



Investitor:

**Republika Slovenija
Ministrstvo za okolje in prostor
Dunajska cesta 48
1000 Ljubljana**

Objekt:

**Izdelava hidrološko hidravlične
analize in kart razredov poplavne
nevarnosti ter ukrepov za območje
odlagališča Rakovnik**

Faza:

Končno poročilo

Vrsta projektne
dokumentacije:

študija

Projektant:

**INŠTITUT ZA VODARSTVO, d.o.o.
Hajdrihova 28a, 1000 Ljubljana**

Odgovorni predstavnik
podjetja:

dr. Primož Banovec, univ. dipl. inž. grad.
Podpis:

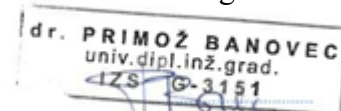


Odgovorni projektant:

dr. Primož Banovec, univ. dipl. inž. grad.
Id. Št.: G-3151

Osebni žig:

Podpis:

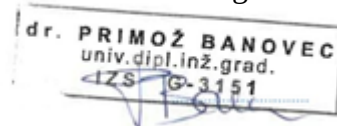


Odgovorni vodja
projekta:

dr. Primož Banovec, univ. dipl. inž. grad.
Id. Št.: G-3151

Osebni žig:

Podpis:



Številka projekta:

P438/20

Datum:

marec, 2021

Pregledni list o projektu:

Naročnik:	Ministerstvo za okolje in prostor RS, Dunajska c. 48, 1000 Ljubljana
Naslov projekta:	Izdelava hidrološko hidravlične analize in kart razredov poplavne nevarnosti ter ukrepov za območje odlagališča Rakovnik
Faza:	Končno poročilo
Šifra projekta:	P438/20
Faza:	Končno poročilo
Ključne besede:	hidrologija, hidravlika, poplavne karte, erozija, omilitveni ukrepi, analiza vpliva
Povzetek:	V sklopu projekta se je za potrebe sanacije odlagališča nevarnih odpadkov Rakovnik izdelala hidrološko-hidravlična študija. Študija je zajemala potok Rakovnik na območju odlagališča. V prvem delu smo na podlagi hidroloških izhodišč in postavljenega hidrološkega modela izvedli modelne hidrograme s povratno dobo 10, 100 in 500-let. Modelne hidrograme smo vrednotili na prerezu »odlagališče«, ki se nahaja na vtoku potoka Rakovnih v prepust pod odlagališčem. V drugem delu smo oblikovali hidravlični model območja in izvedli simulacije poplavnega toka za povratne dobe 10, 100 in 500 - let. Oblikovali smo poplavne in erozijske karte obstoječega stanja. V zadnjem delu smo podali še sklop omilitvenih ukrepov z analizo vpliva za potrebe sanacije odlagališča.
Datum:	marec, 2021
Izvajalec:	Inštitut za vodarstvo, d.o.o., Hajdrihova 28a, 1000 Ljubljana
Nosilec naloge:	dr. Primož BANOVEC, univ. dipl. inž. grad.
Obdelal:	Andrej Cverle, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž.
Zunanji sodelavec:	Žiga Ščukovt, mag. inž. ok. grad.

Kazalo vsebine

1. IZHODIŠČA IN OPIS OBMOČJA	5
2. HIDROLOŠKA ANALIZA – VODOTOK RAKOVNIK	6
2.1 Padavine.....	6
2.2 Karakteristike porečja.....	7
2.3 Izračun površinskega odtoka in rezultati izdelanega hidrološkega modela	10
3 HIDRAVLIČNA IZHODIŠČA	14
3.1 Vhodni podatki.....	14
3.1.1 Geometrija, manningov koeficient hrapavosti in robni pogoji	14
3.2 Izračun	19
3.2.1 Karta poplavne nevarnosti obstoječega stanja – globine, produkt globin in hitrosti	20
3.2.2 Karta razredov poplavne nevarnosti obstoječega stanja	20
3.2.3 Karta erozijske nevarnosti in razredov erozijske nevarnosti obstoječega stanja	21
4 PREDLAGAN SKLOP OMILITVENIH UKREPOV ZA POTREBE ZMANJŠANJA POPLAVNE OGROŽENOSTI ODLAGALIŠČA RAKOVNIK.....	23
4.1 Način vodenja visokih voda mimo odlagališča Rakovnik – SC1	23
4.2 Način vodenja visokih voda mimo odlagališča Rakovnik – SC2	31
4.3 Komentar predlaganih scenarijev (SC1 in SC2).....	37
5 ZAKLJUČKI IN POVZETKI ANALIZ	38
6 LITERATURA.....	39

Kazalo slik

Slika 1: Prikaz obravnavanega porečja Rakovnik do prereza »odlagališče«	7
Slika 2: Prikaz odtočnega potenciala za analizirano porečje do izbranega hidrološkega prereza (CRP, "Konkurenčnost Slovenije 2006 - 2013", 2010).....	9
Slika 3: Prikaz vrednosti koeficienta CN (povprečni hidrološki pogoji) za analizirano porečje do izbranega hidrološkega prereza (CRP, "Konkurenčnost Slovenije 2006 - 2013", 2010).....	9
Slika 4: Prikaz niza modelnih poplavnih valov s povratno dobo 10 – let za prerez »odlagališče«	11
Slika 5: Prikaz niza modelnih poplavnih valov s povratno dobo 100 – let za prerez »odlagališče«	11
Slika 6: Prikaz niza modelnih poplavnih valov s povratno dobo 500 – let za prerez »odlagališče«	12
Slika 7: Prikaz modelne mreže v 3D pogledu s prikazom posameznih detajlov konstruiranja struge in ostalih elementov batimetrije (območje vtoka potoka Rakovnik v prepust).....	15
Slika 8: Prikaz lokacij kontrolnih prerezov	16
Slika 9: Primerjava poteka profila (model, DMR 1m) na lokaciji kontrolnega prereza 1	16
Slika 10: Primerjava poteka profila (model, DMR 1m) na lokaciji kontrolnega prereza 2	17
Slika 11: Prostorski prikaz območij z različnimi vrednostmi koeficienta hrapavosti.....	18
Slika 12: Prikaz stanja gladin na spodnjem delu modela, oziroma na območju spodnjega robnega pogoja (SRP - prikaz na nivoju vzdolžnega profila – analiza v primeru 1.5-urnega trajanja padavin s povratno dobo 100-let).....	19

Slika 13: Prikaz obstoječega vtoka v cev, kjer je izkazan večji nanos plavlja (foto: Banovec)	24
Slika 14: Shematičen prikaz geometrije vtoka v betonsko cev, ki smo ga upoštevali v modelu (preko za takšen vtok pripadajočih parametrov)	25
Slika 15: Obstojec bazen izcednih voda, ki ga je pri vračanju visokih voda iz ceste proti potoku potrebno dodatno poplavno zaščititi (foto: Banovec)	27
Slika 16: Prikaz razdelitve modelnih hidrogramov med cesto in cevjo v primeru SC1	29
Slika 17: Prikaz modelnih hidrogramov s povratno dobo 100-let dolvodno od odlagališča Rakovnik (SC1)	30
Slika 18: Shematičen prikaz geometrije vtoka v načrtovano betonsko cev, ki smo ga upoštevali v modelu (preko za takšen vtok pripadajočih parametrov)	32
Slika 19: Prikaz razdelitve modelnih hidrogramov med cesto in cevjo v primeru SC2	35
Slika 20: Prikaz modelnih hidrogramov s povratno dobo 100-let dolvodno od odlagališča Rakovnik (SC2)	36

Kazalo tabel

Tabela 1: Prikaz modelnih vrednosti nalivov (prostorsko uteženi) z različnim trajanjem za povratne dobe 10, 100 in 500 - let	6
Tabela 2: Tabelarični prikaz karakteristik obravnavanega porečja Rakovnik (prerez: »odlagališče«)	7
Tabela 3: Tabelarični prikaz dodatnih vhodnih podatkov za zagon modela HEC-HMS	10
Tabela 4: Karakteristike niza poplavnih valov v primeru povratne dobe 10-let za prerez »odlagališče«	12
Tabela 5: Karakteristike niza poplavnih valov v primeru povratne dobe Q100 za prerez »odlagališče«	13
Tabela 6: Karakteristike niza poplavnih valov v primeru povratne dobe Q500 za prerez »odlagališče«	13

Kazalo prilog

Priloga 1: Pregledna karta obravnavanega območja	19
Priloga 2: Karta poplavne nevarnosti obstoječega stanja (globine)	20
Priloga 3: Karta poplavne nevarnosti obstoječega stanja (produkt globin in hitrosti)	20
Priloga 4: Karta razredov poplavne nevarnosti obstoječega stanja	20
Priloga 5: Karta erozijske nevarnosti obstoječega stanja	22
Priloga 6: Karta razredov erozijske nevarnosti obstoječega stanja	22
Priloga 7: Pregledna karta obravnavanega območja - shematičen prikaz predlaganega sklopa omilitvenih	28
Priloga 8: Pregledna karta obravnavanega območja - shematičen prikaz predlaganega sklopa omilitvenih	34

1. IZHODIŠČA IN OPIS OBMOČJA

Odlagališče Rakovnik se nahaja v občini Šmartno pri Litiji. Na odlagališču se je v preteklosti odlagalo industrijske (IUV) in komunalne odpadke, ki so bili klasificirani kot nevarni odpadki.

Za potrebe sanacijskih ukrepov za zagotavljanje stanja na odlagališču Rakovnik, skladno s predpisi o ravnanju z odpadki in izpolnjevanje zahtev Direktive 1999/31/ES o odlaganju na odlagališčih, je predhodno potrebno izdelati hidrološko-hidravlično analizo s poplavnimi in erozijskimi kartami. Tako smo v prvem delu, na podlagi izvrednotenih modelnih hidrogramov in postavljenega hidravličnega modela, oblikovali poplavne in erozijske karte obstoječega stanja. V drugem delu bomo predpisali še ukrepe za zmanjšanje poplavne ogroženosti odlagališča Rakovnik in analizirali njihov vpliv.

2. HIDROLOŠKA ANALIZA – VODOTOK RAKOVNIK

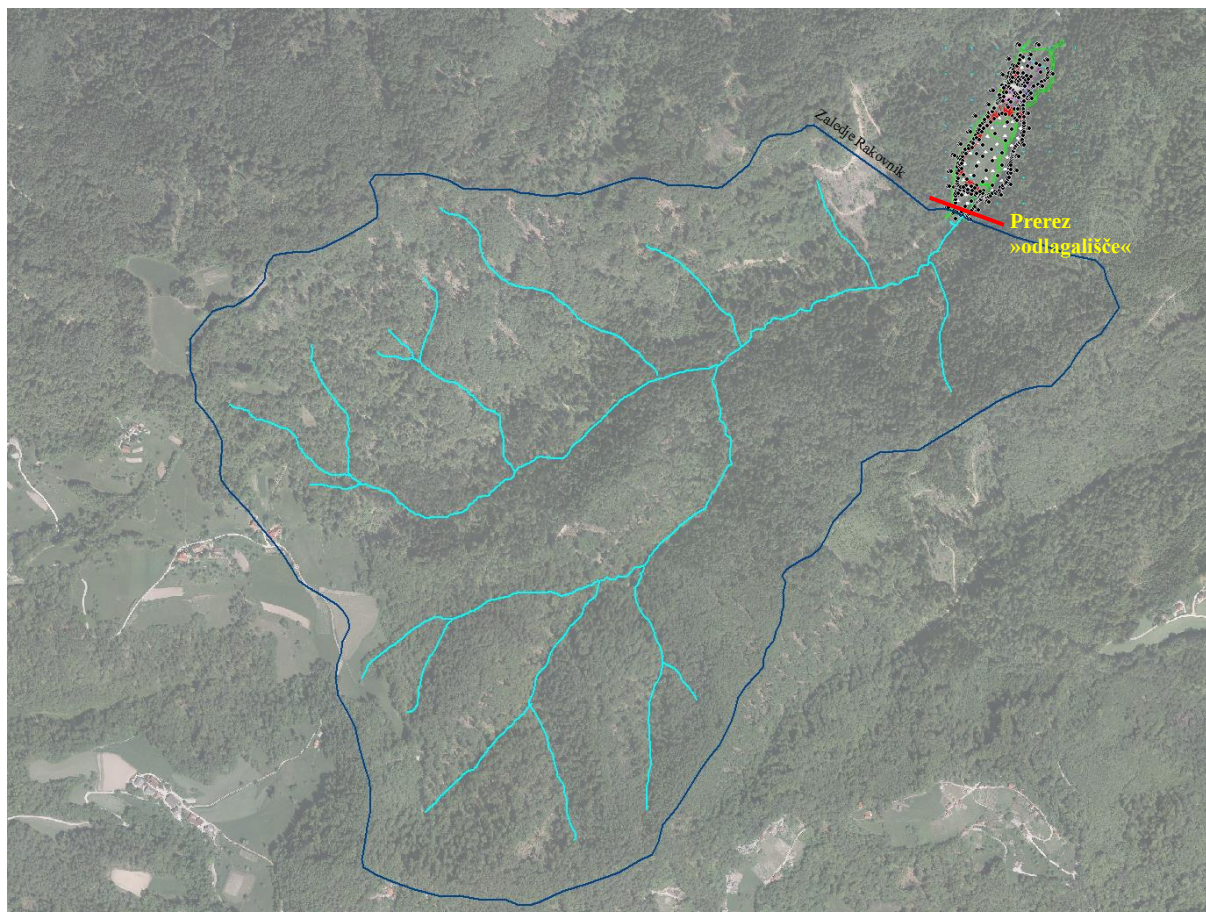
V tem poglavju bomo analizirali hidrološka izhodišča in rezultate hidrološkega modela vodotoka Rakovnik z pripadajočim zaledjem, in sicer do prereza »odlagališče«, ki se nahaja na vtoku potoka Rakovnik v prepust pod odlagališčem.

2.1 Padavine

Za potrebe določitve modelne količine padavin različnega trajanja na območju analiziranega porečja Rakovnik (do prereza »odlagališče«), smo uporabili izvrednotene ekstremne nalive. Analizo so izvedli na Agenciji RS za okolje, metoda in analize pa so bolj podrobno opisane v članku Časovno in prostorsko glajeni povratni nivoji ekstremnih nalivov (Kozjek, 2019). Končni rezultat so izvrednoteni nalivi za posamezne povratne dobe, ki so podani v obliki mreže velikosti 1×1 km. Vrednoteno porečje Rakovnika se nahaja znotraj več kvadratov z relativno enakimi vrednostnimi različnih nalivov. Kljub temu smo uporabili prostorsko utežene modelne nalive, kjer posamezen »kvadratak« z izvrednotenimi nalivi prispeva k skupni količini modelnih padavin glede na delež površine, ki ga zavzema znotraj obravnavanega porečja Rakovnik. Modelne vrednosti nalivov smo naknadno še zgladili. Padavine s 500 – letno povratno dobo za različne nalive smo dobili z uporabo trendne črte nad nizom podatkov nižjih povratnih dob (5, 10, 25, 50, 100 in 250 – letna povratna doba) z ekstrapolacijo niza podatkov. Dobljen niz smo prav tako naknadno zgladili. Modelne vrednosti nalivov za različno trajanje padavin za povratne dobe 10, 100 in 500 - let prikazujemo v Tabeli 1, izvrednoteno porečje potoka Rakovnik do prereza »odlagališče« pa na Sliki 1. Upoštevali smo enakomerno razporeditev padavin.

Tabela 1: Prikaz modelnih vrednosti nalivov (prostorsko uteženi) z različnim trajanjem za povratne dobe 10, 100 in 500 - let

Čas [min]	Čas [h]	P10 - glajenje [mm]	P100 - glajenje [mm]	P500 - glajenje [mm]
5	0.08	13	18	22
10	0.17	17	25	31
15	0.25	23	35	43
20	0.33	28	43	54
30	0.50	32	51	65
45	0.75	38	61	78
60	1.00	44	69	88
90	1.50	50	79	102
120	2.00	54	86	110
180	3.00	60	95	121
240	4.00	66	103	131
300	5.00	71	110	139
360	6.00	75	116	146
540	9.00	83	125	157
720	12.00	90	134	166
900	15.00	96	141	174



Slika 1: Prikaz obravnavanega porečja Rakovnik do prereza »odlagališče«

2.2 Karakteristike porečja

V tabeli 2 prikazujemo karakteristike porečja Rakovnik do izbranega prereza »odlagališče«, kjer smo vrednotili visoke vode.

Tabela 2: Tabelarni prikaz karakteristik obravnavanega porečja Rakovnik (prerez: »odlagališče«)

Porečje Rakovnik (prerez: »odlagališče«)				
Velikost porečja [km ²]	Povprečen padec porečja [%]	Dolžina struge [km]	Povprečen koeficient CN (povprečni pogoji)**	Čas zakasnitve [min]*
1.49	47.3	1.75	66	17

*za čas zakasnitve smo uporabili enačbo SCS z uporabo koeficienta CN v primeru povprečnih hidroloških pogojev

**izračuna se kot površinsko uteženo povprečje

Na podlagi DMR 1m je bila določena tudi dolžina struge, ki dovolj jasno prikazuje dejanski potek struge najdaljšega dela rečnega sistema porečja. Začetek struge smo postavili na najbolj gorvodno lokacijo, kjer je struga odvodnika še zaznavna. Konec struge je predstavljajo območje izbranega prereza.

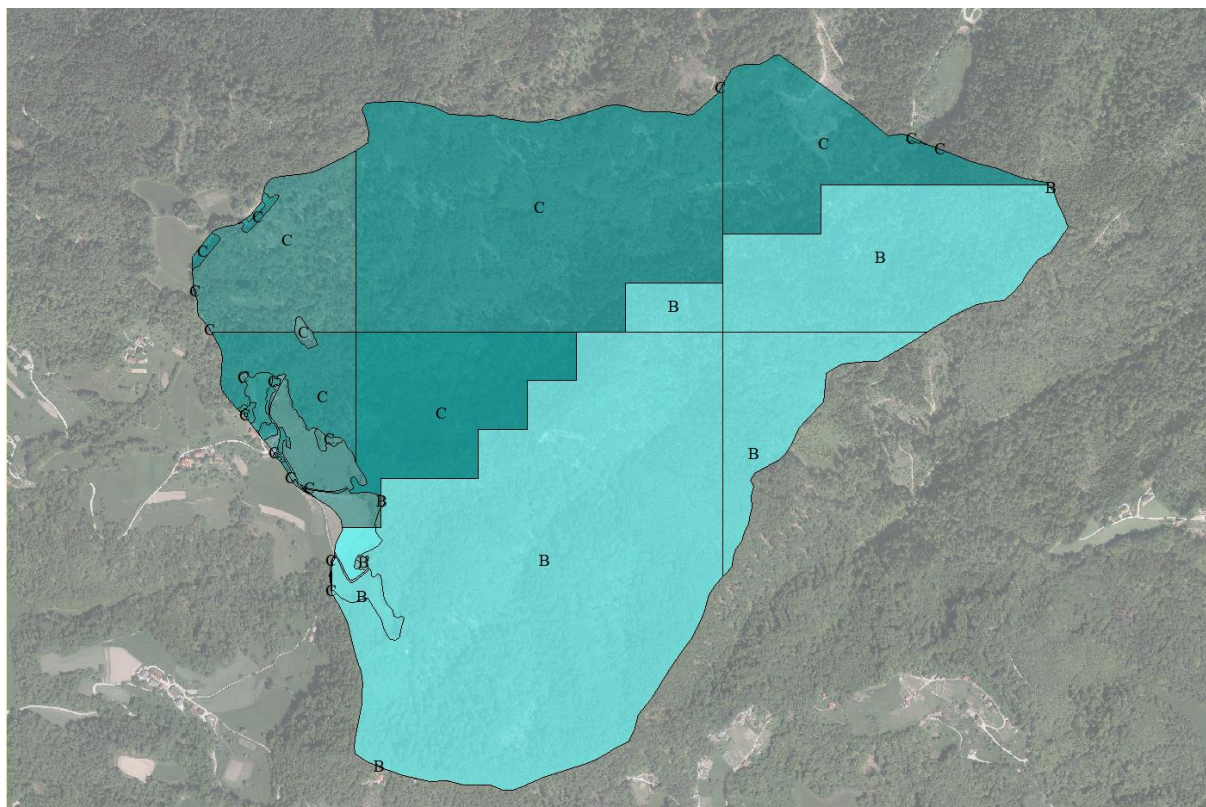
Povprečen padec površine porečja je prav tako izračunan na podlagi DMR 1m in je določen kot površinsko utežen padec površine posameznih gridnih celic. Padec površine posamezne gridne celice se določi na podlagi višin mejnih osmih gridnih celic, kjer se posebej izračunana stopnja

spremenbe višine v smeri x in y (dolžinska enota grida je tako v smeri x kot tudi v smeri y enaka in je meter – posledično je končni rezultat oziroma padec površine gridne celice brezdimenzijski). Z dobljenima vrednostima se kot koren vsote kvadratov prej dobljenih stopenj sprememb višine v x in y smeri, izračuna še padec površine gridne celice. Kot omenjeno se povprečen padec površine porečja določi kot brezdimenzijska vrednost, za potrebe izračuna časa zakasnitve pa se poda v procentih.

Za izračun padavinskih izgub smo uporabili SCS metodo z uporabo koeficienta CN, s pomočjo katere presežek padavin, ki površinsko odteče, ocenimo kot funkcijo odtočnega potenciala, predhodne vlažnosti zemljine in rabe tal. Odtočni potencial je odvisen od prevladujočega tipa tal, ki pa je bil za celotno Slovenijo določen v sklopu projekta Projekcija vodnih količin za namakanje v Sloveniji (CRP, "Konkurenčnost Slovenije 2006 - 2013", 2010¹). Rezultate tega projekta smo uporabili tudi za določitev odtočnega potenciala z analiziranega porečja do izbranega prereza (Slika 2).

Vrednosti koeficienta CN smo določili z združitvijo podatka o odtočnem potencialu in obstoječe rabe zemljišča (GERK) za slabe, povprečne in dobre hidrološke pogoje. Za slabe hidrološke pogoje velja, da obstajajo določeni faktorji, ki zmanjšujejo infiltracijo in s tem povečujejo površinski odtok, za dobre pa, da omenjeni faktorji povečujejo infiltracijo in posledično zmanjšujejo površinski odtok. Za potrebe študije bomo v primeru vseh obravnavanih padavinskih dogodkov upoštevali povprečne hidrološke pogoje. Uporabljene vrednosti koeficienta CN (povprečni hidrološki pogoji) za analizirano porečje do izbranega prereza so prikazani na sliki 3.

¹ Vrednosti odtočnega potenciala, ki so bile določene v sklopu CRP projekta "Konkurenčnost Slovenije 2006 - 2013", smo na posameznih področjih primerjali z vrednostmi določenimi »na roke« z uporabo pedološke karte za določitev odtočnega potenciala. Rezultati so bili primerljivi. Pregledali smo tudi posamezna območja z »znanim« odtočnim potencialom (npr. Barje), in rezultati projekta tudi na teh območjih podajajo logične in pričakovane rezultate.



Map of the study area showing land parcels with their names and CN numbers. The parcels are color-coded: green for forest (Gozd), blue for water (Voda), and yellow for agricultural land (Polje). The map includes labels for various parcels such as 'Gozd CN:70', 'Polje CN:71', 'Voda CN:81', etc.

9

Čas zakasnitve smo izračunali z uporabo enačbe SCS in je funkcija dolžine struge, povprečnega padca porečja in povprečnega koeficienta CN.

2.3 Izračun površinskega odtoka in rezultati izdelanega hidrološkega modela

Za potrebe določitve projektnih visokovodnih valov z 10, 100 in 500 – letno povratno dobo na lokaciji izbranega hidrološkega prereza, smo v programskem okolju HEC-HMS (verzija 4.3) postavili hidrološki model. Z modelom smo določili niz poplavnih valov z različnim trajanjem padavin, ki bodo osnova oziroma vhodni podatek v hidravlični model.

Izračun smo izvedli za različna trajanja padavin (med 0.5 in 6 h). Uporabili smo v prejšnjih poglavjih opisane vhodne podatke. Dodatni vhodni podatki (Tabela 3), ki jih potrebujemo za zagon modela so še delež neprepustnih površin (%), začetne izgube Ia (mm) z razmerjem med začetnimi izgubami Ia in maksimalne retenzije porečja Sr in tip krivulje SCS sintetičnega hidrograma enote.

Tabela 3: Tabelarični prikaz dodatnih vhodnih podatkov za zagon modela HEC-HMS

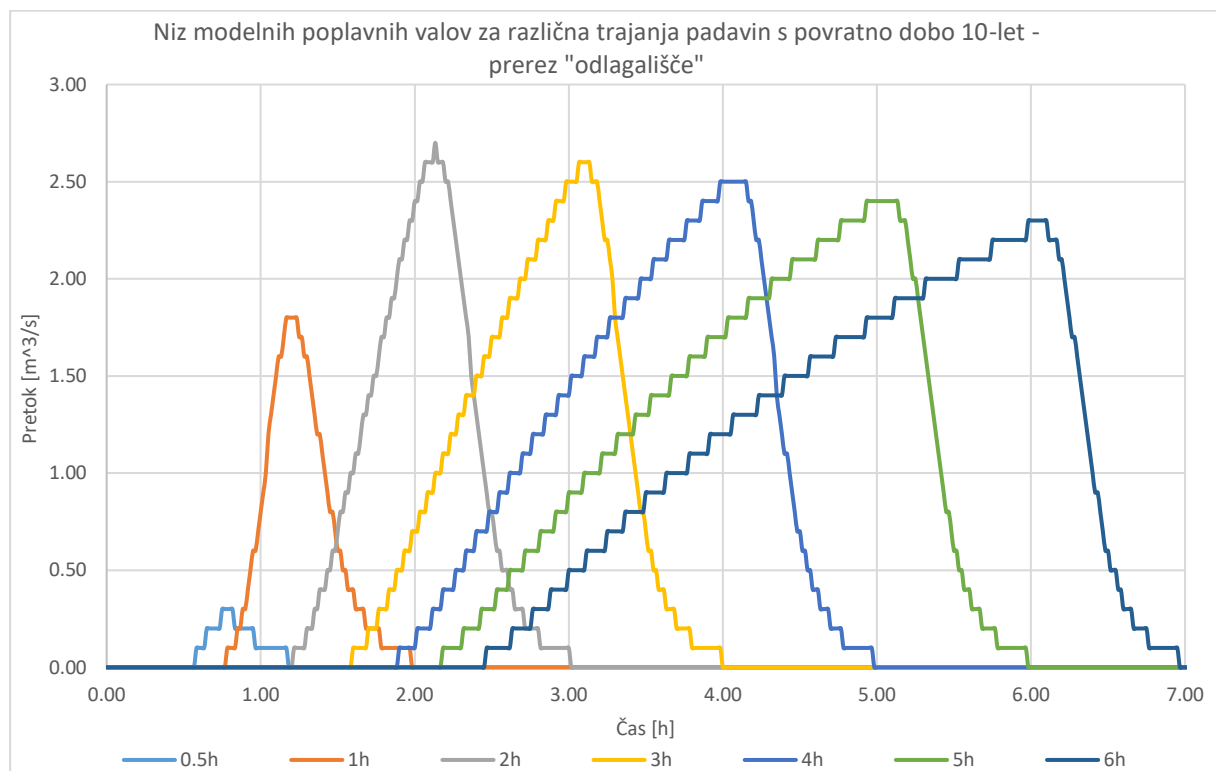
Porečje Rakovnik (prerez: »odlagališče«)			
Delež neprepustnih površin [%]	Začetne izgube Ia [mm]	Razmerje začetnih izgub Ia in maksimalne retenzije porečja Sr [/]	Tip krivulje SCS sintetičnega hidrograma enote
0	26.17	0.2	Standardna (PRF 484)

Deleža neprepustnih površin nismo upoštevali, saj smo neprepustne površine upoštevali kot del določitve koeficienta CN (pozidano in sorodno zemljišče).

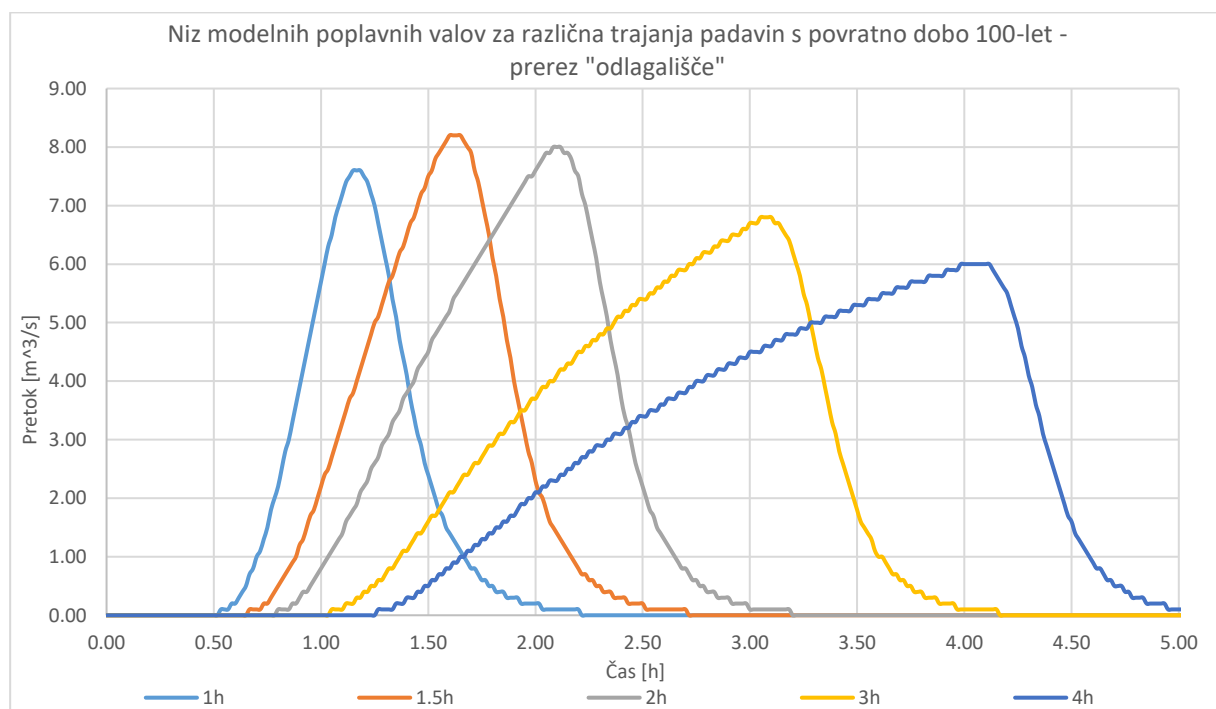
Za vrednost razmerja med začetnimi izgubami Ia in maksimalne retenzije porečja Sr smo upoštevali najbolj pogosto uporabljeno vrednost, in sicer 0.2 (Ponce and Hawkins, 1996; SCS, 1964). Tudi izbran sklop vrednosti koeficienta CN je določen z upoštevanjem razmerja 0.2.

Tip krivulje SCS sintetičnega hidrograma enote, ki določa obliko hidrograma enote, smo upoštevali kot standardno obliko oziroma PRF 484 (angl. »Peak rate factor of 484«). Slednja oblika definira potek hidrograma enote na način, da je 3/8 celotnega volumna hidrograma v naraščajočem delu grafa in preostalih 5/8 celotnega volumna v padajočem delu grafa. Ker je slednje odvisno od karakteristike porečja in ker analizirano porečje nima lastnosti izredno strme doline oziroma močno urbaniziranega področja in ne lastnosti zelo ravninskega porečja smo ohranili sredinski tip krivulje, in sicer standardni PRF 484. Slednji je tudi najbolj analiziran in priporočljiv. Poleg tega bi sprememba tipa krivulja zahtevala vsaj delno umerjanje modela, ki pa ga zaradi pomanjkanja meritev ni bilo mogoče izvesti.

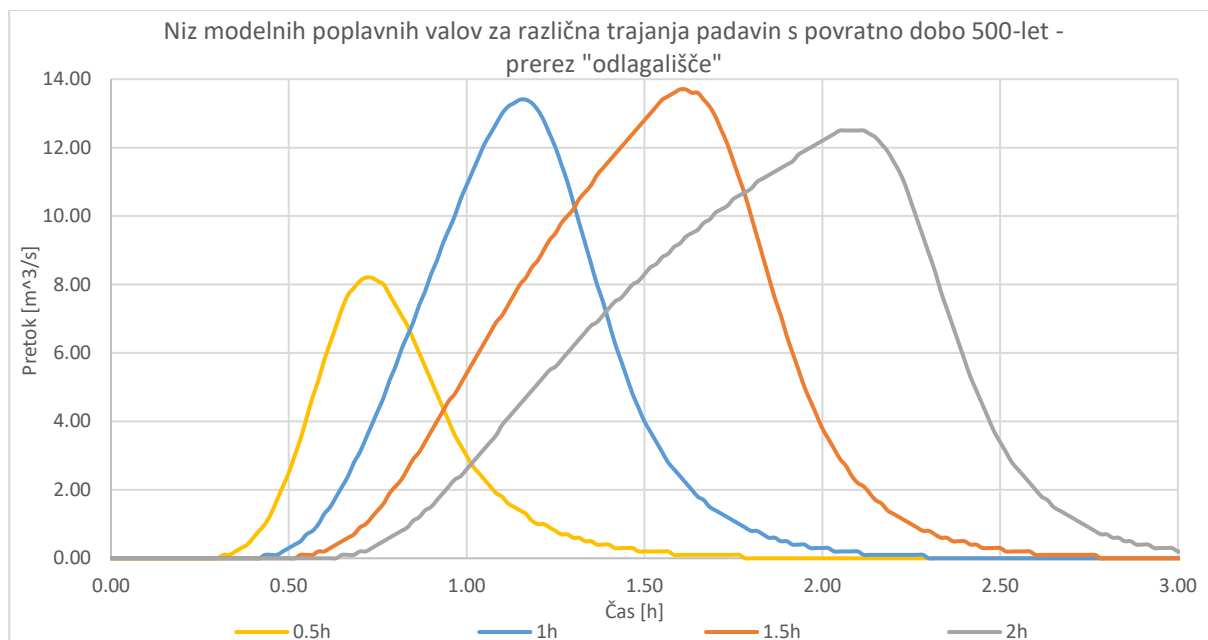
Glede na predstavljene vhodne podatke smo z modelom HEC-HMS verzija 4.3 izvedli izračun vodnih količin za niz sintetičnih padavinskih dogodkov različnega trajanja. Na slikah 4-6 podajamo nize poplavnih valov, karakteristike valov pa na tabelah 4-6.



Slika 4: Prikaz niza modelnih poplavnih valov s povratno dobo 10 – let za prerez »odlagališče«



Slika 5: Prikaz niza modelnih poplavnih valov s povratno dobo 100 – let za prerez »odlagališče«



Slika 6: Prikaz niza modelnih poplavnih valov s povratno dobo 500 – let za prerez »odlagališče«

Tabela 4: Karakteristike niza poplavnih valov v primeru povratne dobe 10-let za prerez »odlagališče«

PRF 484							
Ia: 0.2		1h	2h	3h	4h	5h	6h
Količina bruto padavin	mm	44	54	60	66	71	75
Velikost porečja	m ²	1490000	1490000	1490000	1490000	1490000	1490000
Volumen bruto padavin	m ³	65560	80460	89400	98340	105790	111750
Povprečen CN	/	66	66	66	66	66	66
Maksimalen pretok	m ³ /s	1.80	2.70	2.60	2.50	2.40	2.30
Količina neto padavin	mm	2.09	4.88	6.93	9.29	11.48	13.21
Volumen neto padavin	m ³	3114	7271	10326	13842	17105	19683
Volumen vala	m ³	3114	7271	10326	13842	17105	19683
koeficient odtoka	/	0.05	0.09	0.12	0.14	0.16	0.18
specifični odtok	m ³ /s/km ²	1.21	1.81	1.74	1.68	1.61	1.54

Tabela 5: Karakteristike niza poplavnih valov v primeru povratne dobe Q100 za prerez »odlagališče«

PRF 484						
Ia: 0.2		1h	1.5h	2h	3h	4h
Količina bruto padavin	mm	69	79	86.0	95	103
Velikost porečja	m²	1490000	1490000	1490000.0	1490000	1490000
Volumen bruto padavin	m³	102810	117710	128140.0	141550	153470
Povprečen CN	/	66	66	66	66	66
Maksimalen pretok	m³/s	7.60	8.20	8.0	6.80	6.00
Količina neto padavin	mm	10.56	15.2	19.0	23.7	28.54
Volumen neto padavin	m³	15734	22648	28295	35313	42525
Volumen vala	m³	15734	22648	28295	35313	42525
koeficient odtoka	/	0.15	0.19	0.22	0.25	0.28
specifični odtok	m³/s/km²	5.101	5.503	5.369	4.564	4.027

Tabela 6: Karakteristike niza poplavnih valov v primeru povratne dobe Q500 za prerez »odlagališče«

PRF 484					
Ia: 0.2		0.5h	1h	1.5h	2h
Količina bruto padavin	mm	65	88	102	110
Velikost porečja	m ²	1490000	1490000	1490000	1490000
Volumen bruto padavin	m ³	96850	131120	151980	163900
Povprečen CN	/	66	66	66.0	66
Maksimalen pretok	m ³ /s	8.2	13.4	13.7	12.5
Količina neto padavin	mm	8.93	19.95	27.8	32.99
Volumen neto padavin	m ³	13306	29726	41422	49155
Volumen vala	m ³	13306	29726	41422	49155
koeficient odtoka	/	0.14	0.23	0.27	0.3
specifični odtok	m ³ /s/km ²	5.503	8.993	9.195	8.389

Modelni valovi za povratno dobo 10-let izkazujejo, da je vršni pretok posledica 2h padavin (2.7 m³/s), konica vala pa pri daljših nalivi pada počasi. Posledično smo v hidravličnem modelu upoštevali modelna hidrograma, ki sta posledica 2 in 6 -urnih padavin (maksimalen prerok v primeru 6 h naliva znaša 2.3 m³/s). V primer Q100 in Q500 je prehod vršnih pretokov bolj izrazit. Tako model pri obeh povratnih dobah izkazuje vršne pretoki pri modelnih nalivih s časom trajanja 1.5 h (Q100-8.2 m³/s; Q500-13.7 m³/s). Dodatno smo zaradi sorazmerno visokih pretokov in večjih volumnov v hidravličnem modelu upoštevali še modelne valove, ki so posledica 2 h padavin (Q100-8.0 m³/s; Q500-12.5 m³/s).

3 HIDRAVLIČNA IZHODIŠČA

V tem delu bomo analizirali hidravlična izhodišča, ki smo jih uporabili znotraj modela, za potrebe določitve poplavnega stanja obstoječega stanja na območju odlagališča Rakovnik.

3.1 Vhodni podatki

3.1.1 Geometrija, manningov koeficient hrapavosti in robni pogoji

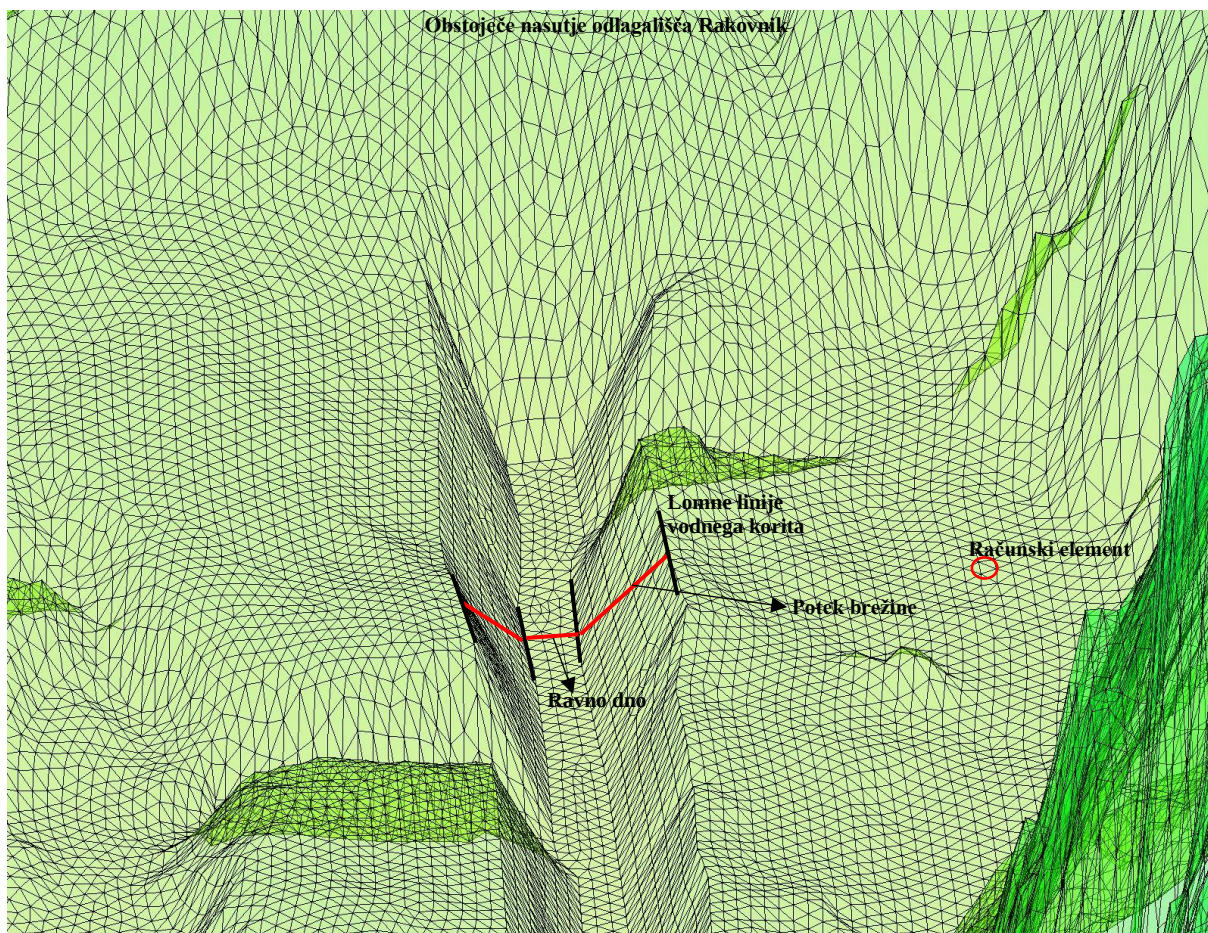
Za potrebe analize poplavnega stanja analiziranega območja smo uporabili v osnovi povsem 2D model RiverFlow 2D (posamezne komponente kot so mostovi, prepusti se preračunavajo kot 1D tok). V modelu celoten izračun temelji na trikotnih elementih, ki se lahko znotraj računske domene poljubno gostijo. Tako smo na območju upoštevanih strug, barier, dolinskega dna in pomembnejših območij računske elemente zgostili, na ostalem delu pa jih primerno razredčili. S tem smo v najboljši meri opisali batimetrijo poplavnega območja.

Osnovni topografski podatek je predstavljal izdelan DMR 1m iz LIDAR podatkov, kar je za modeliranje poplavnih površin po naši presoji ustrezno. Potek vodnega korita smo na lokacijah geodetske izmere in terenskih meritev popravili, geometrijo struge pa med merjenimi lokacijami linearno interpolirali. Popravili smo obliko struge (dno, navezava na brežine), višinski potek brežin pa smo ohranili iz DMR 1m. Popravka struge smo se lotili preko petih korakov, in sicer:

- Na podlagi terenskega ogleda in uporabljene topografije (DMR 1m) se na naravnem delu struge, oziroma delu struge kjer ni boljših geodetskih podatkov določi območje vodnega zrcala, kar predstavlja okvirno dno struge, ki je ravno.
- 3D polilinja poteka dna struge se določi na mestih terenske odmere.
- Območje med terenskima izmerama se linearno interpolira.
- 3D potek linije se »preslika« na prej oblikovan poligon vodnega zrcala.
- Dobljeno 3D ploskev poteka dna povežemo z vrhom brežine (potek med dnom in vrhom brežine je linearno).
- Na delu kjer smo razpolagali z geodetskim posnetkom vodnega korita (območje odlagališča) se je le-ta uporabil za oblikovanje dna struge. Brežine smo povzeli iz LIDAR posnetka (DMR 1m), saj smo s tem zagotovili kontinuiteto modeliranega odseka.

Ker je struga sorazmerno ozka in ker smo uporabili povsem 2D model, smo znotraj struge elemente zgostili. S tem smo zagotovili ustrezen potek terena znotraj vodnega korita. Posledično je bila površina posameznih računskih elementov majhna (povprečna površina

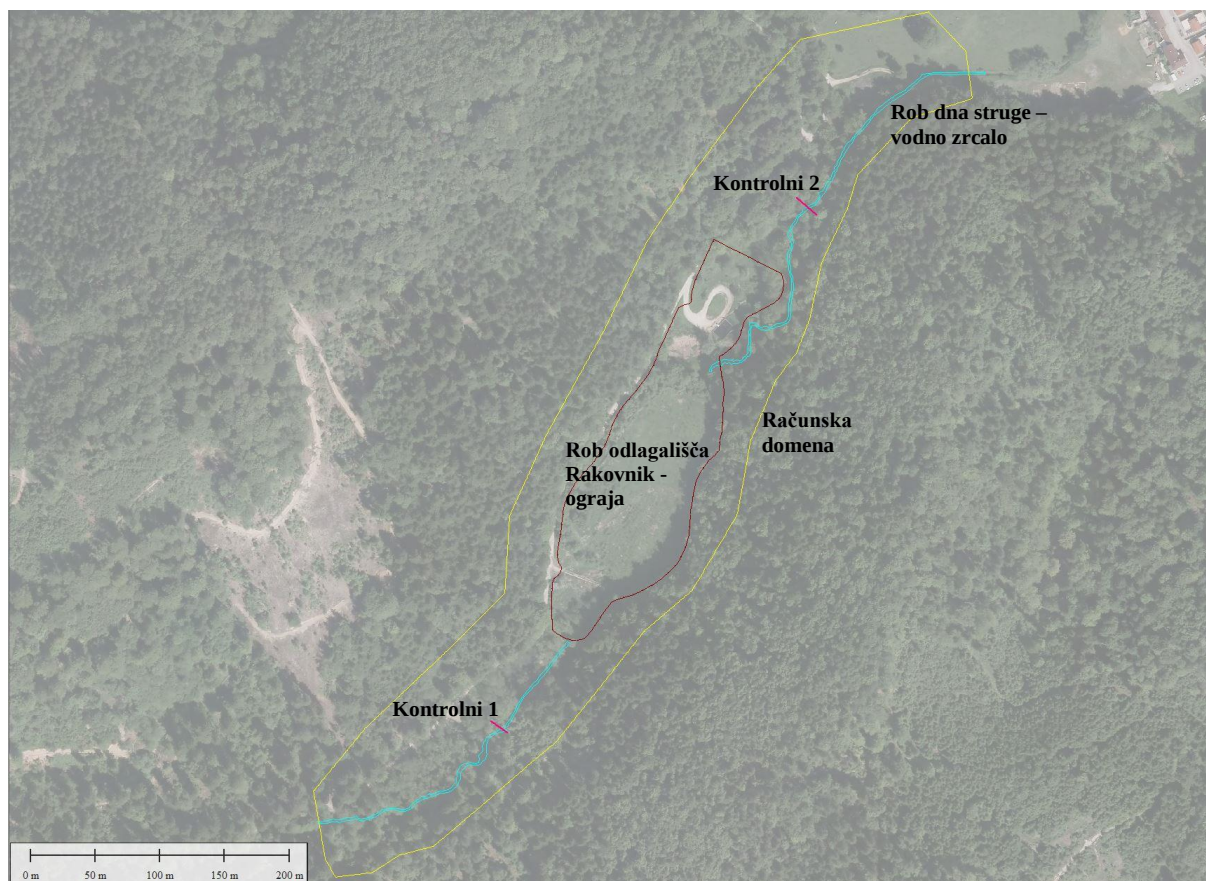
elementov je znašala 0.2 m^2 , minimalna površina 0.034 m^2 , maksimalna pa 0.52 m^2). Poleg tega model RiverFlow 2D omogoča uporabo lomnih linij (angl. »breaklines«) s katerimi prilagodimo izdelavo računske mreže na tarčna območja. Tako smo območje struge omejili na 4 ključne lomne linije, in sicer brežine in rob dna struge. Na območju dna struge smo upoštevali ravno dno. Prikaz konstruiranja batimetrije prikazujemo na Sliki 7.



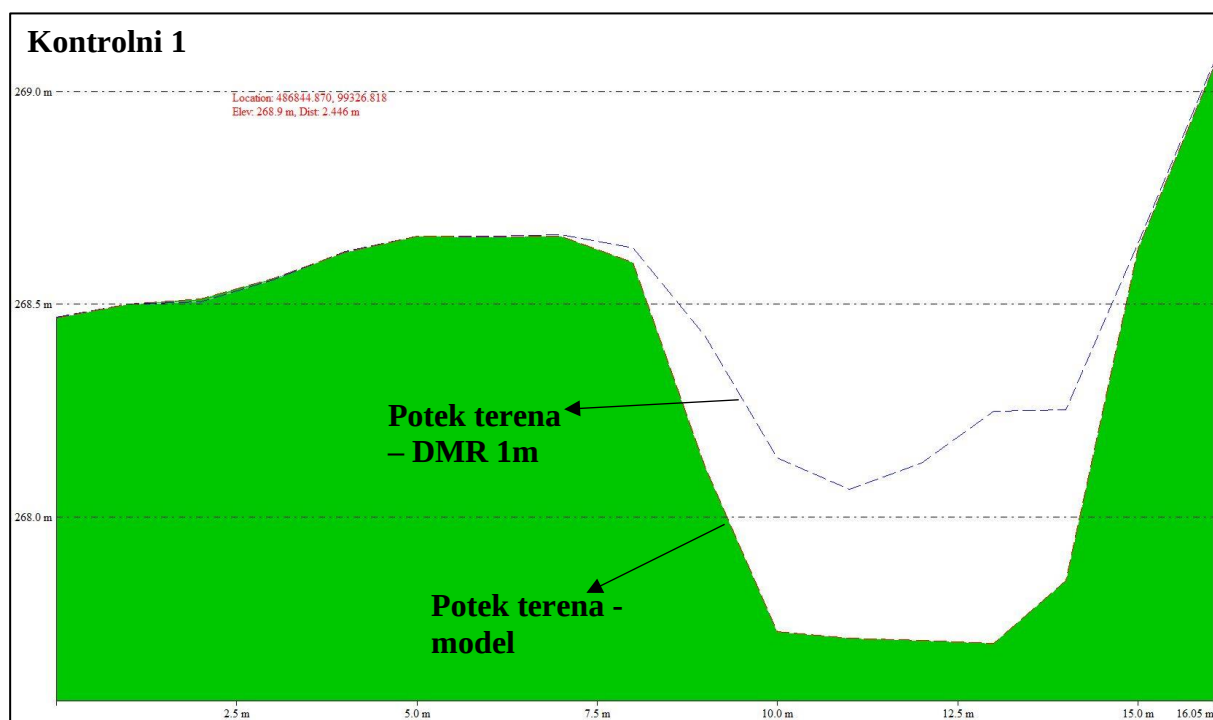
Slika 7: Prikaz modelne mreže v 3D pogledu s prikazom posameznih detajlov konstruiranja struge in ostalih elementov batimetrije (območje vtoka potoka Rakovnik v prepust)

Način poglobitve struge podaja generalno informacijo o obliki struge in je zaradi napenjanja na LIDAR podatek povezava med popravkom struge in območjem brežin (podatek iz LIDAR-ja) ustrezna in pravilna. Kot omenjeno je geometrija struge po našem mnenju dovolj natančno opredeljena. Poplavna analiza z oblikovano strugo na prej opisan način bo ustrezno izkazovala propagacijo poplavnega toka vzdolž struge in oblikovane poplavne tokove v primeru preseganja prevodne sposobnosti struge. Geometrija struga je primerna za analizo visokih pretokov, kjer še posebej pri katastrofalnih pretokih prevodna sposobnost struge manj vpliva na poplavljanje območja.

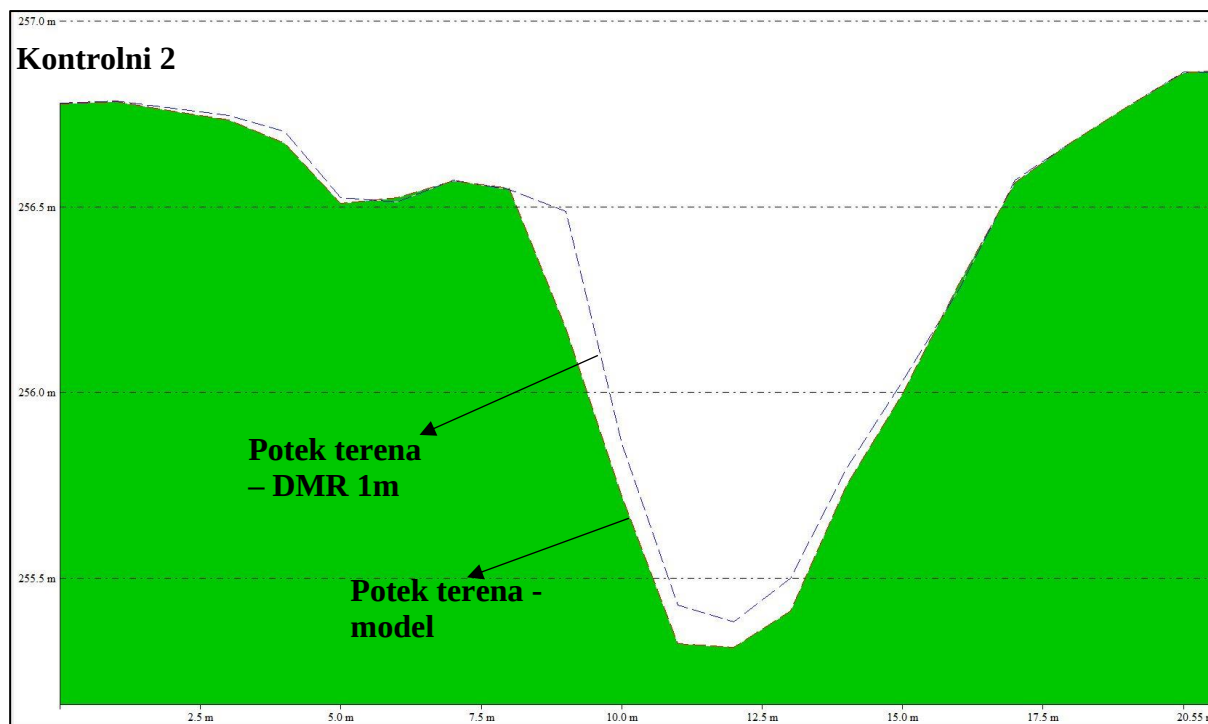
Za lažjo predstavo končne oblike struge (v modelu), bomo v nadaljevanju podali modelni potek struge glede na LIDAR podatek (DMR 1m), in sicer na nivoju 2-kontrolnih prečnih prerezov (Slika 8). Primerjava poteka terena na nivoju prečnega prereza je prikazana na slikah 9 in 10.



Slika 8: Prikaz lokacij kontrolnih prerezov



Slika 9: Primerjava poteka profila (model, DMR 1m) na lokaciji kontrolnega prereza 1



Slika 10: Primerjava poteka profila (model, DMR 1m) na lokaciji kontrolnega prereza 2

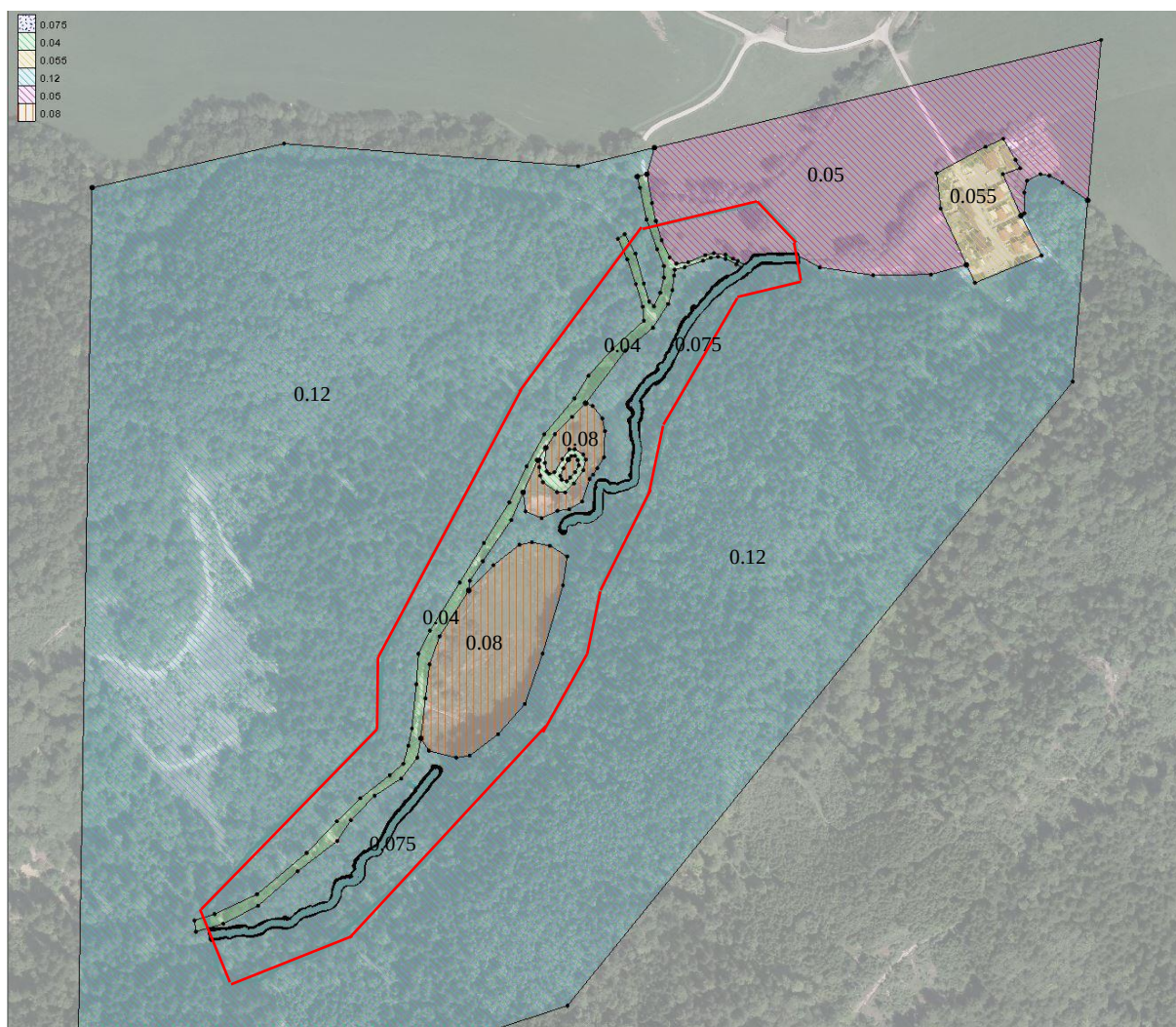
Zavedamo se, da način popravka struge ni povsem natančen, kljub vsemu pa smo mnenja, da je popravek struge za namen modeliranja ustrezen (visoke vode, kritično mesto je vtok v prepust, ki je izmerjen). Nenatančnost zajema struge na prej opisan način pride najbolj do izraza v primeru nižjih pretokov, model pa izkazuje, da se pri povratni dobi 10-let že zgodijo prva prelivanja. Ker je struga generalizirana iz DMR 1m s popravki struge na lokalnih mestih (meritev, geodetska izmera), nižanje dna korita glede na posnetek DMR ni bilo izrazito (do 35 cm). Slednje pomeni, da je prevodnost struga na konservativni/varni strani. Kritična mesta (prepust, most) so bila odmerjena in tako pravilno definirana znotraj modela. V modelu smo upoštevali prepust (daljši prepust pod odlagališčem) in most dolvodno od odlagališča. Kot omenjeno je bila geometrija obeh objektov izmerjena.

Mostovi so v RiverFlow2D upoštevani z geometrijo prečnega prereza mostu (mostni konstrukcijski elementi – spodnji in zgornji rob konstrukcije, vmesne podpore, krilni zidovi), ki je napeta na modelno višino reliefa. Podatki prečnega prereza mostu so lokacijsko umeščeni s poli-linijo (angl. »polyline«) oziroma črto nezveznosti/lomno linijo (angl. »breakline«) v model. Izračun pretoka skozi/čez mostno odprtino temelji na dinamični enačbi, kjer most prisostvuje lokalni energijski izgubi. Slednja je izračunana na podlagi Borda-Carnot formuli za energijske izgube in nenadne zožitve ali širitve za cevovode, ki pa se lahko uporablja tudi pri toku s prosto gladino (Ratia, Murillo & Garcia-Navarro, 2004).

Prepusti so upoštevani kot 1D elementi in so v modelu upoštevani s pripisom vtočne in iztočne lokacije tangiranimi trikotnima elementoma mreže. Določi se dimenzije prepusta s potrebnimi parametri, ki so osnova za izračun pretoka skozi prepust. Pretok skozi prepust je izračun na podlagi FHWA procedure (Norman et al. 1985), ki jo je prilagodil Froehlich (2003).

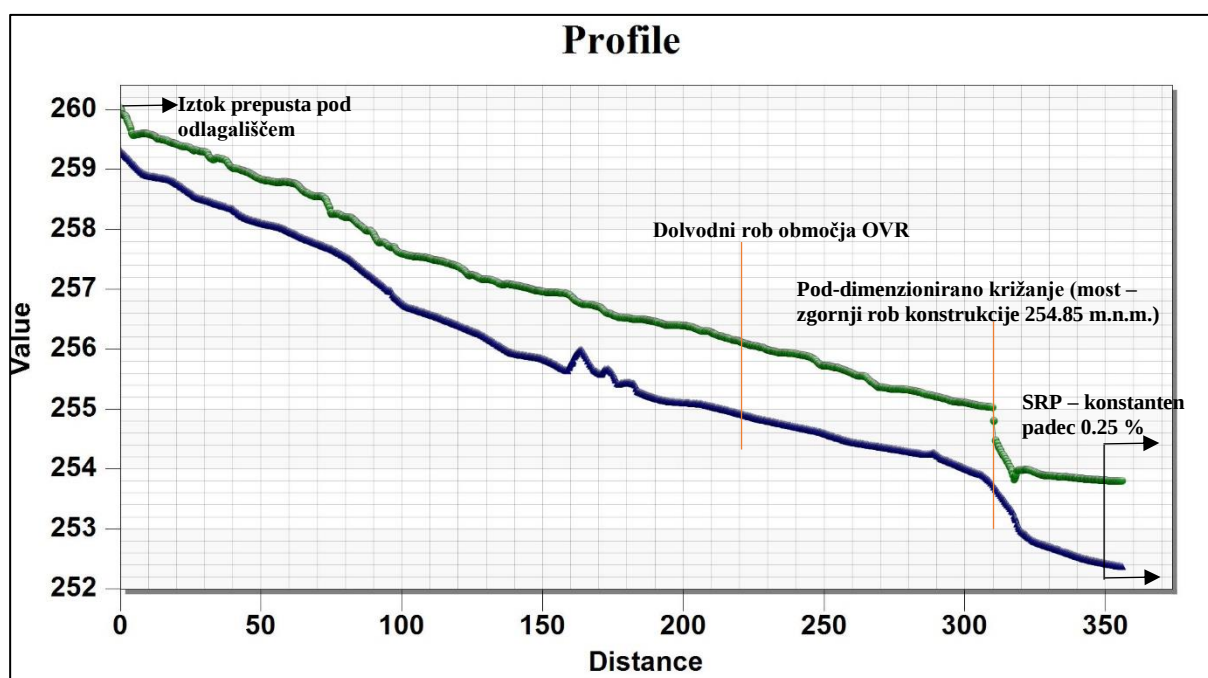
Podrobnosti o upoštevanju mostovnih in prepustnih elementov v Riverflow2D in vseh ostalih podrobnosti o RiverFlow2D so podrobno opisane v referenčnem priročniku (Hydronia LLC, 2017).

Poleg geometrije struge je eden glavnih parametrov za izračun hidravličnih karakteristik tudi Mannigov koeficient hrapavosti, katerega vrednost smo določili na podlagi izkazane vegetacije struge in poplavnih površin (obstoječa raba tal). Uporabljene vrednosti prikazujemo na sliki 11 in so znotraj intervala 0.04 (ceste) in 0.12 (gozd). Znotraj struge smo uporabili vrednost 0.075, na območju odlagališča (neobdelane zaraščene površine) 0.08, na območju travnikov 0.05 in na območju poselitve 0.055.



Slika 11: Prostorski prikaz območij z različnimi vrednostmi koeficienta hrapavosti

Za spodnji robni pogoj smo privzeli normalno globino s konstantnim padcem 0.25 %. Vrednost je določena na podlagi minimalno izkazanega obstoječega padca struge dolvodno od računske domene (krajši odsek). Spodnji robni pogoj je tako na precej konservativni strani (generalni padec struge dolvodno od računske domene znaša med 0.6 in 0.7 %) in kljub vsemu ne vpliva na hidravlične karakteristike na območju odlagališča oziroma območju veljavnosti računa (območje OVR), saj smo le-tega postavili z ustreznim dolvodnim odmikom. Slednje prikazuje tudi Slika 12, kjer je izkazano, da na gladine in ostale hidravlične karakteristike na območju odlagališča in območja OVR upoštevan SRP ne vpliva. Na dolvodni rob območja OVR delno vpliva zajeza križanja/mostu, ki je poddimenzioniran.



Slika 12: Prikaz stanja gladin na spodnjem delu modela, oziroma na območju spodnjega robnega pogoja (SRP - prikaz na nivoju vzdolžnega profila – analiza v primeru 1.5-urnega trajanja padavin s povratno dobo 100-let)

Priloga 1: Pregledna karta obravnavanega območja

3.2 Izračun

Na podlagi vseh naštetih vhodnih podatkov smo v orodju RiverFlow 2D postavili hidravlični model obravnavanega območja, s katerim smo simulirali distribucijo modelnih vodnih količin znotraj računske domene. Modelirali smo visoke vode iz porečja potoka Rakovnik do prereza »odlagališče«. Analizirali smo povratne dobe 10, 100 in 500 – let z različnimi trajanji nalivov. Tako smo modelirali hidrograme, ki so bili posledica 2 in 6 – urnih modelnih padavin v primeru povratne dobe 10-let in 1.5 ter 2 – urnih modelnih padavin v primeru povratne dobe 100 in 500 – let. Slednji hidrogrami »povzročijo« najbolj intenzivno (globina, hitrost) in obširno (doseg)

poplavljanje analiziranega območja. Poplavne karte predstavljajo ovojnico vseh modelnih rezultatov.

3.2.1 Karta poplavne nevarnosti obstoječega stanja – globine, produkt globin in hitrosti

Izdelana karta poplavne nevarnosti podaja informacije o globinah vode kot tudi o dosegu poplav z 10, 100 in 500 - letno povratno dobo. Iz izdelane karte je razvidno, da potok Rakovnik začne poplavljanje pri modelni povratni dobi 10-let. Pri tej povratni dobi pride do prvih lokalnih prelitij, prevodna sposobnost obstoječega prepusta pod odlagališčem pa je na zgornjem robu zmogljivosti (zadušen pretok kot posledica škatlastega vtoka, ki ima manjšo prevodnost kot cev). V primeru povratnih dob 100 in 500 – let pride do obširnejšega prelivanja potoka izven svoje struge. Prevodna sposobnost prepusta pod odlagališčem je izkoriščena zato se vzpostavi vzporedni tok po cesti, ki obteka odlagališče. Osrednji del odlagališča (najbolj nasut del) tako v primeru povratnih dob 100 in 500 – let ni poplavno ogrožen. V primeru povratne dobe 100 – let se tako okoli 70 % pretoka prevaja po obstoječi cesti, preostalih 30 % pa skozi prepust. V primeru povratne dobe 500 – let pa je to razmerje 80-20, saj je prevodna kapaciteta prepusta povsem izkoriščena že nad modelne pretoke s povratno dobo 10-let. Na gorvodnem delu odlagališča prevladujejo globine nad 0.5 m (tudi izven struge), na dolvodnem delu pa globine nižje od 0.5 m (izjema je struga). Hitrosti nad 1 m/s so izkazane znotraj struge in po cesti mimo odlagališča, kjer se vzpostavi sorazmerno močan poplavni tok, ki odlagališče obteka.

Priloga 2: Karta poplavne nevarnosti obstoječega stanja (globine)

Priloga 3: Karta poplavne nevarnosti obstoječega stanja (produkt globin in hitrosti)

3.2.2 Karta razredov poplavne nevarnosti obstoječega stanja

Karto razredov poplavne nevarnosti, ki kaže na potencialno nevarnost z vidika poplav na analiziranem območju, smo izdelali na podlagi združitve analiz vseh treh pretokov (Q10, Q100 in Q500) v skladu z veljavnimi predpisi.

V delu gorvodno od prepusta pod odlagališčem prevladuje srednji razred poplavne nevarnosti. Slednji razred prevladuje tudi na območju ceste mimo odlagališča. Dolvodno od prepusta pod odlagališčem pa prevladuje majhen poplavni razred (izjema je struga). Na cesti mimo odlagališča se lokalno pojavi tudi velik razred poplavne nevarnosti.

Priloga 4: Karta razredov poplavne nevarnosti obstoječega stanja

3.2.3 Karta erozijske nevarnosti in razredov erozijske nevarnosti obstoječega stanja

Prenos/odlaganje sedimentov je v času poplavnih dogodkov vedno prisotno. Modelna analiza prenosa sedimentov je možna, vendar močno omejena s podatki na podlagi katerih lahko zgradiš model, ki daje logične rezultate. Na tem mestu manjkata dva ključna parametra, in sicer poznavanje strukture sedimentov (zrnavost, sejalna analiza – d_{50} , d_{90}) in meritev količine rinjenih plavin znotraj posameznih poplavnih dogodkov (podatek za umerjanje). Uporaba različnih metod za izračun prenosa sedimentov brez ustreznega umerjanja daje velik raztros dobljenih rezultatov. Posledično prenosa sedimentov nismo modelirali.

Kljub vsemu smo izvedli analiza erozijske nevarnosti, vendar na podlagi hitrostnega polja in inženirske poenostavitve. Karte smo tako izdelali na podlagi sledeče metodologije (pri modelnem stanju povratne dobe 100-let):

1. Na območjih s hitrostmi višjimi od 1 m/s se upošteva proces odplavljanja.
2. Na območjih s hitrostmi nižjimi od 1 m/s se upošteva proces odlaganja.

Tako smo na poplavnem območju (izven struge) s hitrostmi nižjimi od 1 m/s predpostavilo odlaganje v količinah manjših od 0.3 m (E100odlm). Območja s hitrostmi nad 1 m/s smo razdelili na dva dela, in sicer območje dna struge oziroma vodnega zrcala ter ceste mimo odlagališča z izkazanimi najvišjimi hitrosti in na del poplavnih površin, kjer so sicer zaznane hitrosti nad 1 m/s, vendar so le-te nižje kot strugi in cesti (med 1-1.5 m/s). Za območja v strugi in na cesti z izrazitimi hitrostmi smo tako predpostavili odplavljanje kamninskega materiala v količinah med 0.5 in 2 m (E100odps), na preostalem delu izkazanih visokih hitrosti (med 1-1.5 m/s) pa smo predpostavili odplavljanje kamninskega materiala v količinah, ki so manjše od 0.5 m (E100odpm). Mnenja smo, da je metodologija ustrezna. Vsekakor je potrebno še posebej izpostaviti cesto mimo odlagališča, kjer se pretaka večji del modelnih pretokov visokih voda (nad povratno dobo 10 – let) in kjer se posledično izkazujejo tudi visoke hitrosti. Cesta je v makadamski izvedbi in najverjetneje ni ustrezno utrjena za pričakovano obtežbo visokih voda. Posledično lahko pride do večjih poškodb cestnega telesa in do ogrožanja stabilnosti nasutega območja odlagališča Rakovnik. Posledično smo tako na območju ceste (deli s povišanimi hitrostmi) predpostavili bolj intenzivno odplavljanje (med 0.5 in 2 m) in posledično srednji razred erozijske nevarnosti.

Izdelana karta razredov erozijske nevarnosti tako izkazuje mali razred erozijske nevarnosti, ki se vzpostavi na poplavnih ravninah in srednji razred erozijske nevarnosti znotraj struge in v delu ceste mimo odlagališča.

Priloga 5: Karta erozijske nevarnosti obstoječega stanja

Priloga 6: Karta razredov erozijske nevarnosti obstoječega stanja

4 PREDLAGAN SKLOP OMILITVENIH UKREPOV ZA POTREBE ZMANJŠANJA POPLAVNE OGROŽENOSTI ODLAGALIŠČA RAKOVNIK

Poplavno stanje odlagališča Rakovnik, kot ga izkazujejo obstoječe poplavne karte, je po načinu vodenja visokih voda sorazmerno ustrezno, vendar je izvedbeno/tehnično pomanjkljivo. Glede na obstoječe poplavno stanje se modelni pretoki s povratno dobo 10-let v celoti prevajajo preko obstoječe vkopane betonske cevi pod odlagališčem. V primeru višjih povratnih dob (100 in 500 - let), pa se poplavni tok v delu nad pretokom z 10-letno povratno dobo prevajajo po cesti, ki nudi alternativno/sekundarno razbremenilno pot viškom vodnih količin. Glavno omejitev za pretočno sposobnost ne predstavlja betonska cev notranjega premera 1350 mm, temveč vhodni element zacevitve, ki je opremljen z neustreznimi grabljami in deluje kot močna dušilka.

Sam koncept je po naši presoji dokaj ustrezen, vendar kot omenjeno je glede na obstoječe stanje tehnično pomanjkljiv, saj bi prelite vode po cesti na dolvodnem delu nekontrolirano poplavljalale spodnji plato in potencialno povzročile erozijo brežin.

Posledično smo mnenja, da je smiselno opisan in obstoječ način vodenja visokih voda mimo odlagališča Rakovnik ohraniti in ga ustrezno tehnično nadgraditi. Tako bomo v nadaljevanju opisali zasnovo ureditev vodenja visokih voda, ki bo sledila že obstoječemu načinu s tehnično nadgradnjo, in sicer kot SC1. Dodatno bomo kot alternativo opisali še predlog izvedbe nove vkopane cevi pod obstoječo cesto, v primeru da je obstoječa cev neprimerna za uporabo. Ta scenarij bomo poimenovali SC2.

4.1 Način vodenja visokih voda mimo odlagališča Rakovnik – SC1

SC1 sledi obstoječemu načinu vodenja visokih voda mimo/pod odlagališčem Rakovnik, ki je v osnovi dokaj ustrezen. Scenariju smo dodali še pomembne tehnične komponente. Zaradi že obstoječe infrastrukture (vkopana cev), je po našem mnenju scenarij tudi najbolj izvedljiv. Pri realizaciji SC1 je potrebno poudariti, da le-ta temelji na predpostavki, da je obstoječa cev ustrezna (brez vmesnih porušitev in sprememb dimenzij²) in kot taka zmožna prevajati pričakovane količine do Q100.

Tok po cevi bo v primeru visokih voda intenziven (pričakovan tok po cevi bo v primeru povratne dobe 100 – let znašal slabih 7 m³/s), pričakovan je tudi deroči tok (visoke hitrosti). Posledično mora cev nuditi ustrezno statično in mehansko/erozijsko odpornost. Poleg tega cev

² Načeloma ustrezno stanje cevi je navedeno v poročilu IRGO (2020)

ne sme biti povezana z odlagališčem (morebiten vtok drenaž), da v primeru večjega toka po cevi ne pride do nasprotnega toka, oziroma do vtoka vode iz cevi v jedro odlagališča. Dokazovanje slednjega ni predmet študije.

Predlog scenarija (SC1) zajema naslednje komponente, kjer dodajamo tudi krajši opis učinka ukrepa:

1. Na območju vtoka v vkopano betonsko cev se umesti in izvede pregrada za zadrževanje plavja (vej, dreves)

Ker je prispevno območje močno zaraščeno, je v primeru visokih voda (visokih intenzitet padavin) pričakovan povečan dotok plavin in predvsem plavja. Pri samem cevovodu so plavine neproblematične, saj lahko propagirajo skozi cev, drugače je s plavjem, ki lahko zamaši vtok v cev.

Posledično je smiselno pred vtokom v vkopano cev umestiti in izvesti pregrado za zadrževanje plavja, kjer se bo večina plavja (in deloma tudi plavine – sedimenti) zadržala, kar bo omogočilo neoviran vtok visokih voda v betonsko cev. Pojav plavja in sedimentov je izkazan tudi na terenu, kjer je obstoječ vtok v betonsko cev močno oviran, rešetke pred vtokom pa povsem zapolnjene in zamašene (Slika 13).



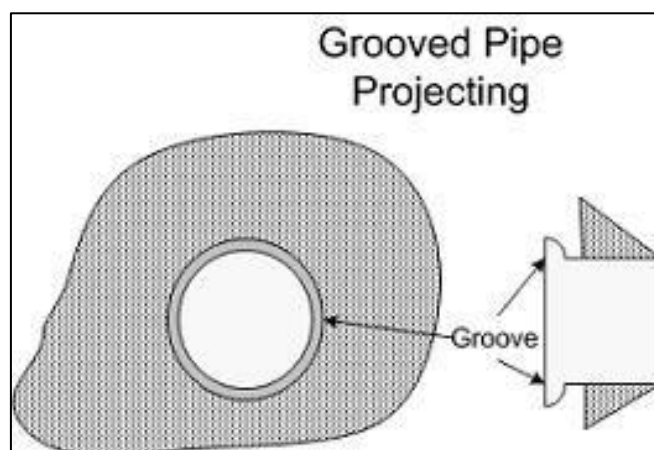
Slika 13: Prikaz obstoječega vtoka v cev, kjer je izkazan večji nanos plavlja (foto: Banovec)

Na Prilogi 7, kjer shematično prikazujemo predlagan sklop ukrepov z modelnim dosegom pri povratni dobi 100 – let, smo vrisali tudi okvirno lokacijo pregrade za zadrževanje plavja. Lokacija je okvirna in se detajlno določi v času priprave projekta.

Priporočamo, da je pregrada za zadrževanje plavja z vidika tesnenja povezana s tesnenjem (prekritjem) deponije, saj se na ta način preprečuje tudi natekanje vode v telo deponije v času visokih voda.

2. Vtok v obstoječo cev se izvede na način izkoriščanja celotne svetle odprtine cevi (efektivni premer znaša 1350 mm)

Glede na obstoječe stanje je vtok v cev močno oviran in ne omogoča izkoriščanja celotnega svetlega profila cevi (Slika 13). Posledično je prevodnost cevi zmanjšana (v modelu obstoječega stanja je bil vtok v cev zmanjšán na pravokotni prerez širine 2 m in višine 0.5 m). V modelu projektiranega stanja smo upoštevali cev, ki sega izven brežine (angl. »Projecting from fill«) in ima »žlebasto« vtočno glavo (angl. »Grooved edge«; cev z obojko). Shematičen prikaz vtoka prikazujemo na Sliki 14.



Slika 14: Shematičen prikaz geometrije vtoka v betonsko cev, ki smo ga upoštevali v modelu (preko, za takšen vtok pripadajočih, parametrov)

3. Na iztok iz cevi se uredi podslapje

Zaradi večje dimenzije cevi in vzdolžnega padca je pričakovan deroči tok v cevi in posledično prehod iz deročega v mirni režim dolvodno od cevi. Posledično je pričakovan močan iztok iz cevi, energijo iztoka pa je potrebno ustrezno znižati/omejiti, kar se izvede s podslapjem, ki mora biti ustrezno dimenzionirano. V nasprotnem primeru je na iztočnem delu cevi v času visokovodnih dogodkov pričakovati močno erozijo, ki lahko ogrozi stabilnost cevi kot tudi dolvodna območja.

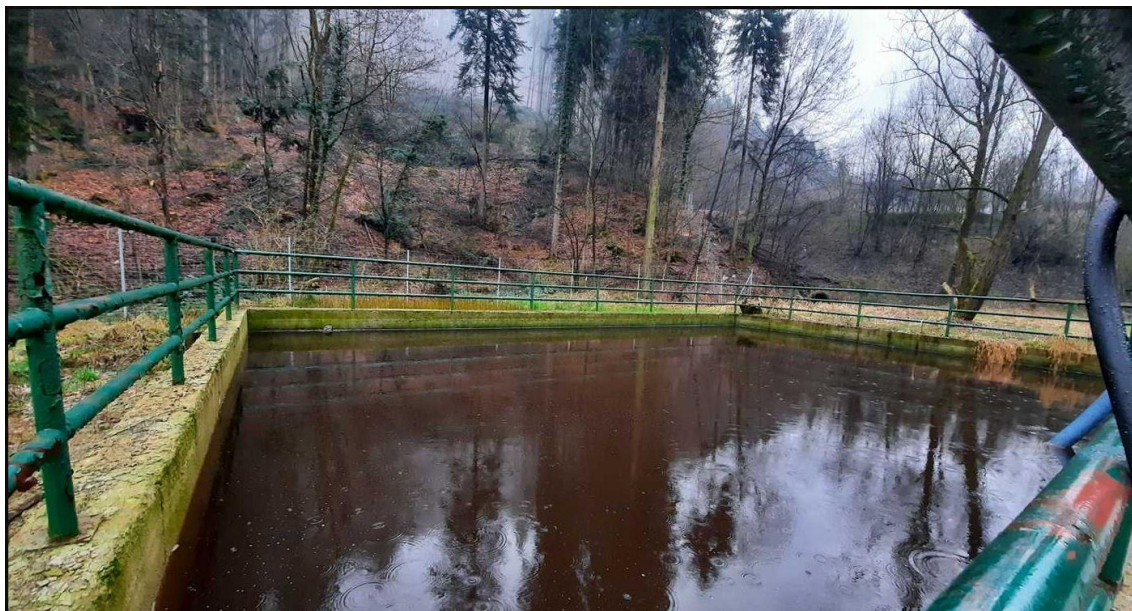
4. Vzporedna cesta se ustrezno utrdi

V primeru visokih voda (okvirno nad Q50) je pričakovano, da se bodo viški voda drenirali tudi po cesti ob deponiji. Cesta kot varnostni preliv je ustrezen varnostni mehanizem, vendar pa je potrebno cesto ustrezno utrditi. Glede na obstoječ potek nivelete ceste, se le-ta po prvih 100-tih metrih precej poveča, kar posledično pomeni pospeševanje poplavnega toka in pojav hitrosti

nad 1 m/s. Glede na predstavljena dejstva je potrebno cestno telo ustrezno utrditi, vključno z navezavo na naravno brežino in na brežino nasutja deponije in s tem preprečiti odnašanje materiala in pojav erozije. Morebitne obstoječe drenaže, ki potekajo po zahodnem delu odlagališča (vzdolž ceste), je potrebno ustrezno zaščititi pred vdorom poplavne vode, ki lahko posledično odtekajo v telo odlagališča oziroma proti bazenu izcednih voda. Izpostavimo še dejstvo, da ni pričakovati pogostega poplavnega toka po cesti, saj se le-ta vzpostavi v primeru višjih povratnih dob (glede na modelno analizo prevodnosti cevi in vrednotenja modelnih pretokov različnih povratnih dob, je pričakovati poplavni tok visokih voda po cesti na vsakih 50-100 – let). Glede na model je tok po cesti v primeru povratne dobe 100 – let sorazmerno omejen in znaša dobrih $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (tudi hitrosti so pretoku primerne in samo lokalno presegajo 1 m/s). Posledično se bo izrazitejši in hitrejši tok po cesti izpostavil v primeru katastrofalnih dogodkov, oziroma v primeru dogodkov blizu 500 – letne povratne dobe.

5. Ureditev vračanja poplavnega toka iz vzporedne ceste nazaj proti potoku (ureditev padca z usmeritvijo in ustrezna utrditev površin)

Podobno kot cesto, je potrebno urediti tudi območje vračanja poplavnega toka proti potoku Rakovnik na dolvodnem platoju deponije. Glede na obstoječe stanje že obstoječa topografija vodi poplavni tok iz ceste nazaj proti potoku. Kljub vsemu je potrebno slednje vračanja tehnično ustrežneje urediti in dimenzionirati. To se navezuje predvsem na ureditev padca in utrditev površin na delu med cesto in potokom, ki bo namenjena vračanju toka. Pri oblikovanju območja in načrtovanju vračanja toka je potrebno biti posebej pozoren na obstoječe ureditve tega dela, ki ne smejo biti poplavljenе (npr. bazen izcednih voda – Slika 15). Te objekte je potrebno ustrezno protipoplavno zaščititi in vračanje visokih voda iz ceste proti potoku urediti mimo teh objektov.



Slika 15: Obstojec bazen izcednih voda, ki ga je pri vračanju visokih voda iz ceste proti potoku potrebno dodatno poplavno zaščititi (foto: Banovec)

6. Ustrezna zatesnitev in utrditev nasutja deponije

V času visokih voda je pričakovano, da bodo razlite vodne količine iz treh smeri (južno, zahodno in severno) obdajale nasutje deponije. Posledično je nasutje potrebno ustrezno utrditi in zatesniti, da ne pride do pronicanja površinskih prelitih voda v telo nasutja deponije (možnost izpiranja snovi nazaj v okolje) in do erozije nasutja odlagališča. Slednje je delno zajeto že z ukrepom utrditev ceste z brežino in območjem ureditve vračanja poplavnega toka iz ceste nazaj proti potoku Rakovnik in ureditvijo podslapja.

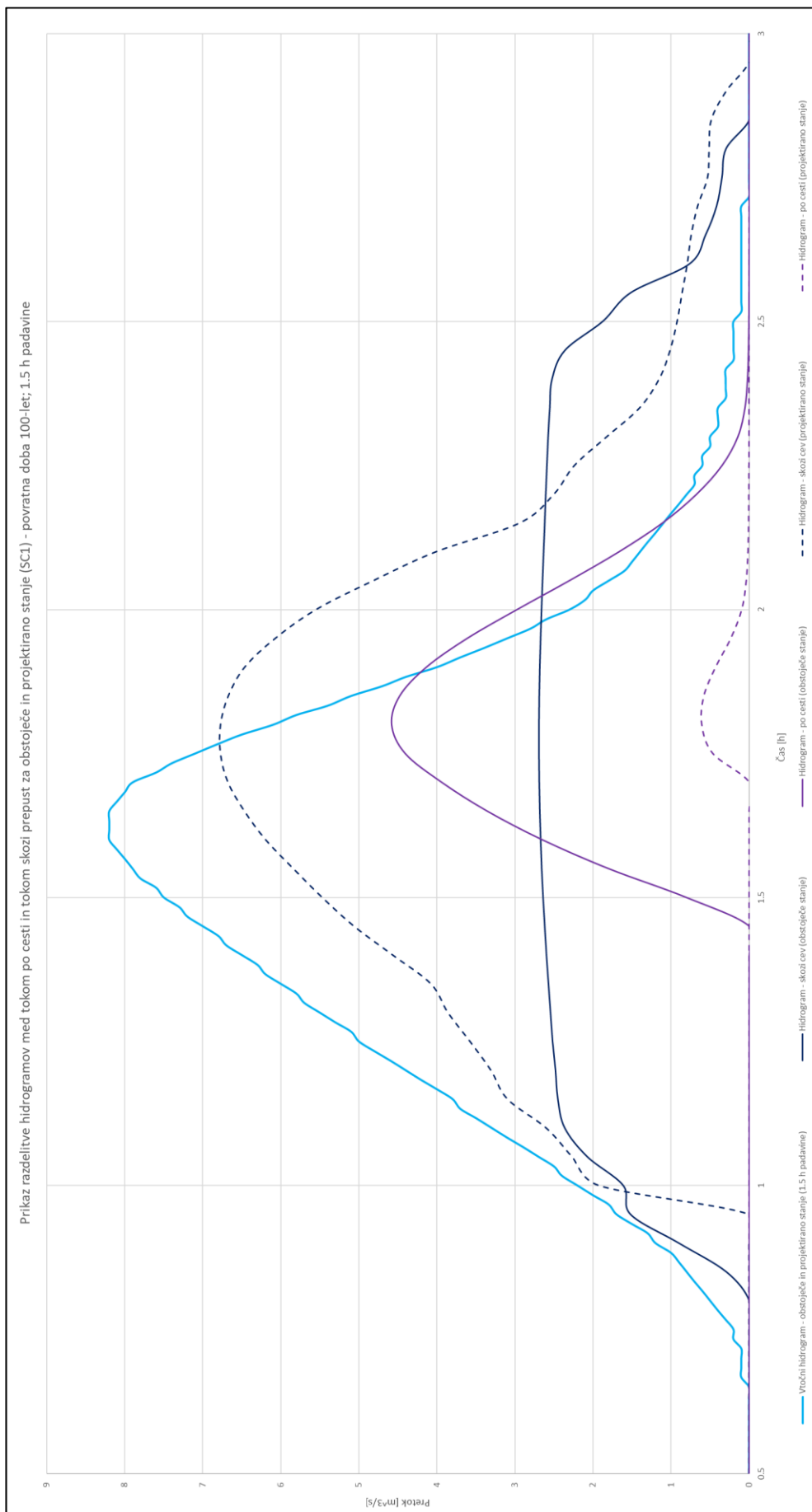
7. Vsa območja, ki so ranljiva na poplavljanje se ustrezno višinsko odmaknejo (telo odlagališča, zbirni bazen za izcedno vodo,...)

Kot že omenjeno, je potrebno vsem kritičnim delom odlagališča (npr. nasutje deponije, bazen izcednih voda,...) zagotoviti ustrezno poplavno varnost. Predlagamo varnostni odmik v višini 1 m nad modelno koto s povratno dobo 500 – let. Modelne kote obstoječega stanja so podane v Prilogi 1.

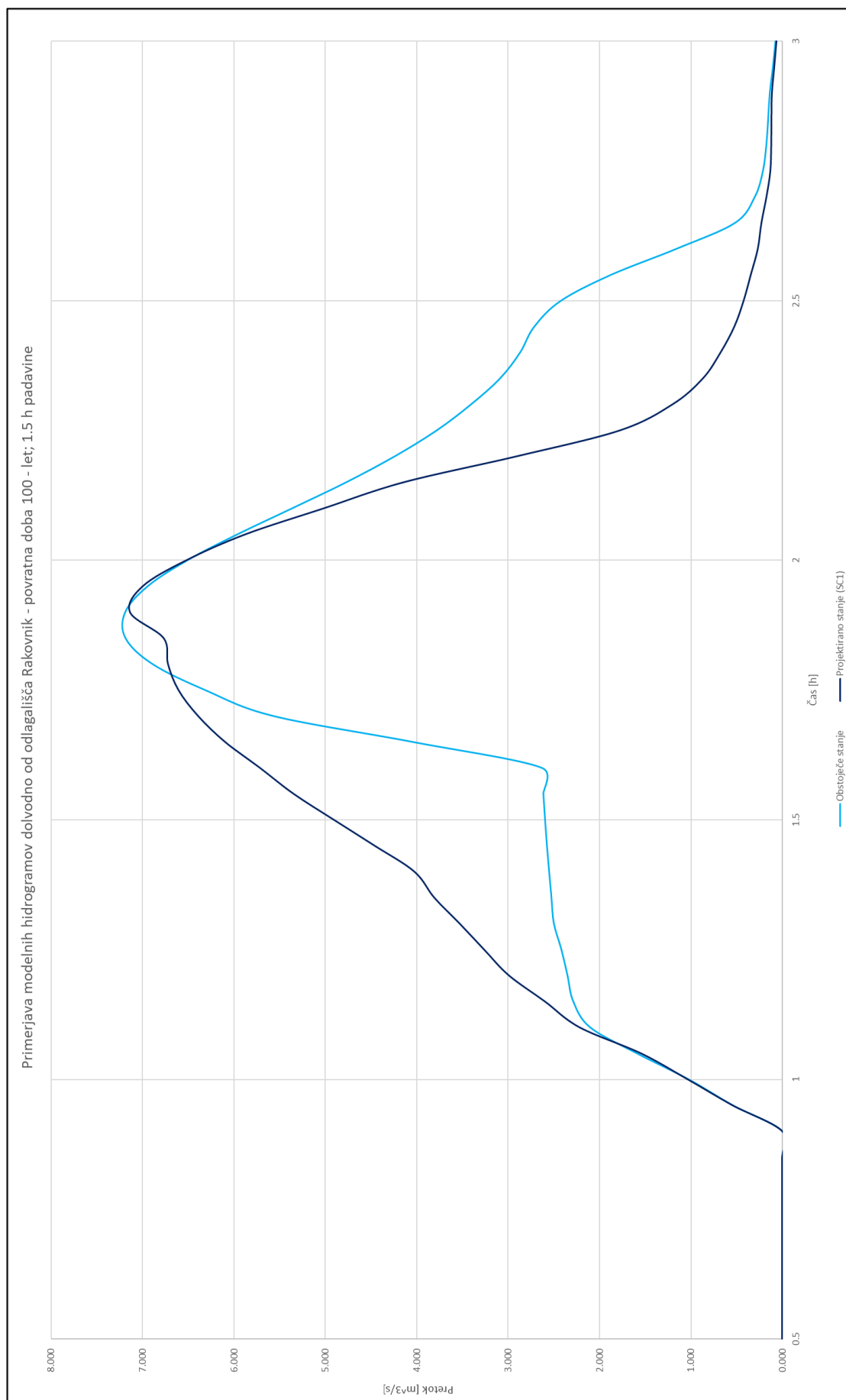
SC1 po našem mnenju ustrezno rešuje poplavno problematiko odlagališča Rakovnik, z ukrepi pa dolgoročno zmanjšujemo poplavno ogroženost odlagališča. Poleg tega se predlagane rešitve navezujejo na že obstoječo infrastruktura (vkopana cev), kar sorazmerno poenostavlja izvedbo ureditev (v primeru/predpostavki, da je obstoječa cev ustrezna – statično, erozijsko in ekološko). Shematičen prikaz ukrepov prikazujemo na Prilogi 7, kjer prikazujemo tudi modelni doseg s povratno dobo 100-let v primeru izvedbe SC1. Model izkazuje povečanje modelne prevodnosti cevi, ki sedaj znaša $6.8 \text{ m}^3/\text{s}$. Posledično se zmanjša tok po cesti, kar se kaže v

nižjih gladinah in hitrostih (območja s hitrostmi nad 1 m/s so na cesti precej manj obsežna). Pretok po cesti se iz obstoječih 4.5 m³/s zniža na projektnih 0.6 m³/s. Slednje precej zmanjša obremenitev ceste, se pa na drugi strani precej poviša obremenitev cevi. Pretočna razmerja prikazujemo na Sliki 16. Bistvenega dolvodnega vpliva ureditve v sklopu SC1 nimajo, kar prikazujemo na Sliki 17. Izkazana je sprememba v dinamiki hidrograma, kar pa ne vpliva na dolvodna poplavna območja.

Priloga 7: Pregledna karta obravnavanega območja - shematičen prikaz predlaganega sklopa omilitvenih ukrepov v primeru SC1



Slika 16: Prikaz razdelitve modelnih hidrogramov med cesto in cevjo v primeru SC1



Slika 17: Prikaz modelnih hidrogramov s povratno dobo 100-let dolvodno od odlagališča Rakovnik (SC1)

4.2 Način vodenja visokih voda mimo odlagališča Rakovnik – SC2

SC2 podajamo kot alternativno rešitev, predvsem v primeru neustreznosti obstoječe vkopane cevi pod deponijo. Napake, ki so kritične pri uporabi obstoječega vkopanega prepusta, temeljijo predvsem na mehanski/erozijski, statični in ekološki ustreznosti prepusta. Tako mora biti obstoječ prepust sposoben prenesti pričakovane sile vodnega toka (pričakovano visoki pretoki in hitrosti v cevi – deroči tok), prav tako pa ne sme biti vzpostavljene povezave med jedrom odlagališča in cevjo (tok vode iz odlagališča v cev preko drenaž in obratno). V primeru, da obstoječ cev ne zagotavlja ustreznosti z vidika naštetih kriterij, je potrebno cev opustiti in poiskati alternativno rešitev. V tem primeru predlagamo, da se rešitev dolgoročnega zmanjšanja poplavne ogroženosti odlagališča Rakovnik izvede na način vkopanja nove cevi večjega premera (predlagamo betonsko cev premera 2 m) v obstoječo cesto, ki poteka vzdolž odlagališča. Učinek ukrepa bo podoben kot pri SC1 s to razliko, da gre za novo cev večjih dimenzij, pri kateri imamo več maneverskega prostora pri načinu izvedbe in vgraditve (ustrezno načrtovanje glede mehanske/erozijske, statične in ekološke ustreznosti) in je posledično tudi bolj prevodna. Ker ukrep ne temelji na obstoječi infrastrukturi je izvedba zahtevnejša in posledično tudi dražja.

Predlog scenarija (SC2) zajema naslednje komponente, kjer dodajamo tudi krajši opis učinka ukrepa:

1. Na območju vtoka v vkopano betonsko cev se umesti in izvede pregrada za zadrževanje plavja (vej, dreves)

Podobno kot pri SC1, je tudi pri zasnovi ureditev v sklopu SC2 potrebno načrtovati pregrado za zadrževanje plavja, in sicer na območju vtoka v betonsko cev. Kot že omenjeno je slednje potrebno, saj je dolina močno zaraščena, tako da je v primeru visokih voda (visokih intenzitet padavin) pričakovan povečan dotok plavlja in predvsem sedimentov. Posledično je smiselno pred vtokom v novo vkopano cev v cesto umestiti in izvesti pregrado za zadrževanje plavja, kjer se bo plavje in del sedimentov zadržal, kar bo omogočilo sorazmerno neoviran vtok visokih voda v načrtovano betonsko cev. Prikazana lokacija pregrade za zadrževanje plavlja (Priloga 8) je okvirna in je na enaki lokaciji kot v primeru SC1.

Priporočamo, da je pregrada za zadrževanje plavja z vidika tesnenja povezana s tesnenjem (prekritjem) deponije, saj se na ta način preprečuje tudi natekanje vode v telo deponije v času visokih voda.

je potrebno ustrezno zaščititi pred vdorom poplavne vode. Izpostavimo še dejstvo, da ni pričakovati pogostega poplavnega toka po cesti, saj se le-ta vzpostavi v primeru višjih povratnih dob (glede na modelno analizo prevodnosti cevi in vrednotenja modelnih pretokov različnih povratnih dob, je pričakovati poplavni tok visokih voda po cesti na vsakih 100-500 – let). Glede na model se tok po cesti v primeru povratne dobe 100 – let ne vzpostavi (poplavljen le prvi/zgornji del ceste, razvitega toka po cesti pa model ne izkazuje), saj je prevodnost predlagane cevi (efektivni premer 2 m) sorazmerno zadostna za modelne visoke vode s povratno dobo 100 – let. Posledično se bo izrazitejši in hitrejši tok po cesti vzpostavil v primeru katastrofalnih dogodkov, oziroma v primeru dogodkov blizu 500 – letne povratne dobe in več. Ker je v sklopu SC2 načrtovan vkop cevi v obstoječo cesto, je utrditev ceste del gradbenega ukrepa vkopa cevi.

5. Ureditev vračanja poplavnega toka iz vzporedne ceste nazaj proti potoku (ureditev padca z usmeritvijo in ustrezna utrditev površin).

Podobno kot cesto, je potrebno urediti/utrditi tudi območje vračanja poplavnega toka proti potoku Rakovnik (del varnostnega mehanizma prelivanja visokih voda v primeru povratnih dob nad Q100, s pričakovanimi močnejšim tokom v primeru povratnih dob bližje Q500) na območju platoja dolvodno od deponije. Glede na obstoječe stanje že obstoječa topografija vodi poplavni tok iz ceste nazaj proti potoku. Kljub vsemu je potrebno slednje vračanja tehnično ustrezneje urediti in dimenzionirati. To se navezuje predvsem na ureditev padca in utrditev površin na delu med cesto in potokom, ki bo namenjena vračanju toka. Pri oblikovanju območja in načrtovanju vračanja toka je potrebno biti posebej pozoren na obstoječe ureditve tega dela, ki ne smejo biti poplavljenе (npr. bazen izcednih voda). Te objekte je potrebno ustrezno zaščititi pred poplavljanjem in vračanje visokih voda iz ceste proti potoku urediti mimo teh objektov.

6. Ustrezna zatesnitev in utrditev nasutja deponije

V času visokih voda je pričakovano, da bodo razlite vodne količine iz treh smeri (južno, zahodno in severno) obdajale nasutje deponije. Posledično je nasutje potrebno ustrezno utrditi in zatesniti, da ne pride do pronicanja površinskih prelitih voda v telo nasutja deponije (možnost izpiranja snovi nazaj v okolje) in do erozije nasutja odlagališča. Slednje je delno zajeto že z ukrepom utrditev ceste z brežino in območjem ureditve vračanja poplavnega toka iz ceste nazaj proti potoku Rakovnik in ureditvijo podslapja.

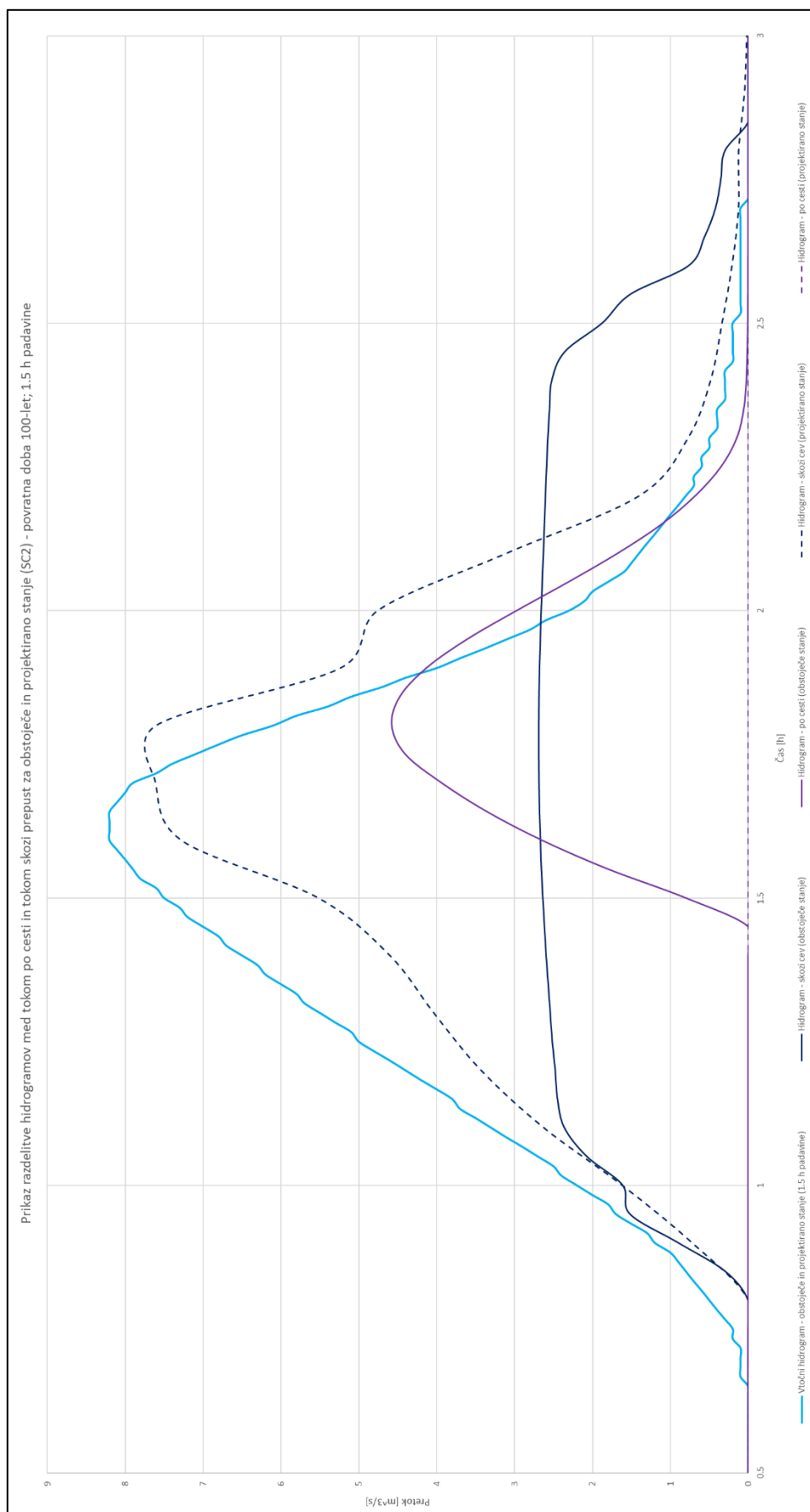
7. Vsa območja, ki so ranljiva na poplavljanje se ustrezno višinsko odmaknejo (telo odlagališča, zbirni bazen za izcedno vodo,...)

Kot že omenjeno, je potrebno vsem kritičnim delom odlagališča (npr. nasutje deponije, bazen izcednih voda,...) zagotoviti ustrezno poplavno varnost. Predlagamo varnostni odmik v višini 1 m nad modelno koto s povratno dobo 500 – let. Modelne kote obstoječega stanja so podane v Prilogi 1.

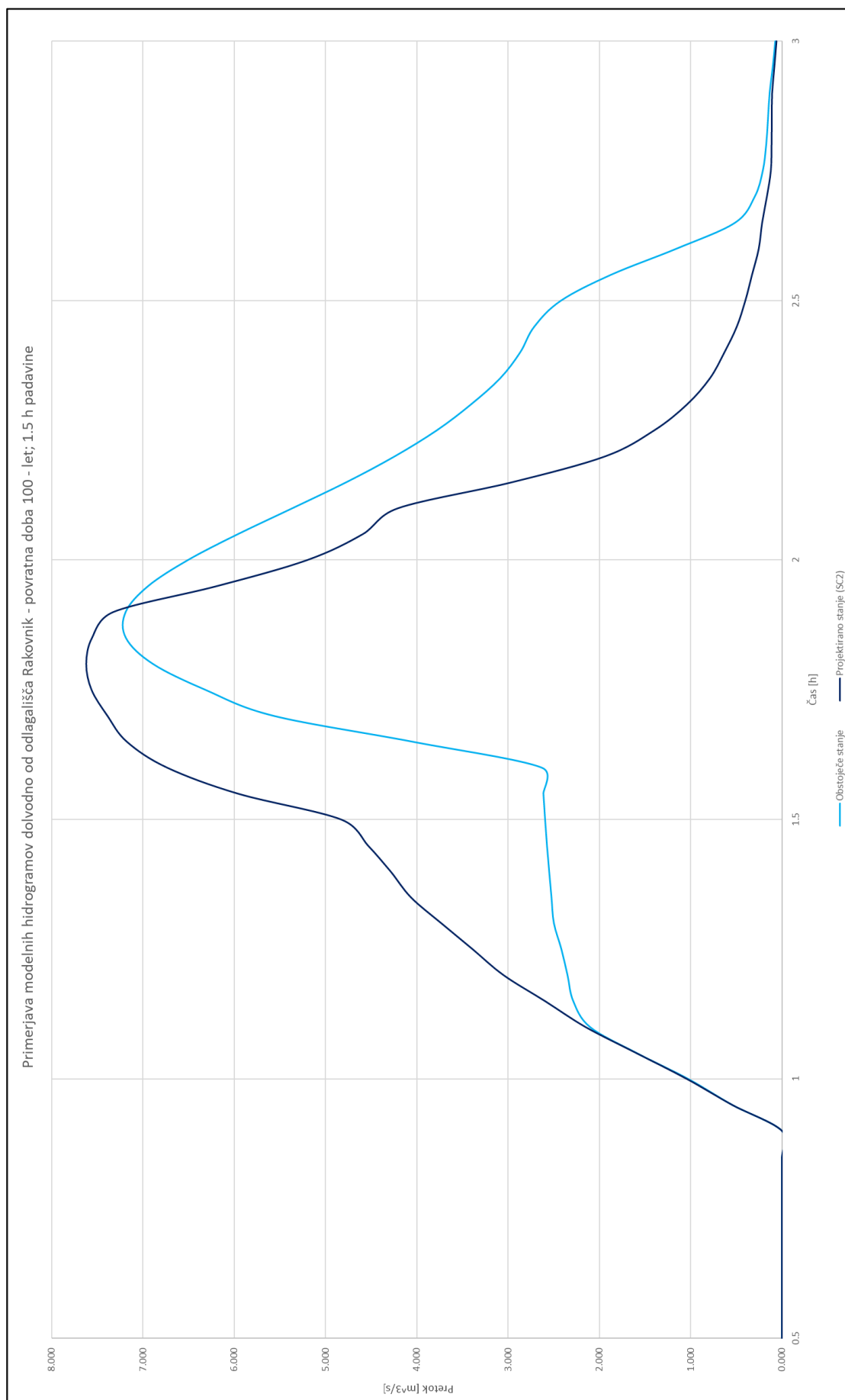
SC2 po našem mnenju ustrezno rešuje poplavno problematiko odlagališča Rakovnik, z ukrepi pa dolgoročno zmanjšujemo poplavno ogroženost odlagališča. Predlagane rešitve povzemajo obstoječe dreniranje visokih voda, vendar so tehnično dopolnjene. Alternativna rešitev SC2 je bila predlagana ob predpostavki, da obstoječa infrastruktura (vkopana cev) ni ustrezna za nadaljnjo uporabo. Posledično je realizacija sklopa ureditev v okviru SC2 gradbeno-tehnično zahtevnejša ter dražja in kot taka manj praktična. Na drugi strani pa rešitev analiziranemu območju nudi nekoliko večjo poplavno varnost, predvsem z vidika izkoriščanja vzdolžne ceste kot del varnostnega mehanizma. Prav tako sklop ureditev SC2 nudi več manevrskega prostora pri izboru končne/detajlne rešitve (lokacija vtoka v cev, dimenzija/oblika cevi, lokacija iztoka cevi,...). Stopnja varnosti odlagališča je v obeh primerih (SC1 in SC2) sorazmerno enaka.

Shematičen prikaz ukrepov SC2 prikazujemo na Prilogi 8, kjer prikazujemo tudi modelni doseg s povratno dobo 100-let v primeru izvedbe. Model izkazuje sorazmerno ustrezno/pričakovano prevodnost načrtovane cevi, kjer ne pride do vzporednega toka vode po vzdolžni cesti, saj se celoten modelni hidrogram s povratno dobo 100 – let prevaja skozi načrtovano cev efektivnega premera 2000 mm. Pretočna razmerja prikazujemo na Sliki 19. Bistvenega dolvodnega vpliva ureditve v sklopu SC2 nimajo, kar prikazujemo na Sliki 20. Izkazana je sprememba v dinamiki hidrograma (hitrejša propagacija vala, kar pomeni, da prej doseže dolvodna območja), kar pa bistveno ne vpliva na dolvodna poplavna območja. Volumen valov je sorazmerno enak in odstopa za manj kot 1 % (razlika volumnov znaša dobrih 50 m³). Izkazuje se, da je v primeru SC2 manjše dušenje vala gorvodno od odlagališča Rakovnik, kar pomeni delno povišanje vršnih pretokov dolvodno od deponije Rakovnik. Izkazan je dvig modelnega pretoka za dobrih 0.4 m³/s, kar predstavlja okoli 6 % celotnega pretoka. Mnenja smo, da izkazan vpliv ni bistven, kar se izkazuje tudi v modelnem dosegu dolvodno od odlagališča, ki je sorazmerno enak modelnemu dosegu v primeru obstoječega stanja.

Priloga 8: Pregledna karta obravnavanega območja - shematičen prikaz predlaganega sklopa omilitvenih ukrepov v primeru SC2



Slika 19: Prikaz razdelitve modelnih hidrogramov med cesto in cevjo v primeru SC2

**Slika 20: Prikaz modelnih hidrogramov s povratno dobo 100-let dolvodno od odlagališča Rakovnik (SC2)**

4.3 Komentar predlaganih scenarijev (SC1 in SC2)

Tako SC1 kot tudi SC2 na podoben način zmanjšujeta poplavno ogroženost obstoječi deponiji Rakovnik, ki je predmet sanacije. Tako sta s hidravličnega vidika oba opisana scenarija primerljiva in ustrezna.

Z vidika realizacije in stroškov izvedbe je scenarij SC1 verjetno ustrežnejši, saj temelji na obstoječi betonski cevi, ki je dimenzijsko ustrezna. S tega vidika bi bila uporaba le-te vsekakor priporočljiva. Kot pa smo že omenili, je pred tem potrebno obstoječo cev preveriti z vidika statične, mehanske/erozijske in ekološke ustreznosti. Glede na poročilo o tesnosti cevi, je le-ta sorazmerno ustrezna (brez vtokov drenaž iz deponije), vendar pa bila na posameznih mestih potrebna sanacija.

Realizacija ukrepov SC2 je gradbeno-tehnično bolj zahtevna in povezana z višjimi stroški gradnje. Je pa z vidika ustreznosti cevi (dimenzija, kot tudi način vgradnje) več manevrskega prostora, saj gre za vgradnjo večje cevi, ki se lahko izvede z upoštevanjem vseh priporočil stroke. Poleg tega se cev vgrajuje v cesto, ki je prav tako predmet sanacije (utrditev).

Izbor najbolj primerne scenarije je tako v največji meri odvisen od stanja obstoječe cevi (z več vidikov), kot tudi od načina celovite sanacije deponije. Protipoplavni ukrepi morajo tako slediti celovitemu načrtu sanacije deponije. Predlagamo, da se poplavne karte projektiranega stanja izdelajo v času priprave DGD ali idejnega projekta, ko bo že izbran sklop protipoplavnih omilitvenih ukrepov in bodo le-ti s sorazmerno natančnostjo že oblikovani in umeščeni v prostor. V tej fazi se lahko ustrezno detajlirali tudi hidravlični model, kar vodi k večji natančnosti pri izdelavi poplavnih kart in določitvi učinkov ukrepov, ki pa po pričakovanjih ne bodo bistveno odstopali od že vrednotenih.

5 ZAKLJUČKI IN POVZETKI ANALIZ

Za potrebe celovite sanacije odlagališča Rakovnik smo izdelali hidrološko-hidravlično študijo, na podlagi katere smo podali usmeritve/predloge za zmanjšane poplavne ogroženosti deponije. Predlogi oziroma sklop protipoplavnih ureditev smo oblikovali na podlagi obstoječega poplavnega stanja in obstoječe infrastrukture na območju. Omilitvene ukrepe smo podali v dveh sklopih, in sicer kot SC1 in SC2.

V prvem delu smo analizirali hidrološka izhodišča in postavili hidrološki model. Na prerezu »odlagališče«, smo vrednotili modelne visokovodne valove potoka Rakovnik s povratno dobo 10, 100 in 500 – let. Vršni modelni pretok za izbran prerez v primeru 10-letne povratne dobe znaša $2.7 \text{ m}^3/\text{s}$, v primeru 100-let $8.2 \text{ m}^3/\text{s}$ in v primeru 500-let $13.7 \text{ m}^3/\text{s}$.

V drugem delu smo analizirali hidravlična izhodišča in v modelu RiverFlow 2D postavili hidravlični model območja. Modelirali smo poplavno stanje v primeru povratne dobe 10, 100 in 500 – let. Na podlagi modelnih rezultatov smo oblikovali poplavne karte, ki izkazujejo sorazmerno nizko poplavno ogroženost deponije, ki je precej nasuta. Večji problem predstavlja zbirni bazen izcednih voda in morebitna erozijska ogroženost (predvsem vzdolžne ceste).

Na podlagi obstoječega poplavnega stanja in obstoječe infrastrukture (predvsem obstoječa betonska cev efektivnega premera 1350 mm, ki povezuje vodotok Rakovnik med območjem deponije, ki je precej nasuto) smo oblikovali dva sklopa omilitvenih ukrepov (SC1 in SC2), ki v osnovi ohranjata obstoječ koncept dreniranja visokih voda mimo/pod deponijo (v večji meri se visoke vode drenirajo preko vkopane cevi, v primeru višjih natokov pa se le-ti prevajajo po vzdolžni cesti, ki tako predstavlja varnostni mehanizem). Največja razlika med njima je v možnosti izkoriščanja obstoječe betonske cevi, ki v primeru SC1 predstavlja osrednji ukrep, v primeru SC2 pa se ta cev opusti (primer, da se izkaže, da je obstoječa cev neustrezna za uporabo) in se jo nadomesti z novo cevjo vkopano v cesto. Za oba scenarija smo izvedli analizo poplavnega stanja v primeru 100 – letnih voda z analizo vpliva. Oba scenarija sta se izkazala kot sorazmerno ustrezna (SC1 je ustrežnejši z vidika realizacije in stroškov le-te, pri SC2 pa je več manevrskega prostora pri načrtovanju, saj se bodo ukrepi izvedli na novo) z omejenim/nebistvenim dolvodnim vplivom.

Izbor najbolj primerne scenarije je tako v največji meri odvisen od stanja obstoječe cevi (z več vidikov), kot tudi od načina celovite sanacije deponije, ki jo morajo protipoplavni ukrepi slediti. Poplavne karte projektiranega stanja naj se izdelajo v času priprave DGD ali idejnega projekta, ko bo že izbran sklop protipoplavnih omilitvenih ukrepov in bodo le-ti s sorazmerno natančnostjo že oblikovani in umeščeni v prostor.

6 LITERATURA

DRSV, Atlas voda. Dostopno na spletu:

<https://gisportal.gov.si/portal/apps/webappviewer/index.html?id=11785b60acdf4f599157f33aac8556a6>

Idejne zasnove za sanacijo odlagališča Rakovnik. Naročnik: Ministrstvo za okolje in prostor. Izvajalec: Vaira, inovativni inženiring, d.o.o. Št. projekta: 6D-16118/2017. Ljubljana, januar 2018.

Konceptualna idejna rešitev prilagoditve odlagališča Rakovnik današnjim predpisom v Sloveniji – Študija izvedljivosti. Analiza razpoložljivih podatkov, interpretacija geološko-geotehničnih razmer in stanja objektov, študija izvedljivosti sanacije s predlogom tehnične rešitve. Investitor: Ministrstvo za okolje in prostor. Naročnik: Vaira, inovativni inženiring, d.o.o. Izvajalec: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za geotehniko. Št. projekta: E-31-17. Ljubljana, december 2017.

Kozjek, K., Vertačnik, G., 2020. Časovno in prostorsko glajeni povratni nivoji ekstremnih nalivov. Vetrnica – glasilo Slovenskega meteorološkega društva.

Majoranc, N. 2015. Idejne zasnove ureditve deponije usnjarskih odpadkov Rakovnik. Diplomatska naloga. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 116 str.

Odlagališče odpadkov Rakovnik. Dokumentacija v postopku izdaje odločbe za zaprtje odlagališča. Ministrstvo za okolje, Agencija RS za okolje. IUV – Industrija usnja Vrhnika, d.d. Številka: 35467-47/2004-22. Vrhnika, julij 2007.

Ponce, V.M., Hawkins, R.H., 1996. Runoff Curve Number: Has it reached maturity? Journal of Hydrologic Engineering 1, 11–19.

Pravilnik o metodologiji za določanje območij, ogroženih zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja, ter o načinu razvrščanja zemljišč v razrede ogroženosti (Uradni list RS, št.60/2007). Dostopno na spletu: <http://www.uradni-list.si/1/content?id=81148>

Projekcija vodnih količin za namakanje v Sloveniji: Ciljni raziskovalni program "Konkurenčnost Slovenije 2006-2013" v letu 2010. Raziskovalni projekt št. V4-1066. Naročnik: Republika Slovenija, Ministrstvo za kmetijstvo in okolje. Izvajalci: Biotehniška fakulteta, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Inštitut za vode RS. Ljubljana, 2012.

SCS, 1964. SCS National Engineering Handbook. Soil Conservation Service, USA Department of Agriculture.

Strokovno mnenje po pregledu stanja zaprtega odvodnika potoka Rakovnik na predelu telesa odlagališča Rakovnik. Naročnik: INFRA d.o.o. Izvajalec: IRGO Consulting d.o.o. Številka poročila: 3008447. Ljubljana, avgust 2020.

Uredba o pogojih in omejitvah za izvajanje dejavnosti in posegov v prostor na območjih ogroženih zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja (Uradni list RS, št. 89/2008). Dostopno na spletu: <http://www.uradni-list.si/1/content?id=88381>

Zakon o vodah (Uradni list RS, št. [67/02](#), [2/04](#) – ZZdrI-A, [41/04](#) – ZVO-1, [57/08](#), [57/12](#), [100/13](#) in [40/14](#)).

Dostopno na spletu: <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=ZAKO1244>