov,
- merjenje širine reke,
- računanje moči toka.

Reke so običajno linearne in obširne, oblikujejo unikatne ovire in se jim običajno ne moremo izogniti. Formacija ne more premostiti reke kjerkoli kot lahko to stori pri večini ostalih ovir. Področij za prečkanje je običajno zelo malo in so enako očitna tako za napadalce kot za branilce. Reka nudi odlično možnost opazovanja in veliko vidno polje ognja za napadalce in branilce. Prav tako razkrije vojsko na reki in jo naredi ranljivo med vstopom v reko in izhodom iz nje. Zato je ocena prehodnosti vodnih ovir zelo pomembna.

Hitrost toka reke je velik omejitveni faktor. Vsem plovilom vsili omejitve: gumenjakom, plavajočim oklepnim vozilom, splavom in mostovom. Hitrost toka določa količino osebja in opreme, ki jo lahko vsaka vrsta plovil prenese, oziroma, če plovilo sploh lahko prečka reko. S tem razlogom morajo poveljniki bodisi izbrati izhodišče prečkanja višje proti toku za doseg želenega cilja ali si vzeti dodaten čas za upiranje toku. Visoke hitrosti tokov otežijo upravljanje težkega splava, zato pristajanja zahtevajo izkušenega voznika, poveljnika in več časa. Tok povzroča pritisk vode zoper plavajoče mostove. V tem primeru uporabimo čolne oz. sidriščne sisteme za vzdrževanje mostu. Močnejši kot je tok, močnejši sidriščni sistem moramo uporabiti. Hitrost toka merimo zelo enostavno (na primer s časovnim merjenjem plavajoče palčke), vendar pa hitrost ni konstantna čez celotno širino reke. Običajno je hitrejša v središču in počasnejša ob bregovih. Prav tako je hitrejša na zunanji strani zavoja kot na notranji. Pri planiranju naj bi bil uporabljen faktor 1.5 krat merjena hitrost.

V splošnem naj bodo tokovi počasnejši od 1,5 metrov na sekundo. Zaželeni so ozki deli reke, saj zmanjšajo čas prečkanja in s tem čas izpostavljenosti. Vsaka od teh prednosti pa je lahko ničelna, če se na tem področju močno poveča hitrost toka reke. Z večanjem hitrosti toka reke se zniža trdnost mostu. V tem primeru potrebujemo več čolnov, da držijo mostove na mestu in dovoljujejo prečkanje težkih vozil.

Globina vode vpliva na vse stopnje rečnega prehoda. Reko je možno prečkati, če je voda plitka in **dno dovolj trdno**. Plitka voda pa povzroča težave za plovila, saj lahko plovilo nasede. Globina vode ni konstantna prek reke. Običajno je globlja v središču in v hitrih predelih. **Širina reke** pa je pomembna informacija za graditev mostov (posebno, ko ugotavljamo koliko opreme je potrebno) in za uporabo splavov (razdalja določa čas, ki ga splav potrebuje za prečkanje).

Breg je lahko strm in grob za pehoto in uporabo jurišnih čolnov, vozila pa zahtevajo strmine z naklonom manjšim od 33% in trdna tla. Nekatera vozila lahko prevozijo do 1 meter visoke navpične bregove, vendar na izhodni strani zahtevajo breg z naklonom. Navpične bregove velikosti okoli enega metra lahko premagamo s postavljenjo rampe oz. klančino. Pri nekaterih mostovih (M4T6 in Class 60), lahko višino nastavljamo, omejitveni faktor pa je njegov naklon.

Glede na vozilo, ki ga uporabimo, upoštevamo naslednje lastnosti poti in pristopov:

- vozila na kolesih v splošnem zahtevajo 3,5 metrov široko pot s 3,5 metrov prostora v višino. Ta vozila zahtevajo suho obrežje z največ 25-33% naklonom
- vozila z gosenicami zahtevajo do 4 metrov širine in 3.5 metrov prostora v višino. Ta vozila lahko vozijo po suhem in trdem bregu z največ 50-60% naklonom

Valovanje je gibanje reke, ki se ustvari blizu ustja rek in še na nekaterih predelih. Ustvari se zaradi plimskega delovanja, vetrov in tokov reke. Valovi resno vplivajo na plavajoča oklepna vozila in so manj pomembni za jurišne čolne, težke splave in mostove. Pomemben vir informacij o valovanjih so limnigrafski podatki in informacije lokalnih prebivalcev, saj direktno opazovanje nima velike uporabnosti, ker se valovanje spreminja s plimovanjem in vremenskimi pogoji.

Plimovanje lahko povzroča tudi velike probleme. Globina in tok vode se spreminjata s plimo in ne dovoljujeta operacij ob vsakem času. Spremembe plime niso enake vsak dan, saj so odvisne od lunine in sončne pozicije ter od hitrosti toka reke. Pomemben dejavnik plime v nekaterih ustjih reke je tudi plimska vrtnina. To je nevaren val, ki potuje proti toku, kjer se plimovanje začne. Ta obraten tok vode lahko zahteva zasidranost plavajočih mostov na obeh straneh.

Reke so lahko izpostavljene nenadnim poplavam zaradi močnih deževij ali taljenja ledu. Poplave lahko povzročijo prelive bregov, hitrejša tokova, globljo vodo in veliko plavajočih nanosov. Če so jezovi v sovražnikovi posesti, lahko le ta prav tako povzroča stanja poplav.

Pomembno je proučiti tudi **podvodne ovire**. Dno reke naj bo prosto ovir in trdno. Lahko ga izboljšamo z zasutjem s kamnom in podobno. Mostovi, ki so postavljeni dalj časa (4 ure in več) ali v rekah z močnimi tokovi, zahtevajo ustrezno dno reke za zasidranje. Ekipa potapljačev naj:

- izvede izvidništvo rečnega dna
- poskrbi, da v reki ni raznih ovir, min in protipotapljaških mrež

5.1.2 Hitra ocena nekaterih parametrov pomembnih za prehajanje vodotokov na terenu

Hitrost toka

Hitri marš s 120 koraki na minuto in približno 76 centimetrskim korakom je enak hitrosti 1,5 m/s (oz. 5,5 km/h). Dovolj natančno lahko ocenimo hitrost tudi z merjenjem časa, ki ga plavajoči objekt prepotuje na določeni razdalji. Če delimo razdaljo s časom, dobimo hitrost toka reke.

Širina vodotoka

Sredstvo za merjenje širine reke je lahko kompas. Ko stojimo tik ob reki, se obrnemo proti točki na nasprotni strani reke in odčitamo vrednost, ki jo kaže kompas. Nato se premikamo proti ali v smeri toka dokler kompas ne pokaže vrednosti 45° manj oz. 45° več. Razdalja, ki jo prehodimo, je enaka širini reke.

Naklon brežin

Metoda vključuje višino oči (običajno med 150 in 175cm) in dolžino povprečnega koraka (75cm). Človek naj stoji na dnu klanca in izbere točko na klancu v višini njegovih oči. Nato naj prehozi razdaljo do te točke in tako dobimo dovolj podatkov za izračun naklona

5.1.3 Standardne metode za merjenje hitrosti toka

Najbolj razširjeno merjenje pretoka je s hidrometričnim krilom. Merilnik namestimo na zanj posebej pripravljen drog s centimetrskimi oznakami in štejemo število obratov krila v določeni časovni enoti, npr. v eni minuti. Nato na podlagi kalibracijske preglednice, ki velja samo za tisto hidrometrično krilo, izračunamo hitrost vodnega toka. Po nizu meritev v prečnem preseku lahko izračunamo tudi pretok.



Slika 93: Hidrometrično krilo za merjenje hitrosti toka vode

Klasično metodo s hidrometričnim krilom nadomeščajo sodobne metode opisane v nadaljevanju.

5.1.4 Naprednejše metode za merjenje hitrosti vodnega toka – naprave ADCP

Že konec prejšnjega tisočletja se je tehnologija ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) tako razvila, da je dajala verodostojne podatke za merjenje hitrosti vodnega toka. Izkušnje, ki so jih razvojna podjetja imela v oceanografiji, so v veliki meri uspela ustrezno uporabiti tudi na celinskih sladkih vodah.

ADCP merilnik meri hitrost vodnega toka s pomočjo Dopplerjevega efekta. Relativno gibanje zvoka glede na sprejemnik povzroči zamik frekvence; frekvenci med oddajnikom in sprejemnikom sta torej različni. Dogajanje lahko predstavimo v naslednji enačbi:

$$F_{\text{Doppler}} = -2 \cdot F_{\text{oddajna}} \left(\frac{v}{c} \right)$$

kjer je

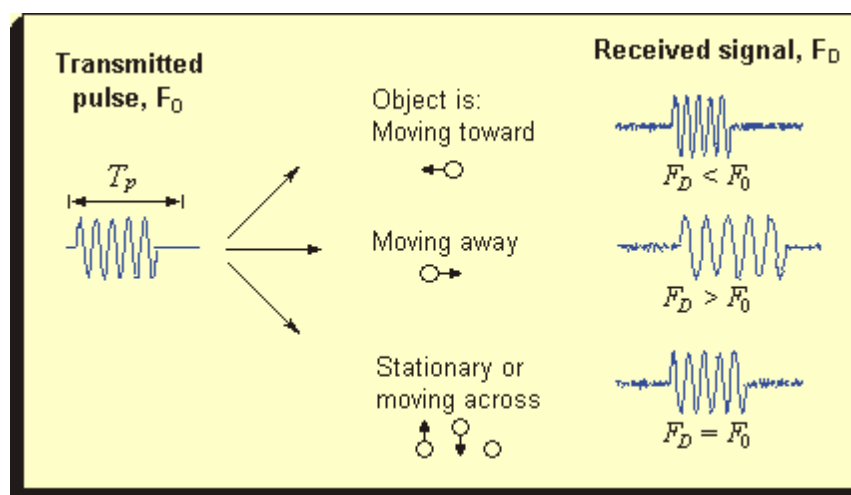
v – relativna hitrost med medijem in sprejemnikom

c – hitrost zvoka

F_{Doppler} – sprememba frekvence na sprejemniku

F_{oddajna} – frekvenca oddanega zvoka

Na spodnji sliki je prikazano delovanje samostojnega Dopplerjevega merilnika hitrosti toka.



Slika 94: Dopplerjev pojav

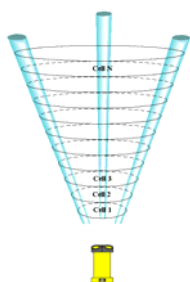
Naprave so običajno skonstruirane tako, da oddajajo zvočne impulze, katerih energija je čim bolj skoncentrirana (širina je le nekaj stopinj). Vsak oddajnik generira impulz znane frekvence. Ko zvočni impulz potuje skozi vodo, se zvok odbija od delčkov, ki so v njej (npr. biološki ostanki, mehurčki, sedimenti...). Zvočno valovanje, odbito od teh delcev, potuje tudi

nazaj mimo oddajnika, ki se v tem hipu obnaša kot sprejemnik. Elektronika, vgrajena v merilnik, izračuna razliko frekvenc. Dopplerjev premik, izmerjen s enim sprejemnikom, predstavlja hitrost vodnega toka v osi poslanega zvočnega impulza.

Iz slike je tudi razvidno, da frekvenca odbitega zvoka naraste, če se razdalja med oddajnikom in delčkom, ki zvok odbije, manjša. Če se razdalja poveča, se frekvenca zmanjša. Gibanje, ki je pravokotno na smer med delčkom in oddajnikom, ne vpliva na frekvenco sprejetega zvoka.

Lokacija meritve je funkcija časa, ob katerem je odbiti signal vzorčen. Z merjenjem odbitega signala pri različnih časih dobimo hitrosti na različnih oddaljenostih od oddajnika. Profil hitrosti vodnega toka je razdeljen na posamezne celice, kjer vsaka celica predstavlja povprečje frekvence odbitega signal po določenem času od oddanega signala.

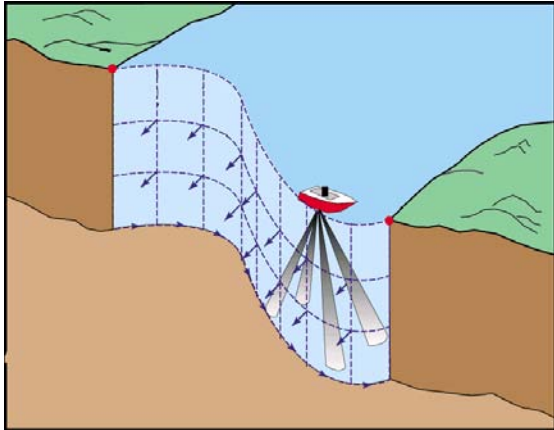
Primer: Celica z območjem 1 meter odgovarja povprečju časa, v katerem se zvočni impulz premakne za 1 meter.



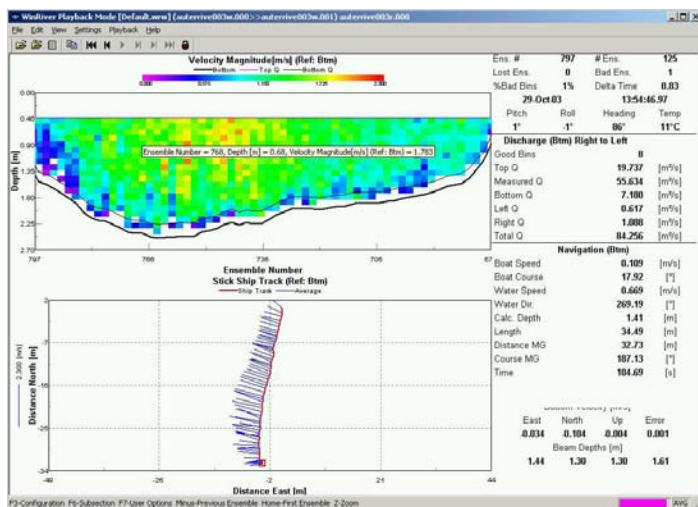
Slika 95: Celice ADCP merilnega pretvornika

Merilnik ADCP ima običajno 3 oddajnike/sprejemnike. Hitrost, izmerjena z vsakim izmed njih, je projekcija prostorskega vektorja hitrosti v kartezijskem koordinatnem sistemu (XYZ).

ADCP ni možno vedno namestiti v želeni položaj, saj naravne okoliščine pogosto omejujejo želeno namestitev. Zato imajo zaznavala ADCP pogosto vgrajen kompas, ki izmerke opremi z sever-jug-vzhod-zahod koordinatami.



Slika 96: Meritve hitrostnega polja z napravo in analizo ADCP



Slika 97: Primer izpisa rezultatov meritev z napravo Workhorse Rio Grande

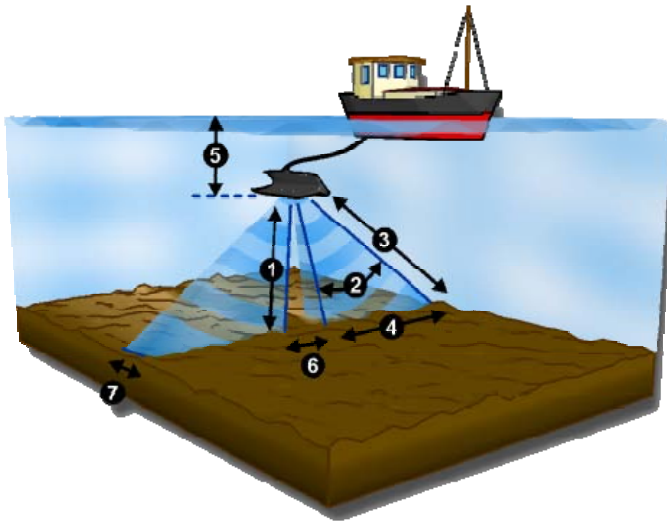
5.1.5 Side scan sonarji

Sonar je naprava, ki uporablja zvočne signale za odrivanje objektov pod vodno gladino. Side scan sonar je specifična naprava, ki se uporablja za posnetke dna.

Side scan sonar je včasih poimenovan tudi side-imaging sonar in side-looking sonar. V primeru uporabe takšnega sonarja lahko zelo hitro pregledamo velike količine morskega ali rečnega dna. Ko sonar pregleda dno, dobimo preko računalnika visoko ločljive slike.

Side scan sonar se uporablja za različne komercialne namene: vojska, iskanje potopljenih ladij, iskanje min, iskanje rib, lov na zaklad, iskanje različnih stvari, katere lahko najdemo v vodi.

Side scan sonar odda raven akustičen pulz (ping) v obliki stožca navpično navzdol proti dnu. Pulz potuje od sonarja proti dnu, od dna se pa del signala odbije nazaj proti sonarju. Meri se čas vračanja pulza in tako tudi amplituda (moč) pulza. Tako z nizi teh pulzov dobimo sliko.

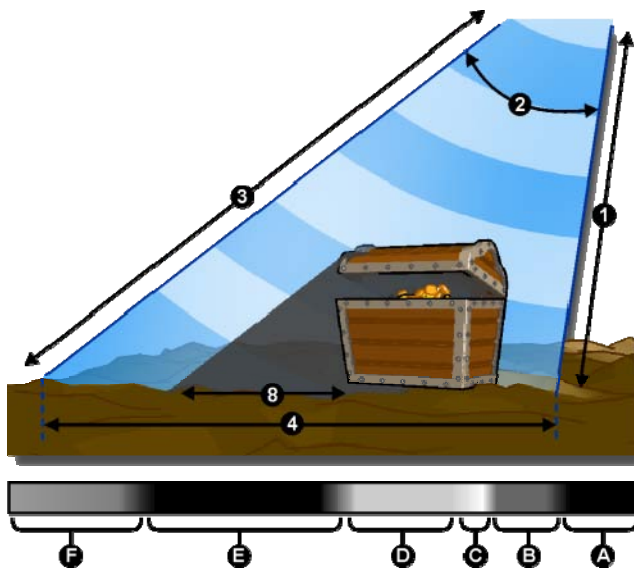


1. Globina akustičnega pulza
2. Vertikalni pulzni kot
3. Maksimalni akustični doseg
4. Širina posnetka na dnu
5. Globina sonarja
6. Razmak, ni slike na posnetku
7. Horizontalna pulzna širina

Slika 98: Delovanje sonarja

Tako kot pri vseh akustičnih sonarjih, side scan sonar pokaže odboje od objektov, ki odbijajo zvok nazaj k side scan sonar sprejemniku. Trda ravna površina je včasih vidna samo pod določenim kotom.

Materiali, kot so železo, kamnine, les, razni objekti, imajo zelo dober odboj signala proti sonarju. Močna odbojnost povzroči močan odboj signala in tako večjo vidnost predmeta.



1. Globina akustičnega pulza
2. Vertikalni pulzni kot
3. Maksimalna akustična dolžina
4. Širina posnetka
8. Akustična širina sence
- A. Področje brez povratka pulza
- B. Slika dna
- C. Zelo odbojni kot objekta
- D. Objekt
- E. Akustična senca objekta
- F. Slika dna

Slika 99: Ustvarjanje slike s sonarjem

5.1.6 Opis opreme

OTT ADC Acoustic digital current meter

OTT ADC je naprava za točkovno merjenje hitrosti vodnega toka. V sam merilnik je vgrajen tudi tlačni senzor za merjenje globine reke in temperaturni senzor za merjenje temperature reke. Slednja je, poleg informacije v kakšno reko se podajajo pripadniki, pomembna za kompenzacijo pri ultrazvočnem signalu.



Slika 100: OTT ADC Acoustic digital current meter

OTT ADC emitira skupek desetih posameznih ultrazvočnih impulzov, ki se odbijejo v delcih v vodi (npr. netopni delci, zračni mehurčki, plankton, itd.) Glede na velikost in smer gibanja delca se pulz odbije in OTT ADC zopet zazna odbiti pulz ter ga obdela v Digitalnem Signalnem Procesorju (DSP).

Čez nekaj trenutkov pošlje OTT ADC ponoven skupek zvočnih impulzov in zvočna slika drugega odboja je ponovno digitalizirana v DSP-ju.

Glede na fazo merjenja DSP primerja obe zvočni sliki odbitih impulzov. Z odstranitvijo vseh motenj in razlik v signalih se da iz obeh zvočnih slik prebrati dve praktično identični zvočni sliki, ki ju loči le časovni zamik. Na podlagi slednjega je možno določiti hitrost vodotoka v trenutni točki merjenja.

S pomočjo priložene prenosne naprave merilnik omogoča tudi merjenje pretoka po EN ISO 748 ali USGS standardih.

Tehnične karakteristike OTT ADC merilnika

Ime naprave: OTT ADC Acoustic digital current meter

Proizvajalec: OTT Messtechnik, Nemčija

Povezava: http://www.ott.com/web/ott_de.nsf/id/pa_adc_e.html

Workhorse Navigator, Doppler Velocity Log

Naprava omogoča natančne meritve hitrosti, določitev pozicije, batimetrijo in navigacijo. Obenem je možna natančna zaznava dna (bottom tracking) tudi po nedoločljivem terenu. Uporaba naprave je možna na podmornicah ter vseh vrstah plovil. Namenjena je hidrografskemu, geofizikalnemu in oceanografskemu raziskovanju. Naprava je bila prvotno razvita za ameriško vojsko za določitev hitrosti podmornic in plovil. »Stranski podatki«, pridobljeni z analizo odbitih signalov, so kmalu našli kupce tudi v civilnih sferah.

Explorer, Doppler Velocity Log

Na osnovi Navigatorja je nastal nov izdelek, ki je manjši, lažji in bolj enostaven za montažo tudi na manjša plovila. Ameriška vojska jih namešča v daljinsko vodene podmornice (brez posadke) za analizo oblike dna in detekcijo min.

Cobra-Tac, Konzola za navigacijo in kartiranje

Konzola je namenjena potapljaču, da z njo pregleda in obdela določeno področje pod vodo (rečno ali morsko dno). Naprava je bila razvita na zahtevo ameriške vojske. Vojaki – potapljači morajo namreč pred izkrcanjem oklepnih vozil z ladij najprej pregledati obliko dna ter preveriti, da na njem ni nameščenih min. V primeru, da zaznajo karkoli sumljivega, to lahko ustrezno označijo (kartiranje).

Workhorse Rio Grande

Naprava je namenjena civilni sferi, uporabljajo pa jo številne NATO enote za določitev hitrosti toka rek, pretoka in globine. Napravo smo podrobno opisali v predhodnih poglavjih.

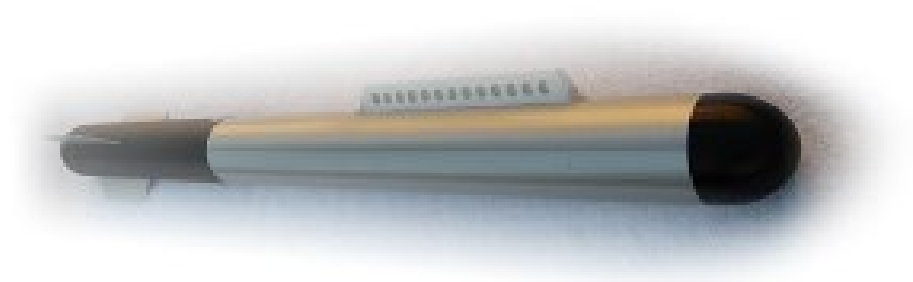
Side Scan Sonarji

Tehnične karakteristike posameznega proučenega merilnika – side scan sonarja:

Ime naprave: Side Scan Sonar Towfish

Proizvajalec: DeepVision

Povezava: <http://www.deepvision.se/products.htm>



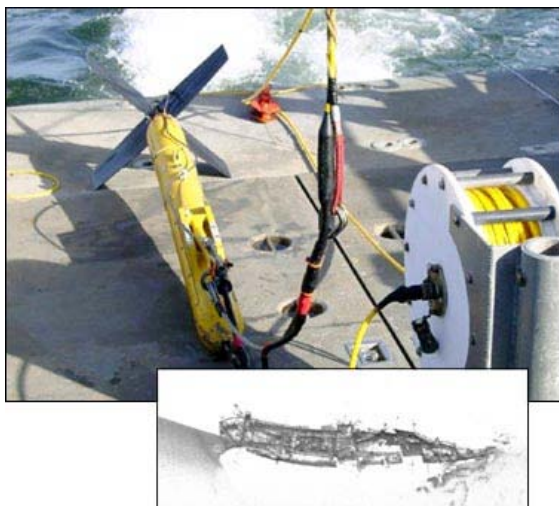
Slika 101: Scan Sonar Towfish

Preglednica 10: Tehnične karakteristike Scan Sonar Towfish

Towfish	
	DE340
Frequency	340 kHz
Horizontal beamwidth	0.9°
Vertical beamwidth	60°
Range resolution	10 cm
Max operating depth	100 m
Max cable length	200+ m
Interface	RS485, GND, Supply, Fischer 103 DEE 4
Length	850 mm
Diameter	60 mm
Weight	9 kg
Weight in water	6.7 kg
Materials	PVC, Polyurethane and Clear anodized Aluminum

Ime naprave: 4100 Side Scan System

Proizvajalec: EdgeTech

Povezava: <http://www.deepvision.se/products.htm>Prospekt: <http://www.edgetech.com/brochureMarine/4100%20System%20Brochure%20012508.pdf>

Slika 102: 4100 Side Scan System

Preglednica 11: Tehnične karakteristike 4100 Side Scan System

4100 Side Scan System		
	272-T	272-TD
Frequency	100 kHz - 105 ± 10 kHz	100 kHz - 105 ± 10 kHz 500 kHz* - 390 ± 20 kHz
Horizontal beamwidth	100 kHz - 1.2° (3dB points)	100 kHz - 1.2° (3dB points) 500 kHz* - 0.5° (3dB points)
Depth rating	1000 meters	
Operating range (max)	100 kHz - 500 meter swath	100 kHz - 500 meter swath 500 kHz* - 200 meter swath
Tow cable length (max)	500 meters	
Tow cable type	7 conductor	
Toefish length	140 cm. (55")	
Towfish Diameter	11.4 cm. (4.5")	
Towing speed (Oper)	3 - 5 knots	
Weight	25 kg (55 lbs.)	
Weight in water	12 kg (26 lbs.)	
Options	USBL Acoustic Tracking System	

Ime naprave: 4125-P Search & Recovery Side Scan System

Proizvajalec: EdgeTech

Povezava: <http://www.edgetech.com/sidescanlevel3s4125.htm>

Datasheet:

<http://www.edgetech.com/brochureMarine/4125-P%20Brochure%20071408.pdf>

Preglednica 12: Tehnične karakteristike 4125-P Search & Recovery Side Scan System

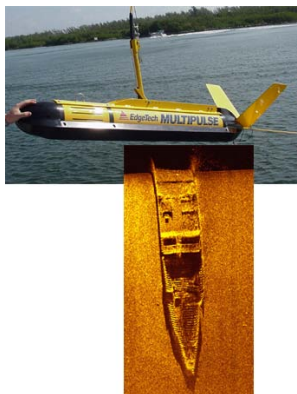
Specifications	
Frequency	Either 400/900 kHz or 400/1250 kHz
Horizontal beam width	0.3° @ 400/900 kHz, 0.2° @ 1250 kHz
Vertical beam width	40°
Operating range (max)	100m @ 400 kHz, 50m @ 90 kHz, 25m @ 1250 kHz
Standard sesors	Heading, pitch, roll, depth
Towfish material	Stainless Steel
Toefish lenght	90 cm. (35.5 inches)
Towfish Diameter	8.9 cm. (3.5 inches)
Weight	12 kg (26.4 pounds)
Tow cable	50 meter twisted quad (included)

Ime naprave: 4700-DFX Dynamically Focused Multi-Pulse

Proizvajalec: EdgeTech

Povezava: <http://www.edgetech.com/sidescanlevel3s4700dfx.htm>

Prospekt:

<http://www.edgetech.com/brochureMarine/4700-DFX%20Brochure%20120507.pdf>

Slika 103: 4700-DFX Dynamically Focused Multi-Pulse

Preglednica 13: Tehnične karakteristike 4700-DFX Dynamically Focused Multi-Pulse

Specification		
Frequency	300 kHz Single Pulse	600 kHz Multi-Pulse DF
Pulse type	FM Pulse (CHIRP)	
Resolution (along track)	30 cm to 60 m then increasing to 80 cm at 200 m, Beam width = 0.23 degrees	<20 cm to 80 m then increasing to 28 cm at 125 m max range
Pulse length	4 to 20 ms	2 to 10 ms
Resolution (across track)	1 pulse only = 3 cm	1 pulse 1.5 cm / PL 2 msec 2 pulse 3.0 cm / PL 4 msec 3 pulse 4.5 cm / PL 6 msec 4 pulse 6.0 cm / PL 10 msec
Operating speed	2-6 knots typical	2 to 14 knots @ 125 m sonar range
Operating range	250 meters (500 m swath)	125 meters (250 m swath)
Pulse repetition rate	7.5 @ 100 m scale	30 @ 100 m scale
Max operating depth	300 meters	
Towfish diameter	19 cm	
Weight (in air)	59 kg (130 lbs)	
Towfish length	173 cm	
Options	Depressor Wing, Attitude Sensor, Responder, StarMux Digital Link (for coax cables up to 9,000 meter length), Other Water Depths, USBL Acoustic Tracking System	

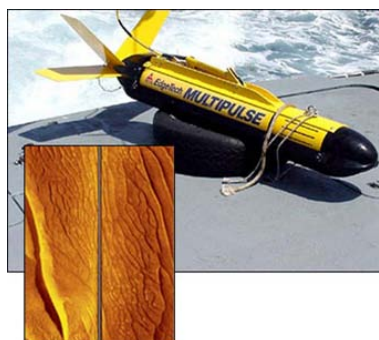
Ime naprave: 4300-MPX High Speed Side Scan System

Proizvajalec: EdgeTech

Povezava: <http://www.edgetech.com/sidescanlevel3s4300mpx.html>

Prospekt:

<http://www.edgetech.com/brochureMarine/4300-MPX%20Brochure%20070506.pdf>



Slika 104: 4300-MPX High Speed Side Scan System

Preglednica 14: Tehnične karakteristike 4300-MPX High Speed Side Scan System

Specification		
Frequency	270 kHz	410 kHz
Resolution (along track)	1.0 m @ 200 meters 0.6 m @ 100 meters	0.7 m @ 150 meters 0.55 m @ 100 meters 0.4 m @ 75 meters 0.35 m @ 50 meters
Sensors	Heading: Accuracy <math>< 0.5^\circ</math> Pitch & Roll: Accuracy $\pm 0.4^\circ$	
Resolution (across track)	1 pulse only = 3 cm	1 pulse 1.5 cm / PL 2 msec 2 pulse 3.0 cm / PL 4 msec 3 pulse 4.5 cm / PL 6 msec 4 pulse 6.0 cm / PL 10 msec
Towing speed @ 100 meters	Up to 16 knots	
Operating range	250 meters per side (500 meter swath)	150 meters per side (300 meter swath)
Pulse repetition rate	28 @ 100 meter scale	
Max operating depth	300 meters	
Towfish diameter	19 cm	
Weight (in air)	59 kg (130 lbs)	
Towfish length	173 cm	
Options	Depressor Wing, Attitude Sensor, Responder, StarMux Digital Link (for coax cables up to 9,000 meter length), Other Water Depths, USBL Acoustic Tracking System	

Ime naprave: 4400-SAS Synthetic Aperture Side Scan Sonar

Proizvajalec: EdgeTech

Povezava: <http://www.edgetech.com/sidescanlevel3s4400.html>



EdgeTech 4400-SAS
Side Scan Sonar on Hugin 1000

Slika 105: 4400-SAS Synthetic Aperture Side Scan Sonar

Preglednica 15: Tehnične karakteristike 4400-SAS Synthetic Aperture Side Scan Sonar

Specification	
Frequency	120 kHz
SAS Resolution	10 cm.(square pixels)
Number of array elements	6 per side
Sub array length	20 cm.
Array size	127 L x 6.4 W x 6.1 D cm.
SAS Swath max	500 m. (estimate)
Conventional swath max	1000 m.
Attay mass	18 kg. in air
AUV speed over ground	100m, Vmax = 3.75 m/s (7.3 kts) 200m, Vmax = 1.87 m/s, (3.6 kts)
No SAS resolution one way	0.5 deg. (using 6 elements)
No SAS resolution two way	0.38 deg.
SAS post procesing speed	From 1-2 times acquisition speed
Pro SAS Hardware	Enclosure, 19" rack mountable metal 3U size, Weight 18 kg (40 lbs.)
SAS real time procesing lag	From 20-60 seconds after acquisition.
Data logging	1. Raw, range compressed, Sonar data to be logged along with DVL (speed over ground, altitude), motion sensor data in unified file. 2. Standard side scan sonar data in real-time to be supplied for QC purposes.

Ime naprave: BenthosC3D side scan sonar

Proizvajalec: Teledyne Benthos Geophysical



Slika 106: BenthosC3D side scan sonar

Preglednica 16: Tehnične karakteristike Benthis C3D side scan sonarja

System	
Sonar Frequency:	200 kHz
Maximum Operating Depth:	2000 meters (6000 meters optional)
Side Scan Range:	25 to 300 meters per side (200 kHz) 25 to 600 meters per side (100 kHz)
Bathymetric Range:	10 to 12 times water depth
Resolution (across track)	
Side Scan Sonar:	4.5 cm
Bathymetry:	5.5 cm
Beam Width:	1 degree (one-way)
Pulse Length:	25 usec to 1 msec (depending on range)
Repetition Rate:	Up to 30 pings/sec
Depression Angle:	20 degrees
Transmit Source Level:	Maximum 224dB re: 1uPa@1M
Vertical Resolution (Bathymetry):	5 cm
Auxiliary Sensors:	Pressure (standard) CTD (standard) Heading (standard) Pitch (standard) Roll (standard) Altimeter (optional) Magnetometer (optional) Optical Gyro (optional) Motion Reference Unit (optional)
Tow Vehicle	
Construction:	Stainless steel, polyethylene
Length:	210.8 cm (83 in)
Diameter:	27.3 cm (10.75 in)
Front Cross Section:	38.4 cm x 53.4 cm (15 1/8 in x 21 in)
Weight (in air):	158 kg (350 lbs)
Weight (in water):	45.3 kg (100 lbs)
Electrical power:	51 watts at 300 VDC
Over-the-Side Mount	
Construction:	Stainless steel
Length:	96.5 cm (38 in)
Diameter:	25.4 cm (10 in)
Weight (in air):	40.8 kg (90 lbs)
Electrical power:	51 watts at 300 VDC
Topside Processor/Display (optional)	
Operating System:	Windows XP
Storage:	Large capacity hard drive, writable CD/DVD
Network Interface:	100base T Ethernet (compatible with ADSL high-speed communications interface)
Serial:	RS232
Display Monitor:	17" Flat Panel (built into processor)
Topside Interface Unit	
Power Supply:	Input 120/240 VAC auto sensing, output 300 VDC
Network Interface:	Ethernet
Dimensions:	2U Rack mount 48.3 cm (19 inches)
Software	
CAATI:	Proprietary (standard)
Acquisition:	Triton, Hypack, OIC, QPS, Eiva
Post-Processing:	Triton, Hypack, OIC, QPS, Eiva, CARIS
Format:	XTF
Cables	
Call for specific cable requirements	
Kevlar:	100 meter coax (standard)
Double armored:	Co-axial cable (for use with ADSL communications link (optional)

Vir: Prospekt: <http://www.benthos.com/pdf/C3D2008.pdf>

5.2 PREDLOG IZVIDOVALNEGA SETA

Na podlagi opisane merilne opreme v prejšnjem poglavju lahko predlagamo dva izvidovalna seta. Za analizo njune primernost uporabe in smiselnost nakupa smo uporabili SWOT analizo oz. matriko :

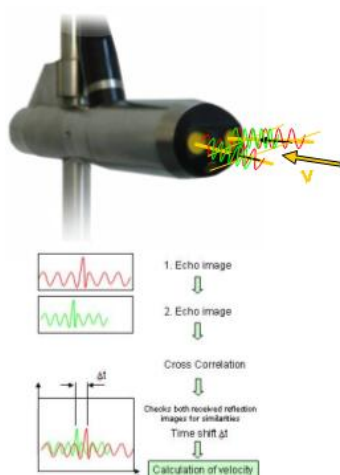
S = strengths / prednosti

W = weaknesses / pomanjkljivosti

O = opportunities / priložnosti

T = threats / nevarnosti

OTT ADC ultrazvočni merilnik hitrosti z enoto za izračun pretoka.



Slika 107: Delovanje naprave ADC

OTT ADC merilnik pretoka se izvrstno izkaže kot uporabni merilnik predvsem v pehoti. Lahek in enostaven merilnik omogoča takojšnjo določitev hitrosti reke in njene globine (kjer merilnik potapljamo v vodo). Oba podatka omogočata poveljniku pehotne enote lažjo odločitev, ali je reko možno prebroditi ali ne.

Inženirskim enotam pa bo tovrstna merilna oprema omogočila merjenje pretokov in izdelavo pretočnih krivulj za majhne in manjše vodotoke. S tem se lahko dopolnjuje in širi obstoječa baza podatkov s pretočnimi krivuljami vodotokov.

Preglednica 17: SWOT matrika za ADC

SWOT matrika	Prednosti	Slabosti
Priložnosti	<p>Lahek in enostaven merilnik</p> <p>Za upravljanje zadostuje en pripadnik</p> <p>Hitro in natančno merjenje pretoka in globine reke</p> <p>Omogoča izračun pretoka</p> <p>Omogoča izdelavo pretočnih krivulj</p>	<p>Za izdelavo pretočne krivulje potrebujemo dodatno programsko opremo, kar pa predstavlja priložnost za dopolnitev baze podatkov s pretočnimi krivuljami</p>
Nevarnosti	<p>Z nepravilno izbiro kraja merjenja možna napačna ocena največje hitrosti in globine</p>	<p>Kjer ni mostu, mora pripadnik stopiti v reko in izmeriti hitrost. V primeru nepazljivosti in slabe preliminarne ocene hitrosti vodnega toka lahko pripadnika odnese vodotok.</p>

C3D Side scan /Bathymetry system



Slika 108: C3D Side scan /Bathymetry system

Merilnik s kombinacijo visokoločljivostnega stranskega sonarja in batimetričnih podatkov omogoča izdelavo kakovostnih tridimenzionalnih slik dna reke, jezera, morja, itd. Vsi podatki so zajeti sočasno, zato ni potrebno naknadne obdelave batimetričnih in sonarjevih podatkov. Vsaka točka na dnu reke ima vse tri koordinate. Npr. 100 m dolga odsek ima 2000 točk, ki so točno določene s pomočjo večžarkovnega sistema (multi-beam). To omogoča veliko večjo prečno ločljivost na merjenem odseku.

Preglednica 18: SWOT matrika za C3D Side scan / Bathymetry system

SWOT matrika	Prednosti	Slabosti
Priložnosti	<p>Tridimenzionalna slika dna</p> <p>Visokoločljivostni podatki</p> <p>Sočasno merjenje s sonarjem in batimetričnih podatkov</p> <p>Enostavno nastavljen za različne aplikacije merjenja</p>	<p>Potrebno posebno plovilo, na katerega namestimo merilnik.</p> <p>Je pa to tudi priložnost, da se ustrezna enota SV usposobi za upravljanje tudi s tem merilnim sistemom</p>
Nevarnosti	<p>Z nepravilno izbiro kraja merjenja možna napačna ocena največje hitrosti in globine</p>	<p>Uporaba brez ustreznega šolanja pripadnikov je lahko vzrok trajni poškodbi merilne opreme ali plovila.</p>

6 ZAKLJUČKI

Ugotavljanje prehodnosti vodotokov za vojaške potrebe predstavlja poseben izziv. Vodotoki so najbolj dinamičen (spremenljiv) vojaškogeografski dejavnik, njihovo proučevanje zahteva posebne postopke in opremo. Vodotoki so bili do sedaj proučevani z geografskega stališča. Kaže se potreba po dodatnem izobraževanju inženirskih enot o hidrotehnični problematiki.

V projektu i-PREHOD smo prehodnost vodotokov ugotavljali na dva načina. Za aplikacijo smo izdelali zbirni sloj širin vodotokov in nagiba terena, saj sta to edina parametra, ki se v času ne spreminjata hitro in lahko njuni veličini opredelimo za območje celotne Slovenije.

Razvili smo metodo za napovedovanje prehodnosti vodotokov na podlagi hidravličnih parametrov: največje pretočne globine in največje pretočne hitrosti. Podali smo predloge za pridobivanje vhodnih podatkov za model, izbor hidravličnega modela ter postopke za umerjanje modela in določanje parametrov. Z metodo je mogoče napovedati verjetnost prehoda glede na krivuljo trajanja pretokov, ter možnost prehoda pri podanem pretoku. Uspešno smo izvedli aplikacijo metode na 10 merskih postajah ARSO in na odseku vodotoka, kjer smo za testni primer uporabili Kamniško Bistrico.

V prihodnosti bi bilo metodo smiselno preveriti še na odsekih drugih vodotokih, zanimivih za prehod vojaške tehnike in moštva. Te odseke bi bilo treba določiti v sodelovanju s predstavniki Slovenske Vojske. Po potrebi bi posodobili geometrijo pretočnih prerezov ter izvedli dodatne meritve hitrostnega polja, zaradi določanja položaja matice toka in porazdelitve hitrosti po prerezu.

Nadalje bi bilo za povečanje uporabne vrednosti metodo, ki sedaj temelji le na hidravličnih parametrih, treba integrirati v sistem za napovedovanje prehodnosti vodotokov, kjer bi upoštevali tudi druge parametre, kot so topografija (zlasti nagibi), poraščenost, širino prehoda, mehanske lastnosti tal, kot tudi model vozila. Pri določanju kriterijev prehoda lahko namreč prihaja do medsebojnih vplivov posameznih parametrov. Največja dovoljena hitrost npr. vpliva na bočno odnašanje, ki je odvisno od oprijema dna. Ta pa je odvisen tako od mehanskih lastnosti tal kot od razpoložljive trenjske sile, ki se zmanjšuje z globino vode, zaradi povečevanja vzgona. V metodo bi lahko dodali tudi izračun prečnega zamika pri prečkanju vodotoka, v odvisnosti od hitrosti prečkanja.

Z metodami, ki temeljijo na numeričnih modelih oziroma simulacijah lahko hitro in z majhnimi stroški pridemo do rezultatov. Pri tem je treba vselej paziti, da so vhodni podatki primerne kakovosti. Za zmožljive modele potrebujemo večje število kakovostnih podatkov, medtem ko ob manj natančnih podatkih lahko uporabljamo tudi manj zmožljive modele ali pa kombinacijo s terenskimi preskusi. Numerične simulacije nam zaradi možnosti učinkovite obdelave podatkov omogočajo predobdelavo velike količine scenarijev. To omogoča boljše zasnovanje terenskih preskusov, in s tem boljše rezultate terenskih testiranj. Enako velja na varnostno tveganih območjih, kjer lahko vnaprejšnje ocene znatno olajšajo zasnovanje izvidovanja.

Proučili smo tudi hidrometrično opremo za izvidovanje za ugotavljanje prehodnosti notranjih celinskih voda na terenu, s katerimi inženirske enote SV še niso opremljene. Oprema za izvidovanje

(terenska merilna oprema) za prehajanje notranjih celinskih voda je namenjena pridobitvi informacij, ki omogočijo končno določitev mikrolokacije prehoda reke.

Na podlagi raziskave merilne opreme smo predlagali nakup dveh setov merilne opreme: OTT ADC točkovni merilnik hitrosti vodotoka in C3D side sonar za določitev oz. merjenje celotne površine dna reke z ločljivostjo +/- 5 cm. Nadaljnje raziskave pa bi veljalo usmeriti k ugotavljanju trdnosti tal dna reke. Na tržišču je sicer veliko ponudnikov naprav in programske opreme za analizo sedimentov (Aquavision, EG&G, Reson,...), ki pa ne ustrezajo popolnoma potrebam SV. Najboljša smer za nadaljnje delo je preučitev penetrometrov, ki delujejo v območju ultrazvoka in radarske merilnike za večje globine.

7 CITIRANI VIRI

Bratun, Zvonimir (2005): Vojaška geografija. Ljubljana: Filozofska fakulteta.

Gorjup, Zvonimir (1983): Topografija s temelji kartografije. Služba za publicistiko MORS

Marjanovič, Radomir (1983): Opšta vojna geografija sa evropskim ratištem. Vojnoizdavački zavod, Beograd.

Uhan, Jože in Bat, Marjan (2003): Vodno bogastvo Slovenije. Agencija RS za okolje