

PROJEKT FRISCO1

SLO / HR

**CELOVITA ŠTUDIJA ZMANJŠEVANJA POPLAVNE
OGROŽENOSTI ZA ČEZMEJNO POREČJE REKE SOTLE**
povzetek

**CJELOVITA STUDIJA SMANJENJA RIZIKA OD POPLAVA
ZA PREKOGRANIČNI SLIV RIJEKE SUTLE**
povzetek

Program sodelovanja INTERREG V-A Slovenija – Hrvaška 2014 -2020

Projekt:

**FRISCO 1 – Čezmejno usklajeno slovensko – hrvaško
zmanjševanje poplavne ogroženosti – negradbeni ukrepi**

Predmet naloge:

Projekt FRISCO1 – Tehnična pomoč v izdelavi celovite študije
zmanjševanja poplavne ogroženosti za čezmejno porečje Sotle

Vrsta dokumentacije:

**CELOVITA ŠTUDIJA ZMANJŠEVANJA POPLAVNE
OGROŽENOSTI ZA ČEZMEJNO POREČJE REKE SOTLE**

POVZETEK

KAZALO

1	UVODNA PREDSTAVITEV PROJEKTA FRISCO 1	4
2	ČEZMEJNO USKLAJENA ŠTUDIJA CELOVITEGA OBVLADOVANJA POPLAVNE OGROŽENOSTI SOTLE	5
2.1	PROGRAM.....	5
2.2	PROJEKT.....	5
2.3	PREDMET NALOGE.....	6
2.4	NAROČNIK	6
2.5	IZVAJALEC	6
2.6	SPREMLJAVA IN VODENJE NALOGE	6
2.7	NAMEN IN CILJI ŠTUDIJE.....	7
2.8	NAMEN IN CILJ POVZETKA ČEZMEJNO USKLAJENE ŠTUDIJE ZMANJŠEVANJA POPLAVNE OGROŽENOSTI SOTLE	7
3	POVZETEK ČEZMEJNO USKLAJENE ŠTUDIJE ZMANJŠEVANJA POPLAVNE OGROŽENOSTI SOTLE	7
3.1	ANALIZA OBSTOJEČEGA STANJA.....	7
3.1.1	ZBIRANJE IN ANALIZA OBSTOJEČIH PODATKOV.....	7
3.1.2	OPIS OBSTOJEČEGA STANJA	8
3.1.2.1	Splošni opis porečja Sotle	8
3.1.2.2	Območje obravnave porečja Sotle v okviru projekta FRISCO 1.....	8
3.1.2.3	Geografski opis obravnavanega območja	9
3.1.2.4	Klimatske značilnosti	9
3.1.2.5	Tla.....	9
3.1.2.6	Vodno okolje.....	9
3.1.2.7	Narava	10
3.1.2.8	Kulturna dediščina.....	11
3.1.2.9	Prebivalstvo	11
3.1.2.10	Gospodarstvo.....	11
3.1.2.11	Raba prostora.....	12
3.1.2.12	Stanje okolja.....	12
3.1.3	HIDROLOŠKA ANALIZA.....	12
3.1.3.1	Opis izhodišč in uporabljenih podatkov.....	12

3.1.3.2	Postavitev hidravličnega modela.....	13
3.1.3.3	Analiza padavin	13
3.1.3.4	Umerjanje hidrološkega modela	15
3.1.3.5	Rezultati hidrološkega modeliranja.....	15
3.1.3.6	Oddaja poplavnih valov	16
3.1.4	HIDRAVLIČNA ANALIZA.....	17
3.1.4.1	Odsek od izvira Sotle – Kunšperk (Bistrica ob sotli).....	17
3.1.4.1.1	Značilnosti doline.....	17
3.1.4.1.2	Hidrološki podatki	22
3.1.4.2	Odsek Kunšperk (Bistrica ob Sotli) do izliva v Savo.....	23
3.1.4.2.1	Značilnosti struge	23
3.1.4.2.2	Hidrološki podatki	24
3.1.4.3	Ukrepi za izboljšanje poplavne nevarnosti.....	30
3.1.4.4	Osnovne značilnosti hidravličnega modela.....	31
3.1.4.4.1	Model Sotla 1	31
3.1.4.4.2	Model Sotla 2	33
3.1.4.4.3	Model Sotla 3	35
3.1.5	Hidravlična analiza – rezultati hidravličnega modela.....	37
3.1.6	ANALIZA POPLAVNE OGROŽENOSTI.....	44
3.1.6.1	Analiza poplavne ogroženosti obstoječega stanja.....	44
3.1.6.2	Opredelitev parametrov za obravnavano poplavno območje	45
3.1.6.3	Poplavne škode in ekonomska učinkovitost ukrepa pregrade Vonarje	46
3.2	PRIPRAVA IN ANALIZA ALTERNATIVNIH REŠITEV.....	47
3.2.1	PRIPRAVA ALTERNATIVNIH REŠITEV	47
3.2.1.1	Odsek od izvira Sotle do soteske Zelenjak	47
3.2.1.2	Odsek od soteske Zelenjak do izliva v Savo.....	51
3.2.2	ANALIZA ALTERNATIVNIH REŠITEV.....	55
3.2.2.1	Odsek od izvira Sotle do Zelenjaka (Bistrica ob Sotli)	56
3.2.2.2	Odsek od Zelenjaka (Bistrica ob Sotli) do izliva v Savo	60
3.2.2.3	Vplivi na poplavno nevarnost.....	61
3.3	IZBIRA NAJUSTREZNEJŠE REŠITVE	62
3.3.1	OPREDELITEV NABORA UKREPOV	62
3.3.2	Investicijski stroški ureditev ter finančna in ekonomska upravičenost.....	63
3.3.3	Multikriterijska analiza	64
3.4	ZAKLJUČEK.....	65

1 UVODNA PREDSTAVITEV PROJEKTA FRISCO 1

Projekt FRISCO1 je strateški projekt, katerega cilj je zmanjšati poplavno ogroženost na porečjih Dragonje, Kolpe, Sotle, Bregane in na delih porečij Drave in Mure ter se izvaja v okviru Programa sodelovanja INTERREG V-A Slovenija – Hrvaška. Program sodelovanja INTERREG V-A Slovenija – Hrvaška je glavni dokument, ki predstavlja okvir za čezmejno sodelovanje Slovenije in Hrvaške v finančni perspektivi 2014–2020. Namen čezmejnega sodelovanja je reševanje skupnih izzivov, ki sta jih obe državi skupaj prepoznali v obmejnem območju, obenem pa izkoristiti neizkoriščene potenciale rasti in krepiti proces sodelovanja za splošni skladni razvoj Evropske unije.

FRISCO1 vsebinsko obravnava ne-gradbene ukrepe za zmanjšanje poplavne ogroženosti in izboljšanje sistema obvladovanja poplavne ogroženosti. Izboljšano in čezmejno usklajeno kartiranje poplavne ogroženosti in izdelava/izboljšava čezmejno usklajenih modelov za napovedovanje poplav bosta zagotovila potrebne strokovne podlage in dokumentacijo za predlog in izbor čezmejno usklajenih gradbenih ukrepov za zmanjšanje poplavne ogroženosti, ki bi se izvedli v drugem koraku projekta FRISCO, to je skozi FRISCO2 na porečjih Kolpe, Sotle, Drave in Mure.

Projektni partnerji projekta FRISCO1 so:

- Hrvatske vode (HV) kot vodilni partner;
- Ministrstvo za okolje in prostor Republike Slovenije (MOP);
- Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO);
- Direkcija Republike Slovenije za vode (DRSV);
- Državna uprava za zaščito i spašavanje (DUZS);
- Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ);
- Inštitut za hidravlične raziskave (IHR);
- Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje (URSZR).

Projekt FRISCO1 ima naslednjih deset delovnih paketov:

M Vodenje projekta,

C Posredovanje informacij,

T1 Kolpa skupna delovna orodja, modeli, zemljevidi in projekti,

T2 Sotla skupna delovna orodja, modeli, zemljevidi in projekti,

T3 Drava skupna delovna orodja, modeli, zemljevidi in projekti,

T4 Mura skupna delovna orodja, modeli, zemljevidi in projekti,

T5 Dragonja skupna delovna orodja, modeli, zemljevidi in projekti,

T6 Bregana skupna delovna orodja, modeli, zemljevidi in projekti,

T7 Sistemi za fizično opozarjanje pred poplavami in

T8 Dejavnosti večanja ozaveščenosti in celovita zasnova in vodenje programa – projekta zmanjševanja poplavne ogroženosti / povečanja poplavne varnosti.

V delovni paket T2 Sutla/Sotla skupna delovna orodja, modeli, zemljevidi in projekti so vključene naslednje aktivnosti:

- T2.1 Razvoj skupnega orodja 1 (Baza podatkov poplavne ogroženosti);
- T2.2 Razvoj skupnega orodja 2 (Študija ciljnega območja);
- T2.3 Razvoj skupnega modela 1 (Izboljšan hidravlični model);
- T2.4 Razvoj skupnega modela 2 (Izboljšan model napovedovanja);
- T2.5 Razvoj skupne karte 1 (Izboljšana karta poplavne nevarnosti);
- T2.6 Razvoj skupne karte 2 (Izboljšana karta poplavne ogroženosti);
- T2.7 Priprava gradbenih projektov.

Predvidene aktivnosti in rezultati so medsebojno povezani.

Skladno s prijavnico projekta so rezultati projekta FRISCO1 naslednji:

- Izboljšane baze podatkov za obvladovanje poplavne ogroženosti,
- Čezmejno usklajene študije celovitega obvladovanja poplavne ogroženosti,
- Izboljšani hidrološko hidravlični modeli,
- Izboljšan model napovedovanja poplav,
- Izboljšane in čezmejno usklajene karte poplavne nevarnosti in ogroženosti,
- Skupni projekti (priprava projektne in ostale dokumentacije),
- Sistem zgodnjega opozarjanja (nadgradnja prognostičnega in opozorilnega alarmnega sistema),
- Ozaveščanje javnosti pred poplavno ogroženostjo in institucionalna krepitev sistema obvladovanja poplavne ogroženosti.

Glavni cilj aktivnosti T2.2 skupno orodje 2 je »Študija čezmejno usklajenega zmanjševanja poplavne ogroženosti na porečju Sotle«.

2 ČEZMEJNO USKLAJENA ŠTUDIJA CELOVITEGA OBVLADOVANJA POPLAVNE OGROŽENOSTI SOTLE

2.1 PROGRAM

Program sodelovanja INTERREG V-A Slovenija – Hrvaška 2014 -2020.

2.2 PROJEKT

FRISCO 1 – Čezmejno usklajeno slovensko – hrvaško zmanjševanje poplavne ogroženosti – negradbeni ukrepi.

2.3 PREDMET NALOGE

Projekt FRISCO1 – Tehnična pomoč v izdelavi celovite študije zmanjševanja poplavne ogroženosti za čezmejno porečje Sotle

2.4 NAROČNIK

REPUBLIKA SLOVENIJA,
Direkcija Republike Slovenije za vode
Hajdrihova ulica 28c, 1000 Ljubljana.

2.5 IZVAJALEC

Vodilni partner:

Hidrosvet, d.o.o.,
Kidričeva ulica 25, 3000 Celje

Odgovorni nosilec naloge:
Branko SKUTNIK, univ. dipl. inž. gradb

Partnerji:

Vodnogospodarski biro Maribor, d.o.o.
Glavni trg 19/c, 2000 Maribor

Inštitut za vodarstvo, d.o.o.,
Hajdrihova ulica 28a, 1000 Ljubljana

IZVO-R , projektiranje in inženiring d.o.o.
Pot za Brdom 102, 1000 Ljubljana

DHD, d.o.o.,
Praprotnikova ulica 37, 2000 Maribor

SL-Consult, d.o.o.
Dunajska cesta 122, 1000 Ljubljana

2.6 SPREMLJAVA IN VODENJE NALOGE

Eden izmed ciljev projekta FRISCO1 je tudi izdelava Čezmejno usklajene študije zmanjševanja poplavne ogroženosti za območje Sotle, ki jo je izdelal strokovno usposobljen izvajalec, ki je bil izbran s postopkom oddaje javnega naročila. Pogodbo je uradno vodila Direkcija RS za vode, vendar je skladno s projektno nalogo izdelavo študije spremljala vodilna struktura projekta FRISCO1, ki je sestavljena iz več skupin za vodenje projekta ter delovnih skupin in sicer:

- Delovna skupina za Sotlo (WG),
- Skupina za vodenje projekta (Project Management Team (PMT)),
- Skupina za strateško vodenje projekta (Strategic Management Team (SMT)),

- Skupina za kakovost (Quality Management Team (QMT),
- Skupino za stike z javnostjo (Project Communication Team (PCT)
- Strokovni svet (Expert Panel (EXP).

Izdelavo študije je usmerjala delovna skupina (WG) za Sotlo, ki so jo sestavljali predstavniki projektnih partnerjev. Vodja delovne skupine je bila ga.Alenka Zupančič (DRSV), sovodja pa g.Zoran Marković (HV).

2.7 NAMEN IN CILJI ŠTUDIJE

Čezmejno usklajena študija za zmanjšanje poplavne ogroženosti na porečju reke Sotle vsebuje analizo obstoječega stanja, alternativnih rešitev ter opredelitev in utemeljitev ukrepov za zmanjševanje poplavne ogroženosti na obravnavanem območju, vključno z opredelitvijo ključnih naravnih območij za zadrževanje vode in analizo morebitnih možnih ukrepov zelene infrastrukture, ki temelji na hidroloških, hidravličnih in tehnično ekonomskih analizah. Izdelana študija je pripravljena kot podporno orodje za nosilce odločanja, kot tudi informativno orodje za zainteresirane strani. Predlagani optimalni program obvladovanja poplavne ogroženosti je v študij razdeljen na kratkoročno izvedljive ukrepe, ki jih bi bilo mogoče izvesti med sedanjim obdobjem izvajanja evropske poplavne direktive (2016-2021) in tistimi, ki bi jih bilo mogoče izvesti v kasneje.

2.8 NAMEN IN CILJ POVZETKA ČEZMEJNO USKLAJENE ŠTUDIJE ZMANJŠEVANJA POPLAVNE OGROŽENOSTI SOTLE

V nadaljevanju je izdelan povzetek Čezmejno usklajene študije celovitega obvladovanja poplavne ogroženosti Sotle in vsebuje vse ključne vsebine in rezultate študije

Predmetni povzetek je sestavni del aktivnosti T2.2 Razvoj skupnega orodja 2 (Študija ciljnega območja).

3 POVZETEK ČEZMEJNO USKLAJENE ŠTUDIJE ZMANJŠEVANJA POPLAVNE OGROŽENOSTI SOTLE

3.1 ANALIZA OBSTOJEČEGA STANJA

3.1.1 ZBIRANJE IN ANALIZA OBSTOJEČIH PODATKOV

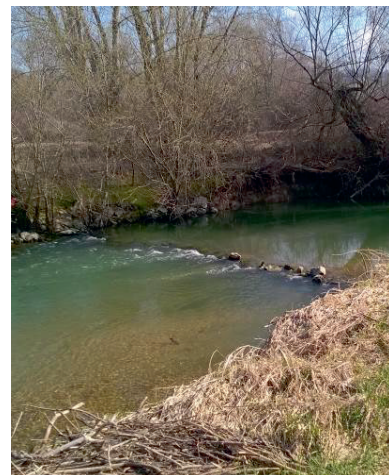
Za potrebe izdelave študije so se zbirali, pregledovali in analizirali obstoječi razpoložljivi podatki, sočasno pa se je izvajala tudi kontrola kakovosti relevantnih podatkov. Pridobljeni podatki s strani Slovenije in Hrvaške so bili nato analizirani po posameznih sklopih. Analizirana in pregledana je bila tudi razpoložljiva projektna dokumentacija, ki je bila do takrat izdelana za obravnano območje Sotle.

3.1.2 OPIS OBSTOJEČEGA STANJA

3.1.2.1 *Splošni opis porečja Sotle*

Sotla je mejna reka med Slovenijo in Hrvaško, ki izvira na gozdnatih južnih pobočjih hribovja Macelj pod vrhom Veliki Belinovec in se v bližini vasi Jesenice izliva v Savo. Njeno porečje obsega 581 km², z nadmorskimi višinami med 134 in 640 m, rečni tok pa je dolg približno 90 km.

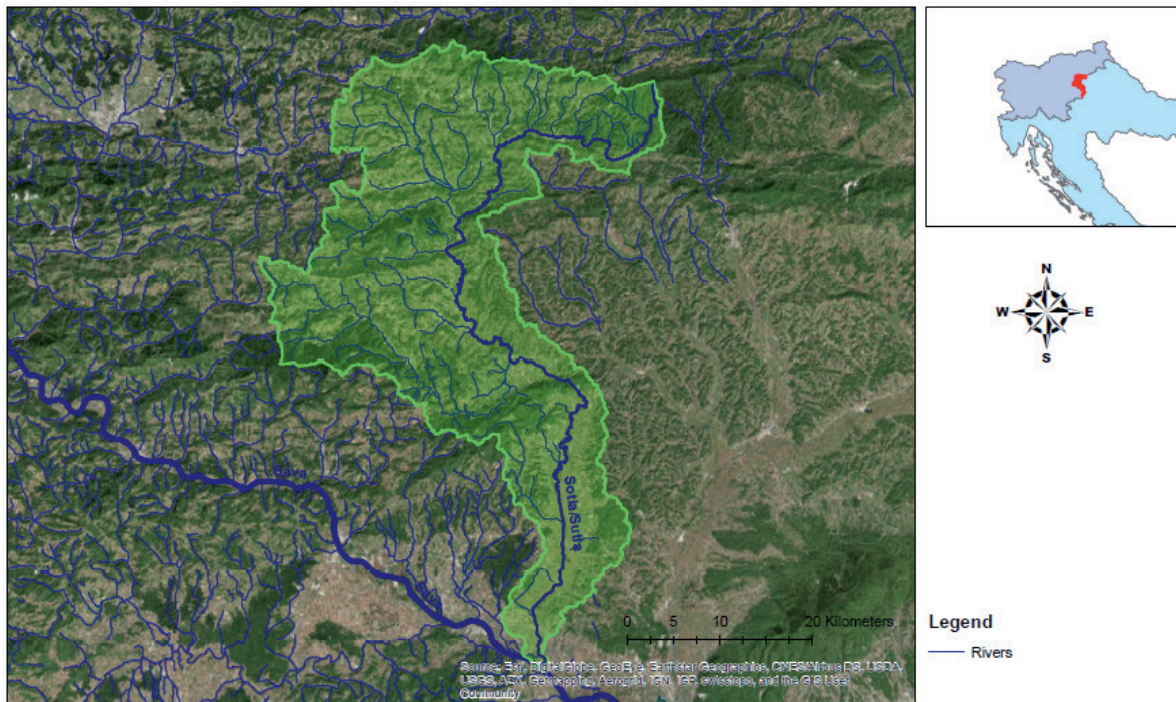
Sotla ima v svojem povirnem delu strm in hudourniški tok, nato pa se njen padec precej hitro zmanjša in preide v meandrirajoč ravninski tok. Sotla je tako v pretežnem delu izrazita nižinska reka z večinoma počasnim tokom po rečni strugi. V dolini se hitro menjavajo širši odseki in ožji deli. Ima panonski tip dežno-snežnega rečnega režima s prvim viškom pretokov v pozni jeseni in drugim viškom v marcu ter zelo izrazit minimum v mesecu avgustu.



Najpomembnejši vodnogospodarski objekt na Sotli predstavlja pregrada Vonarje, ki se nahaja gorvodno od izliva Mestinjščice v Sotlo. Razen nekaj manjših odsekov struga Sotle poteka skoraj vzdolž celotnega toka v območju Nature 2000.

3.1.2.2 *Območje obravnave porečja Sotle v okviru projekta FRISCO 1*

V okviru predmetne študije je porečje Sotle obravnano vse od njenega izvira na gozdnatih južnih pobočjih hribovja Macelj pod vrhom Veliki Belinovec pa vse do izliva v Savo v bližini vasi Jesenice.



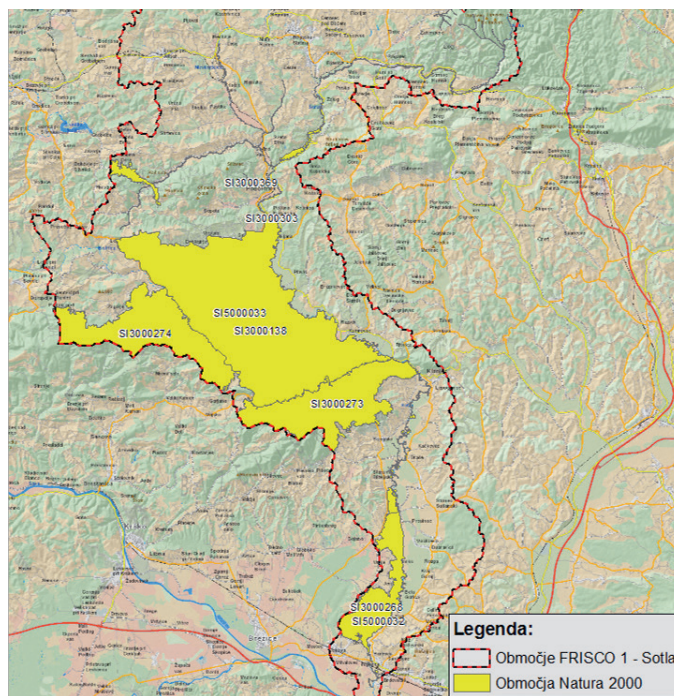
izlivajo še naslednji večji desni pritoki: Tinski potok, Župnijski potok, Golobinjek, Olimščica in Buča ter največji desni pritok Bistrica. Pod sotočjem z Bistrico Sotla teče po Kumrovškem polju in nato preide v ozko dolino Zelenjak. Nekoliko bolj južno se na območju aluvialne ravnice vanjo stekata dva večja desna pritoka: Dramlja in Bizeljsko. Levi del porečja reke Sotle poteka večinoma ob vznožju hribov in le na posameznih odsekih preseka manjše doline. Vsi levi pritoki so kratki in hudourniškega značaja, s povečanim erozijskim delovanjem. Večji levi pritoki so Škrnik, Kladnik in Razvor na območju Kumrovca, potok Čemehovec na območju Kraljevca na Sotli ter potok Dubravica. Najpomembnejši vodnogospodarski objekt na Sotli predstavlja pregrada Vonarje, ki se nahaja gorvodno od izliva Mestinjščice v Sotlo.

Podzemne vode

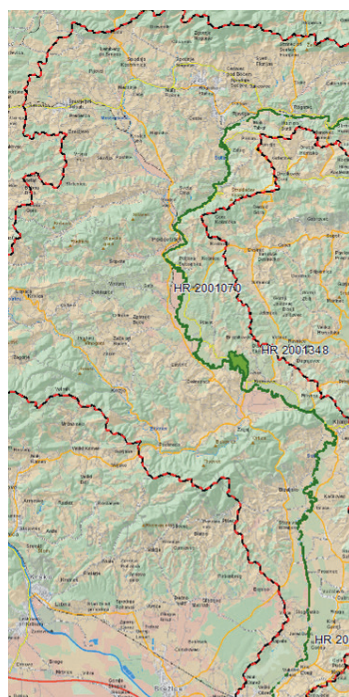
Na obravnavanem območju je prisotnih več vodovarstvenih območja virov pitne vode na slovenski in hrvaški strani, ki so razglašena z občinskimi odloki.

3.1.2.7 Narava

V obravnavanem območju se nahaja kmetijska kulturna krajina, ki jo glede na reliefne značilnosti lahko grobo razdelimo na hribovit in nižinski del. Hriboviti svet poraščajo listnati do mešani gozdovi, vinogradi in ekstenzivno obdelovani suhi travniki. V nižinskem delu ob reki Sotli prevladujejo mokrotni travniki v polintenzivni do intenzivni kmetijski rabi. Dobro ohranjena kulturna krajina z raznolikostjo ekoloških razmer predstavlja pomemben življenjski prostor vrst, ki so varovana v evropskem merilu. Kozjanski regijski park je eno največjih zavarovanih območij v Sloveniji, kjer so ustvarjeni pogoji za izjemno biotsko pestrost zavarovanega območja.



Območja Natura 2000 na območju republik Slovenije (Vir: ARSO)



Območje Natura 2000 - Ekološka mreža na območju Republike Hrvaške (Vir: DHMZ)

3.1.2.8 Kulturna dediščina

Enote nepremične kulturne dediščine na slovenskem delu obravnavanega območja so vpisane v Register nepremične kulturne dediščine (RKD), ki ga vodi Ministrstvo za kulturo. Kulturna dediščina na območju Hrvaške je opredeljena in varovana s prostorskim planom Krapinsko-zagorske županije in Zagrebačke županije.

3.1.2.9 Prebivalstvo

Poleg dolin so bile poseljene tudi gorice. Na prehodu v 20. st. je bila podoba pokrajine predvsem agrarna, med letoma 1961 in 1991 se je delež kmečkega prebivalstva zmanjšal z blizu polovice na slabo šestino. Po u, kar je posledica preseljevanja prebivalstva iz podeželja v večja naselja kot so Hum na Sutli, Klanjec, Kumrovec,...

3.1.2.10 Gospodarstvo

Do nedavnega je imelo najpomembnejšo gospodarsko vlogo kmetijstvo. V drugi polovici 20.stoletja se je dvignil delež zaposlenih v industriji, prometu, turizmu in storitvenih dejavnostih. Naravna in kulturno bogata pokrajina daje odlične pogoje za razvoj turizma, med katetimi ima danes nejpomembnejše mesto zdraviliški turizem.

3.1.2.11 Raba prostora

Kmetijski rabi je namenjenih več kot 65% območja. Sledijo gozdna zemljišča z približno 30 % ter zaradi redke poselitve stavbna zemljišča z okrog 1 %. Relativno velik je delež vodnih zemljišč, ki predstavljajo dobrih 18 %.

3.1.2.12 Stanje okolja

Kvaliteta zraka

Na obravnavanem območju predstavlja pomemben vir onesnaževanja zraka živinoreja s številnimi objekti za intenzivno rejo živali, ki so izvor emisij.

Stanje voda

Na podlagi izvedenih meritev na merilnih postajah Trilčno, Rogaška Slatina in Rigonce leta 2012 in leta 2013 je bilo izkazano DOBRO kemijsko stanje reke Sotle. Podatki o splošnih fizikalno-kemijskih elementov kakovosti izkazujejo ZELO DOBRO stanje, medtem ko rezultati meritv posebnih onesnaževal kažejo DOBRO stanje. Tako je skupno ekološko stanje Sotle ocenjeno kot DOBRO. Na podlagi Plana upravljanja vodnim področjem, za razdoblje 2013.-2015. je reka Sotla na območju obravnave razdeljena na več vodnih teles. Kemijsko stanje reke Sotle je za vsa navedena vodna telesa ocenjeno kot DOBRO, medtem ko je ekološko stanje vodnih teles CSRI0029_001 Sotla in CSRI0029_006 Sotla ocenjeno kot SLABO. Za duga vodna telesa je tudi ekološko stanje ocenjeno kot DOBRO razen za CSRI0029_005 Sotla, ki je ocenjeno kot ZMerno.

Splošna ocena kemičnega stanja podzemne vode vodnega telesa Posasvsko hribovje do osrednje Sotle v letu 2015 izkazuje DOBRO stanje.

3.1.3 HIDROLOŠKA ANALIZA

3.1.3.1 Opis izhodišč in uporabljenih podatkov

Analiza obstoječih podatkov je pokazala, da ima zaradi manjše količine padavin (okoli 1.200 mm letno) in prevlade nizkega gričevja reka Sotla razmeroma nizek specifični odtok (16,8 l/s/km²), odtočni koeficient pa znaša okoli 0,45.

Za potrebe hidrološke analize porečja reke Sotle so bili uporabljeni podatki o topografiji, tleh in hidrografiji. Obstoječi hidrografski podatki vključujejo rečno mrežo, hidrografska območja (samo za slovenski del porečja), lokacije meteoroloških in vodomernih postaj ter meritve padavin in pretokov na omenjenih postajah.

V porečju reke Sotle in njegovi bližnji okolici se na slovenski in hrvaški strani nahaja več meteoroloških postaj. Za potrebe predmetne študije je bilo na podlagi razmejitve porečja reke Sotle s Thiessenovimi poligoni izbranih več postaj, ki imajo več kot 20-letni niz dnevni meritev padavin v obdobju med letoma 1952 in 2016. To so: Bizeljsko, Ložice, Podčetrtek, Podsreda, Rogaška Slatina, Šentjur, Zbelovska gora, Žetale in Žusem (v Sloveniji), ter Desinić, Donja Pušća, Klanjec, Kumrovec, Marija Gorica in Veliko

Trgovišće (na Hrvaškem). Za potrebe umerjanja hidrološkega modela so bile uporabljene tudi urne meritve pretokov.

Na osnovi verjetnostne analize maksimalnih dnevnih padavin, izmerjenih na postajah Bizeljsko, Ložice, Podčetrtek, Podsreda, Rogaška Slatina, Šentjur, Zbelovska gora, Žetale in Žusem (v Sloveniji) ter Desinić, Donja Pušća, Klanjec, Kumrovec, Marija Gorica in Veliko Trgovišće (na Hrvaškem), so bile po metodi Gumbel določene maksimalne 24-urne vrednosti padavin z različno povratno dobo. Ekstremne padavine s krajšim časom trajanja so bile določene z napenjanjem na povratne dobe za ekstremne padavine za postaje Gornji Lenart, Planina pri Sevnici in Rogaška Slatina. V sklopu študije so bili vrednoteni padavinski dogodki z 10, 25, 50, 100, 500 in 1.000-letno povratno dobo.

Za izračun pretokov visokih vod reke Sotle v izbranih prerezih je bil uporabljen program RiverFlow2D. Izračun je izveden na osnovi DMR 12,5m, izbranih vrednosti CN ter izvrednotenih ekstremnih vrednosti padavin z različnimi povratnimi dobami in različnimi trajanji.

3.1.3.2 Postavitev hidravličnega modela

Z namenom lažje obvladljivosti modela je bilo za potrebe hidrološkega modeliranja reke Sotle uporabljeno orodje HEC-HMS (USACE, 2000).

Za izračun padavinskih izgub v posameznem podporečju je bila uporabljena SCS metoda, s pomočjo katere je presežek padavin, ki površinsko odteče, bil ocenjen kot funkcija odtočnega potenciala, predhodne vlažnosti zemljine in rabe tal.

Odtočni potencial je odvisen od prevladujočega tipa tal, ki je bil za celotno Slovenijo določen v sklopu projekta Projekcija vodnih količin za namakanje v Sloveniji (CRP Konkurenčnost Slovenije 2006-2013, 2012). Rezultati omenjenega projekta so bili uporabljeni za določitev odtočnega potenciala v slovenskem delu porečja reke Sotle, vrednosti odtočnega potenciala v hrvaškem delu porečja pa so bili ustrezno prilagojeni.

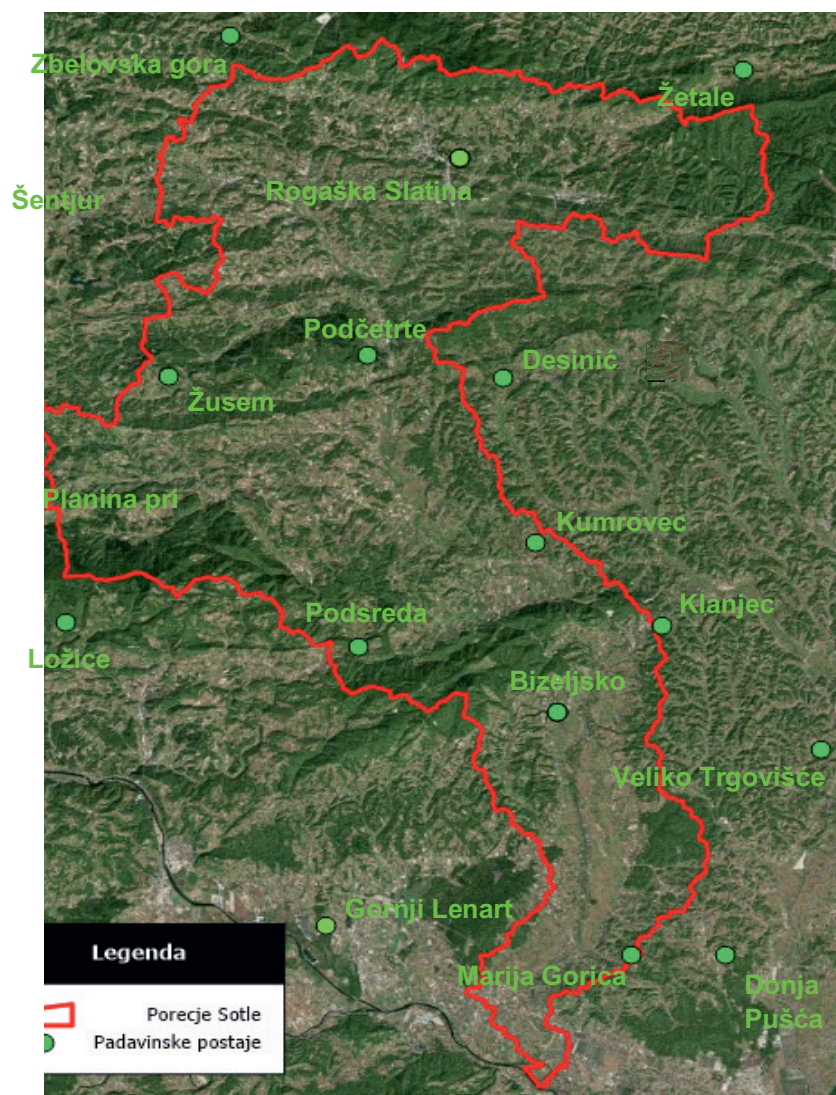
Za račun propagacije je bila uporabljena metoda Muskingum-Cunge. V ta namen so za posamezno propagacijo bili vnešeni podatke o njeni dolžini (v m), naklonu (m/m) in Manningovem koeficientu. Prevladujočo obliko korita oz. dolinskega dna je bila za posamezno propagacijo opisana z osmimi točkami, na podlagi DMR 1m (LIDAR).

V model HEC-HMS je bila vnešena tudi pregrada Vonarje, Podatke o dimenzijah pregrade, talnega izpusta in bočnega preliva je bila povzeta po poslovniku pregrade. Definirana je bila tudi Q-H krivuljo preliva. Pregrada Vonarje je bila upoštevana kot suhi zadrževalnik.

3.1.3.3 Analiza padavin

V porečju reke Sotle in njegovi bližnji okolici se tako na slovenski kot hrvaški strani nahaja več meteoroloških postaj. Z vidika določitve padavin z različnimi povratnimi dobami so pomembne postaje s

čim daljšim nizom meritev. Za potrebe predmetne študije je bilo izbranih 17 postaj, ki imajo več kot 20-letni niz dnevni meritev padavin v obdobju med letoma 1952 in 2016.



Lokacija analiziranih padavinskih postaj

Ker izbrane postaje (z izjemo Planine pri Sevnici, Rogaške Slatine in Gornjega Lenarta) nimajo izrednotenih povratnih dob za ekstremne padavine, so bili pregledani njihovi arhivski podatki in določene maksimalne dnevne količine padavin za posamezno leto. Za vsako izmed postaj je bila izvedena statistična analiza podatkov o maksimalnih dnevni količinah padavin v posameznem letu po metodi Gumble, pri čemer je bil uporabljen program FreqPlot. Rezultat analize predstavljajo ekstremne dnevne vrednosti padavin z 10, 25, 50, 100 in 500-letno povratno dobo. Ekstremne padavine s 1.000-letno povratno dobo (za 9 od 17-ih izbranih postaj) so bile določene z ekstrapolacijo.

Zaradi velikega števila padavinskih postaj in primerljivih vrednosti ekstremnih dnevni padavin med določenimi postajami je bilo v nadaljevanju izbranih 5 reprezentativni padavinskih postaj, ki ležijo v porečju reke Sotle. To so Rogaška Slatina (primerljiva s postajama Zbelovska gora in Žetale), Žusem, Podčetrtek (primerljiva s postajama Desinič in Kumrovec), Podsreda in Bizeljsko.

Ekstremnih vrednosti padavin nižjih intenzitet ni bilo mogoče statistično iz vrednotiti. Zato so bile vrednosti padavin nižjih intenzitet napete na vrednosti, ki jih je za izbrane postaje po metodi Gumble iz vrednotil ARSO (2015). V ta namen je bilo uporabljeno razmerje med statistično določeno dnevno višino padavin in ekstremnimi 24-urnimi padavinami. Za potrebe hidroloških izračunov je bila uporabljena linearna razporeditev padavin.

3.1.3.4 Umerjanje hidrološkega modela

S hidrološkim modelom se je v večji meri poskušalo približati tudi predhodnim študijam, ki so analizirale posamezne krajše odseke porečja. Glede na izvedeno primerjavo, odstopanja med pretoki vrednotenimi po obstoječi študiji in predhodnimi študijami ne presegajo 10%, kar je po presoji izdelovalca študije ustrezno.

3.1.3.5 Rezultati hidrološkega modeliranja

S hidrološkim modelom so bile na 11-ih profilih vzdolž reke Sotle vrednotene vrednosti visokih vod s povratno dobo 10, 25, 50, 100, 500 in 1.000-let. Hidrološki izračuni so bili izdelani z orodjem HEC-HMS, in sicer za različna trajanja padavin, z namenom iskanja pretočno najbolj neugodnega padavinskega dogodka na lokacijah izbranih profilov.

Povzetek rezultatov modeliranja je prikazan v preglednici, kjer so poleg maksimalnih pretokov z različnimi povratnimi dobami prikazani tudi najbolj neugodni časi trajanja padavin za posamezno lokacijo.

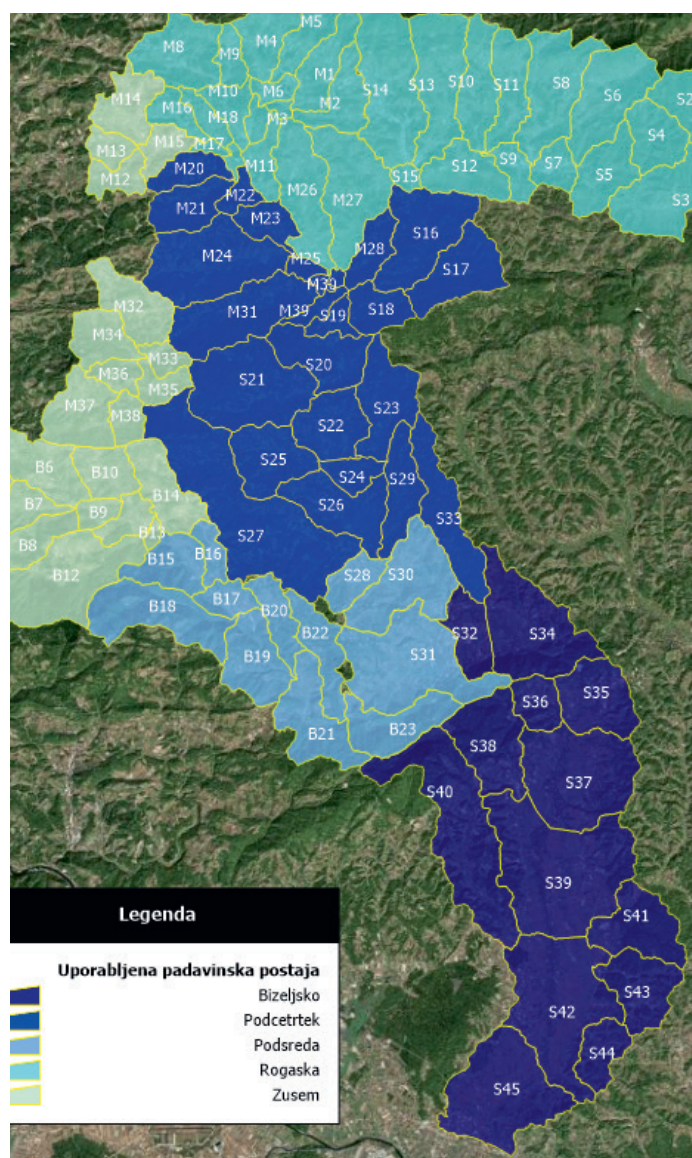
Št. profila	Opis	Zaledje (km ²)	Povratna doba					
			Q10	Q25	Q50	Q100	Q500	Q1000
1	VP Rogatec	40	43,6	54,4	65,0	77,0	103,9	116,6
2	Pod Draganjo	48	54,3	67,5	80,1	95,6	129,2	145,4
3	Do Ločnice	66	68,1	88,1	103,4	122,9	167,6	189,4
4	Pod Ločnico	88	91,3	119,0	141,3	166,7	225,8	254,1
5	Pregrada Vonarje	107	89,8	110,7	131,3	156,8	214,7	243,5
6	Pod Mestinjščico	241	97,7	121,8	142,2	158,9	209,6	231,9
7	Do Bistrice	326	101,9	130,3	153,7	175,5	236,2	262,7
8	Pod Bistrico	434	143,5	190,2	229,9	275,1	378,3	420,2
9	VP Zelenjak	458	150,2	198,3	238,1	285,2	394,0	439,1
10	VP Rakovec	559	162,7	214,3	251,7	290,2	414,6	468,4
11	Izliv v Savo	573	163,1	215,1	252,9	290,3	413,0	467,4

Najbolj neugoden čas trajanja padavin:	6h	12h	15h	18h	24h	30h	36h
--	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Izračunani maksimalni pretoki (v m³/s) z različnimi povratnimi dobami in najbolj neugodnimi časi trajanja padavin

3.1.3.6 Oddaja poplavnih valov

Za potrebe vnosa rezultatov hidrološkega modela v hidravlični model so bili v hidrološkem modelu vrednoteni hidrograme na izlivnem delu vseh pritokov in na posameznih krajših odsekih reke Sotle (»lastna voda«). Poplavni valovi zajemajo celotno porečje reke Sotle. Poplavni valovi so bili vrednoteni na 40 lokacijah. Poplavni valovi so ločeni na dva dela, in sicer območje nad Vonarji in območje pod Vonarji. Vrednoteni so bili hidrogrami, ki pripadajo najbolj neugodnim padavinam. Na odseku nad Vonarji so se za povratni dobi 10 in 25 let kot najbolj neugodne izkazale padavine s 6, 12, 15 in 24 urnim trajanjem, za povratne dobe 50, 100, 500 in 1000 let pa poleg že omenjenih časov trajanja, še padavine z 18, 30, 36 in 42 urnim trajanjem. Na odseku pod Vonarji so se kot najbolj neugodni izkazali sintetični nalivi s 15, 18, 24, 30, 36 in 42 urnim trajanjem.



Razdelitev porečja reke Sotle na podporečja, s prikazom upoštevanih padavinskih postaj

3.1.4 HIDRAVLIČNA ANALIZA

3.1.4.1 Odsek od izvira Sotle – Kunšperk (Bistrica ob sotli)

3.1.4.1.1 Značilnosti doline

Dolini Sotle lahko rečemo poplavna dolina že v samem povirnem odseku (gorvodno od Trličnega), kjer struga teče po sorazmerno plitvi in na brežinah poraščeni strugi, viški vod pa se razlivajo po pretežno z gozdom zaraščeni ravnici. Strugo na tem odseku prečka več premostitev, ki pa so v večini opuščene oz. se uporabljajo zelo redko.



Struga Sotle v povirju

Poplave Sotle na predmetnem odseku ne predstavljajo bistvenih težav. V dolini se nahaja tudi nekaj stanovanjskih objektov, ki pa so postavljeni nekoliko stran od struge tudi na nekoliko višjem ali nadvišanem terenu.

Prvi večji škodni potencial v dolini Sotle se pojavi v Trličnem, kjer se visoke vode pogosto razlivajo iz struge. Problem je poddimenzionirana premostitev in splošna majhna prevodna sposobnost struge nad vasjo.

Pod Trličnim prečka dolino Sotle železniški nasip, ki preseka poplavno območje in za katerim se tvori določena zajeza (pozitivno z vidika zadrževanja poplavnih vod). Med Dobovcem in Rogatcem se struga Sotle vije po dolini med železniškim nasipom na slovenski strani in cesto Hromec – Hum na Sutli. Struga je razen na območju premostitev naravna in meandrirajoča ter poraščena z drevesno in grmovno zarastjo. V tem pasu je poselitev oz. pozidava zelo redka, prisotnih je le nekaj objektov, ki pa so postavljeni ob rob doline. Na poplavni ravnici so v večji meri prisotne obdelovalne površine.

Rogatec je največji kraj v dolini Sotle, ki leži v neposredni bližini reke in v pomembnem deležu tudi na njenem poplavnem območju. Glede na predhodno izvedene hidravlične analize Sotla na vstopu v Rogatec poplavlja vse do glavne ceste Rogatec - Dobovec. Poplavljena je tudi železniška proga Grobelno - Zaprešič od Zahenberškega potoka do mostu železnice čez Draganjo. Na območju nad izlivom Draganje so ogroženi stanovanjski in gospodarski objekti ob strugi in na območju med železnico in glavno cesto. Zaradi poddimenzionirane premostitve je poplavljen tudi širše območje mejnega prehoda v Rogatcu.



Poddimenzionirani most na Celjski cesti v Rogatcu in VP Hum na Sutli

Vse do prečnega nasipa ceste k mejnemu prehodu Rajnkovec v dolini ni elementov, ki bi imeli bistven vpliv na vodni režim. Poplavne vode se prosto razlivajo po pretežno travniških površinah. Prav tako razen na enem območju (na levem bregu Sotle tik pod sotočjem s Teršnico) v nižjem delu dolinskega dna ni prisotne poselitve.

Nasip ceste k mejnemu prehodu Rajnkovec predstavlja v povprečju 1 m visoko prepreko, ki prekine vzdolžni poplavni tok, vode pa so nato skoncentrirane na mostno odprtino oz. se po zapolnitvi območja za nasipom, preko njega prelivajo proti jugu. Ob poplavah 9.10.1980 (rang do Q_5) naj visoke vode nasipa ne bi prelivale, medtem, ko prikazi poplav za 5.8.1987 (rang $Q_{10} - Q_{20}$) izkazujejo prelivanje tega nasipa. Drugih prostorsko zabeleženih poplavnih dogodkov v dolini Sotle ni na voljo. Ob poplavah daljših povratnih dob je realno možno pričakovati prelivanje prečne ceste.

Pod mejnim prehodom Rajnkovec je na poplavni ravnici na desnem bregu Sotle postavljena KČN Rogaška Slatina (9000 PE), ki čisti odpadne vode Rogaške Slatine in Rogatca. Tehnološki deli ČN so dvignjeni nad obstoječi teren, s čimer naj bi bili zaščiteni pred dosegom visokih vod, medtem, ko se pripadajoči poslovni objekt nahaja na nivoju obstoječega terena. Čistilna naprava je seveda pomembna zaradi splošne funkcije čiščenja odpadnih vod, sočasno pa so z zmanjšanjem odvajanja polutantov v

Sotlo izboljšane možnosti za doseganje sprejemljivega nivoja onesnaženosti Sotle, ki bo dopuščala ponovno vzpostavitev obratovanja Vonarskega jezera.

Sotla pod ČN preide v (projektno) vplivno območje umetne akumulacije Vonarskega jezera (tudi Sotelsko jezero), ki s pregrado višine 12 m predstavlja najpomembnejši vodnogospodarski objekt na Sotli. Sama pregrada je locirana v ožini pod vasjo Vonarje (gorvodno od izliva Mestinjščice v Sotlo). Akumulacija je bila zgrajena kot večnamenski mokri zadrževalnik.



Pregrada Vonarje (vir: Hidrosvet d.o.o.)

Dolžina akumulacije znaša po dolini ca. 6 km, površina pa 195 ha. Zgrajeni sta dve pregradi, zgornja Prišlin ter spodnja Vonarje. Zgornja betonska pregrada Prišlin bi ob obratovanju sistema zagotavljala stalno ojezeritev in s tem preprečevala zamočvirjenje zgornjega dela doline. Spodnja pregrada Vonarje je izvedena kot nasuta zemeljska pregrada, višine 12,0 m. Danes ob pregradi delujeta le kot suha zadrževalnika.



Pregrada Prišlin

Z objekti na pregradi v dogovoru s hrvaško stranjo, upravlja slovenska stran, ki izvaja redna vzdrževalna dela. V zadnjih letih so se pojavile močne poškodbe na betonskih in armirano betonskih regulacijskih

objektih pregradnega objekta, hidromehanska in elektro-strojna oprema pa je dotrajana, zato je potrebna njihova obnova.

Dolina v vplivnem območju zadrževalnika je neposeljena, površine pa so v zgornjem delu pretežno travnate in obdelovalne.

Približno 500 m pod Pregrado Vonarje se Sotli priključi Mestinjščica. Mestinjščica in Bistrica sta največja pritoka Sotle. Glede na pojav poplav v letih po izpraznjenju zadrževalnika Vonarje je bilo ugotovljeno, da kljub zadrževanju visokih vod Sotle Mestinjščica predstavlja tako izdaten vodotok, da Sotla obogatena z vodami Mestinjščice na dolvodnem odseku doline še vedno poplavlja.

Dolvodno od sotočja Sotle in Mestinjščice je na desnem bregu Sotle v Podčetrtku postavljen vodni park Aqualuna (Terme Olimia). Odtok vod s poplavnega območja nad parkom je s prečnim nasipom severno od parka preusmerjen nazaj v strugo. Pod vodnim parkom se poplavna ravnica zopet razširi, a se pri Harinzlaki zopet zoža. Tik pod zožitvijo prečka dolino Sotle (predvsem nižji, levi breg) prečni nasip s platojem MP, ki povezuje mejna prehoda v Podčetrtku.

Pod mejnim prehodom se dolina ponovno razširi, poplavno območje pa je v splošnem omejeno z nasipom železnice na slovenski strani ter vznožji gričev na območju Poljanske Luke na hrvaški strani. Ravnica je praktično v celoti koriščena za kmetijske/obdelovalne površine, samo bregovi struge so zaraščeni z drevesno in grmovno zarastjo.

Visoke vode Sotle preko mostu na Olimskem potoku zatekajo tudi v zaledje železniškega nasipa. Struga Sotle je bila na širšem območju sotočja z Olimskim potokom v času izgradnje železnice Stranje – Savski Marof (1956-1960) regulirana.



Vodomerna postaja Bratkovec in stanje v strugi pod njo

Struga je pod vodomerno postajo nevzdrževana – zaraščena in delno zapolnjena z odloženim plavjem.

Na območju Imena oz. Sutlanske Poljane se dolina Sotle razširi na preko 1 km širine. Tako na Imenskem polju, kot Sedlarjevem ima struga naraven potek – meandira. Praktično vse površine v dolini se uporabljajo za kmetijske namene, z drevjem je poraščena le struga reke. Poplave leta 1980 in 1987 so

prelile dno doline v njeni celotni širini. Dno doline je praktično neposeljeno, najbližji objekti reki so postavljeni na dvignjenem terenu.

Na območju Golobinjeka se Imensko polje zaključi s prečkanjem železniškega nasipa, ki z zahodnega roba doline preide na SV rob Sedlarjevega polja. Nasip sicer predstavlja določeno zaježbo poplavnemu toku, vendar znotraj poplavnega območja ni prisotnih objektov ali občutljive infrastrukture, zato je tovrsten vpliv zaradi povečanega zadrževanja celo pozitiven. Tudi na območju predmetnega prečkanja je bila Sotla v času izgradnje železnice regulirana.



Železniški most na zaključku Imenskega polja

Sedlarjevo je manjša vas na terasi nad reko Sotlo. V vasi je tudi mejni prehod s prečkanjem Sotle. Platoja MP na obeh bregovih sta postavljena ca. 0.6-0.8 m nad nivo okoliškega terena, cesta, ki poteka po hrvaškem ozemlju proti vasi Plavić, pa je izvedena le 0.3 m nad terenom, zaradi česar je lahko že pri pogostih visokih vodah preplavljena. Nič bolj dvignjeno nad okoliški teren ni niti območje manjšega zaselka nekaj hiš na sredini doline, zato je možno domnevati, da so objekti poplavno ogroženi.

Nasip železniške proge poteka po SV oz. S robu doline, prepusti v nasipu pa omogočajo širjenje poplavnih vod Sotle tudi v zaledje nasipov. Glede na zabeležene poplave ter tudi konfiguracijo terena, je ob večjih poplavnih dogodkih pričakovati preplavitev celotnega dolinskega dna.



Dolina Sotle pod Zagorskim Selom

Na območju Pleške hoste se Sotla iz SV smeri preusmeri proti JV, na poti proti sotočju z Bistrico pa se dolina oz. potencialno poplavno območje bistveno zoža. Poleg geomorfološkega zožanja potekata v dolini še (danes sicer opuščena) železniška proga in cesta. Na predmetnem odseku je bila struga Sotle tudi regulirana ob izgradnji železnice.

Vstop Sotle na Bistriško polje je s hidrotehničnega vidika dokaj kopleksen. Najprej se z desne strani Sotli priključi močan pritok Bistrica, tik pod sotočjem so prelite vode usmerjane z železniškim nasipom, pod železnico pa se v nadaljevanju nahaja še cestni nasip proti MP in sam plato MP Bistrica ob Sotli.

Potek železniškega nasipa z mostom, ki ima sicer poleg osnovne odprtine v strugi na vsaki strani še inundacijsko odprtino, ustvarja žep, v katerega se ujamejo prelite vode Sotle in Bistrice. V nasipu železnice je južno od mostu sicer izvedena še manjša inundacija širine 2 m, ki pa nima bistvenega vpliva na prehodnost poplavnih vod. Nad mostom je v strugi Sotle prisoten prag.

Na Bistriškem (Kumrovačkem) polju nasip železnice zopet preide na slovensko stran. Na dolinskem dnu se cca. 1 m nad nivojem terena ob strugi Sotle nahaja vas Polje pri Bistrici, v dno pa segajo že tudi nekateri objekti v Kumrovcu. Struga Sotle na Bistriškem polju je bila regulirana, ostanki meandrov, pa so sedaj rečne mrtvice. Bistriško polje se pri Kunšperku zaključi s preходом v ozko dolino Zelenjak.



Bistriško polje nad Kunšperkom

3.1.4.1.2 Hidrološki podatki

Na obravnavanem odseku Sotle se nahajajo tri vodomerne postaje (VP), to so Rogatec (SLO), Hum na Sutli (HR) in Bratkovec (HR). V preteklosti je bila še aktivna vodomerna postaja Miljana (Imeno). Vodomerna postaja je tudi na Vonarskem jezeru, opremljena je z vodomerno lato. Meritve se izvajajo le ob visokovodnih pojavih. V Rogatcu je bila vodomerna postaja locirana na desnem bregu, tik pod premostitvijo na mejnem prehodu. Aktivna je bila med letoma 1949 in 1989. V letu 2016 je bila v sklopu projekta BOBER na isti lokaciji ponovno vzpostavljena vodomerna postaja.

Na istem odseku Sotle v Rogatcu oz. Humu na Sutli se nahaja tudi hrvaška VP, ki pa je pozicionirana nad mostom na mejnem prehodu. Za predmetno postajo ni na voljo on-line arhivski podatkov, izvedena je bila le statistična analiza merjenih pretokov za obdobje 2008-2015. Postaja se nahaja nad poddimenzioniranim mostom, zato so ob visokih vodah interpretacije pretokov glede na zabeležen nivo

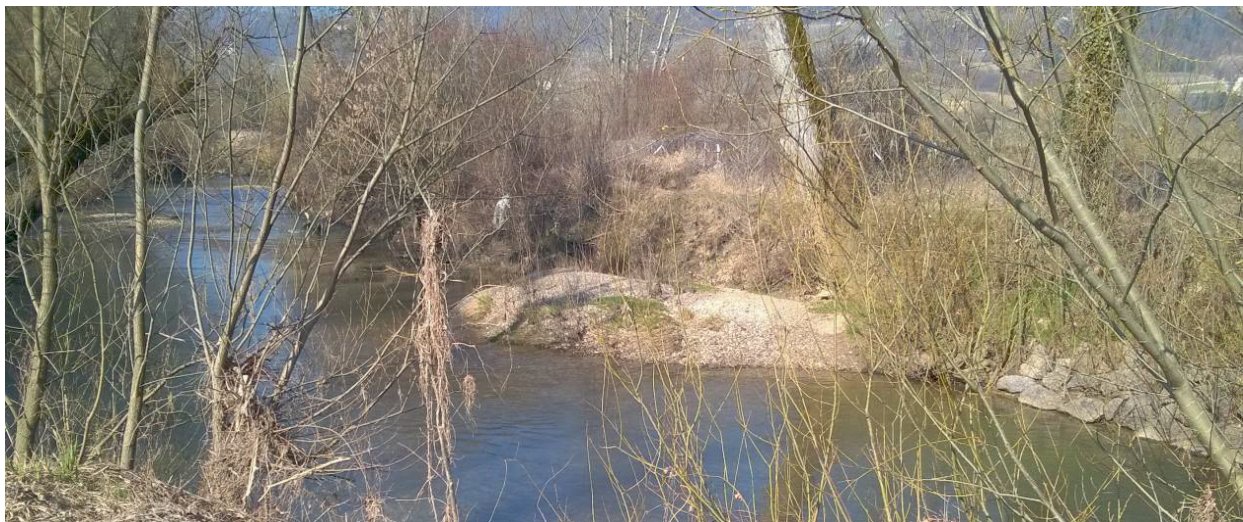
vode, lahko zmotne. Na območju Imena oz. Bratkovca je na Sotli postavljena VP Bratkovec v upravljanju DHMZ, ki bratuje od leta 1993.

3.1.4.2 Odsek Kunšperk (Bistrica ob Sotli) do izliva v Savo

3.1.4.2.1 Značilnosti struge

Obravnavani odsek Sotle od soteske Zelenjak do izliva v Savo se uvršča v spodnji tok Sotle. Od soteske Zelenjak se ob Sotli razpira obsežna dolina povprečne širine ca. 1.5 km. Na tem delu ima Sotla več manjših desnih in levih pritokov (v glavnem gre za manjše jarke in hidromelioracijske jarke), kot npr. potok Sračjek, Bizeljski potok, Brezovski potok, Sicejev Graben, potok Dramlja in Šica. Na tem odseku poteka po dolini na levi strani Sotle železniška proga, ki je po večini dvignjena nad okoliški teren vsaj za 0.5 do 1 m. Tako so vsi levi pritoki na tem delu speljani pod nasipom železniške proge skozi prepuste. Sčasoma se je zaradi ureditev pretočni profil struge Sotle odsekoma preoblikoval.

Sotla na odseku od soteske Zelenjak do naselja Gregovce izrazito meandrira. Na tem odseku struga ni regulirana. Brežine struge so na odseku ob naseljih Mehaničev Dol in Lepoglavec v glavnem zaraščene z visokimi drevesi in redko nizko vegetacijo. Ponekod pa so brežine tudi povsem brez vegetacije, kot je npr. leva brežina pri naselju Mehaničev Dol, kjer je struga izrazito plitva. Na tem območju se v krivini nahajata dve stopnji (oz. manjši jezbi), ki umirita tok vode in zmanjšujeta bočno erozijo v krivini in izpodnjedanje levega brega Sotle. Na dolvodnih odsekih je meandriranje Sotle še bolj izrazito, brežine struge pa tudi bolj zaraščene. Gosta nizka vegetacija ni samo na brežinah ampak tudi na obvodnih območjih. Zaradi izrazitih meandrov se na tem območju vzpostavljajo prodišča na notranjih straneh krivin.



Prodišče v krivini struge Sotle, na odseku močnega meandriranja

Na odseku dolvodno od naselja Gregovce so brežine struge odsekoma manj zaraščene, povsod pa so prisotna visoka drevesa. Razvidno je tudi, da struga na tem odseku prevaja večje količine vode kot na gorvodnih, bolj plitvih in meandrirajočih odsekih. Na določenih lokacijah pa se je tudi na tem bolj ravnem odseku struga močno zarastla z gosto nizko vegetacijo, ki ima izredno neugoden vpliv na poplavno varnost naselij na obvodnih območjih.



Manjša zaraščenost brežin in izoblikovan profil struge dolvodno od naselja Gregovce (levo) in stopnje dolvodno od krivine pred mejnim prehodom Rakovec (desno)

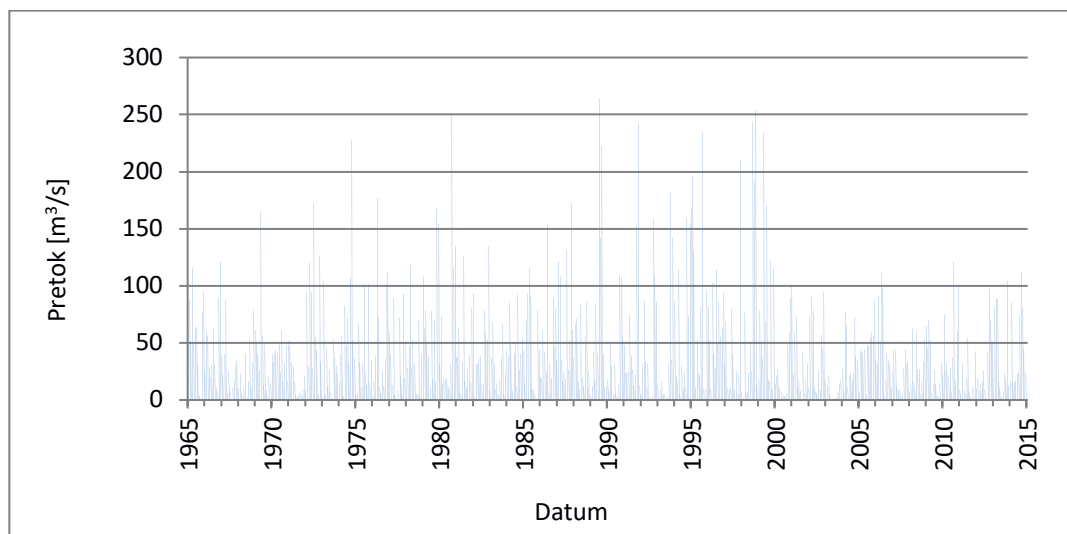
Na odseku pri mejnem prehodu Rakovec se dolvodno nahaja več stopenj, ki učinkovito umirjajo tok vode in zmanjšujejo bočno erozijo na gorvodnem delu. Stopnje v strugi Sotle se na dolvodnih odsekih nahajajo še pri naselju Vukovo selo, pri mejnem prehodu Rigonce (oz. mejni prehod Harmica ter pri Rigoncah. Opisana dolina Sotle poteka vse do železniške proge Zagreb-Ljubljana, kjer teče Sotla pod mostom železnice na poplavno območje reke Save. Na tem odseku je Sotla ob pojavu visoke vode Save v zajezbi. Glede na zabeležene poplave iz leta 2010 bi lahko sklepali, da sega vpliv Save na Sotlo tudi gorvodno od železniške proge Zagreb-Ljubljana.

3.1.4.2.2 Hidrološki podatki

Na obravnavanem odseku Sotle se nahajata dve vodomerni postaji, to sta Zelenjak in Rakovec I. Prva se nahaja na začetku odseka na levem bregu v soteski Zelenjak, gorvodno od naselij Lipoglavec in Mihanovičev Dol, druga pa na desnem bregu pri naselju Rakovec.



VP Zelenjak - levi breg (levo) in VP Rakovec I - desni breg (desno)



Maksimalni pretoki Sotle (po mesecih) na VP Rakovec I v zadnjih 50 letih
(arhiv www.arso.gov.si)

Analiziran je bil dokument »Ocena ogroženosti občine Brežice« (Občina Brežice), ki navaja, da reka Sotla zaradi večjih nalivov, razmočenosti zemljišča in taljenja snega v porečju, ogroža predvsem nekaj izpostavljenih hiš v vaseh Orešje, Bračna vas, Nova vas, cesto proti meddržavnemu mejnemu prehodu Nova vas, Stara vas, Veliki Obrež in Rigonce.

V članku »Poplave in zemeljski plazovi jeseni leta 1998« (Slavko Šipeč, UJMA, 2000) pa avtor podaja naslednje ugotovitve v zvezi s poplavami v letu 1998:

Poplave 13. in 14. septembra 1998: »V Rogatcu in Dobovcu je bilo zaradi narasle Sotle poplavljenih nekaj kletnih prostorov stanovanjskih hiš ter podjetje Emkor. Sotla je poplavlila tudi cesto Podčetrtek–Bistrica ob Sotli, pozneje pa se je razlila še v spodnjem toku. Zaradi poplavljanja reke Sotle je bila zaprta cesta Bizeljsko–Orešje in meddržavni mejni prehod v Orešju. Dve hiši sta bili poplavljeni v Novi vasi. V Drožanju v sevniški občini je voda zalila cesto, poplavljene so bile ceste na območju Blance. V Podvrhu je plaz odnesel 50 metrov ceste Klenovček–Podvrh ter porušil vinski hram.«

Poplave med 5. in 10. oktobrom 1998: »V kraju Trebež v občini Brežice je meteorna voda zalila več kleti in stanovanjskih objektov.

Poplave med 4. in 6. novembrom 1998: »V občini Brežice je Sava prav tako poplavljala območja ob reki ter vasi Rigonce in Loče in delno Brežice. Ko so se Sava in manjši vodotoki že umirili, je začela poplavljeti Sotla. V Rigoncih v občini Brežice je pretrgala saniran cestni nasip in poplavlila regionalno cesto Dobova–Rigonce–republika Hrvaška. Mejni prehod Orešje je bil zaradi poplav ob Sotli prav tako zaprt, ogrožene pa so bile hiše in gospodarska poslopja.«

Tako je bila v nadaljevanju podana ocena poplavne ogroženosti omenjenih naselij glede na obstoječe podatke o poplavah. Pri tem so bili uporabljeni naslednji GIS sloji o poplavah:

- slovenska integralna karta poplavne nevarnosti in razredov poplavne nevarnosti za vplivno območje HE Mokrice (desni breg Sotle),
- karta razredov poplavne nevarnosti za odsek Sotle od vtoka Šice do izliva v Savo (»Ureditev Sotle za zagotavljanje poplavne varnosti območja Rigonc in Dobove«, Idejna zasnova, 2012, IS projekt d.o.o. št. projekta: 13 in 13b-S/12)
- zabeležena linija poplave ob pojavu visoke vode v letu 1990 in 2010 na območju sotočja Save in Sotle (desni in levi breg Sotle),
- hrvaške karte poplavne nevarnosti in ogroženosti za celoten levi breg Sotle na odseku od Bistrice ob Sotli do sotočja s Savo (*hrvaško: Karte opasnosti od poplava, Karte rizika od poplava*).

Hrvaške karte poplavne nevarnosti in ogroženosti zajemajo majhno, srednjo in veliko verjetnost pojavljanja poplav. Pri tem predstavlja srednja verjetnost 100 letno povratno dobo poplav, majhna verjetnost pa večjo povratno dobo od 100 let ter zraven tega zajema še poplave zaradi porušitve visokovodnih nasipov ter pregrad - umetne poplave.

Hrvaške karte ogroženosti so izdelane na osnovi poplavne nevarnosti in rabe tal ter informacijami o lokacijah ranljivih objektov kot so šole, vrtci, odlagališča, domovi za ostarele ter ceste in železnice, ki so izpostavljeni majhni, srednji in veliki verjetnosti poplav. Uporabljena raba tal je razdeljena na naslednje kategorije:

- Površine intenzivne kmetijske rabe (»intenzivna poljoprivreda«)
- Površine ostale kmetijske rabe (»ostala poljoprivreda«)
- Močvirja in redka vegetacija (»Močvare i oskudna vegetacija«)
- Vodne površine (»Vodene površine«)
- Športni in rekreacijski objekti (»Sportski i rekreacijski sadržaj«)
- Območje gospodarske rabe (»Područje gospodarske rabe«)
- Poselitveno območje (»Naseljeno područje«)
- Gozdovi in nizka vegetacija (»Šume i niska vegetacija«)

Glede na hrvaške karte ogroženosti so na levem bregu na tem odseku poplavam izpostavljena le redka poselitvena območja. Gre za naslednje 4 lokacije (od najbolj gorvodnega do najbolj dolvodnega) :

- območje med reko Sotlo in železnico pri naselju Mihanovićev Dol,
- območje med reko Sotlo in železnico pri mejnem prehodu Rigonce (Harmica),
- območje med reko Sotlo in VV nasipom pri naselju Ključ Brdovečki,
- in območje na zaledni strani VV nasipa pri naseljih Ključ Brdovečki, Drenje Brdovečki in Savski Marof.

Prvo območje se nahaja pri naselju Mihanovićev Dol, nekoliko bolj dolvodno od soteske Zelenjak. Glede na hrvaško karto poplavne ogroženosti za srednjo in majhno verjetnost pojava poplav, je poplavam izpostavljeno poselitveno območje na levem bregu Sotle med reko in železnico. Drugo območje pa se

nahaja precej bolj dolvodno, pri mejnem prehodu Rigonce (Harmica). Ta lokacija je poznana po izpostavljenosti poplavam, saj se objekti nahajajo nedaleč vstran od rečnega brega.

Mihanovičev Dol (levo) in MP Rigonce (desno) - povzeto po hrvaških kartah poplavne ogroženosti. Tretje in četrto območje se nahajata južno od železniške proge in naselja Rigonce. Na tem odseku je treba izpostaviti, da je obseg poplave najverjetneje posledica poplavljanja reke Save. Visoke vode Sotle imajo tako na tem območju (to je na odseku Sotle od Rigonce do izliva v Savo) le majhen vpliv na poplavno ogroženost naselij kot so Ključ Brdovečki, Drenje Brdovečki ter Savski Marof. Voda iz Save namreč teče okoli obstoječega hrvaškega VV nasipa na zaledno stran. Glede na analize hibridnih hidravličnih modelov območja HE Mokrice (UL FG in Hidroinštitut, 2012), Sava omenjenega nasipa pri 100 letnem pretoku Save še ne prelije. Naslednja slika prikazuje izpostavljenost naseljenih območij majhni verjetnosti pojava poplave (pretokom večjim od Q_{100}) na območju dolvodno od Rigonce.

Soteska Zelenjak

Iz hrvaških kart poplavne nevarnosti je razvidno, da so poplavam izpostavljeni objekti v soteski Zelenjak, na levem bregu. Naslednji fotografiji prikazujeta poplavno območje pri Zelenjaku. Levo je prikazana lokacija struge, kjer se visoke vode Sotle razlijejo po poselitvenem območju, desno pa je prikazan celotni nižinski del z objekti, ki so pri pojavu visokih vod poplavljeni.



struga in levi breg Sotle (levo) ter poplavno območje v soteski Zelenjak (desno)

Bračna vas

Bračna vas se nahaja na desnem bregu Sotle. Tik ob strugi reke poteka lokalna cesta, južno od ceste pa se nahaja več stanovanjskih objektov. Glede na hrvaške karte poplavne nevarnosti za srednjo verjetnost (obseg poplave Q_{100}) na tem odseku Sotla prestopi bregove in se razlije po poplavnih ravninah. Izdelane karte zajemajo levi breg Sotle. Tako na levi kot na desni strani je relativno obsežen ravninski del.

Nova vas pri Sotli in Gregovce

Nova vas pri Sotli se nahaja na desnem bregu dolvodno od Bračne vasi. Naseljitveno območje je nekoliko bolj oddaljeno od struge Sotle kot je v primeru Bračne vasi, vseeno pa se tudi tukaj nahaja na desnem bregu relativno široka dolina. Na desnem bregu je glede na hrvaške karte poplavne nevarnosti na tem odseku poplavam izpostavljeno območje od struge do železnice, ponekod pa teče tudi po zaledni strani

nasipa železniške proge. Tudi v tem primeru so karte izdelane le za levi breg Sotle, kjer doseže poplava podobno nadmorsko višino kot tisto, na kateri se na desnem bregu nahaja naselje Nova vas pri Sotli.

Gregovce je naselje, ki se nahaja na levem bregu Sotle ca. 2 km južno od Nove vasi pri Sotli. Nahaja se tik ob strugi Sotle, vendar je za dober meter višje kor pa obvodno območje na levem bregu.

Gornji in Donji Čemehovec

Gornji Čemehovec se nahaja na levem bregu Sotle, vzhodno od železniške proge. Na tem delu se severno od naselja v nasipu železniške proge nahaja pravokotni prepust. Ob pojavu visoke vode Sotle teče voda na tem območju skozi prepust in se razliva po poplavni ravnici na zaledni strani nasipa proti naselju Gornji Čemehovec.

Naselje Donji Čemehovec se nahaja južno od Gornjega Čemehovca, tik ob strugi Sotle. Na območju med objekti in strugo Sotle se nahajajo njive in lokalna cesta. Stanovanjski objekti glede na hrvaške karte poplavne nevarnosti niso poplavljeni z izjemo treh objektov pri mejnem prehodu. Visoka voda Sotle se približa do lokalne ceste.

Gmajna (pri Velikem in Malem Obrežu), Harmica in Rigonce

Na območju od naselja Kraj Donji (levi breg) do Save ima bistven vpliv na poplavljanje Sotle tudi reka Sava, ki je leta 1990 in 2010 poplavljala vse do železniškega nasipa. V letu 2010 je glede na zabeleženo linijo poplave bilo pod vodo tudi območje severno od železnice pri naseljih Veliki in Mali Obrež ter Gmajna. Na tem območju torej očitno prihaja do velikega razlivanja Sotle predvsem na desni breg.

Za vplivno območje Save so na razpolago tudi izdelane slovenske karte poplavne nevarnosti in razredov poplavne nevarnosti, ki so vključene v integralno karto poplavne nevarnosti. Karte so bile izdelane v sklopu DPN za HE Mokrice. Naslednja slika prikazuje poplavljenost in globine pri pretoku Q_{100} Save in Sotle, dobljene na podlagi slovenskih in hrvaških kart poplavne nevarnosti.

Rigonce se nahajajo na desnem bregu Sotle in so poplavno ogrožene tako zaradi visokih vod Save kot tudi zaradi visokih vod Sotle. Na tem območju so bili načrtovani protipoplavni nasipi že v sklopu DPN za HE Mokrice. VV nasipi v sklopu DPN HE Mokrice so bili načrtovani tudi za varovanje naselja Mihalovec in Loče.



Struga Sotle dolvodno od Rigonc

Naselje Harmica se nahaja na levem bregu Sotle, tik ob strugi reke. Poplavno ogroženo bi naj bilo območje med strugo in železniškim nasipom. Na tem območju se nahaja mejni prehod Rigonce (Harmica) in nekaj stanovanjskih objektov.

Na območju naselja Veliki Obrež, ki se nahaja na desnem bregu Sotle, se je voda ob poplavnem dogodku iz leta 2010, glede na zabeleženo linijo obsega poplave, nevarno približala naselitvenemu območju Gmajna, ki je sicer nekoliko dvignjeno nad okoliški teren.

Drenje Brdovečko in Ključ Brdovčki

Na levem bregu Sotle, južno od železniške proge Zagreb-Ljubljana, se nahaja več naselij, ki so poplavno ogrožena. Pri tem je treba poudariti, da na tem območju poplavlja reka Sava, Sotla pa samo prispeva k povečanemu pretoku Save. Na tem odseku je že zgrajen VV nasip ob naselju Ključ Brdovečki v dolžini 3.480 m. Nasip je že precej star, skozi nasip pa bi naj pronicalo tudi nekaj vode ob pojavu visoke vode Sotle in Save. Savska voda ob pojavu izrednega dogodka obtoka omenjen VV nasip in teče po zaledni strani tudi proti severu, saj je višina gladine v strugi precej višje kot pa je teren v naselju Ključ Brdovečki. Na bližnjem območju je zaradi Save poplavno ogroženo tudi naselje Drenje Brdovečki ter Savski Marof.

Republika Hrvaška ima za to področje izdelan načrt zaščite in reševanja »Provedbeni plan obrane od poplava branjenog područja sektor c – gornja Sava, branjeno područje 12: područje maloga sliva Krapina-Sutla i sjeverni dio područja maloga sliva Zagrebačko prisavlje« (2014, Hrvatske vode), kjer so navedene tudi kritične točke obstoječe protipoplavne zaščite.

Pri tem službe za zaščito in reševanje ob pojavu visoke vode vseskozi spremljajo pronicanje skozi nasip in se med seboj obveščajo ter sprejemajo ustrezne ukrepe za zaščito objektov in nasipa.

Glede na omenjen dokument ščiti VV nasip ob Sotli območje Ključa Brdovečkega pred poplavami s povratno dobo Q_{50} , z varnostnim nadvišanjem 100 cm.



VV nasip pri Ključu Brdovečki (gledano gorvodno)

3.1.4.3 Ukrepi za izboljšanje poplavne nevarnosti

V prvi fazi izdelave študije je bil na podlagi razpoložljivih in analiziranih podatkov, poznavanja območja in podatkov na osnovi spremljanja stanja ob nastopu visokih voda in izvajanju ukrepov zaščite pred poplavami v zadnjih dvajsetih letih ter eksperne ocene, oblikovan nabor protipoplavnih ukrepov in sicer:

- izgradnja nadomestnega mostu na mejnem prehodu Rogatec/Hum na Sutli in ureditev struge reke Sotle na dolžini ca. 600 m,
- sanacija betonov in hidromehanske opreme na pregradi Vonarje (akumulacija Sotelsko jezero), vgraditev opreme za seizmično opazovanje in daljinsko upravljanje vključno s posodobitvijo sistema za opazovanje gladin in opozarjanje
- rekonstrukcija in dograditev nasipa oz. nadomestni nasip v naselju Gmajna (Kumrovec).
- analiza vpliva mosta na cesti Risvica - Kunšperk na poplavno ogroženost,
- gradbeni ukrepi za zavarovanje pred poplavami naselij Bračna Vas, Gregovce, Nova vas in Rigonce, Harina Zlaka, Luka Poljanska, Bratkovec, Plavič, Čemehovec, Harmica, Ključ Brdovečki in Drenje Brdovečko

Zadrževanje vod v porečju Sotle je bilo obdelano v študiji z naslovom *Celovita vodnogospodarska ureditev povodja Sotle, I. faza*, št. C-123, VGI Ljubljana, marec 1996, ki poleg splošnega opisa stanja in značilnosti porečja Sotle od izliva v Savo do Žahenberskega potoka (desnega pritoka Sotle nad Rogatcem) prikazuje tudi možnosti zadrževanja visokih vod na Sotli in njenih pritokih. Za večino predlaganih zadrževalnikov je že v zgoraj navedeni študiji ugotovljeno, da imajo le lokalni vpliv oz., da so primerni za večnamensko rabo (turizem, namakanje, delno visoke vode).

Ukrepi za zmanjšanje poplavne nevarnosti so bili v nadaljevanju definirani na osnovi novih hidroloških izhodišč ter hidravličnega modela. Na osnovi analize obstoječega stanja so bila v nadaljevanju te študije definirana območja obstoječe poplavne ogroženosti, za katera so nato predlagani večinoma lokalni ukrepi. Predlagani ukrepi v največji možni meri tudi ohranjajo obstoječo morfologijo struge ter z njo vezane biotope (Natura 2000).

3.1.4.4 Osnovne značilnosti hidravličnega modela

Hidravlična analiza reke Sotle je bila izvedena z uporabo 1D-2D hidravličnega modela doline Sotle od izvira do izliva v Savo. Model je bil izdelan s strani projektnega partnerja Inštituta za hidravlične raziskave v programskem okolju MIKE Flood.

3.1.4.4.1 Model Sotla 1

1D model

Hidravlični model *Sotla 1* obravnava odsek od izvira Sotle (računska stacionaža 0 m) do vključno pregrade Vonarje (računska stacionaža 34251 m). V hidravličnem modelu računska stacionaža narašča v sotočni smeri. V stacionaži 25216 se 1D model zaključi s prehodom v 2D model na območju akumulacije Vonarje. Izток iz akumulacije je modeliran z 1D odsekom, ki simulira bočni preliv dolžine 8 m na koti 207.5 m n.m..

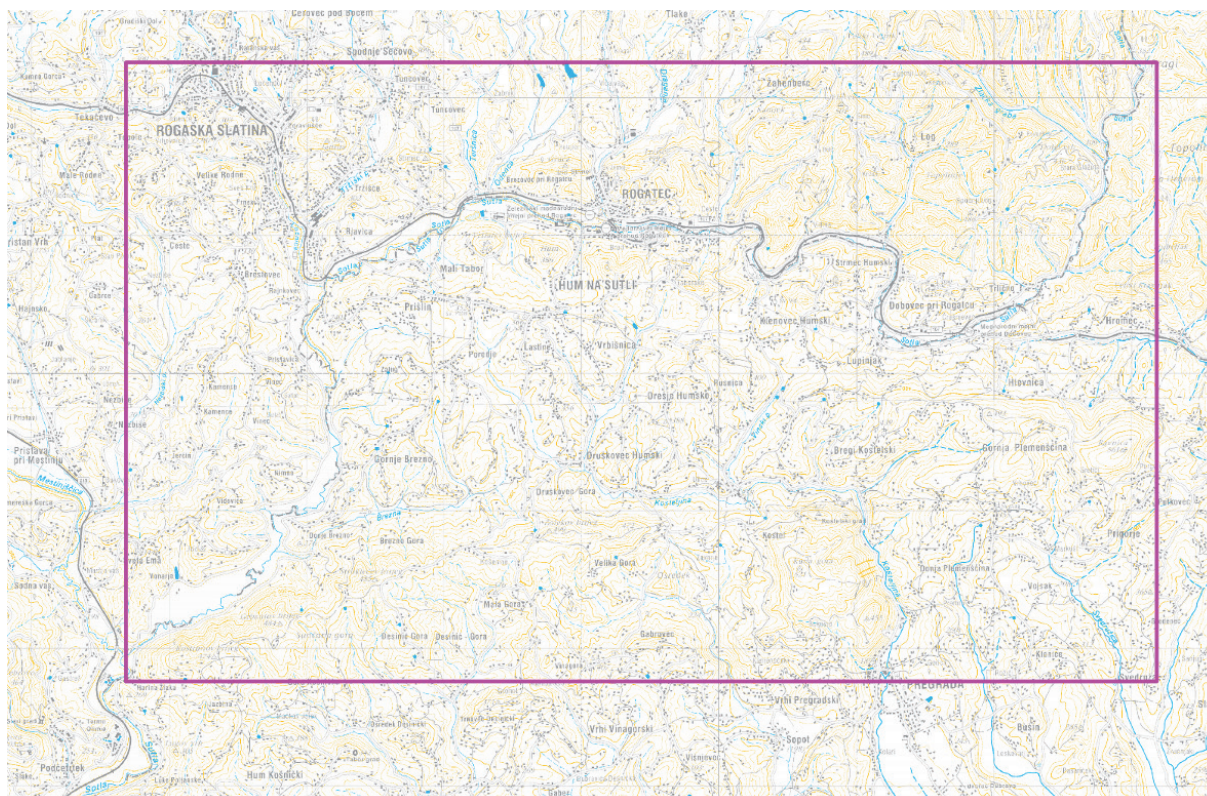
Geodetsko izmerjenih prečnih profilov Sotle je bilo v okviru projekta FRISCO1 na odseku reke Sotle od MP Dobovec (stacionaža 7519 m) do izliva v Savo (stacionaža 95528 m) izmerjenih 280 prečnih profilov. V povprečju so profili izmerjeni na 320 m, realno na >350 m (na pragovih npr. 2-3 prerezi skupaj, izmerjeni pritoki).

Zaradi majhne gostote izmerjenih profilov se je izdelovalec hidravličnega modela poslužil drugih metod za povečanje števila profilov. Uporabljeno je bilo generiranje prečnih profilov iz LIDAR podatkov (nad MP Dobovec so v model vgrajeni prečni profili pridobljeni iz točk LIDAR DMR 1x1 m) ter interpoliranje profilov med že izmerjenimi profili. LIDAR prečni profili so bili v splošnem generirani na generično določenih ekvidistančnih lokacijah ($dX=50.0$ m).

2D model

Batimetrija (3D model terena) za 2D hidravlični model je bila izdelana na osnovi javno dostopni LIDAR podatkov na portalu eVode (http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso).

Računsko območje obsega 3001 celico dimenzije 5x5 m v dolžino in 1801 celico v višino (15005 m x 9005 m). Model sestavlja 5.4M celic. Izdelan je v koordinatnem sistemu D96.



Območje hidravličnega modela Sotla 1

Robni pogoji

Spodnji robni pogoj

Spodnji robni pogoj modela Sotla 1 je predstavljal 1D iztok iz zadrževalnika preko bočnega preliva.

Zgornji in vmesni robni pogoji

V hidravlični model so se vgradili poplavni valovi Sotle za povratne dobe 10, 25, 50, 100, 500 in 1000 let, ki so bili generirani na osnovi 6, 12, 15, 18, 24, 30, 36 in 42 urnih padavin. Modelno se je računalo sledeče kombinacije: Q10-Q100 (6h – 24h), Q500 in Q1000 (6h – 42h).

Osnovnemu vtočnemu poplavnemu valu so bili na območju modela Sotla 1 na 13 lokacijah (v hidrološki študiji od izvira do Save obdelanih 40 hidroloških profilov) dodani komplementarni poplavni valovi. V nadaljevanju je tabela s prikazom teoretičnih karakterističnih pretokov Sotle po izbranih hidroloških prerezih za različne povratne dobe.

Št. profila	Opis	Zaledje (km ²)	Povratna doba					
			Q ₁₀	Q ₂₅	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀	Q ₁₀₀₀
1	VP Rogatec	40	43,6	54,4	65,0	77,0	103,9	116,6
2	Pod Draganjo	48	54,3	67,5	80,1	95,6	129,2	145,4
3	Do Ločnice	66	68,1	88,1	103,4	122,9	167,6	189,4
4	Pod Ločnico	88	91,3	119,0	141,3	166,7	225,8	254,1
5	Pregrada Vonarje	107	89,8	110,7	131,3	156,8	214,7	243,5

Preglednica 1: prikaz merodajnih visokovodnih konic Sotle na območju hidravličnega modela Sotla 1

Umerjanje modela

Umerjanje modela je bilo izvedeno glede na zabeležene gladine v strugi pri povišanem pretoku Sotle med 19. in 20.9.2017, ko je bil pretok na VP Rogatec (Hum na Sutli) določen z vrednostjo 36.9 m³/s. Glede na umerjanje in usmeritve iz literature, je izdelovalec modela definiral koeficiente hrapavosti struge n_G med 0.031 in 0.1.

Na inundacijskih površinah so bile uporabljene sledeči koeficienti hrapavosti:

Vrsta rabe tal	Manningov koeficient hrapavosti
njive, travniki	0.035
grmičevje, sadovnjaki	0.07
gozd	0.10
pozidana zemljišča	0.15

Preglednica 2: uporabljeni koeficienti hrapavosti na inundacijskih površinah

3.1.4.4.2 Model Sotla 2

1D model

Hidravlični model *Sotla 2* obravnava odsek od pregrade Vonarje (računska stacionaža 34251 m) do Zelenjaka (računska stacionaža 64419 m). V hidravličnem modelu računska stacionaža narašča v sotočni smeri. Dolžina obravnavanega odseka znaša 30 km.

V hidravlični model so vgrajeni geodetsko izmerjeni prečni profili Sotle, ki jih je za potrebe projekta FRISCO1 v obdobju januar - marec 2017. V sklopu teh meritev je bilo na odseku reke Sotle od MP Dobovec (stacionaža 7519 m) do izliva v Savo (stacionaža 95528 m) izmerjenih 280 prečnih profilov. V povprečju so profili izmerjeni na 320 m, realno na >350 m (na pragovih npr. 2-3 prerezi skupaj, izmerjeni pritoki). Zaradi majhne gostote izmerjenih profilov se je izdelovalec z namenom povečanja števila profilov poslužil interpoliranja profilov med že izmerjenimi profili.

2D model

Batimetrija (3D model terena) za 2D hidravlični model je bila izdelana na osnovi javno dostopnih LIDAR podatkov na portalu eVode (http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso).

Računsko območje obsega 2051 celic dimenzije 5x5 m v dolžino in 2625 celic v višino (10255 m x 13125 m). Model sestavlja 5.4M celic. Izdelan je v koordinatnem sistemu D96.



območje hidravličnega modela Sotla 2

Robni pogoji

Spodnji robni pogoj

Spodnji robni pogoj modela Sotla 2 je Q/h krivulja na mestu VP Zelenjak, ki je bila umerjena na predhodno izvedeni združen model.

Zgornji robni pogoj

V hidravlični model so se vgradili poplavni valovi Sotle za povratne dobe 10, 25, 50, 100, 500 in 1000 let, ki so bili generirani na osnovi 15, 18, 24, 30, 36 in 42 urnih padavin.

Osnovnemu vtočnemu poplavnemu valu so bili na območju modela Sotla 2 na 16 lokacijah (v hidrološki študiji od izvira do Save obdelanih 40 hidroloških profilov) dodani komplementarni poplavni valovi. V nadaljevanju je tabela s prikazom teoretičnih karakterističnih pretokov Sotle po izbranih hidroloških prerezih za različne povratne dobe.

Št. profila	Opis	Zaledje (km ²)	Povratna doba					
			Q ₁₀	Q ₂₅	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀	Q ₁₀₀₀
1	Pod Mestinjščico	241	97,7	121,8	142,2	158,9	209,6	231,9
2	Do Bistrice	326	101,9	130,3	153,7	175,5	236,2	262,7
3	Pod Bistrice	434	143,5	190,2	229,9	275,1	378,3	420,2
4	VP Zelenjak	458	150,2	198,3	238,1	285,2	394,0	439,1

Preglednica 3 : prikaz merodajnih visokovodnih konic Sotle na območju hidravličnega modela Sotla 2

Umerjanje modela

V poročilu k hidravličnemu modelu umerjanje modela ni posebej opisano. Navedeno je le, da je bilo umerjanje modela izvedeno glede na zabeležene gladine v strugi pri povišanem pretoku Sotle med 19. in 20.9.2017, ko je bil pretok na VP Zelenjak določen z vrednostjo 94.7 m³/s. Glede na umerjanje in usmeritve iz literature, je izdelovalec modela definiral koeficiente hrapavosti struge n_G med 0.04 in 0.066. Na inundacijskih površinah so bile uporabljene sledeči koeficienti hrapavosti:

Vrsta rabe tal	Manningov koeficient hrapavosti
njive, travniki	0.035
grmičevje, sadovnjaki	0.07
gozd	0.10
pozidana zemljišča	0.15

Preglednica 4 : uporabljeni koeficienti hrapavosti na inundacijskih površinah

3.1.4.4.3 Model Sotla 3

1D model

Za 1D model so bili uporabljeni prečni prerezi struge Sotle, ki jih je za potrebe projekta izmeril ARSO (meritve od 4.1.2017 do 29.3.2017). Na tem odseku je bilo izmerjenih 113 prečnih profilov (profili od 167 do 280) na povprečni medsebojni razdalji 290m.

Na odseku Sotle od sotočja s Savo do opuščenega železniškega nasipa je v model vgrajenih dodatnih 140 geodetsko izmerjenih prečnih profilov Sotle ter 22 prečnih profilov pritoka Šica, ki so bili pridobljeni iz obstoječe študije oz. idejnega projekta za protipoplavne ukrepe na območju Rigonc (IS Projekt, 2012).

V hidravlični model so zajeti tudi izlivni deli dveh desnih pritokov Sotle: Dramlje in Šice. Na Dramlji je ARSO izmeril 2 prečna profila, ki z dodatno interpoliranimi prečnimi profil pokriva izlivni del tega pritoka. Za pritok Šica so bili na voljo podrobnejši geodetski podatki o strugi iz študije »Ureditev Sotle za zagotavljanje poplavne varnosti območja Rigonc in Dobove«, Idejna zasnova, 2012, iS projekt d.o.o. št. projekta: 13 in 13b-S/12 (v nadaljevanju »študija iS Projekt«). Tako je v hidravlični model vgrajenih 22 prečnih profilov, ki pokrivajo izlivnih 665 m Šice.

Ker so izmerjeni prečni profili za doseganje ustreznih rezultatov hidravlične analize bili posneti na preveliki medsebojni razdalji, so bili v modelu izdelani dodatni prerezi s pomočjo interpolacije.

2D model

Za 2D model je bil uporabljen LIDAR, ki je dostopen na spletnem portalu eVode (1x1m DMR). Le-ta pokriva na odseku Sotle od izliva do VP Rakovec tudi poplavno območje Sotle na levem bregu (Hrvaška). Na odseku gorvodno od VP Rakovec pa natančnejši LIDAR podatki na območju levih poplavnih ravnin manjkajo. Na teh odsekih je bil za izdelavo hidravličnega modela uporabljen slovenski starejši digitalni model višin (DMV) z ločljivostjo 1 višinska točka na površini 12.5m x 12.5m, kar je relativno malo. Prav tako pa je omenjeni DMV12.5 tudi višinsko izredno nenatančen (višinska natančnost je po izkušnjah v rangi 1m). 2D model obsega 5248881 računskih celic velikosti 5x5m.

Robni pogoji

V hidravlični model so vgrajeni podatki o pretokih, ki so bili določeni v hidrološki študiji v sklopu projekta FRISCO1. Pritoki so v hidravlični model vgrajeni točkovno v glavni vodotok Sotlo kot točkovni vir, medtem ko je prirast pretoka zaradi lastnih vod vzdolž glavnega toka Sotle upoštevan zvezno kot bočni dotok. Za gorvodni robni pogoj je v modelu definiran hidrogram za posamezen visokovodni val, ki je dobljen iz rezultatov gorvodnega hidravličnega modela (označenega z »Sotla2«).

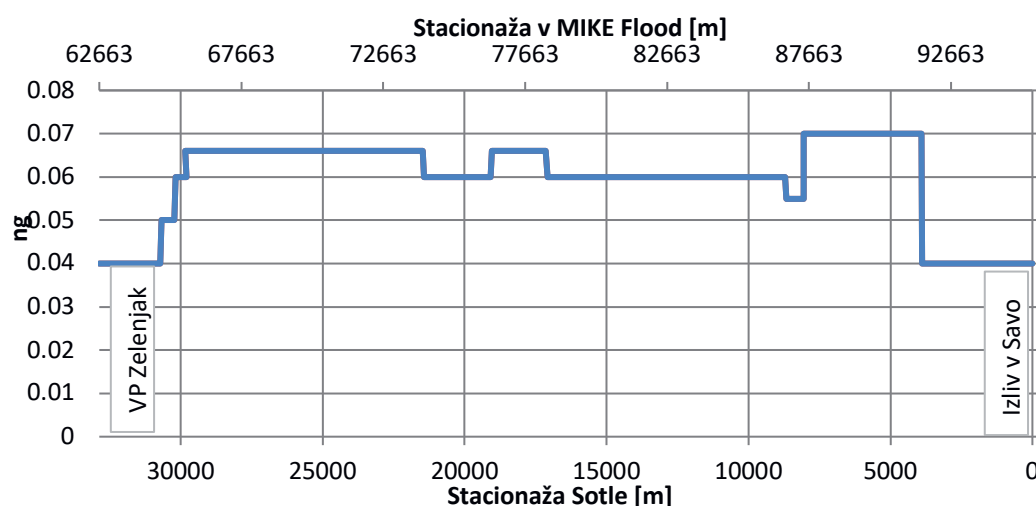
Dolvodni robni pogoj reke Sotle predstavlja gladina Save na sotočju s Sotlo. Podatki o gladinah so povzeti po študiji »Hibridni hidravlični model območja HE Mokrice, Inštitut za hidravlične raziskave«, UL FGG, IBE, 2012 (v nadaljevanju HHM HE Mokrice). Pri tem struga Save ni posebej modelirana z 1D modelom, ampak je zajeta v 2D modelu iz LIDAR podatkov. Kot robni pogoj na dotoku in iztoku v in iz 2D modela (zgornji in spodnji robni pogoj Save) je prav tako upoštevana konstantna gladina, ki je povzeta po isti študiji.

V hidravličnem modelu so upoštevani naslednji scenariji s koincidenkami:

- **Q10:** Q10 Sotle in Q100 Save,
- **Q25:** Q25 Sotle in Q100 Save,
- **Q50:** Q50 Sotle in Q100 Save,
- **Q100:** Q100 Sotle in Q20 Save,
- **Q500:** Q500 Sotle in Q20 Save,
- **Q1000:** Q1000 Sotle in Q20 Save.

Umerjanje modela

Koeficient hrapavosti je bil na odsekih vzdolž vodotoka določen glede na stanje struge in priporočene vrednosti iz strokovne literature ter preteklih študij, ki so obravnavale porečje Sotle.



Uporabljeni koeficienti ng v hidravličnem 1D modelu Sotla 3 (Hidroinštitut, 2018)

Na inundacijskih površinah so bile uporabljene sledeči koeficienti hrapavosti:

Vrsta rabe tal	Manningov koeficient hrapavosti
njive, travniki	0.035
grmičevje, sadovnjaki	0.07
gozd	0.10
pozidana zemljišča	0.15

uporabljeni koeficienti hrapavosti na inundacijskih površinah

Koeficienti hrapavosti so dovolj konservativno izbrani, rezultati pa so zaradi tega na varni strani. Do največje napake v rezultatih bi lahko prišlo zaradi preredko izmerjenih prečnih profilov in lokalno na območjih, kjer LIDAR iz portala eVode ni bil na razpolago (nekatera območja na levem bregu Sotle).

3.1.5 Hidravlična analiza – rezultati hidravličnega modela

Poplavnost območja je predstavljena na podlagi rezultatov hidravličnega modela, razvitega v okviru projekta FRISCO 1 (izdelovalec Inštitut za hidravlične raziskave). Tako, kot so bila izbrana območja hidravličnih modelov, so vsebinsko razdeljeni tudi opisi poplavnosti za 3 značilne odseke Sotle:

- Sotla od izvira do pregrade Vonarje
- Sotla od pregrade Vonarje do soteske Zelenjak
- Sotla od soteske Zelenjak do izliva v Savo

a Sotla od izvira do pregrade Vonarje

Sotla se na obrežne ravnice v zgornjem toku (nad Trličnim) razlije že pri **10-letnem visokovodnem pojavu**. Na stiku z naseljem Trlično oz. območjem lesnega obrata je preplavljen že celoten pas dolinskega dna. Vode poleg lesnega obrata ogrožajo tudi stanovanjski objekt. V preteklosti so bile poplave na tem območju že evidentirane. Pod lesnim obratom se vode razlijejo predvsem na desni breg. Poplavno območje preseka nasip železniške proge, vse vode pa se skoncentrirajo na mostno odprtino. Pod Trličnim oz. pod MP Dobovec se obseg 10-letne poplave zmanjša, vode ostajajo v ožjem pasu ob strugi. Šele na območju Lupinjaka se zopet razlijejo po inundacijskih površinah. Poplavno območje ostaja

omejeno z železniškim nasipom na desnem in cesto na levem bregu. Pod Vidino 10-letne vode že prelivajo železniški nasip. Do vstopa v Rogatec je poplavljen širši pas dolinskega dna. Ogroženih je le nekaj manjših gospodarskih objektov in plinska postaja na območju Straže. V gorvodnem delu Rogatca/Huma na Sutli se 10-letne vode zadržujejo v strugi, zopet pa se razlijejo v zaledju MP Rogatec, kjer se prelijejo na desni breg in poplavijo 5 stanovanjskih objektov. Vzrok za poplavljanje je poddimenzionirana mostna odprtina na območju MP. Vodni režim Sotle v Rogatcu (1200 m vodotoka) je določen na osnovi 11 merjenih prečnih prereзов. Večje območje razlivanja pa se pojavi šele pod Rogatcem, ko že 10-letne vode preplavijo preko 200 m široko poplavno ravnico. Platoji posameznih industrijskih/poslovnih objektov, ki se pod Rogatcem širijo na poplavna območja, v splošnem ostajajo izven območja poplav. 10-letne vode preplavijo le severni izmed 2 objektov Omco Croatia. Na območju naselij Prišlin in Rjavica se poplavno območje Sotle razširi že na pas širine 400 m. Poplavljen so travnate in obdelovalne površine, objektov na tem območju ni. Poplavno območje se zopet zoža nad sotočjem z Ločico, kjer sta v ozko dolinsko dno poleg struge Sotle utesnjeni še železnica in lokalna cesta. Cesta je pri Q_{10} že poplavljen. Na območju Rajkovca se poplavno območje zopet razširi, poplavno ogrožen pa je tudi slovenski mejni objekt ter en izmed objektov na CČN Rogaška Slatina (Pristavica). Pod Pristavico se visoke vode Sotle že razlivajo na vplivno območje pregrade Vonarje (območje posebnega vodnega režima brez elementov ogroženosti).

Pri 25-letnem pojavu je poplavnost na območju Trlična zelo podobna 10-letnemu dogodku. Aktivacije dodatnih poplavnih območij ni. Pomembna sprememba se pojavi na odseku pod MP Dobovec, kjer se visoke vode iz struge razlijejo pretežno na desnobrežno ravnico. Na odseku med Vidino in Klenovcem je nasip železnice prelit že na več mestih. Na vstopu v Rogatec se poplavne razmere (glede na 10-letni pojav) pomembno poslabšajo. Poplavljen je obrat Gorenja na desnem bregu, na nasprotnem levem bregu v Straži voda že prelija glavno cesto, v samem središču Rogatca pa visoke vode prelijejo že tudi dovozno cesto k mejnemu prehodu in sam mejni prehod obtekajo po severni strani. Pod sotočjem z Draganjo se pomembno poveča tudi obseg poplave ob sami strugi, ki pa še ne preplavi bližnjih objektov. Območja poslovnih/industrijskih con (razen objekta, ki je bil preplavljen že pri Q_{10}) ostajajo nepoplavljeni. Na odseku od Rogatca do sotočja z Ločico se poplavnost bistveno ne spremeni, saj je že pri Q_{10} preplavljeno celotno dolinsko dno. Na območju Tržišča se pojavi prvo prelivanje železniškega nasipa. Dodatno poplavno ogrožen ni noben objekt. Pod sotočjem z Ločico prav tako ni zaznati pomembnejših sprememb v obsegu poplave. Glede na to, da je že pri 25-letnem pojavu na praktično celotnem odseku obravnave poplavljen širše dolinsko dno in da se s prirastkom pretoka poplavnost bistveno ne povečuje, v nadaljevanju navajamo le območja, kjer pri določenih pretokih pride do pomembnih sprememb.

Pri 50-letnem visokovodnem dogodku se vidno poveča razlivanje iz struge na odseku Sotle pod MP Dobovec. Pod Vidino visoke vode poleg prelivanja železniškega nasipa zatekajo že tudi na glavno cesto, ki bi bila ob tovrstnem dogodku verjetno že neprevozna. V Rogatcu (Humu na Sutli) na območju mejnega prehoda visoke vode prelijejo železniški nasip in zatekajo v prostor med cesto in železnico, pri čemer so ogroženi stanovanjski objekti. Pomembno se poveča tudi preplavitev parkirnih površin v pasu med železnico in Sotlo pod izlivom Draganje. Intenzivnejše je tudi prelivanje na levi breg, vode že dosežejo

gostinski objekt pod MP. Poveča se tudi obseg prelivanja železniškega nasipa pod Tržiščem in zatekanje vod v depresijo za nasipom (zaselek Ogrizek), pri čemer pa ni dodatno ogrožen noben objekt. Na preostalih odsekih Sotle, kjer so prisotne široke poplavne ravnice, bistvenih sprememb obsega poplav glede na poplave nižjega ranga ni opaziti.

Pri 100-letnem pojavu se pomembno poveča razlivanje Sotle na območju Vidine, kjer visoke vode v večjem obsegu prelijejo glavno cesto in zatekajo v manjšo depresijo v zaledju ceste. Stanovanjskih objektov še ne dosežejo. Večje razlivanje je opazno tudi na vstopu v Rogatec, kjer se obseg poplave poveča na desnem bregu (od obrata Gorenje do objektov Vetropacka). Prelit je daljši odsek železnice, vode pa dosežejo že tudi nekaj objektov v pasu med železnico in glavno cesto. Objekt Vetropacka ni poplavljen. Pod Rogatcem (Humom na Sutli) se doseg poplave ob 100-letnem pojavu bistveno ne poveča.

Največja sprememba poplavnosti pri **500-letnem pojavu** je opazna na območju Rogatca - Huma na Sutli. Poplavnost se na desnem bregu Sotle predvsem poveča na območju obrata Gorenje, objektov Vetropacka in njegovega zaledja ter parkirnih površin pod izlivom Draganje. Na levem bregu se poplava razširi na območje vrtca (nasproti izliva Draganje), v večjem obsegu pa je prelita tudi cesta na območju Straže, vode pa dosežejo že prvo linijo objektov južno od ceste. 500-letne vode preplavijo tudi širše območje CČN Rogaška Slatina. Glavni bazen, ki sicer ostaja nepoplavljen, obtekajo tudi po SZ strani preko območja rastlinjakov.

Ker že 500-letni pojav na praktično celotnem obravnavanem odseku Sotle prelije vsa izpostavljena območja, se **1000-letni pojav** po dosegu od 500-letnega praktično ne razlikuje. Glede na predhodno opisane značilnosti vodnega režima Sotle na odseku od izvira do pregrade Vonarje lahko določimo, da sta Rogatec in Hum na Sutli poplavno najbolj ogroženi območji v zgornjem toku Sotle. Poplavljenih oz. na meji dosega poplav je sicer tudi nekaj drugih razpršenih objektov (Trlično, Vidina, Ceste). Globine toka na izbranih lokacijah še dodatno potrjujejo že predhodno opisana opažanja, da se v splošnem obseg poplav pri povečanju pretoka zaradi širokih poplavnih ravnin bistveno ne poveča. Na ravninah je prirastek gladine med Q10 in Q1000 ranga 20 do 50 cm, medtem, ko je na ožjih poplavnih območjih oz. območjih, kjer je prisoten vpliv premostitev, prirastek gladine večji (60 – 75 cm). Pregrada Vonarje lahko zadrži 100-letni visokovodni val brez prelivanja preko bočnega preliva, pri 500 in 1000-letnih pretokih pa se sicer aktivira že tudi bočni preliv, vendar gladina ostaja pod maksimalno dovoljeno.

b Sotla od pregrade Vonarje do soteske Zelenjak

Visoke vode Sotle pod pregrado Vonarje do pretoka nad Q100 predstavljajo kar visoke vode Mestinjščice, saj se visoke vode Sotle do pretoka Q500 zadržijo v zadrževalniku. Obseg poplave Sotle se z večanjem pretoka bistveno ne spreminja. Zaradi majhne prevodnosti struge ter širokih in ravnih poplavnih ravnin je praktično maksimalni doseg poplave dosežen že pri pojavih z majhno povratno dobo (svetlo modra barva). Na območju Kumrovačkega polja (Bistrica ob Sotli) je bila v preteklosti izvedena regulacija struge Sotle z lokalnimi obrežnimi nasipi, ki omejujejo razlivanje po širšem prostoru.

10-letne visoke vode Sotle že na območju sotočja z Mestinjščico prelivajo celoten pas dolinskega dna med nasipom železnice in vznožji pobočij na hrvaški strani doline. Prelijejo tudi nasip nad zabaviščnim

vodnim parkom Aqualuna ter prelijejo bližnje naselje počitniških hišic. Ogroženih je cca. 100 počitniških objektov. Na levem bregu na mestu zožitve med Aqualuno in vznožjem manjšega grebena 10-letne visoke vode ravno dosežejo prvo linijo objektov. Prvo linijo objektov vode dosežejo že tudi v naselju Harinzlaka, prelivajo pa tudi cesto med mejnima prehodoma. Pri termah Olimija se dolinsko dno razširi, poplava pa se razteza v pasu širine do 400 m. Pri železniški postaji Podčetrtek se dolinsko dno zopet zoža na dobrih 100 m, v nadaljevanju pa primarno poplavno območje ob Sotli še dodatno oža nasip železnice, ki pretočni koridor zoža na 70 m. Visoke vode se po strugi Olimskega potoka razširjajo v zaledje železniškega in nato še cestnega nasipa. V Bratkovcu 10-letne vode prelijejo cesto k mostu (oz. VP), dosežejo pa že tudi prvo linijo objektov pod lokalno cesto. Pod Bratkovcem se dolina ponovno razširi, poplavno območje pa se razteza v pasu širine do 800 m. Posledično so globine poplavne vode na ravnici nizke – v povprečju 10 – 30 cm. Na območju Imena oz. Miljane dolino prečka cesta, ki povezuje hrvaško in slovensko stran meje (in mejnega prehoda). Cesta je pri 10-letnem pojavu že preplavljena, objekt mejnega prehoda pa ostaja na suhem. Med Golobinjekom in Prelaskom (Maroski Breg) železniški nasip zopet preseka poplavno območje, vse vode pa so preusmerjene na mostno odprtino na železniški progi. Vzhodno od Prelaska se v dolini nahajata dve domačiji, katerih posamezni objekti so postavljeni na nekoliko višji teren in pri Q10 še nepoplavljeni, drugi pa so preplavljeni. Dolvodno od omenjenih domačij se v dolinskem dnu pri Plaviču nahajata še 2 (nenaseljena) objekta domačije Županc, ki pa jih 10-letne visoke vode Sotle ravno dosežejo. Večje območje poselitve na dolinskem dnu se nahaja SV od Sedlarjevega (domačiji Logariček in Bugec). Objekte prelije že 10-letna visoka voda. V bližini (opuščene) železniške postaje Zagorska Sela 10-letne visoke vode lokalno že prelijejo nasip železnice, sicer pa vode ostajajo v 200-400 m širokem poplavnem koridorju med železniškim nasipom na levem in vznožji gričev na desnem bregu. Poselitev se nahaja na višjeležečem terenu in je visoke vode Sotle ne ogrožajo. Železniški nasip je ponovno prelit na območju Pleške hoste (Razvor), kjer pa bi vode zatekale v zaledje v vsakem primeru tudi skozi prepust v železniškem nasipu. Severno od zaselka Ples nasip železnice zoža poplavno območje (vključno s strugo) na vsega 50 m. Del vod bi sicer skozi železniški prepust preplavljali tudi v zaledje nasipa, vendar le-to (ostanek starega rokava Sotle) ne sodeluje kot aktiven pretočni koridor. Na območju Razvorja (Plesa) se struga Sotle ostro odkloni proti jugu ter po ožjem koridorju med pobočji bližnjih vzpetin priteče na Kumrovačko polje. 10-letne visoke vode še ne dosežejo stanovanjskih objektov na sotočju z Bistrico. Poplavljen je eno gospodarsko poslopje, sama poplava pa se širi gorvodno tudi po strugi Bistrice. Poplavno območje pod sotočjem z Bistrico preseka 2 nasipa – nasip opuščene železnice in nasip ceste, ki povezuje mejna prehoda na obeh straneh reke. Pri 10-letnem pojavu mostova normalno prevajata vodne količine. Pod cestnim mostom se vode sicer pretežno prelijejo na levi breg vendar ostajajo omejene na območje športnih površin. Na desnem bregu se pojavi manjši sekundarni tok preko travniških površin, večji delež vod, pa ostaja v strugi. Obsežnejše razlivanje iz struge se pojavi nad vasjo Gmajna, katere južni del je že znotraj dosega 10-letnih visokih vod Sotle. Ogroženih je cca. 10 stanovanjskih objektov. Na zaključku Bistriškega (Kumrovačkega) polja se poplavne vode s približno 600 m širokega poplavnega območja preusmerijo v 35 m široko korito med cesto in pobočjem bližnje vzpetine.

Pri **25-letnem pojavu** se največje spremembe vodnega režima (glede na Q10) pojavijo na območju Podčetrтка oz. izliva Olimskega potoka, kjer na daljši razdalji visoke vode Sotle prelijejo cestni nasip,

zaradi česar bi bila ceste neprevozna. Povečano je tudi območje prelivanja železniškega nasipa pri Pleški hosti (med Zagorskim selom in Razvorjem), največja sprememba vodnega režima pa se pojavi na Bistriškem polju, kjer 25-letne vode že prelivajo večji del ravnice na obeh bregovih.

50-letni visokovodni pojav povzroči dodatno prelivanje nasipov železnice na območju Zagorskega sela, pomemben vpliv pa ima predvsem na Bistriškem polju, kjer začnejo visoke vode prelivati cesto severno od MMP Razvor, kar bi povzročilo prekinitev prometne povezave. Prav tako bi bila prometna povezava prekinjena na dolvodnem zaključku Bistriškega polja, saj bi vode prelile odsek ceste na vstopu v sotesko Zelenjak.

Pri **100-letnem pojavu** se glede na 50-letnega ne pojavijo nobene bistvene razlike v dosegu poplav, aktivirana niso nobena večja dodatna območja.

500-letni pojav predstavlja grožnjo dodatnim območjem ob Sotli, saj se obseg poplav pomembno poveča na območju Aqualune (poplavljen vodni park), večji je obseg prelivanja železniških nasipov na območju Imena, južno od Sedlarjevega se ob prelitju lokalne ceste pojavi novo območje preplavitve (ki pa ne doseže samega naselja).

Pri **1000-letnem pojavu** se največja sprememba vodnega režima pojavi na območju Razvorja, kjer visoke vode na daljši razdalji prelijejo železniški nasip nad sotočjem z Bistrico in preplavijo območje obstoječe pozidave na levem bregu Sotle. Na ravninah je prirastek gladine med Q10 in Q1000 ranga 30 do 40 cm, medtem, ko je na ožjih poplavnih območjih oz. območjih, kjer je prisoten vpliv premostitev, prirastek gladine večji (70 – 210 cm). Odsek Sotle med pregrado Vonarje in sotesko Zelenjak je v splošnem s poplavnega vidika dokaj neproblematičen. V večji meri so na 30 km rečne struge poplavljenе široke neposeljene poplavne ravnice, naselja, ki se nahajajo v dolini, so pomaknjena ob vznožja bližnjih vzpetin. Kljub vsemu pa se na obravnavanem odseku nahaja nekaj problematičnih mest. Največja poplavna ogroženost je prisotna na območju počitniškega naselja ob Aqualuni v Podčetrtku (poplavljen že pri 10-letnem pojavu, cca. 100 prizadetih objektov), v naselju Gmajna na Bistriškem (Kumrovačkem) polju, kjer je nižjeležeči del vasi (cca. 10 objektov) ravno tako že poplavljen pri 10-letnem pojavu, nezanemarljiva pa je tudi v Bratkovcu in Harinzlaki. Pri pojavih višjih povratnih dob (nad Q100) se poplavna ogroženost pomembno poveča na širšem območju MMP Bistrica ob Sotli. Poleg samih objektov so ob visokovodnih dogodkih v dolini Sotle preplavljeni tudi posamezni cestni odseki, zaradi česar bi bila ogrožena tako komunikacija vzdolž doline (preplavitev ceste pod Podčetrtkom), kot tudi preko nje (cestne prekomejne povezave na območju mejnih prehodov).

c Sotla od soteske Zelenjak do izliva v Savo

V nadaljevanju so podrobneje opisana vsa že predhodno omenjena območja ter druga naselja, za katera je bilo ugotovljeno, da so glede na rezultate hidravličnega modela poplavno ogrožena (pri pretokih, ki niso večji od Q1000).

Soteska Zelenjak

Iz hrvaških kart poplavne nevarnosti je razvidno, da so poplavam izpostavljeni objekti v soteski Zelenjak, na levem bregu. Gre za restavracijo in penzion Villa Zelenjak - Ventek. Podobno pokažejo tudi rezultati hidravličnega modela.

Mihanovičev Dol

Glede na rezultate hidravličnega modela je cesta Orešje – Mihanovičev Dol poplavljena že pri pretoku Q10. Mejni prehod Orešje se nahaja na dvignjenem platoju in ni poplavljen niti pri Q1000. Sicer naselje Mihanovičev Dol glede na rezultate modela ni poplavno ogroženo.

Bračna vas

Rezultati hidravličnega modela kažejo, da Sotla pri Bračni vasi pri pretoku Q10 doseže višino ceste, ki pa še takrat ni poplavljena. Medtem ko prične pri pretoku Q25 že poplavljeni cesto in doseže dovoze posameznih stanovanjskih hiš.

Koeficient hrapavosti na tem odseku znaša 0.066, kar je glede na vijuganje in zaraščenost struge ustrezno. Prečni prerezi na tem odseku so izmerjeni na medsebojni razdalji ca. 300m, negotovost rezultatov bi lahko zmanjšali z gostejše posnetimi (in v model vključenimi) prečnimi prerezi struge. Pri pretoku Q100 je v naselju Bračna vas glede na rezultate hidravličnega modela poplavljenih (oz. obdanih z vodo) že precej stanovanjskih objektov, pri pretoku Q1000 pa so poplavljeni (oz. obdani z vodo) skoraj vsi. Če so objekti dejansko poplavljeni pri teh pretokih, pa bi seveda lahko ugotovili samo z natančnejšo geodetsko izmero pragov hiš.

Nova vas pri Sotli

Glede na rezultate hidravličnega modela doseže Q500 prvi objekt v naselju Nova vas pri Sotli, ki je pri pretoku Q1000 poplavljen. Na levem bregu Sotle je na tem odseku že pri Q10 poplavljen objekt, ki se nahaja tik ob vodi. Glede na podatke iz portala Google maps gre za gasilski dom.

Gregovce/Gornji Čemehovec

Glede na rezultate hidravličnega modela pa gladina tudi pri Q1000 ne doseže najnižjega nivoja platoja, na katerem se nahajajo objekti. Kote terena so namreč ca. 20 do 50cm višje od gladine vode pri Q1000.

Donji Čemehovec

Glede na rezultate hidravličnega modela se znotraj Q100 ne nahaja nobeden objekt. Pri Q1000 pa se prične voda prelivati preko leve brežine na gorvodnem delu (v rangi nekaj cm), voda pa nato teče proti naselju Donji Čemehovec ter poplavi na tem delu (severni del naselja, gorvodno od mejnega prehoda) ca. 4 objekte, nato pa se vrne še pred mejnim prehodom nazaj v strugo Sotle. Na južnem delu pri pretoku Q1000 voda prelije lokalno cesto ter poplavi ca. 6 objektov.

Vučilčevo

Glede na rezultate hidravličnega modela voda pri pretoku Q100 doseže rob naselja in poplavi stanovanjski objekt ter kmetijski objekt (najverjetneje gre za skladišče ali hlev). Pri pretoku Q1000 se obseg poplave bistveno ne poveča. Treba je poudariti, da je hidravlični model na tem odseku izdelan na podlagi starejšega 12.5m DMV (digitalnega modela višin), negotovost izračunanih globin in obsega pa je zato večja kot na drugih območjih.

Kraj Donji

Naselje Kraj Donji se nahaja na levem bregu Sotle na odseku blizu VP Rakovec. Glede na rezultate hidravličnega modela je del naselja pri Q100 poplavljenega (ca. 15 objektov). Glede na Hrvaško osnovno karto (HOK), ki je izdelana v merilu 1:5000 in ki vsebuje med drugim tudi plastnice terena je razvidno, da se vsi objekti v glavnem nahajajo na pobočju hriba in so locirani nad koto 147m n.m., medtem ko je izračunana kota Q1000 na tem območju 146.6m n.m. Iz tega bi lahko sklepali, da bi morali biti vsi objekti izven dosega Q1000.

Gmajna

Glede na rezultate hidravličnega modela so objekti na robu naselja Gmajna pri pretoku Q100 poplavljeni.

Dobova in Veliki Obrež

Glede na rezultate modela so pri Q100 poplavno ogroženi objekti na južnovzhodnem robu naselja Dobova in vzhodnem robu naselja Veliki Obrež. Podobno je bilo ugotovljeno že v študiji iS Projekt. Voda prelije desno brežino že na gorvodnem odseku od Velikega Obreža ter nato teče po zahodni strani opuščenega železniškega nasipa proti Dobovi ter se steka skozi prepust v opuščenem železniškem nasipu proti območju Rigonce/Harmica.

Rigonce/Harmica

Glede na rezultate hidravličnega modela je pri Q100 v naselju Rigonce poplavno ogroženih manj kot 5 objektov, pri Q1000 pa ca. 10.

Loče

Loče se nahajajo izven območja veljavnosti kart poplavne nevarnosti za obstoječe stanje, ki so bile izdelane v sklopu projekta FRISCO1 s strani Hidroinštituta. Medtem ko sami rezultati modela pokrivajo tudi to območje. Ker so robni pogoji na tem delu (zgornji in spodnji robni pogoj na poplavnem območju Save) povzeti po rezultatih hibridnih hidravličnih modelov, ki so bili izdelani za potrebe DPN HE Mokrice so rezultati modela iz projekta FRISCO1 zelo podobni (skoraj enaki) rezultatom omenjene študije za DPN HE Mokrice. Pri tem je treba poudariti, da na tem območju prevladajo poplave Save in ne toliko Sotle, zato bi kot merodajne rezultate 100 letnih poplav bilo treba upoštevati pretok Save s 100 letno povratno dobo in ne Sotle (glej uporabljene koincidence Save in Sotle v poglavju 2), oz. je treba upoštevati ovojnico scenarijev Q100 Save – Q50 Sotle in Q20 Save – Q100 Sotle.

Ključ Brdovečki

Na tem odseku so gladine glede na rezultate hidravličnega modela najvišje pri pretoku Sotle s 50 letno povratno dobo, saj je v tem primeru upoštevana koincidenca Save s 100 letno povratno dobo (medtem ko je v primeru Sotle s 100 letno povratno dobo upoštevana koincidenca Save z 20 letno povratno dobo).

3.1.6 ANALIZA POPLAVNE OGROŽENOSTI

3.1.6.1 Analiza poplavne ogroženosti obstoječega stanja

Prvo nekoliko večje poplavno območje je ob izlivu Mestinjščice, kjer se sredi delno močvirne poplavne ravnice nahaja termalni park Aqualuna (Terme Olimia), zgrajen na umetno nasutem, nekoliko dvignjenem platoju, ki pa mu ne zagotavlja ustrezne poplavne varnosti. Drugo poplavno območje je predvsem na slovenski strani reke med Imenim in Prelaskim, večinoma neposeljena in mokrotna ravnica Ločica. Poplavam Sotle in desnega pritoka Bistrice je izpostavljeno tudi najnižje dno Bistriške kotline, vendar poplave ne povzročajo velike škode, saj so naselja skoraj v celoti na nekoliko višjem svetu. Vijugast tok Sotle na tem delu je bil reguliran ob gradnji železniške proge.

Po izstopu iz soteske Zelenjak je na obeh straneh reke širša poplavna ravnica, vendar se poplave razlivajo le po najnižjih delih, kjer so večinoma mokrotni travniki. Najobsežnejše poplavno območje pa je v Jovsih, vendar ne poplavlja Sotla, temveč mokrotne travnike zalijeta podtalnica in padavinska voda, največkrat pozno jeseni in zgodaj spomladi.

Poplavno ogroženo je celotno nižjeležeče območje ob reki Sotli, od Dobovca do izliva v Savo. Ureditve (regulacije) na nekaterih urbaniziranih območjih so obseg poplav omejile ali zmanjšale njihovo pogostost. Pritoki se proti Sotli stekajo po relativno ozkih dolinah. Ob Mestinjščici, Zibiškem potoku, Tinskem potoku, Buči in Bistrici, ob visokih vodah srednje in daljše povratne dobe (nad Q_5) poplavljaajo večinoma kmetijske površine in posamezne manjše zaselke oz. posamezne objekte. V preteklosti je bila pogosto poplavljen tudi glavna cesta pri Podčetrtku, ob vsakoletnih visokih vodah pa so poplavljenе celotne ravnice na obeh bregovih.

Poplavno ogrožena območja na slovenski strani, ki jih je potrebno omeniti, so:

- cesta k mejnemu prehodu Orešje;
- objekti v naseljih Bračna vas, Gregovce, Nova vas, Rigonce, Loče;
- del poseljenega območja in turistični objekti v občini Podčetrtek;
- območje Rogatca na delu ob Sotli.

Poplavno ogrožena območja na hrvaški strani, ki jih je potrebno omeniti, so:

- Območje od mejnega prehoda Harmica (cesta Zaprešić-Dobova) do železniške proge Zagreb-Ljubljana, na kateri ni zgrajenega nasipa. Na tem delu je ogroženo je več stanovanjskih hiš, ki se nahajajo med železniškimi nasipi in reko Sotlo;

- naselje Gmajna v Kumrovcu, kjer je poplavno ogroženo več stanovanjskih in gospodarskih objektov;
- naselje Plavič, kjer je ob nastopu visokih voda poplavljen lokalna cesta L22026;
- naselja Bratkovec, Luka Poljanska in Harina Zlaka, kjer je poplavno ogroženo več stanovanjskih in gospodarskih objektov;
- območje gor in dolvodno od mejnega prehoda Hum na Sutli, kjer je poplavno ogroženo več stanovanjskih in gospodarskih objektov ter otroški vrtec.

3.1.6.2 Opredelitev parametrov za obravnavano poplavno območje

Ocena poplavne ogroženosti je podlaga za proces optimizacije ukrepov ter finančno in ekonomsko analizo. Osnova za opredeljevanje poplavnih škod v okviru projekta FRISCO1 je bila metodologija »Podloga za Bilateralnu metodologiju ekonomske procjene poplavnih šteta na prekograničnim slivovima, Metodologija Huizinga s parametrima za FRISCO1 projekt (Sveučilište u Zagrebu). Omenjena metodologija definira na omejen nabor škodnih kategorij, ki v povprečju vseh obravnavanih EU držav predstavljajo 80% celotne škode. Metoda zajema oceno škode v (1) stanovanjskih objektih, (2) poslovnih stavbah, (3) industrijskih stavbah, (4) cestah in (5) kmetijstvu.

Za potrebe ocene poplavne škode na povodju Sotle so bile za potrebe projekta Frisco opredeljene le poplavne škode na stavbah. Kmetijska zemljišča se v veliki meri pri vseh ukrepih ohranjajo kot obstoječa poplavna območja, zato ekonomskih učinkov na njih ni mogoče zaznati. Prav tako škode na prometni infrastrukturi v veliki meri ni pričakovati, saj je infrastrukturna opremljenost območja nizka.

Skupaj vseh analiziranih stavb, ki se nahajajo v dosegu poplav s 1000-letno povratno dobo je 600. Opredeljeni so vsi objekti, ki se nahajajo v registru stavb Republike Slovenije (2018), torej 462 stavb. In 138 stavb na hrvaški strani.

Za izračun pričakovane letne poplavne škode je potrebno najprej izračunati škode posameznega dogodka s pretoki Q10, Q25, Q50, Q100 in Q500, Q1000. V spodnjih preglednicah so podani izračuni po posamezni škodni kategoriji.

Faza	Vrsta Škode	Tip Škode	PLŠ (EUR/leto)
Obst	STAVBE	stavbe (stavbe in oprema) - Stanovanjske /model/	101.009
Obst	STAVBE	stavbe (stavbe in oprema) - Poslovne /model/	31.804
Obst	STAVBE	stavbe (stavbe in oprema) - Nedefinirano /model/	178.659
Obst	STAVBE	stavbe (stavbe in oprema) - Kmetijske /model/	235.668
Obst	STAVBE	stavbe (stavbe in oprema) - Industrijske /model/	10.076
Obst	STAVBE	stavbe (stavbe in oprema) - Druge stavbe /model/	1.320
		Skupaj (stavbe)	558.535
		Ostala škoda (20% skupne škode)	139.634
		SKUPAJ – pričakovana letna škoda (brez stopnice)	698.169

Pričakovana letna poplavna škoda na poplavnem območju SOTLA po posamezni kategoriji (metodologija H.J. Huizinga 2017) - Model poplavnih škod brez stopnice na objektu

	PLŠ brez nadvišanja	
	EUR/leto	odstotkov
Slovenski del	421.881	76%
Hrvaški del	136.655	24%
Skupaj	558.535	

Pričakovana letna poplavna škoda na poplavnem območju SOTLA po obravnavanih območjih (samo stavbe) z analizo udeležbe pri pričakovani letni škodi glede na lokacijo (v Republiki Sloveniji, v Republiki Hrvaški).

3.1.6.3 Poplavne škode in ekonomska učinkovitost ukrepa pregrade Vonarje

Glavna problematika pregrade Vonarje je v slabem vzdrževanju le-te, ki presegajo proračunska sredstva letno namenjena za vzdrževanje in obratovanje objektov vodne infrastrukture na območju porečja. Zato so se v zadnjih letih na pregradi Vonarje pojavile močne poškodbe na betonskih in armirano betonskih regulacijskih objektih, hidromehanska in elektro-strojna oprema pa je dotrajana.

V primeru porušitve pregrade je ogroženost Podčetrka in turističnih objektov v okolici Podčetrka največja. Porušitev pregrade lahko povzroči poplavni val, ki bi na svoji poti imel rušilne in katastrofalne posledice. Največjo stopnjo ogroženosti ima kompleks vodnega parka Aqualuna v okviru Term Olimia, ki se nahaja manj kot 1000 m od pregrade, neposredno na poti poplavnega vala, ob strugi reke Sotle.



Turistični objekt Aqualuna-ogroženost zaradi poplav je največja

V okviru predhodno izdelane dokumentacije je bilo ocenjeno, da bi potencialna poplavna škoda, ki bi nastala samo v enem primeru katastrofalnih poplav, lahko znašala celo 7,3 mio EUR.

S predvidenimi posegi bo zagotovljena večja varnost in učinkovitost delovanja zadrževalnika Vonarsko jezero. Z njim se ne posega v karakteristike in dimenzije pregrade niti v robne pogoje obratovanja, ki bodo ostali enaki kot sedaj. V bistvu bo šlo za optimizacijo in modernizacijo že izvedenega posega (pregrade Vonarje), Dimenzije pregrade in robni pogoji obratovanja se s predvidenimi deli ne spreminjajo.

Ugotovljeno je, da je sama izvedba projekta sanacije in posodobitve pregrade Vonarje bistveno nižja od potencialnih škod, ki bi nastale zaradi morebitne porušitve pregrade. Z izvedbo investicije bo tako 80 prebivalcev deležnih koristi od ukrepov pred poplavami prav tako pa bo zaščiteno območje termalnega parka Aqualuno s tem pa tudi razvoj turizma na širšem območju projekta.

3.2 PRIPRAVA IN ANALIZA ALTERNATIVNIH REŠITEV

3.2.1 PRIPRAVA ALTERNATIVNIH REŠITEV

Na podlagi vse predhodnih analiz so bile v okviru prve faze študije na obravnavanem območju predlagane naslednje lokalne ureditve:

- Nadvišanje obstoječega visokovodnega nasipa na levem bregu Sotle dolvodno od železniške proge Ljubljana – Zagreb za varovanje naselja Ključ
- Visokovodni nasipi v kombinaciji z visokovodnimi zidovi za varovanje naselij Gmajna (pri Dobovi), Dobova, Harmica ter Rigonce
- Individualni ukrepi za zagotavljanje poplavne varnosti naselja Nova vas pri Sotli
- Visokovodni nasipi/zid/nadvišanje ceste za varovanje naselja Bračna vas
- Porušitev obstoječega in izgradnja novega visokovodnega nasipa pri Kumrovcu
- Dvig mostne konstrukcije Gmajna – Kunšperk
- Ureditve na območju Aqualune (sekundarna struga in dvig obstoječe ceste)
- Ureditve struge in zamenjava mostu v Rogatcu (Hum na Sutli).

Z vidika zadrževanja visokih vod Sotle pa so predlagani naslednji zadrževalniki:

- Obnova zadrževalnika Vonarje
- Zadrževalniki na Mestinjščici
- Zadrževalniki v povirju Sotle (Trlično)

V sklopu druge faze oblikovanja alternativnih rešitev se je podrobneje pregledalo predlagane ureditve ter se jih je po potrebi dopolnilo glede na rezultate hidravličnega modela. Ureditve, za katere se je izkazalo, da že po grobi oceni niso ekonomično upravičene oz. da so tudi hidravlično neustrezne oz. nepotrebne, so bile izločene iz nabora alternativnih rešitev. Tako so s hidravličnim modelom analizirale samo ureditve, za katere se je izkazalo, da so smiselne za nadaljnjo analizo.

V tem poglavju je izdelan nabor ter dopolnitev ureditev, ki so bile oblikovane v prejšnjih poglavjih te študije.

3.2.1.1 Odsek od izvira Sotle do soteske Zelenjak

Naselje Gmajna – Kumrovec

Ob Sotli je že delno izveden nasip dolžina 980 m. Nasip se slepo zaključi sredi poplavne ravnice in ni zaključen na višji teren, zaradi česar ga lahko vode obtekajo po zaledju in dosežejo zaselek Gmajna.



Nasip ob Sotli na območju Gmajne

Poleg visokih vod Sotle na obravnavano območje tangirajo tudi zaledne vode. Prepusti so v slabem stanju (poškodovani, zamašeni), zato sistem odvodnje zalednih vod ob visokovodnih pojavih ne funkcioniira, posledično je večja poplavna nevarnost v zaselku Gmajna.



Kopičenje zalednih vod za nasipom

V prvi fazi oblikovanja alternativnih rešitev je bil na območju vasi Gmajna predviden nasip, ki je bil na dolvodni (vzhodni) strani odprt. Rezultati hidravlične analize so pokazali, da se na JV območju Bistriškega (Kumrovačkega) polja ob visokovodnih pojavih vzpostavi zajeza, pri kateri so kote poplave gor in dolvodno od vasi praktično identične. Glede na te ugotovitve je bilo potrebno spremeniti koncept protipoplavne zaščite vasi Gmajna. Protipoplavni nasip mora naselje Gmajna obdajati po 3 straneh.

Poleg nasipa bo potrebno v sklopu protipoplavne zaščite vasi Gmajna poskrbeti tudi za zaledne vode. Zaščita ravninskih območij nad Gmajno ni potrebna, saj v tem prostoru ni prisotne pozidave. Postavljena je sicer čistilna naprava, ki ima bazene dvignjene nad okoliški teren, po potrebi se lokalno izvede le

ukrepe za zaščito strojne opreme in drugih občutljivih elementov (dvig opreme nad doseg poplavnih vod, izvedba dodatnega nasipa ob ČN – v tem primeru potrebno predvideti tudi črpališče lastnih vod).

Podčetrtek – Aqualuna; (Harina Žlaka)

Območje vodnega parka s približno 100 počitniškimi objekti in lokalna cesta na levem bregu so ob visokih vodah Sotle poplavljeni. Za zaščito ogroženih objektov in infrastrukture se na območju Aqualune predlaga izvedbo celovitih ukrepov. Za izboljšanje prevodnosti ozkega koridorja ob Aqualuni se predlaga izvedbo sekundarne struge na levem bregu vodotoka. Zunanji rob razširjene struge se priključi na lokalno cesto, ki se jo v sklopu ureditve območja lahko nadviša za vsaj 0.5 m (glede na priključke tamkajšnjih objektov). Območje sekundarne struge bo 2 m nižje od obstoječega terena, zaradi česar pričakujemo izboljšanje pretočnih razmer v času poplave. Sekundarna struga oz. razširitev osnovnega korita Sotle se izvede na dolžini 200 m. Pred gradnjo bo potrebno porušiti še 2 tam stoječa (opuščena) objekta. Za preusmeritev in na koncu tudi priključek vod nazaj na Sotlo, je potrebno vzdolž nove struge zgraditi 3 nove mostove (2 na železniški progi, 1 na dostopni cesti k Aqualuni).

Izvedba sekundarnega prelivnega koridorja je pomembna tako s hidrotehničnega, kot tudi z naravovarstvenega vidika, saj bi z razbremenjevanjem vod po zahodni strani železnice zmanjšali pretok mimo Aqualune, sočasno pa bi z izvedbo naravnega habitata Sotli na tem območju povrnili del identitete, ki ji je bila z izgradnjo Aqualune in počitniškega naselja neposredno ob vodotoku in na poplavnem območju, odvzeta. Dolžina prelivnega koridorja znaša 950 m, pri čemer se habitat razprostira na dolžini 670 m. Zaradi izvedbe natočnega odseka kanala je potrebno prestaviti tudi makadamsko pot, ki je danes preko nasipa speljana na bližnje travniške površine.

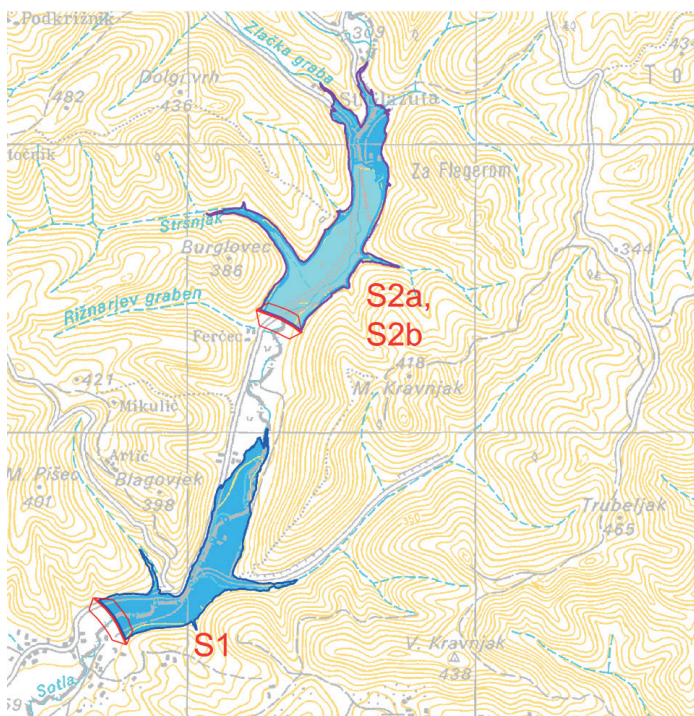
Rogatec (Hum na Sutli)

V Rogatcu (Humu na Sutli) predstavlja s poplavnega vidika najbolj problematično točko prečkanje Sotle na območju mejnega prehoda. Obstoječa premostitev je obokana in ima premajhno svetlo odprtino za neoviran prehod poplavnih vod. Poleg premostitve je lokalno poddimenzionirana tudi sama struga.

Na odseku Sotle skozi Rogatec (Hum na Sutli) bi bilo možno poplavno varnost poleg s samo ureditvijo struge izboljšati tudi z izvedbo zidu oz. nadvišanja vrha leve brežine na odseku pod mejnim prehodom. Po izvedbi predlaganih ukrepov bo delu naselja nad in pod mejnim prehodom bistveno zmanjšana poplavna nevarnost.

Zadrževalniki v povirju Sotle (Trlično)

Ne glede na načrtovano ureditev odseka Sotle in zamenjavo mostu v Rogatcu se je potrebno zavedati, da se Sotla razliva iz struge že nad samim vstopom v mesto. Poleg tega je potrebno sočasno z urejanjem strug vodotokov in s tem povečanjem odtoka, poskrbeti tudi za ustrezno zadrževanje visokih vod v porečju, saj povečevanje odtoka povzroči intenzivnejše pojave dolvodno od izvedenega ukrepa. Glede na opisana dejstva so bile analizirane možne lokacije nad Rogatcem, kjer bi bilo možno zadrževanje visokih vod. Identificirani in analizirani sta bili dve lokaciji zadrževalnika.



Lokacije predvidenih zadrževalnikov v povirju Sotle

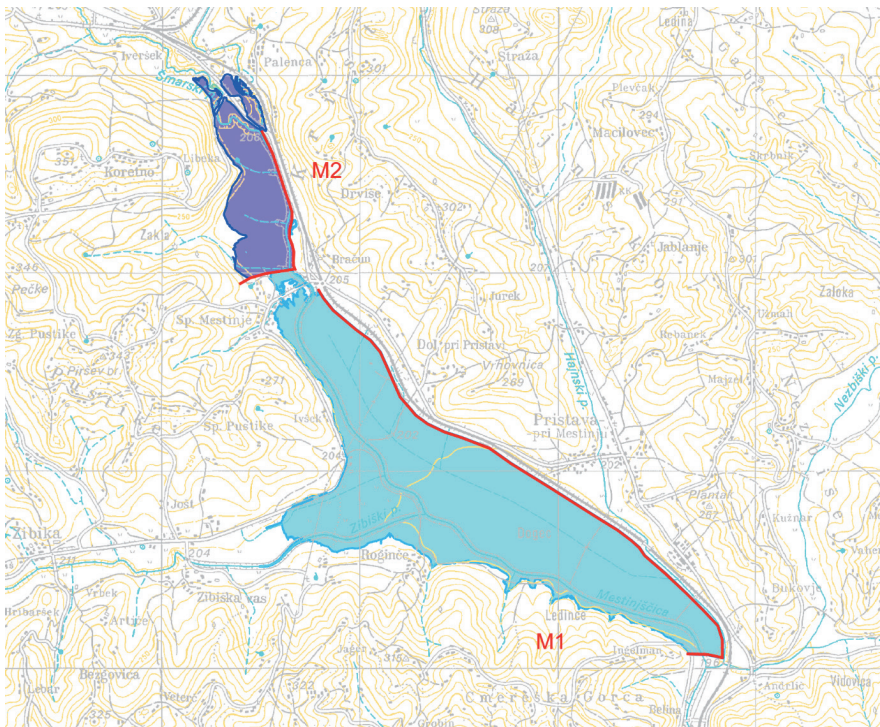
Zaradi oddaljenosti ukrepa od primarnega elementa zaščite – Rogatca, zadrževanje vod ne bo imelo tolikšnega učinka, kot če bi imeli enak volumen na razpolago tik nad Rogatcem, saj bi z zadrževalniki lahko obvladovali le zgornjo tretjino povodja. Kot dodaten ukrep za zmanjševanje konice poplavnih bi bilo potrebno vzdolž doline Sotle med Trličnim in Rogatcem v največji možni meri aktivirati poplavna območja.

Pregrada Vonarje

Pregrada Vonarje je bila zgrajena leta 1980 z namenom zadrževanja visokih vod ter zagotavljanja pitne vode in vode za namakanje. Zaradi slabe kvalitete vode v akumulaciji in škodljivih posledic izpustov te vode na favno, je bila leta 1988 akumulacija izpraznjena, tako, da danes služi le še akumuliranju visokih vod. V zadnjem obdobju so bile na pregradi opazne poškodbe na betonskih objektih, iztrošena pa je tudi hidromehanska oprema in elektroinstalacije.

Zadrževalniki na Mestinjščici

Mestinjščica ima kot en večjih pritokov Sotle pomemben vpliv na vodni režim pretežnega dela doline pod pregrado Vonarje. Glede na njeno pomembnost je bilo preverjeno ali bi bilo možno del poplavnih vod zadržati tudi v dolini Mestinjščice. Primarni zadrževalnik na Mestinjščici bi predstavljal zadrževalnik M1. Pregrada bi bila locirana v ožini pod Cmerek gorco, nad izlivom Jerčinskega potoka. Pregrado bi sestavljali čelni nasipi in nasip, ki bi ga bilo potrebno izvesti vzdolž železniške proge. Z izvedbo nasipa zadrževalnika bi bilo potrebno sočasno urediti tudi ustrezno zbiranje in odvajanje zalednih vod, ki se danes iztekajo proti Mestinjščici. Gorvodno od zadrževalnika M1 je predvidena izvedba manjšega zadrževalnika M2. Pregrada je prav tako, kot pri zadrževalniku M1, sestavljena iz čelnega dela, ki je pozicioniran pri Spodnjih Mestinjah ter dela nasipa, ki poteka vzdolž obstoječe glavne ceste.



Predlagani sistem zadrževalnikov na Mestinjščici

3.2.1.2 Odsek od soteske Zelenjak do izliva v Savo

Na odseku od VP Zelenjak do izliva v Savo (t.j. območje hidravličnega modela Sotla 3) je poplavna ogroženost relativno majhna. V nadaljevanju so predlagane ureditve podrobneje opisane po sklopih (območja naselij), kjer je predvideno, da bodo imele vpliv na poplavno nevarnost

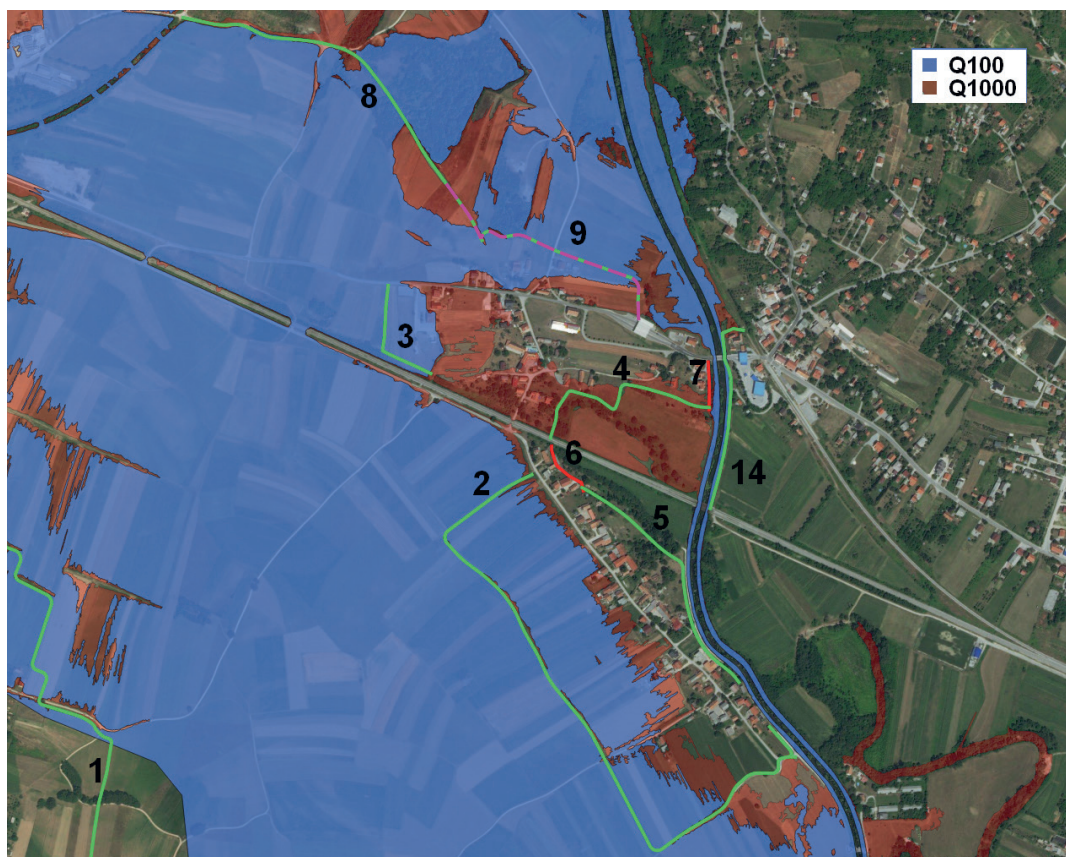
Varovanje naselja Loče (Ureditev št. 1)

Za varovanje naselja Loče je bil predviden VV nasip že v sklopu DPN HE Mokrice. Pri tem je treba poudariti, da na tem območju prevladajo poplave Save in ne toliko Sotle.

Varovanje na območju Rigonce/Harmica – desni breg (Ureditve št. 2 do 9)

Ureditve za varovanje naselja Rigonce so naslednje:

- Ureditev št. 2: VV nasip za varovanje naselja Rigonce zaradi visoke vode Save (že vključen v DPN HE Mokrice)
- Ureditev št. 3: VV nasip za varovanje naselja Rigonce zaradi vdora Savske vode skozi prepust v železniškem nasipu (že vključen v DPN HE Mokrice)
- Ureditev št. 4, 5, 6, 7: Visokovodni nasipi (ponekod kot nadvišanje brežine Sotle) in zidovi za varovanje naselja Rigonce zaradi visoke vode Sotle
- Ureditev št. 8, 9: VV nasip za varovanje naselja Rigonce (preprečitev vdora vode na naseljeno območje iz gorvodnega območja zaradi visokih vod Sotle)

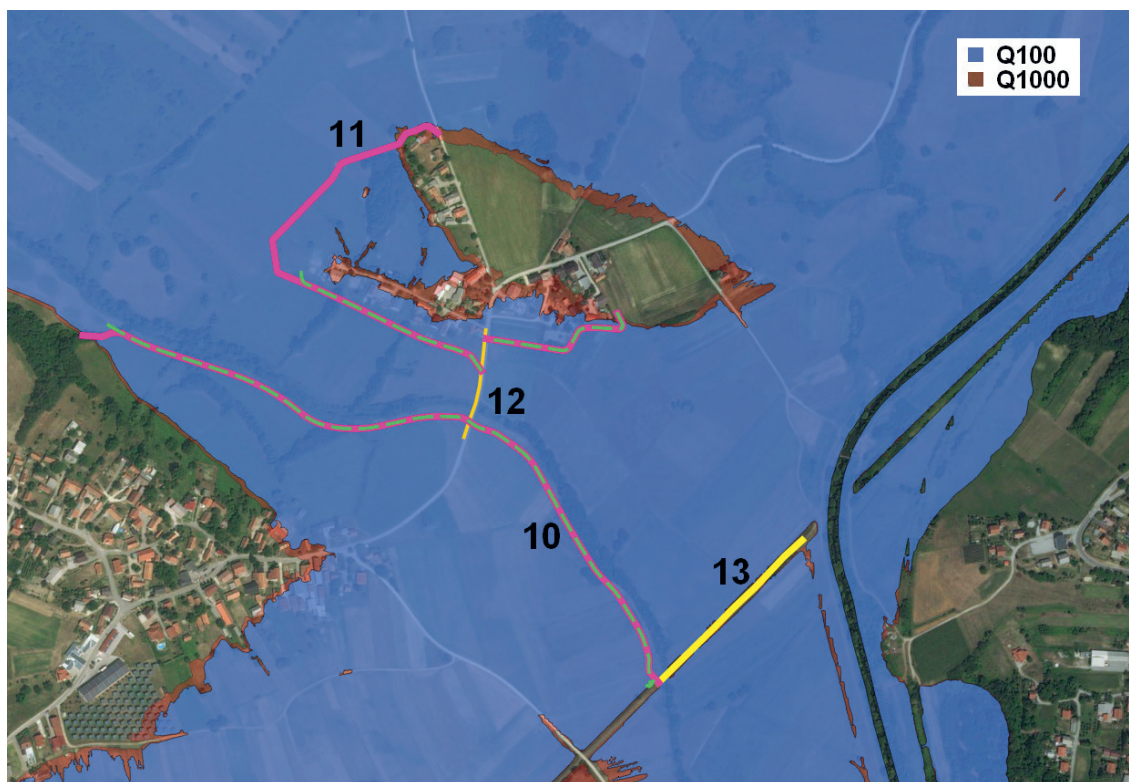


Prikaz tras vseh načrtovanih ureditev na območju Loč in Rigonc/Harmice

Varovanje naselij Dobova, Veliki Obrež in Gmajna (Ureditve št. 10 do 13)

Za varovanje pred visoko vodo so predvidene naslednje ureditve:

- Ureditev št. 10: VV nasip na desnem bregu Šice za varovanje naselja Veliki Obrež in Dobova (preprečitev vtoka vode na območje zahodno od opuščenega železniškega nasipa).
- Ureditev št. 11, 12: VV nasip za varovanje zaselka Gmajna in dvig nivelete obstoječe ceste za dostop do zaselka ob pojavu visoke vode.
- Ureditev št. 13: Odstranitev opuščenega železniškega nasipa z namenom znižanja zajeze in gorvodne gladine ob zaselku Gmajna.



Prikaz tras nasipa iz stare študije IS Projekt, 2012 (zelena črtkana) in dopolnjene trase nasipa glede na rezultate hidravličnega modela za obstoječe stanje (roza) ter dviga ceste in odstranitve opuščenega nasipa (ostane nespremenjeno glede na študijo IS Projekt, 2012)

Varovanje na območju Rigonce/Harmica – levi breg (Ureditev št. 14)

Na podlagi terenskega ogleda, obstoječih podatkov o poplavni nevarnosti, interesa s hrvaške strani ter na podlagi ugotovitev o možnem vplivu ureditev na desnem bregu je predlagana še izgradnja visokovodnega nasipa na levi brežini Sotle od mejnega prehoda Rigonce/Harmica do železniške proge.

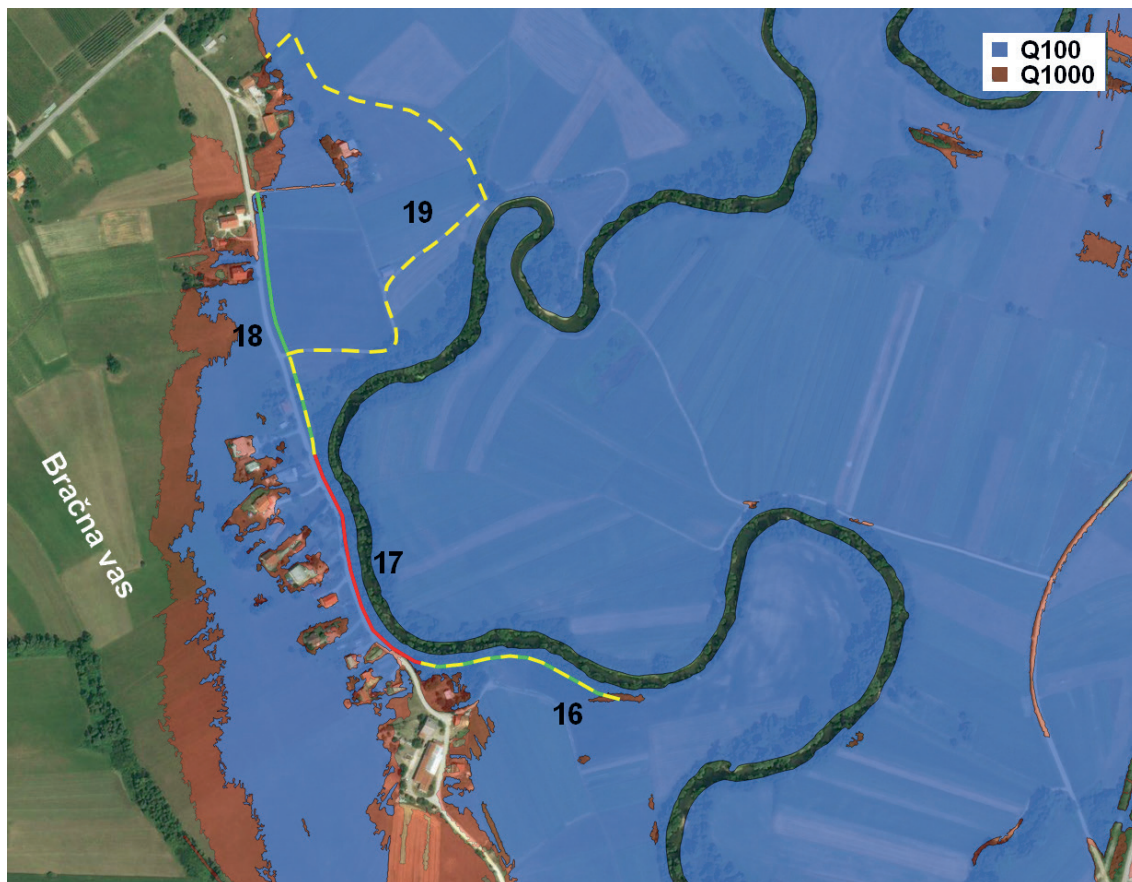
Varovanje naselja Ključ Brdovečki (Ureditev št. 15)

Na levem bregu Sotle, južno od železniške proge Zagreb-Ljubljana, se nahaja več naselij, ki so poplavno ogrožena. Pri tem je treba poudariti, da na tem območju poplavlja reka Sava, Sotla pa samo prispeva k povečanemu pretoku Save. Na tem odseku je že zgrajen VV nasip ob naselju Ključ Brdovečki v dolžini 3.480 m (prikazan na naslednji sliki z zeleno linijo). Nasip je že precej star, skozi nasip pa bi naj pronicalo tudi nekaj vode ob pojavu visoke vode Sotle in Save. Na bližnjem območju je zaradi Save poplavno ogroženo tudi naselje Drenje Brdovečki ter Savski Marof. Iz terenskega ogleda v okviru tega projekta je bilo ugotovljeno, da ima obstoječi nasip na tem delu zares precej nižjo kruno kot na dolvodnem odseku. Zato je bilov prvi fazi predlagano nadvišanje VV nasipa, ki poteka po levem bregu tik ob strugi Sotle.

Varovanje naselja Bračna vas (Ureditve št. 16 do 19)

Glede na rezultate hidravličnega modela je naselje Bračna vas (desni breg Sotle) pri 100 letni povratni dobi Sotle poplavljen. Po pogovoru z domačini iz Bračne vase bi naj voda ob visokovodnem dogodku 2010 prišla do roba ceste, ki poteka skozi naselje. Za varovanje naselja Bračna vas je predviden na južnem delu ob strugi na desnem bregu Sotle VV nasip (ureditev št. 16), ki se prične ca. 300m dolvodno

od naselja ter se na zahodnem delu priključi na VV zid pri obstoječi cesti (ureditev št. 17). Predviden VV zid poteka nato ob cesti proti severu (na lokaciji obstoječe državne ograje) in se po ca. 500m priključi na obstoječo njivsko pot, ki jo bo predvidoma treba nadvišati.



Predlagane protipoplavne ureditve za varovanje naselja Bračna vas

Varovanje ostalih posameznih poplavno ogroženih objektov

Ena izmed alternativnih rešitev varovanja objektov pred poplavami je tudi zaščita objektov z montažnimi elementi (zaščita vrat in oken s panelno protipoplavno zaščito, avtomatske zapore cevovodov). Tak ukrep bo zagotovo potreben na vseh preostalih poplavno ogroženih objektih, ki jih s prej naštetimi visokovodnimi ureditvami ne bo mogoče varovati pred visokimi vodami Sotle. Glede na relativno majhno poplavno ogroženost Sotle na območju od VP Zelenjak do izliva v Savo pa bi tak ukrep (t.j. individualna poplavna zaščita) lahko predstavljal v ekonomski analizi tudi alternativno rešitev vsem predhodno opisanim ureditvam.

KOMBINACIJE UREDITEV

Nekatere ureditve so medsebojno odvisne, zato so bile v analizi poplavne ogroženosti analizirane naslednje kombinacije:

Opis (kombinacija ureditev)	Oznaka (št.)	Ureditev
varovanje Rigonc - J del	5	nasip
	6	zid
za varovanje SV dela Rigonc	4	nasip
	7	zid
za varovanje SZ dela Rigonc nad Q100 - varianta 1	9	nasip
za varovanje SZ dela Rigonc do Q100 - varianta 2	8	nasip
za varovanje Gmajne - nasip	11	nasip
za varovanje Gmajne - odstranitev opuščenega nasipa	13	odstranitev nasipa
varovanje Obreza in Dobove - varovanje Gmajne	11	nasip Gmajna
	10	nasip Šica
	12	dvig ceste
za varovanje Bračne vasi - varianta 1	16	nasip skupni del
	18	nasip zaključek varianta 1
	17	zid
za varovanje Bračne vasi - varianta 2	16	nasip skupni del
	19	nasip zaključek varianta 2
	17	zid
Ureditve v sklopu DPN HE Mokrice	3	nasip Rigonce (kratek)
	2	nasip Rigonce (dolgi)
	1	nasip Loče

Kombinacije ureditev na odseku od soteske Zelenjak do izliva v Savo

3.2.2 ANALIZA ALTERNATIVNIH REŠITEV

Predlagane so bile naslednje lokalne ureditve:

- Nadvišanje obstoječega visokovodnega nasipa na levem bregu Sotle dolvodno od železniške proge Ljubljana – Zagreb za varovanje naselja Ključ
- Visokovodni nasipi v kombinaciji z visokovodnimi zidovi za varovanje naselij Gmajna (pri Dobovi), Dobova, Harmica ter Rigonce
- Individualni ukrepi za zagotavljanje poplavne varnosti naselja Nova vas pri Sotli
- Visokovodni nasipi/zid/nadvišanje ceste za varovanje naselja Bračna vas
- Porušitev obstoječega in izgradnja novega visokovodnega nasipa pri Kumrovcu
- Dvig mostne konstrukcije Gmajna – Kunšperk
- Ureditve na območju Aqualune (sekundarna struga in dvig obstoječe ceste)
- Ureditve struge in zamenjava mostu v Rogatcu (Hum na Sutli).

Z vidika zadrževanja visokih vod Sotle pa so predlagani naslednji zadrževalniki:

- Obnova zadrževalnika Vonarje
- Zadrževalniki na Mestinjščici
- Zadrževalniki v povirju Sotle (Trlično)

Analiza alternativnih rešitev upošteva stroške naložbe, obratovanja in vzdrževanja in druge stroške, če obstajajo (stroški za zmanjšanje vplivov na okolje ipd.) in koristi. Analiza izbranih alternativnih rešitev temelji na rezultatih hidravličnega modeliranja za načrtovano stanje in izračunanih poplavnih škodah.

V naslednjem poglavju študije je s pomočjo hidravličnega modela izdelan ožji izbor ureditev, v nadaljevanju pa je izdelana še podrobna ekonomska analiza. Glede na to, da imajo kmetijske površine zelo majhen škodni potencial, se je v sklopu hidravlične analize ciljno optimiziralo alternativne rešitve v smeri zmanjševanja poplavne ogroženosti na območju obstoječih poselitev. To je tudi v skladu z načelom, da naj se novi gradbeni ukrepi predvidijo predvsem za zaščito varnosti in zdravja prebivalcev ter najvrednejšega gospodarskega premoženja in aktivnosti ter kulturne in naravne dediščine.

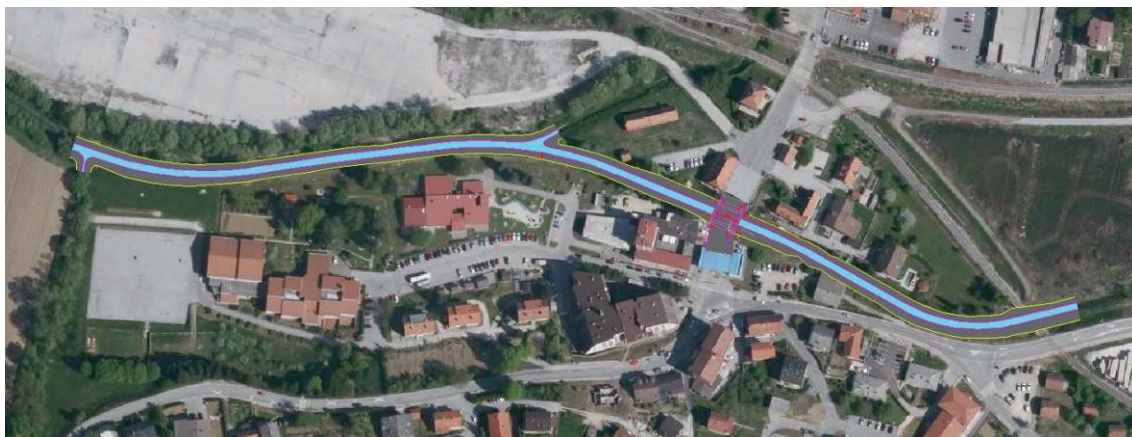
3.2.2.1 Odsek od izvira Sotle do Zelenjaka (Bistrica ob Sotli)

Na odseku Sotle nad Zelenjakom so bili predlagani sledeči ukrepi:

- zamenjava mostu in ureditev struge v Rogatcu (Humu na Sutli).
- razširitev pretočnega prereza Sotle in ureditev sonaravno urejenega sekundarnega prelivnega koridorja (zelena infrastruktura) na območju Aqualune v Podčetrtku/ Harina Žlaka
- nasip z ureditvijo odvodnih jarkov na območju naselja Gmajna (Kumrovec).

Rogatec (Hum na Sutli)

V Rogatcu predstavlja s poplavnega vidika najbolj problematično točko prečkanje Sotle na območju mejnega prehoda.



Območje načrtovanih ukrepov v Rogatcu.

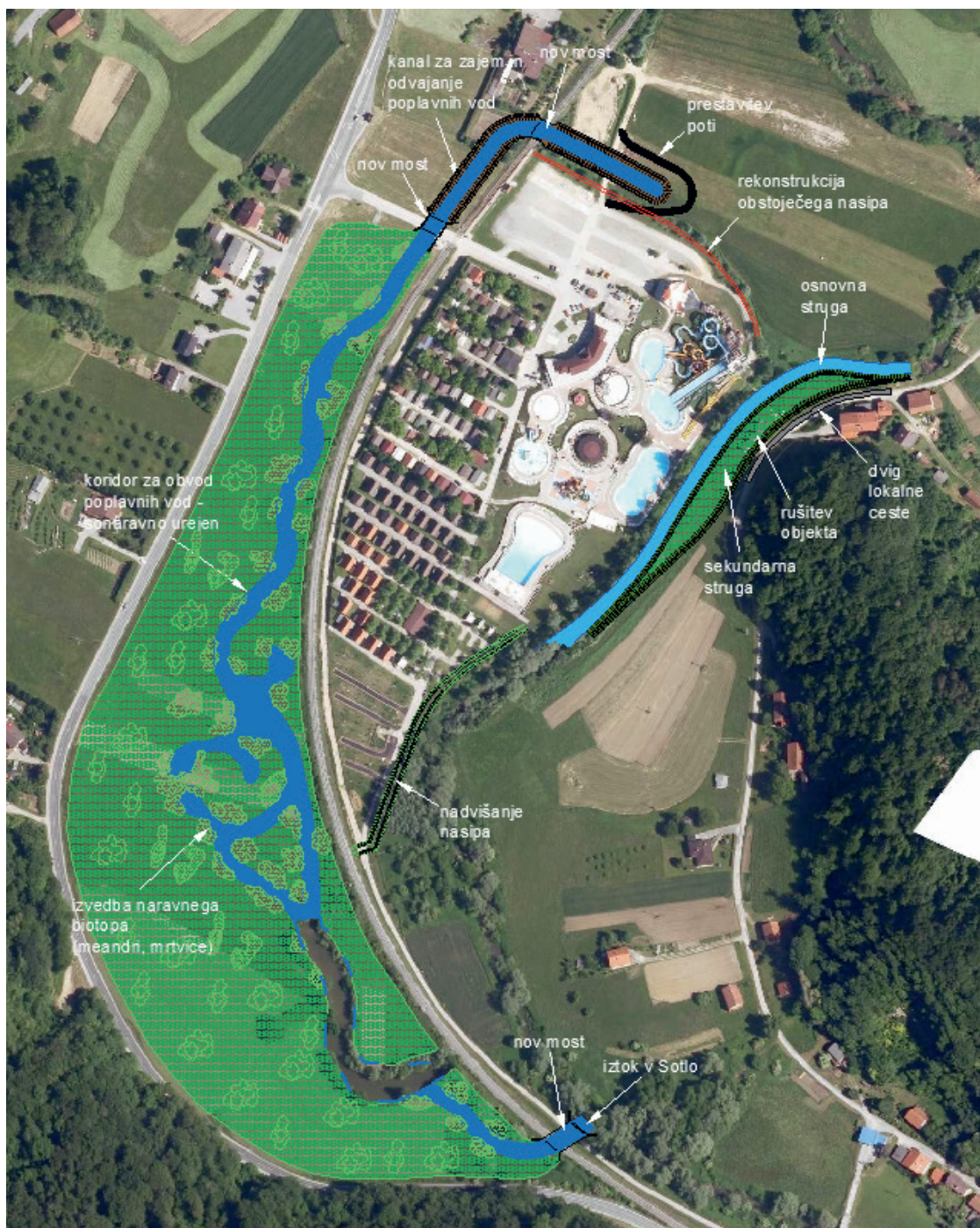
Hidravlična analiza je pokazala, da bi bili v primeru pojava 100-letne vode kljub boljši prevodnosti načrtovane struge in mostu še vedno poplavljeni objekti ob desnem bregu gorvodno od mostu ter objekti na levem bregu dolvodno od mostu. Ker bi bila posamezna območja tudi po izvedbi ureditve struge in

zamenjave mostu še vedno poplavno ogrožena, je na odseku Sotle skozi Rogatec / Hum na Sutli za zaščito obstoječih objektov na dveh odsekih dodatno predlagan tudi AB visokovodni zid, ki varuje stanovanjske objekte pred 100-letno visoko vodo Sotle.

V primeru pojava Q100 predlagani ukrepi pozitivno vplivajo na poplavno varnost dela Rogatca. Zaradi visokovodnega zidu so poplavno varni tako objekti ob predvidenem visokovodnem zidu, kot tudi železnica. Hidravlična analiza načrtovanega stanja 1000-letnih vod pa je pokazala, da pride ob prelivanju čez načrtovana zidova v glavnem do izboljšanja poplavnih razmer, vendar pa se nekaterim objektom ob načrtovanem levobrežnem visokovodnem zidu stanje poslabša. Zato se na dolvodni strani predvidenega levobrežnega zidu na dolžini 5 m izvede lamelna protipoplavna zaščita (IBS ali podobno), ki se jo v primeru, da pride do prelivanja zidu (npr. pri Q1000), odstrani zato, da se lahko poplavne vode v zaledju stekajo nazaj v strugo Sotle. Po izvedbi predlaganih ukrepov bo delu naselja nad in pod mejnim prehodom bistveno zmanjšana poplavna nevarnost v primeru visokih vod Sotle. Analiza in oblikovanje rešitev zaradi poplavljanja reke Draganje v sklopu tega projekta ni bila predvidena.

Podčetrtek – Aqualuna (Harina Žlaka)

Za zaščito ogroženih objektov in infrastrukture se na območju Aqualune predlaga izvedbo celovitih ukrepov. Za izboljšanje prevodnosti ozkega koridorja ob Aqualuni se predlaga izvedbo sekundarne struge na levem bregu vodotoka. Le-ta se izvede približno 1 m nad vodostajem ob normalnih hidroloških razmerah. Zunanji rob razširjene struge se priključi na lokalno cesto, ki se jo v sklopu ureditve območja nadviša za 1 m. Območje sekundarne struge bo 2 m nižje od obstoječega terena, zaradi česar se izboljšajo pretočne razmere v času poplave. Sekundarna struga oz. razširitev osnovnega korita Sotle se izvede na dolžini 260 m. Pred gradnjo bo potrebno porušiti še 2 tam stoječa (opuščena) objekta ter brv preko Sotle.



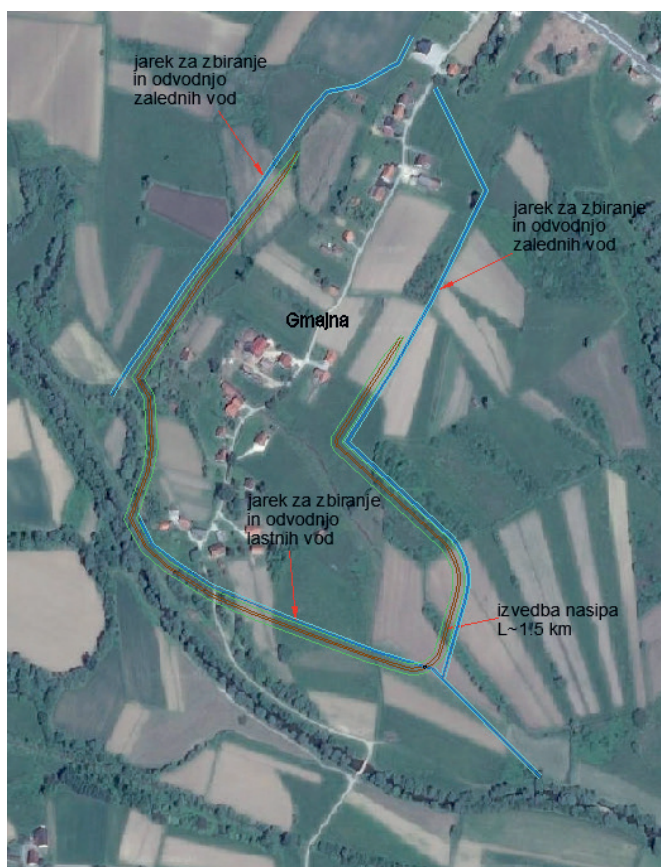
Predlagani ukrepi na širšem območju Aqualune.

Predlagani ukrepi so bili preverjeni s hidravličnim modelom. Na območju predvidene sekundarne struge Sotle smo prečne profile v 1D modelu preoblikovali. Profile smo na odseku ureditve generirali na podlagi državnega LIDAR posnetka terena (izvedenim leta 2014), pri čemer smo dno vodotoka določili glede na niveleto iz modela obstoječega stanja. V sklopu ureditev je bila predvidena odstranitev obstoječe brvi na tem delu, ki v račun obstoječega stanja niti ni bila upoštevana. Hidravlična analiza načrtovanega stanja je pokazala, da imajo predlagani ukrepi pozitiven vpliv tako na poplavno varnost objektov, kot tudi na globino poplavne vode na obdelovalnih površinah. V primeru pojava Q100 je območje Aqualune in dvignjen odsek lokalne ceste poplavno varen, na travnikih in njivah pa se globina poplavne vode

zmanjša do 25 cm. V primeru pojava Q500 poplava na območju Aqualune ne ogroža objektov, do manjšega razlivanja pride na skrajnem SV delu, na območju toboganov, kjer globina vode ne preseže 8 cm. V primeru 1000-letne vode začne poplavna voda vtekati na območje Aqualune na SV delu, od koder se poplava širi najprej proti Z in nato proti J. Območje počitniškega naselja je delno poplavljen. Povprečna globina vode znaša 15 cm, maksimalna pa 45 cm. Železnica je na obravnavanem odseku poplavno varna tudi v primeru pojava Q1000.

Naselje Gmajna – Kumrovec

Za varovanje vasi Gmajna je predviden 1360 m dolg protipoplavni nasip, ki obdaja vas s treh strani. Poleg nasipa je potrebno v sklopu protipoplavne zaščite vasi Gmajna poskrbeti tudi za zaledne vode. Zahodno in vzhodno od načrtovanega nasipa bi bilo potrebno izvesti poljska jarka, ki bi se navezala na obstoječe jarke (oz. koridorje po katerih bi bilo možno pričakovati dotok površinskih vod) ter v zaključku priključila na obstoječi meander oz. strugo Sotle. Znotraj varovanega območja pa bi bilo ravno tako potrebno vzdolž nasipa izvesti jarek za odvodno lastnih vod. Gravitacijska odvodnja lastnih vod bi bila možna le v primeru nizkega vodostaja Sotle. Ob povišanem vodostaju bi bilo potrebno preprečiti vdor vod s poplavnega območja na varovano območje Gmajne. V ta namen je potrebno na iztočnem kanalu namestiti protipovratno loputo, znotraj varovanega območja pa predvideti črpališče za prečrpavanje lastnih vod v Sotlo. Načrtovani nasip se na JV delu nekoliko odmakne od samega naselja. Ta prostor je večnamenski in omogoča zadrževanje lastnih vod v primeru okvare črpališča, zadrževanje vod kot osnovno funkcijo – posledično manjša črpalka oz. se izvede samo črpalni jašek, lahko pa služi tudi za zbiranje izcednih vod, ki bi se mogoče zaradi visoke podtalnice iz tal izcejale v varovani prostor.



Ukrepi na območju vasi Gmajna.

Obstoječi nasip se v celoti poruši teren pa izravna na nivo okoliškega terena. Vpliv predvidenega nasipa smo preverili s hidravličnim modelom in ugotovili, da je z izvedbo nasipa, vas Gmajna varna v primeru 100-letnih visokih vod, v primeru pojava Q500 pa začne nasip na vzhodni strani prelivati, od koder se voda širi proti zahodu in preplavi vso območje za nasipom. V primeru pojava Q1000 prelije nasip po celotni dolžini.

Hidravlična analiza je pokazala, da ima predviden nasip negativen vpliv na gladino vode predvsem na območju travnikov in obdelovalnih površin. Pri pretokih višjih povratnih dob (Q100 in več) pa se poplavna varnost poslabša (dvig gladine za nekaj cm) tudi obstoječim stanovanjskim objektom na desnem bregu (Krunšperk 19). Zato je kot dodatni ukrep za izničenje negativnega vpliva gradnje nasipa ob Gmajni ter za dodatno zaščito predvidena panelna protipoplavna zaščita odprtih objektov do višine 1000-letne poplavne vode, t.j. do kote 173,0 m n.v.

Zaščita ravninskih območij nad Gmajno ni potrebna, saj v tem prostoru ni prisotne pozidave. Postavljena je sicer čistilna naprava, ki ima bazene dvignjene nad okoliški teren, po potrebi se lokalno izvede le ukrepe za zaščito strojne opreme in drugih občutljivih elementov (dvig opreme nad doseg poplavnih vod, izvedba dodatnega nasipa ob ČN – v tem primeru potrebno predvideti tudi črpališče lastnih vod).

3.2.2.2 Odsek od Zelenjaka (Bistrica ob Sotli) do izliva v Savo

Na odseku od izliva v Savo do Zelenjaka (Bistrica ob Sotli) so obravnavani štirje sklopi gradbenih ukrepov, ki sestavljajo smiselne celote in sicer:

- Varovanje SZ dela Rigonc do Q100 (nasip dolžine 536 m in povprečne višine 1.4 m)
- Varovanje Obreza in Dobove, varovanje Gmajne (nasip dolžine 809 m in povprečne višine 1.7 m, nasip ob Šici dolžine 944 m in povprečne višine 2.1 m, dvig ceste v dolžini 128 m in povprečne višine 1.9 m, nadomestni most ter montaža povratne zaklopke na prepust v opuščenem železniškem nasipu pri Dobovi)
- ureditve v sklopu DPN za HE Mokrice (nasip Rigonce dolžine 228 m in povprečne višine 2.1 m, nasip Rigonce dolžine 1285 m in povprečne višine 1.3 m, nasip Loče dolžine 3137 m in povprečne višine 1.6 m)
- ter za individualne ukrepe varovanja stanovanjskih objektov (montažne protipoplavne zapore)

Pri tem visokovodni nasipi in ostale ureditve iz sklopa veljavnega DPN za HE Mokrice v tej študiji niso obravnavani iz ekonomskega vidika, saj bodo financirani v sklopu DPN. Upoštevani pa so bili v fazi hidravlične analize načrtovanega stanja zaradi možnega vpliva ureditev iz DPN HE Mokrice na območje načrtovanih ureditev iz projekta FRISCO1. Tako so kote VV nasipov iz DPN HE Mokrice bile povzete po načrtu gradbenih konstrukcij idejnega projekta HE Mokrice, št. proj. IBMK-A200/037, IBE, april 2013, ki smo ga prejeli od Hidroinštituta.

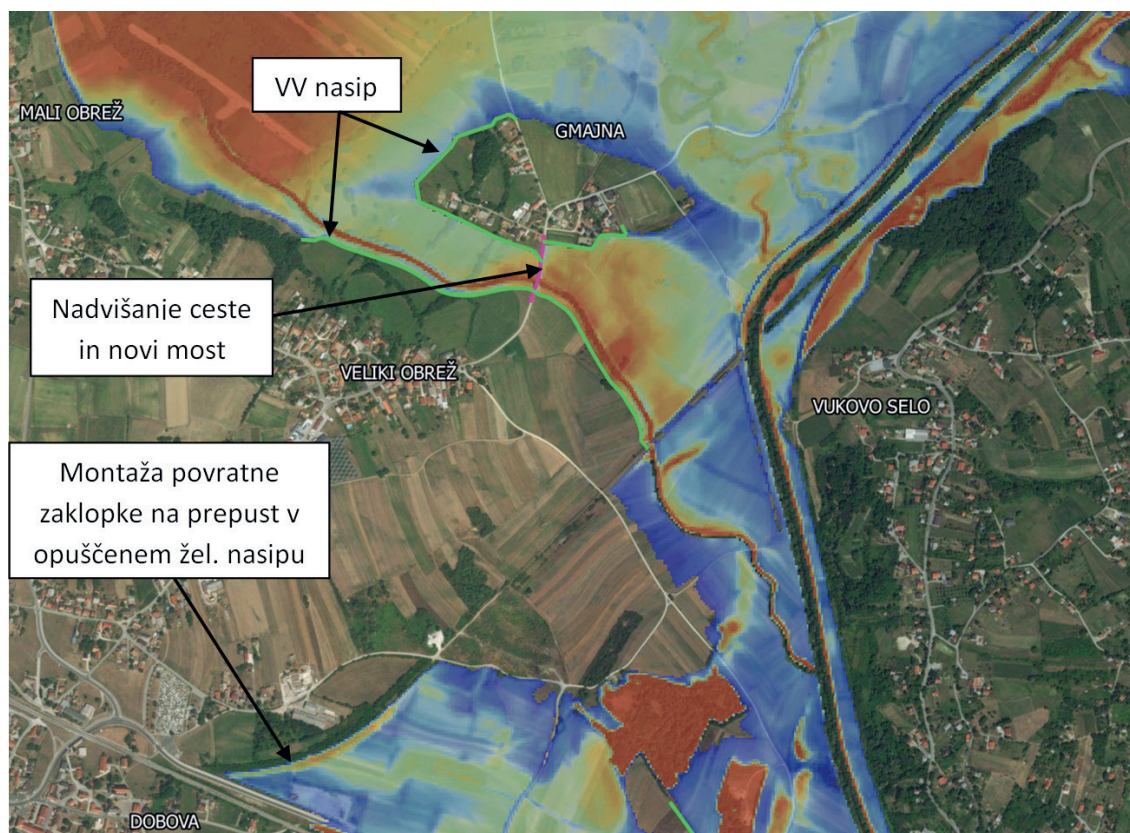
3.2.2.3 Vplivi na poplavno nevarnost

Hidravlični model

Za hidravlično analizo načrtovanega stanja je bil uporabljen hidravlični model, izdelan s strani Hidroinštituta v okviru projekta FRISCO1. Ureditve iz DPN HE Mokrice so bile vključene v hidravlični model, ne pa tudi v ekonomsko analizo. Spodnji robni pogoj za načrtovano stanje je bil izdelan na enak način kot za obstoječe stanje. Spremenjen je bil tudi gorvodni robni pogoj v 2D modelu (gorvodno od HE Mokrice), kjer voda priteče po inundaciji Save na obravnavano območje sotočja Sotle in Save. Na tem robnem pogoju je bil potek gladine povzet po rezultatih HHM HE Mokrice. Vse izbrane ureditve se nahajajo na relativno kratkem odseku Sotle. Ugotovljeno je bilo, da tukaj prevladujejo trajanja padavin, ki povzročijo na tem odseku največje konice.

Vplivi izbranih ureditev na poplavno nevarnost območja pri Gmajni, Velikem Obrežu in Dobovi

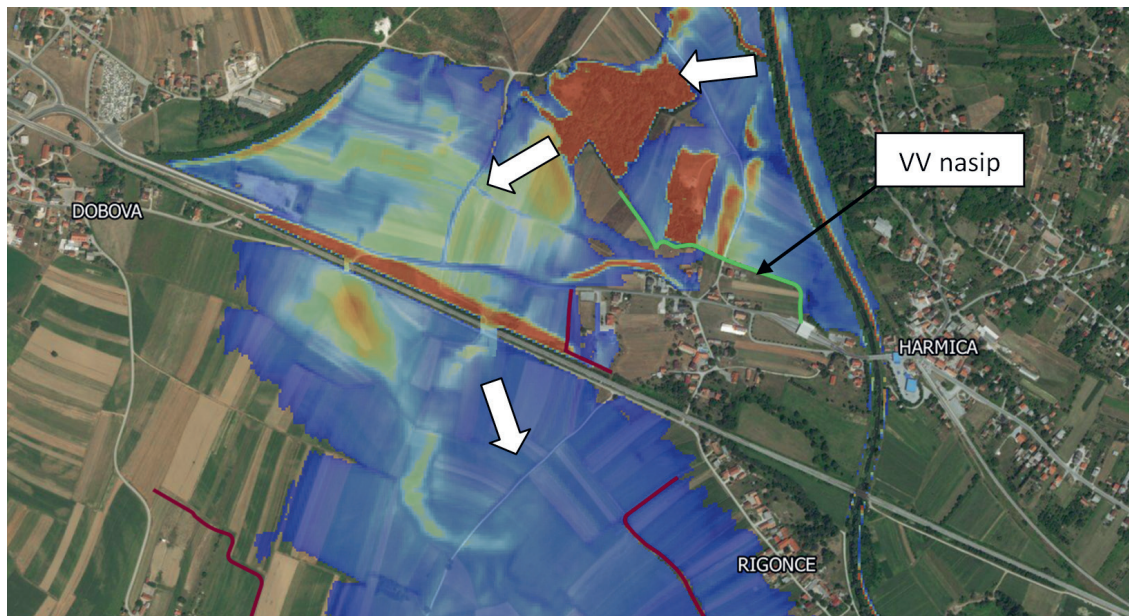
Ureditve na območju Gmajne, Dobove in Velikega Obreža, zaradi varnostnega nadvišanja, ustrezno varujejo vsa naselja tudi pred 1000 letno visoko vodo. Prav tako je z dvigom ceste in novega mostu omogočen dostop do naselja Gmajna tudi v času visoke vode.



Globine pri Q100 na območju Gmajne, Velikega Obreža in Dobove z vsemi izbranimi ureditvami

Vplivi izbranih ureditev na poplavno nevarnost območja pri Rigoncah/Harmici

Načrtovani nasip za varovanje SZ dela Rigonc do Q100 ustrezno varuje del naselja Rigonce, ki je v obstoječem stanju poplavljen.



Globine pri Q100 na območju Rigonc/Harmice

Zaradi vseh ureditev teče po strugi nekoliko več vode kot v obstoječem stanju, zato se npr. pri Q100 gladina Sotle pri mejnem prehodu Rigonce/Harmica dvigne za ca. 17cm. V primeru Q10 vpliva ni. Zaradi manjšega dviga gladine v strugi Sotle pri Q100 na območju Rigonc/Harmice je predlagan kot omilitveni ukrep nadvišanje leve brežine struge Sotle na odseku od mejnega prehoda Rigonce/Harmica do železniške proge na območjih, kjer je le-ta nižji od kote Q100+0.5m. Zaradi dejstva, da je na tem odseku le majhna razlika v gladinah pri Q100 in Q1000 bo tak omilitveni ukrep varoval prelitje leve brežine tudi do Q1000.

3.3 IZBIRA NAJUSTREZNEJŠE REŠITVE

3.3.1 OPREDELITEV NABORA UKREPOV

V okviru identifikacije ukrepov so bili definirani sledeči ukrepi:

a) Odsek od izliva v Savo do Zelenjaka (Bistrica ob Sotli)

- varovanje SZ dela Rigonc do Q100
- varovanje Obreza in Dbove, varovanje Gmajne

b) Odsek od Zelenjaka (Bistrica ob Sotli) do izvira Sotle

- ureditve Gmajna:
- ureditev Aqualune
- ureditve Rogatec

c) no regret measure

- Sanacija pregrade Vonarje:

3.3.2 Investicijski stroški ureditev ter finančna in ekonomska upravičenost

Za predlagane ukrepe je v spodnji tabeli prikazana ocena investicijske vrednosti.

Investicijska vrednost projekta

		Vrednost (EUR)	DDV/PDV (EUR)	Vrednost davkom (EUR)	z Upravičeni stroški za so- financiranje (EUR)
A	Odsek od izliva v Savo do Zelenjaka (Bistrica ob Sotli)	899.316,00	197.849,52	1.097.165,52	1.097.165,52
1	varovanje SZ dela Rigonc do Q100	113.418,00	24.951,96	138.369,96	138.369,96
2	varovanje Obreza in Dobove, varovanje Gmajne	704.142,00	154.911,24	859.053,24	859.053,24
	Nepredvidena dela na odseku (10%)	81.756,00	17.986,32	99.742,32	99.742,32
B	Odsek od Zelenjaka (Bistrica ob Sotli) do izvira Sotle	3.356.677,50	780.996,15	4.137.673,65	4.137.673,65
1	ureditve Gmajna	699.600,00	174.636,00	874.236,00	874.236,00
2	ureditve Aqualuna	1.579.847,50	351.612,25	1.931.459,75	1.931.459,75
3	ureditve Rogatec	1.077.230,00	254.747,90	1.331.977,90	1.331.977,90
C	pregrada Vonarje	1.103.993,57	259.438,49	1.363.432,06	1.363.432,06
D	Nadzor nad gradnjo (2%)	127.119,87	27.966,37	155.086,24	155.086,24
E	Informiranje in obveščanje javnosti	70.825,00	15.581,50	86.406,50	86.406,50
	SKUPAJ	5.557.931,94	1.281.832,03	6.839.763,97	6.839.763,97
	DDV (22%) oziroma PDV (25%)	1.281.832,03			
	SKUPAJ Z DDV in PDV	6.839.763,97			
	SKUPAJ brez nepredvidenih del	6.238.115,11			

Celotna vrednost investicije brez DDV je ocenjena na 5.557.931,94 EUR. Celotna vrednost z upoštevanjem 22% slovenske stopnje davka na dodano vrednost in 25% hrvaške stopnje davka na dodano vrednost znaša 6.839.763,97 EUR in v celoti predstavlja upravičene stroške projekta, saj davek na dodano vrednost ni povračljiv.

Finančna neto sedanja vrednost naložbe je negativna in znaša -7.432.332 EUR. Prav tako je negativna finančna stopnja donosa investicije in znaša -17,58%.

Ekonomska neto sedanja vrednost projekta je pozitivna in znaša 1.978.399 EUR, kar pomeni, da koristi projekta presegajo stroške projekta. To potrjuje tudi interna stopnja donosa, ki je v primeru projekta 7,57%. Prav tako je za projekt ugoden kazalnik koristi glede na stroške, ki znaša 1,38.

3.3.3 Multikriterijska analiza

Skupna bilateralno usklajena metodologija za ekonomsko oceno poplavnih škod na čezmejnih porečjih (september 2018) je namenjena oceni poplavnih škod na čezmejnih porečjih rek Kolpe, Sotle, Drave, Mure, Dragonje in Bregane, za potrebe izvajanja aktivnosti projekta FRISCO1.

Metodologija je izdelana na podlagi bilateralno usklajenega in sprejetega dokumenta Podlaga za bilateralno metodologijo ekonomske ocene poplavnih škod na čezmejnih porečjih (v nadaljevanju Podlaga za Metodologijo), ki jo je avgusta 2018 izdelala Gradbena Fakulteta Univerze v Zagrebu (Građevinska fakulteta Sveučilišta u Zagrebu).

Sprejeta Podlaga za Metodologijo predlaga, da se s ciljem celovite ocene poplavne ogroženosti, glede na predstavljen metodološki pristop za dokazovanje ekonomske upravičenosti in izvedljivosti predlaganih ukrepov za zmanjševanje poplavne ogroženosti, za analizirane predloge variant ukrepov dodatno upoštevajo tudi škodne posledice vezane na zdravje ljudi in okolja.

Pri pripravi Čezmejno usklajenih študij celovitega obvladovanja poplavne ogroženosti na čezmejnih porečjih rek Kolpe, Sotle, Drave, Mure, Dragonje in Bregane v okviru projekta se po izvedenem izračunu ekonomske upravičenosti in izvedljivost predlaganih variant ukrepov za zmanjševanje poplavne ogroženosti kot dodaten vidik izbora najprimernejše rešitve, upošteva tudi učinek vseh »sprejemljivih rešitev« za zmanjšanje vpliva poplav na zdravje ljudi in okolja. Dodatni postopek izbora najprimernejše rešitve se izvede za vse variante sprejemljivih rešitev v sledečih korakih:

- A. Ocena pozitivnih učinkov sprejemljivih rešitev na zdravje ljudi
- B. Ocena pozitivnih učinkov sprejemljivih rešitev na okolje
- C. Skupna ocena posledic poplavnih dogodkov na zdravje ljudi in okolja
- D. Izbor najprimernejše rešitve

A. Ocena pozitivnih učinkov sprejemljivih rešitev na zdravje ljudi

Za območje, ki je bilo obravnavano v okviru projekta FRISCO Sotla je bilo analizirano število prizadetih prebivalcev na osnovi stanja po centralnem registru prebivalcev v RS (stanje 2015). Za hrvaško stran je bila izdelana ocena učinkov, ki se izkazujejo na poplavnem območju, ki je vezano na Naselje Risvica ima po popisu prebivalstva iz leta 2011 po podatkih Hrvatskega statističnega urada (Statistička izvješća 1583/2016) 277 prebivalcev. Zaradi agregatne vrednosti podatka ni bilo mogoče ovrednotiti na hišo natančno, vendar je bilo ocenjeno, da se v dosegu visokih voda s 100-letno povratno dobo nahaja cca. 20% stanovanjskih objektov, kar pomeni, da je poplavam izpostavljenih 55 prebivalcev.

B. Ocena pozitivnih učinkov sprejemljivih rešitev na okolje

Na podlagi razpoložljivih podatkov – stanje kanalizacijskega omrežja na analiziranem poplavnem območju reke Sotle (ZKGJI 2018, CRP-EHIŠ 2015) je bila izvedena prostorska poizvedba z opredeljenim »buffer« območjem 50 metrov na vsako stran javnega kanalizacijskega omrežja, s čemer so bili identificirani objekti in njihovi prebivalci, ki še niso priključeni na kanalizacijo in na ta način predstavljajo kriterij po predlagani multikriterijski analizi.

C. Skupna ocena posledic poplavnih dogodkov na zdravje ljudi in okolja za območje FRISCO

Sotla

Glede na to, da imajo vse obravnavane variante po predpisani multikriterialni analizi opredeljene skupno opredelitev prepoznano kot najprimernejšo ugotavljamo, da izbor ene ali druge variantne rešitve popolnoma ustrezen. Sam izbor za eno ali drugo rešitev naj se oblikuje po drugih kriterijih.

3.4 ZAKLJUČEK

Poplavno ogroženo je celotno nižjeležeče območje ob reki Sotli, od Dobovca do izliva v Savo. Ureditve (regulacije) na nekaterih urbaniziranih območjih so obseg poplav omejile ali zmanjšale njihovo pogostost. Ob Mestinjščici, Zibiškem potoku, Tinskem potoku, Buči in Bistrici, ob visokih vodah srednje in daljše povratne dobe (nad Q_5) poplavlja večina kmetijske površine in posamezne manjše zaselke oz. posamezne objekte. V preteklosti je bila pogosto poplavljen tudi glavna cesta pri Podčetrtku, ob vsakoletnih visokih vodah pa so poplavljen celotne ravnice na obeh bregovih.

Območje obravnave v okviru študije zajema celotno porečje reke Sotle. Na podlagi zbranih podatkov in dokumentacije, analize obstoječega stanja ter izdelane hidrološke in hidravlične analize je bila opredeljena poplavnost obravnavanega območja, ki je zelo redko in malo urbanizirano. Na podlagi hidroloških značilnosti je bilo za potrebe analize porečja Sotle razdeljeno na dva odseka in sicer odsek od izvira Sotle do soteske Zelenjak in odsek od soteske Zelenjak do izliva v Savo.

Alternativne rešitve so bile v prvi fazi na podlagi razpoložljivih informacij, poznavanja območja, podatkov spremljanja stanja ob nastopu visokih voda in izvajanju ukrepov zaščite pred poplavami v zadnjih dvajsetih letih oblikovane na podlagi ekspertne ocene. Sotle večinoma poteka po območju Nature 2000, struga Sotle pa je na celotnem odseku naravna vrednota. Ocenjeno je bilo, da bi vsak večji poseg v strugo v smislu povečanja prevodnosti oz. spremembe morfologije imel uničujoč vpliv na naravno vrednoto, zato takšni posegi niso obravnavani.

Na podlagi analize obstoječega stanja in razpoložljivih podatkov so bila nato tudi definirana območja obstoječe poplavne ogroženosti, za katera so nato predlagani večinoma lokalni ukrepi. V prvi fazi izdelave študije je bil predlagan nabor ureditev, ki so bili nato tudi podrobneje analizirani.

V drugi fazi analize alternativnih rešitev so se predlagane lokalne ureditve in zadrževalniki analizirale na podlagi hidravličnega modela in ocene poplavne ogroženosti, da se je lahko točneje ocenila gospodarska učinkovitost alternativnih rešitev in da se jih je lahko razvrstilo glede na parametre gospodarske učinkovitosti in ostalih odločilnih dejavnikov.

Tudi hidravlična analiza je potrdila ugotovitve predhodnih strokovnih ocen in sicer da je dolina Sotle poplavno precej ogrožena, vendar pa je glede na dolžino toka v njeni dolini prisotnih razmeroma malo

elementov s pomembno stopnjo ranljivosti. Med poplavno najbolj ogrožena območja sodijo Rogatec, območje Aqualune v Podčetrtku, vas Gmajna, Bračna vas, Gmajna (pri Obrežu), Veliki Obrež, Dobova, Rigonce/Harmica in Loče. S hidravličnim modelom so bile v drugi fazi analizirale le ureditve, za katere se je v tej fazi izkazalo, da so smiselne.

Ureditve, za katere se je izkazalo, da že po grobi oceni niso ekonomično upravičene oz. da so tudi hidravlično neustrezne oz. nepotrebne so bile izločene iz nabora alternativnih rešitev. Na podlagi večstopenjskih analiz so v zaključku študije predlagani naslednji ukrepi:

Odsek od izvira Sotle do Zelenjaka (Bistrica ob Sotli)

- ureditve Gmajna
- ureditev Aqualune
- ureditve Rogatec

Odsek od Zelenjaka (Bistrica ob Sotli) do izliva v Savo

- varovanje SZ dela Rigonc
- varovanje Obreza in Dobove, varovanje Gmajne

No regret measure - Sanacija pregrade Vonarje.

Predlagani ukrepi so bil nadalje analizirani tudi skozi analizo stroškov in koristi, kjer se je izkazalo, da ukrepi prinašajo tudi ugodne ekonomske koristi.

Predlagani optimalni program obvladovanja poplavne ogroženosti je študij tako razdeljen na ukrepe, ki jih je mogoče izvesti med sedanjim obdobjem izvajanja evropske poplavne direktive (2016-2021) in tistimi, ki bi jih bilo mogoče izvesti v kasneje. Rekonstrukcija pregrade Vonarje sodi med ukrepe, ki se bodo izvajali med sedanjim obdobjem izvajanja poplavne direktive, medtem ko izdelana študija skladno s prijavnico projekta FRISCO1 predstavlja podporno orodje za nosilce odločanja glede nadaljnje priprave in izvedbe drugih predlaganih ukrepov.

Program suradnje INTERREG V-A Slovenija – Hrvatska 2014. – 2020.

Projekt:

**FRISCO 1 – Prekogranično usklađeno slovensko-hrvatsko
smanjenje rizika od poplava – negrađevinske mjere**

Predmet zadatka:

Projekt FRISCO1 – Tehnička pomoć u izradi cjelovite studije
smanjenja rizika od poplava za prekogranični sliv rijeke Sutle

Vrsta dokumentacije:

**CJELOVITA STUDIJA SMANJENJA RIZIKA OD POPLAVA ZA
PREKOGRANIČNI SLIV RIJEKE SUTLE**

SAŽETAK

Lipanj 2019.

SADRŽAJ

1	UVODNA PREZENTACIJA PROJEKTA FRISCO 1.....	4
2	PREKOGRANIČNO USKLAĐENA STUDIJA SVEOBUHVAATNOG UPRAVLJANJA RIZICIMA OD POPLAVA RIJEKE SUTLE	5
2.1	PROGRAM.....	5
2.2	PROJEKT.....	5
2.3	PREDMET ZADATKA	6
2.4	NARUČITELJ	6
2.5	IZVOĐAČ	6
2.6	PRAČENJE I UPRAVLJANJE ZADATKA.....	6
2.7	SVRHA I CILJEVI STUDIJE.....	7
2.8	SVRHA I CILJ SAŽETKA PREKOGRANIČNO USKLAĐENE STUDIJE SMANJENJA RIZIKA OD POPLAVA RIJEKE SUTLE	7
3	SAŽETAK PREKOGRANIČNO USKLAĐENE STUDIJE SMANJENJA RIZIKA OD POPLAVA RIJEKE SUTLE	7
3.1	ANALIZA POSTOJEĆEG STANJA	7
3.1.1	PRIKUPLJANJE I ANALIZA POSTOJEĆIH PODATAKA	7
3.1.2	OPIS POSTOJEĆEG STANJA.....	8
3.1.2.1	Opći opis sliva rijeke Sutle	8
3.1.2.2	Područje obrade sliva rijeke Sutle u okviru projekta FRISCO 1	8
3.1.2.3	Geografski opis obrađenog područja	9
3.1.2.4	Klimatske karakteristike.....	9
3.1.2.5	Tla.....	9
3.1.2.6	Vodeni okoliš.....	9
3.1.2.7	Priroda	10
3.1.2.8	Kulturna baština	12
3.1.2.9	Stanovništvo	12
3.1.2.10	Gospodarstvo.....	12
3.1.2.11	Iskorištenost prostora.....	12
3.1.2.12	Stanje okoliša	12
3.1.3	HIDROLOŠKA ANALIZA.....	13
3.1.3.1	Opis ishodišta i korištenih podataka.....	13
3.1.3.2	Postavljanje hidrološkog modela	13

3.1.3.3	Analiza oborina	14
3.1.3.4	Kalibracija hidrološkog modela	15
3.1.3.5	Rezultati hidrološkog modeliranja.....	15
3.1.3.6	Izljev poplavnih valova.....	16
3.1.4	HIDRAULIČKA ANALIZA	17
3.1.4.1	Dionica od izvora Sutle – Kunšperk (Bistrica ob Sotli)	17
3.1.4.1.1	Značajke doline.....	17
3.1.4.1.2	Hidrološki podatci.....	23
3.1.4.2	Dionica Kunšperk (Bistrica ob Sotli) do ušća u Savu	24
3.1.4.2.1	Značajke korita	24
3.1.4.2.2	Hidrološki podatci.....	25
3.1.4.3	Mjere za poboljšanje opasnosti od poplava.....	31
3.1.4.4	Osnovne karakteristike hidrauličkog modela.....	32
3.1.4.4.1	Model Sutla 1	32
3.1.4.4.2	Model Sutla 2	34
3.1.4.4.3	Model Sutla 3	36
3.1.5	Hidraulička analiza - rezultati hidrauličkog modela	38
3.1.6	ANALIZA RIZIKA OD POPLAVA.....	45
3.1.6.1	Analiza rizika od poplava postojećeg stanja.....	45
3.1.6.2	Određivanje parametara za obrađeno poplavno područje.....	46
3.1.6.3	Šteta od poplava i ekonomska učinkovitost mjere pregrade Vonarje	47
3.2	PRIPREMA I ANALIZA ALTERNATIVNIH RJEŠENJA	48
3.2.1	PRIPREMA ALTERNATIVNIH RJEŠENJA.....	48
3.2.1.1	Dionica od izvora Sutle do tjesnaca Zelenjak	49
3.2.1.2	Dionica od tjesnaca Zelenjak do ušća u Savu	52
3.2.2	ANALIZA ALTERNATIVNIH RJEŠENJA.....	56
3.2.2.1	Dionica od izvora Sutle do Zelenjaka (Bistrica ob Sotli)	57
3.2.2.2	Dionica od Zelenjaka (Bistrica ob Sotli) do ušća u Savu	61
3.2.2.3	Utjecaji na opasnost od poplave	62
3.3	ODABIR NAJPRIKLADNIJEG RJEŠENJA.....	63
3.3.1	DEFINICIJA SKUPA MJERA	63
3.3.2	Investicijski troškovi uređenja te financijska i ekonomska opravdanost	64
3.3.3	Multikriterijalna analiza.....	65
3.4	ZAKLJUČAK.....	66

1 UVODNA PREZENTACIJA PROJEKTA FRISCO 1

Projekt FRISCO1 je strateški projekt, čiji je cilj smanjiti rizik od poplava na slivovima rijeka Dragonje, Kupe, Sutle, Bregane i na dijelovima slivova rijeka Drave i Mure te se provodi u okviru Programa suradnje INTERREG V-A Slovenija – Hrvatska. Program suradnje INTERREG V-A Slovenija – Hrvatska je glavni dokument koji predstavlja okvir za prekograničnu suradnju Slovenije i Hrvatske u financijskoj perspektivi 2014. – 2020. Svrha prekogranične suradnje je rješavanje zajedničkih izazova koje su obje države zajedno prepoznale u graničnom području te istovremeno iskorištavanje neiskorištenih potencijala rasta i jačanja procesa suradnje za opći skladni razvoj Europske unije.

FRISCO1 sadržajno obrađuje negrađevinske mjere smanjenja rizika od poplava i unaprijeđuje sustav upravljanja rizikom od poplava. Unaprijeđeno i prekogranično usklađeno mapiranje rizika od poplava i izrada/unapređenje prekogranično usklađenih modela za prognoziranje poplava, osigurat će potrebne stručne podloge i dokumentaciju za prijedlog i izbor prekogranično usklađenih građevinskih mjera za smanjenje rizika od poplava, koji bi se izvodili u drugom koraku projekta FRISCO, a to je kroz FRISCO2 na slivovima rijeka Kupe, Sutle, Drave i Mure.

Projektni partneri projekta FRISCO1 su:

- Hrvatske vode (HV) kao vodeći partner;
- Ministarstvo okoliša i prostornog planiranja Republike Slovenije (MOP);
- Agencija Republike Slovenije za okoliš (ARSO);
- Direkcija Republike Slovenije za vode (DRSV);
- Državna uprava za zaštitu i spašavanje (DUZS);
- Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ);
- Institut za hidraulička istraživanja (IHR);
- Uprava Republike Slovenije za zaštitu i spašavanje (URSZR).

Projekt FRISCO1 sastoji se od sljedećih deset radnih paketa:

M Vođenje projekta,

C Prijenos informacija,

T1 Kupa zajednički radni alati, modeli, karte i projekti,

T2 Sutla zajednički radni alati, modeli, karte i projekti,

T3 Drava zajednički radni alati, modeli, karte i projekti,

T4 Mura zajednički radni alati, modeli, karte i projekti,

T5 Dragonja zajednički radni alati, modeli, karte i projekti,

T6 Bregana zajednički radni alati, modeli, karte i projekti,

T7 Fizički sustavi upozorenja na poplave i

T8 Aktivnosti podizanja svijesti i sveobuhvatan dizajn i upravljanje programom – projekt smanjenja rizika od poplava/povećanja sigurnosti od poplava.

U radni paket T2 Sutla/Sotla zajednički radni alati, modeli, karte i projekti uključuju se sljedeće aktivnosti:

- T2.1 Razvoj zajedničkog alata 1 (Baza podataka o riziku od poplava);
- T2.2 Razvoj zajedničkog alata 2 (Studija ciljanog područja);
- T2.3 Razvoj zajedničkog modela 1 (Unaprijeđeni hidraulički model);
- T2.4 Razvoj zajedničkog modela 2 (Unaprijeđeni model prognoziranja);
- T2.5 Razvoj zajedničke karte 1 (Unaprijeđena karta opasnosti od poplava);
- T2.6 Razvoj zajedničke karte 2 (Unaprijeđena karta rizika od poplava);
- T2.7 Izrada građevinskih projekata.

Planirane aktivnosti i rezultati međusobno su povezani.

U skladu s projektnom prijavom, rezultati projekta FRISCO1 su sljedeći:

- Unaprijeđene baze podataka za upravljanje rizicima od poplava,
- Prekogranične usklađene studije sveobuhvatnog upravljanja rizicima od poplava,
- Unaprijeđeni hidrološki i hidraulički modeli,
- Unaprijeđeni modeli prognoziranja poplava,
- Unaprijeđene i prekogranično usklađene karte opasnosti i rizika od poplava,
- Zajednički projekti (priprema projektne i druge dokumentacije),
- Sustav ranog upozoravanja (nadogradnja alarmnog sustava za prognoziranje i upozoravanje),
- Podizanje svijesti javnosti o rizicima od poplava i institucionalno jačanje sustava upravljanja rizicima od poplava.

Glavni cilj aktivnosti T2.2 zajednički alat 2 je »Studija prekogranično usklađeno smanjenje rizika od poplava na slivu rijeke Sutle«.

2 PREKOGRANIČNO USKLAĐENA STUDIJA SVEOBUHVAATNOG UPRAVLJANJA RIZICIMA OD POPLAVA RIJEKE SUTLE

2.1 PROGRAM

Program suradnje INTERREG V-A Slovenija – Hrvatska 2014. – 2020.

2.2 PROJEKT

FRISCO 1 – Prekogranično usklađeno slovensko-hrvatsko smanjenje rizika od poplava – negrađevinske mjere.

2.3 PREDMET ZADATKA

Projekt FRISCO1 – Tehnička pomoć u izradi cjelovite studije smanjenja rizika od poplava za prekogranični sliv rijeke Sutle

2.4 NARUČITELJ

REPUBLIKA SLOVENIJA,

Direkcija Republike Slovenije za vode

Hajdrihova ulica 28c, 1000 Ljubljana.

2.5 IZVOĐAČ

Vodeći partner:

Hidrosvet d.o.o.,

Kidričeva ulica 25, 3000 Celje

Odgovorni nositelj zadatka:

Branko SKUTNIK, univ. dipl. ing. građ.

Partneri:

Vodnogospodarski biro Maribor d.o.o.

Glavni trg 19/c, 2000 Maribor

Inštitut za vodarstvo d.o.o.,

Hajdrihova ulica 28a, 1000 Ljubljana

IZVO-R , projektiranje in inženiring d.o.o.

Pot za Brdom 102, 1000 Ljubljana

DHD d.o.o.,

Praprotnikova ulica 37, 2000 Maribor

SL-Consult d.o.o.

Dunajska cesta 122, 1000 Ljubljana

2.6 PRAĆENJE I UPRAVLJANJE ZADATKA

Jedan od ciljeva projekta FRISCO1 je izrada Prekogranično usklađene studije smanjenja rizika od poplava za područje rijeke Sutle, koju je pripremio stručno kvalificirani izvođač odabran postupkom javne nabave. Ugovor je službeno vodila Direkcija Republike Slovenije za vode Republike Slovenije, ali je u skladu s projektnim zadatkom izradu studije pratila vodeća struktura FRISCO1 projekta, sastavljena od nekoliko skupina za upravljanje projektima i radnih skupina, i to:

- Radna skupina za Sutlu (WG),
- Skupina za upravljanje projektom (Project Management Team (PMT)),
- Skupina za strateško upravljanje projektom (Strategic Management Team (SMT)),
- Skupina za kvalitetu (Quality Management Team (QMT)),
- Skupina za odnose s javnošću (Project Communication Team (PCT))
- Stručna skupina (Expert Panel (EXP)).

2.7 SVRHA I CILJEVI STUDIJE

Prekogranična usklađena studija za smanjenje rizika od poplava u slivu rijeke Sutle sadrži analizu postojećeg stanja, alternativnih rješenja i identifikaciju i opravdanje mjera za smanjenje rizika od poplava u razmatranom području, uključujući utvrđivanje ključnih prirodnih područja za zadržavanje vode i analizu mogućih mjera zelene infrastrukture, na temelju hidroloških, hidrauličkih i tehničkih ekonomskih analiza. Izrađena studija pripremljena je kao alat za podršku za donositelje odluka te kao alat za informiranje zainteresiranih strana. Predlagani optimalni program upravljanja rizikom od poplava u studiji je podijeljen na kratkoročno održive mjere, koje bi bilo moguće provesti tijekom tekućeg razdoblja provedbe Europske direktive o poplavama (2016. – 2021.) i onih koje bi se mogle provesti kasnije.

2.8 SVRHA I CILJ SAŽETKA PREKOGRANIČNO USKLAĐENE STUDIJE SMANJENJA RIZIKA OD POPLAVA RIJEKE SUTLE

U nastavku je napravljen sažetak Prekogranično usklađene studije sveobuhvatnog upravljanja rizikom od poplava rijeke Sutle i sadrži sažetke ključnih sadržaja i rezultate studije

Predmetni sažetak je sastavni dio aktivnosti T2.2 Razvoj zajedničkog alata 2 (Studija ciljanog područja).

3 SAŽETAK PREKOGRANIČNO USKLAĐENE STUDIJE SMANJENJA RIZIKA OD POPLAVA RIJEKE SUTLE

3.1 ANALIZA POSTOJEĆEG STANJA

3.1.1 PRIKUPLJANJE I ANALIZA POSTOJEĆIH PODATAKA

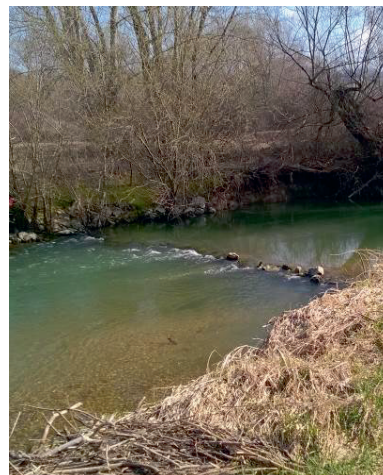
Za potrebe izrade studije prikupljali su se, pregledavali i analizirali postojeći dostupni podatci, a povremeno se provodila i kontrola kvalitete relevantnih podataka. Podatci dobiveni od Slovenije i Hrvatske zatim su analizirani po pojedinim sklopovima. Analizirana i pregledana je i dostupna projektna dokumentacija, koja je do tada napravljena za razmatrano područje rijeke Sutle.

3.1.2 OPIS POSTOJEĆEG STANJA

3.1.2.1 Opći opis sliva rijeke Sutle

Sutla je granična rijeka između Slovenije i Hrvatske koja izvire na šumovitim južnim obroncima brda Macelj pod vrhom Veliki Belinovec te se u blizini sela Jesenice ulijeva u Savu. Njezin sliv obuhvaća 581 km², s nadmorskim visinama između 134 i 640 m, dok je tok rijeke dugačak oko 90 km.

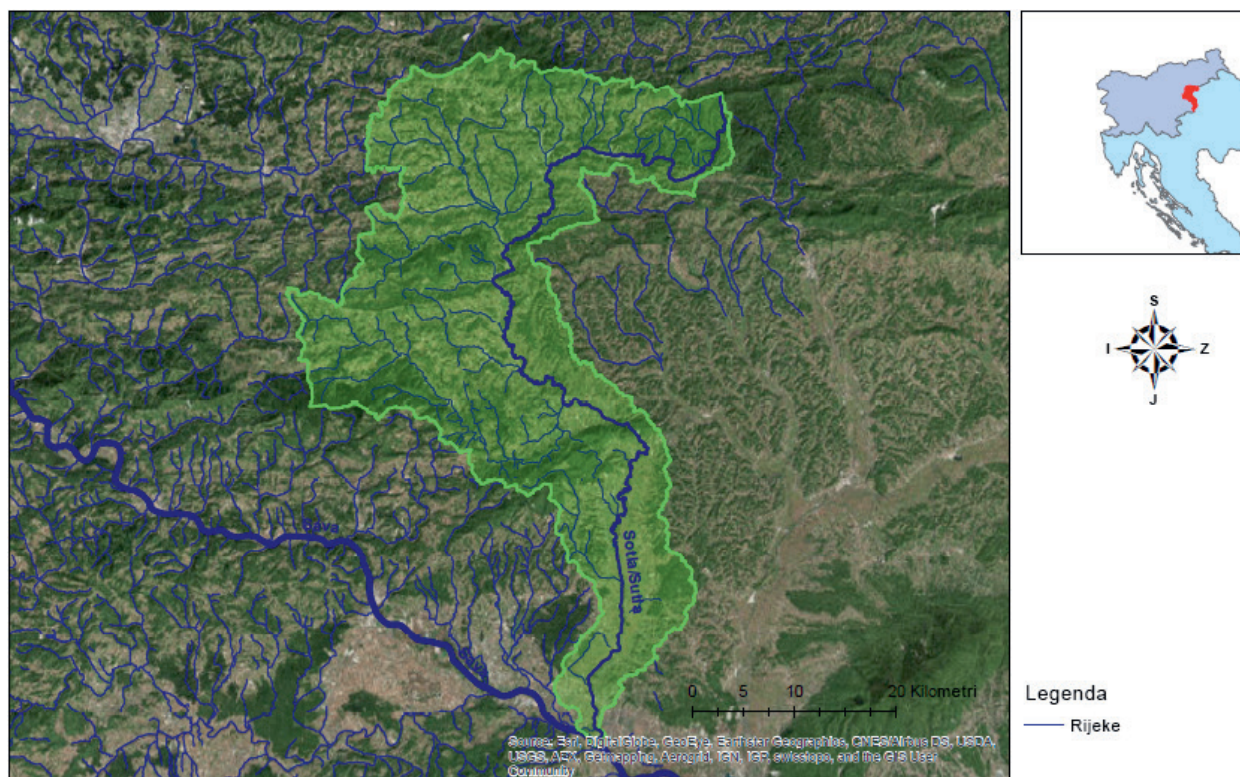
U gornjem dijelu sliva Sutla ima strmi i bujični tok, a onda se njezin pad poprilično brzo smanjuje i prelazi u vijugavi tok. Sutla je stoga u pretežitom dijelu izrazita nizinska rijeka s uglavnom sporim tokom uz riječno korito. U dolini se brzo izmjenjuju šire dionice i uži dijelovi. Ima panonski tip kišno-snježnog riječnog režima s prvim viškom protoka u kasnu jesen i drugim viškom u ožujku te vrlo izražen minimum u mjesecu kolovozu.



Najvažniji vodoprivredni objekt na Sutli je pregrada Vonarje, koja se nalazi uzvodno od ušća Mestinjščice u Sutlu. Osim nekih manjih dionica, korito Sutle prolazi gotovo duž cijelog toka u području Nature 2000.

3.1.2.2 Područje obrade sliva rijeke Sutle u okviru projekta FRISCO 1

U okviru predmetne studije, sliv Sutle obrađuje se od samog izvora na šumovitim južnim obroncima brda Macelj pod vrhom Veliki Belinovec i sve do ušća u Savu u blizini sela Jesenice.



Pregledna karta obrađivanog područja prema projektnom zadatku

3.1.2.3 Geografski opis obrađenog područja

Dolina Sutle predstavlja istočnu granicu pokrajine i istovremeno graničnu rijeku s Republikom Hrvatskom. Obrađeno područje sliva rijeke Sutle je prema geografskoj regionalizaciji Slovenije uvršteno u Voglanjska i Zgornje-soteljska brda. Na istočnoj strani doline nalazi se brdovito područje Hrvatskog zagorja. Cjelokupno obrađeno područje obuhvaća 58.449 ha. Veći dio obrađenog područja (približno 77 %) nalazi se na teritoriju Republike Slovenije, a ostalo je na teritoriju Republike Hrvatske.

3.1.2.4 Klimatske karakteristike

Klima na obrađenom području je subpanonska. Prosječna godišnja temperatura u godinama 1971. – 2000. je oko 10 °C, siječanjska 0 °C i srpanjska 20 °C. Godišnja količina korigiranih oborina u tim godinama bila je između 1100 i 1300 mm i u prosjeku su trajale 115 – 135 dana. Godišnja količina oborina je između 1000 i 1200 mm i blago se smanjuje prema istoku. Jesenski su mjeseci suhi, najkišovitiji su srpanj i rujan.

3.1.2.5 Tla

Obrađeno područje je geološki raznoliko. Ovdje nalazimo vapnenac, glineni škriljac i tuf. Doline rijeka i potoka ispunjene su aluvijalnim sedimentima.

3.1.2.6 Vodeni okoliš

Površinske vode

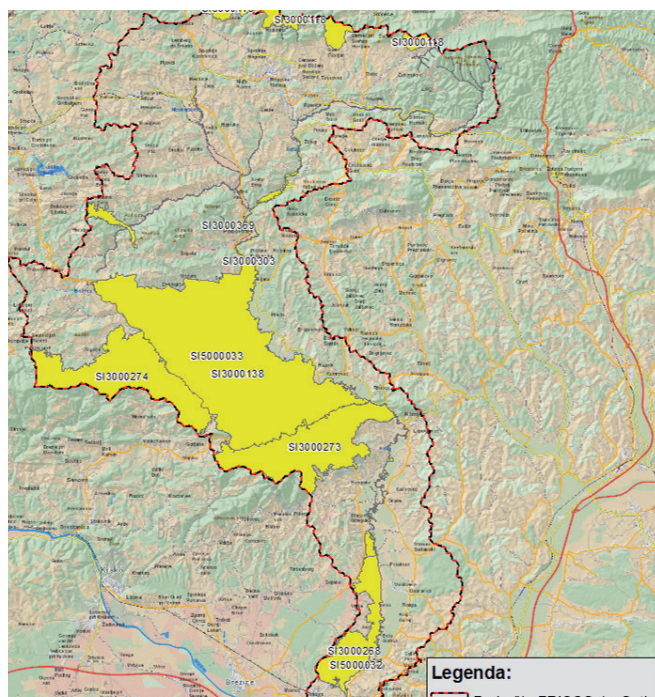
U gornjem dijelu sliva u Sutlu se ulijevaju neki manji desni pritoci, među njima i Draganja u Rogatcu. U naselju Podčetrtak u Sutlu se ulijeva jedan od njezinih najvećih desnih pritoka, Mestinjščica. Nizvodno se u Sutlu ulijevaju i sljedeći veći desni pritoci: Tinski potok, Župnijski potok, Golobinjek, Olimščica i Buča te najveći desni prtok Bistrica. Ispod sutoka s Bistricom Sutla teče uz Kumrovsko polje i zatim prelazi u usku dolinu Zelenjak. Nešto južnije se na području aluvijalne ravnice u nju ulijevaju dva veća desna pritoka: Dramlja i Bizeljsko. Lijevi dio sliva rijeke Sotle uglavnom teče uz podnožje brda i to samo na određenim dionicama presjeka manje doline. Svi lijevi pritoci su kratki i bujičnog karaktera, s povećanim erozijskim djelovanjem. Veći lijevi pritoci su Škrnik, Kladnik i Razvor na području Kumrovca, potok Čemehovec na području Kraljevca na Sotli te potok Dubravica. Najvažniji vodoprivredni objekt na Sotli je pregrada Vonarje, koja se nalazi uzvodno od ušća Mestinjščice u Sutlu.

Podzemne vode

Na obrađenom području postoji nekoliko vodozaštitnih područja izvora pitke vode na slovenskoj i hrvatskoj strani koja se proglašavaju općinskim uredbama.

3.1.2.7 Priroda

Na obrađenom području nalazi se poljoprivredni kulturni krajolik koji se prema reljefnim obilježjima može grubo podijeliti na brdoviti i nizinski dio. Brežuljci su prekriveni lisnatim te miješanim šumama, vinogradima i ekstenzivno obrađenim suhim livadama. U nizinskom dijelu uz rijeku Sutlu dominiraju vlažne livade u poluintenzivnoj do intenzivnoj poljoprivrednoj uporabi. Dobro očuvan kulturni krajolik s ekološkom raznolikošću predstavlja važan životni prostor vrsta koje su zaštićene na europskoj razini. Regionalni park Kozjansko jedno je od najvećih zaštićenih područja u Sloveniji, gdje su stvoreni uvjeti za iznimnu biološku raznolikost zaštićenog područja.



Područja Natura 2000 na području Republike Slovenije (Izvor: ARSO)



Područje Natura 2000 - Ekološka mreža na području republike Hrvatske (Izvor: DHMZ)

3.1.2.8 Kulturna baština

Jedinice nepokretne kulturne baštine na slovenskom dijelu obrađivanog područja upisane su u Registar nepokretne kulturne baštine (RKD) kojeg vodi Ministarstvo kulture. Kulturna baština na području Hrvatske definirana je i zaštićena prostornim planom Krapinsko-zagorske županije i Zagrebačke županije.

3.1.2.9 Stanovništvo

Osim dolina bila su naseljena i brda. Na prijelazu u 20. stoljeće, slika područja bila je uglavnom poljoprivredna. Između 1961. i 1991. godine udio seljačkog stanovništva pao je s gotovo polovice na neznatnu šestinu, a što je posljedica preseljenja stanovništva iz seoskog područja u veća naselja kao što su Hum na Sutli, Klanjec, Kumrovec,...

3.1.2.10 Gospodarstvo

Do nedavno je poljoprivreda imala najvažniju gospodarsku ulogu. U drugoj polovici 20. stoljeća povećao se udio zaposlenih u industriji, prometu, turizmu i uslužnim djelatnostima. Prirodni i kulturno bogat krajolik pruža izvrsne uvjete za razvoj turizma, među kojima zdravstveni turizam danas zauzima najvažnije mjesto.

3.1.2.11 Iskorištenost prostora

Poljoprivrednoj uporabi namijenjeno je više od 65 % područja. Slijede šumska zemljišta s oko 30 % te zbog rijetko naseljenih područja građevinska zemljišta s oko 1 %. Relativno velik je udio vodenih zemljišta koja predstavljaju više od 18 %.

3.1.2.12 Stanje okoliša

Kvaliteta zraka

U obrađivanom području stočarstvo predstavlja važan izvor onečišćenja zraka s brojnim objektima za intenzivan uzgoj životinja koje su izvor emisija.

Stanje voda

Na temelju mjerenja provedenih na mjernim postajama Trilčno, Rogaška Slatina i Rigonce u 2012. i 2013. godini, prikazano je DOBRO kemijsko stanje rijeke Sutle. Podatci o općim fizičko-kemijskim elementima kvalitete pokazuju VRLO DOBRO stanje, dok rezultati mjerenja specifičnih onečišćujućih tvari pokazuju DOBRO stanje. Stoga se ukupno ekološko stanje Sutle ocjenjuje kao DOBRO. Temeljem Plana upravljanja vodama za razdoblje 2013. – 2015. rijeka Sutla je na području obrade podijeljena na nekoliko vodnih tijela. Kemijsko stanje rijeke Sutle procijenjeno je za sva navedena vodna tijela kao DOBRO, dok je ekološko stanje vodnih tijela CSRI0029_001 Sutla i CSRI0029_006 Sutla procijenjeno kao SLABO. Za druga vodna tijela, ekološko stanje procjenjuje se kao DOBRO, osim za CSRI0029_005 Sutla, koje je procijenjeno kao UMJERENO.

Opća ocjena kemijskog stanja podzemnih voda vodnog tijela Posavsko hribovje do središnje Sutle 2015. godine pokazuje DOBRO stanje.

3.1.3 HIDROLOŠKA ANALIZA

3.1.3.1 *Opis ishodišta i korištenih podataka*

Analiza postojećih podataka pokazala je da zbog manje količine oborina (oko 1200 mm godišnje) i dominacije niskih brda, rijeka Sutla ima relativno nizak specifični odljev (16,8 l/s/km²), a odvodni koeficijent iznosi oko 0,45.

Za potrebe hidrološke analize sliva rijeke Sutle korišteni su podatci o topografiji, tlu i hidrografiji. Postojeći hidrografski podatci uključuju riječnu mrežu, hidrografska područja (samo za slovenski dio sliva), lokacije meteoroloških i vodomjernih postaja te mjerenja oborina i protoka na navedenim postajama.

U slivu rijeke Sutle i njezinoj bliskoj okolini nalazi se nekoliko meteoroloških postaja, i na slovenskoj i na hrvatskoj strani. Za potrebe predmetne studije, na temelju razgraničenja sliva rijeke Sutle s Thiessenovim poligonima, odabrano je više postaja koje imaju više od 20 godina dnevnih mjerenja oborina u razdoblju između 1952. i 2016. godine. To su: Bizeljsko, Ložice, Podčetrtek, Podsreda, Rogaška Slatina, Šentjur, Zbelovska gora, Žetale i Žusem (u Sloveniji) te Desinić, Donja Pušća, Klanjec, Kumrovec, Marija Gorica i Veliko Trgovišće (u Hrvatskoj). Za kalibraciju hidrološkog modela korištena su i satna mjerenja protoka.

Na temelju analize vjerojatnosti maksimalnih dnevnih oborina, izmjerenih na postajama Bizeljsko, Ložice, Podčetrtek, Podsreda, Rogaška Slatina, Šentjur, Zbelovska gora, Žetale i Žusem (u Sloveniji) te Desinić, Donja Pušća, Klanjec, Kumrovec, Marija Gorica i Veliko Trgovišće (u Hrvatskoj), prema Gumbelovoj metodi određene su maksimalne 24-satne vrijednosti oborina s različitim povratnim razdobljem. Ekstremne oborine s kraćim trajanjem bile su određene zatezanjem na povratno razdoblje za ekstremne oborine za postaje Gornji Lenart, Planina kod Sevnice i Rogaška Slatina. U sklopu studije procijenjeni su oborinski događaji s povratnim razdobljem od 10, 25, 50, 100, 500 i 1000 godina.

Za izračun protoka visokih voda rijeke Sutle u odabranim presjecima korišten je program RiverFlow2D. Izračun je izvršen na temelju DMR 12,5 m, odabranih CN vrijednosti te procijenjenih ekstremnih vrijednosti oborina s različitim povratnim razdobljima i različitim trajanjem.

3.1.3.2 *Postavljanje hidrološkog modela*

S ciljem olakšavanja kontrole modela, za hidrološko modeliranje rijeke Sutle korišten je alat HEC-HMS (USACE, 2000).

Za izračun oborinskih gubitaka u pojedinom podslivu korištena je SCS metoda kojom je višak oborina, koje površinski otječu, ocijenjen kao funkcija odvodnog potencijala, prethodne vlažnosti tla i korištenja tla.

Odvodni potencijal ovisi o prevladavajućem tipu tla, koji je određen za cijelu Sloveniju u okviru projekta Projektacija količina vode za navodnjavanje u Sloveniji (CRP Konkurentnost Slovenije 2006. – 2013., 2012.). Rezultati spomenutog projekta korišteni su za utvrđivanje odvodnog potencijala u slovenskom

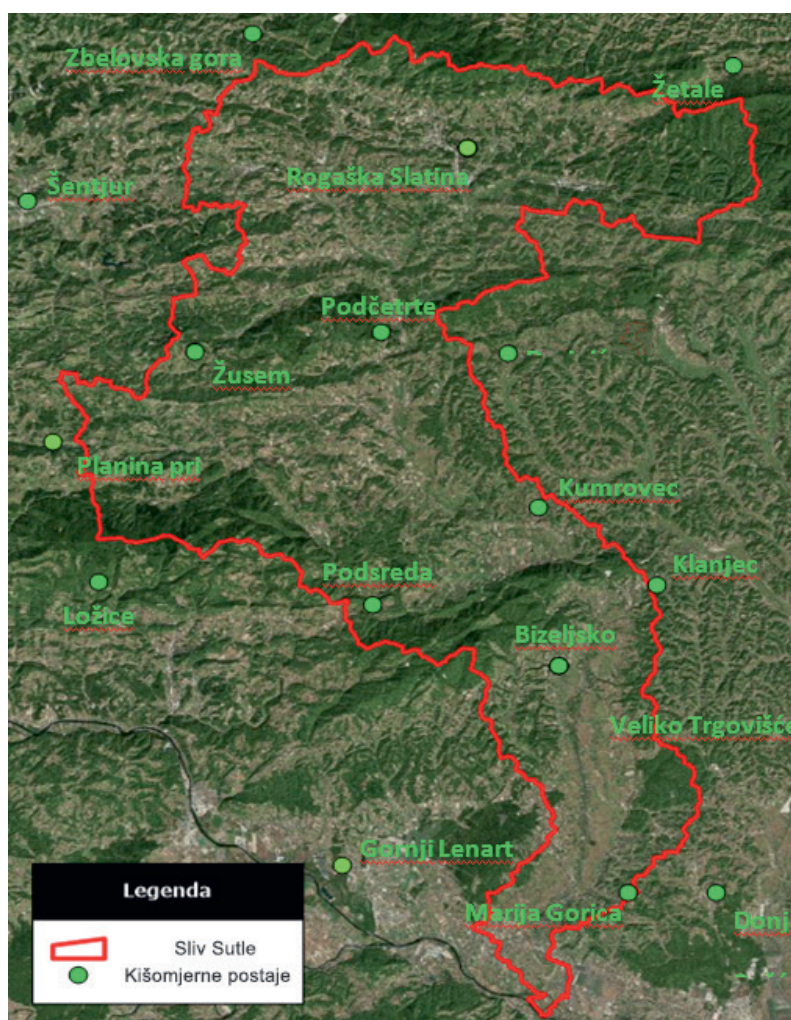
dijelu sliva rijeke Sutle, a vrijednosti odvodnog potencijala u hrvatskom dijelu sliva su prikladno prilagođene.

Za izračun propagnacije korištena je metoda Muskingum-Cunge. U tu su svrhu za pojedinu propagnaciju uneseni podaci o njezinoj duljini (u m), nagibu (m/m) i Manningovom koeficijentu. Prevladavajući oblik korita odn. dna doline opisan je za pojedinu propagnaciju s osam točaka, na temelju DMR 1 m (LIDAR).

U model HEC-HMS unesena je i pregrada Vonarje, a podaci o dimenzijama pregrade, podnog ispusta i bočnog prelijevanja sažeti su prema poslovniku pregrade. Krivulja prelijevanja Q-H također je definirana. Pregrada Vonarje bila je uzeta u obzir kao suha retencija.

3.1.3.3 Analiza oborina

U slivu rijeke Sutle njezinoj bliskoj okolini nalazi se nekoliko meteoroloških postaja, i na slovenskoj i na hrvatskoj strani. Sa stajališta određivanja oborina s različitim povratnim razdobljima, važne su postaje sa što duljim nizom mjerenja. Za potrebe predmetne studije odabrano je 17 postaja koje imaju više od 20 godina dnevnih mjerenja oborina u razdoblju između 1952. i 2016. godine.



Lokacije analiziranih oborinskih postaja

Budući da odabrane postaje (uz izuzetak Planine kod Sevnice, Rogaške Slatine i Gornjeg Lenarta) nemaju ocjenjenih povratnih razdoblja za ekstremne oborine, pregledani su i njihovi arhivski podatci i određene maksimalne dnevne količine oborina za pojedinu godinu. Za svaku od navedenih postaja provedena je statistička analiza podataka o maksimalnim dnevnim količinama oborina u pojedinoj godini korištenjem Gumble metode, pri čemu je korišten program FreqPlot. Rezultat analize predstavljaju ekstremne dnevne vrijednosti oborina s 10, 25, 50, 100 i 500-godišnjim povratnim razdobljima. Ekstremne oborine s povratnim razdobljem od 1000 godina (za 9 od 17 odabranih postaja) utvrđene su ekstrapolacijom.

Zbog velikog broja oborinskih postaja i usporedivih vrijednosti ekstremnih dnevnih oborina među određenim postajama, u nastavku je odabrano 5 reprezentativnih oborinskih postaja koje se nalaze u slivu rijeke Sutle. To su Rogaška Slatina (usporediva s postajama Zbelovska gora i Žetale), Žusem, Podčetrtrek (usporediva s postajama Desinić i Kumrovec), Podsreda i Bizeljsko.

Ekstremne vrijednosti oborina nižih intenziteta nisu mogle biti statistički ocjenjene. Stoga su niže vrijednosti intenziteta bile zategnute do vrijednosti koje je ARSO za odabrane postaje procijenio prema Gumble metodi (2015.). U tu svrhu korišten je odnos između statistički određenih dnevnih oborina i ekstremnih 24-satnih oborina. Za potrebe hidroloških izračuna korištena je linearna raspodjela oborina.

3.1.3.4 Kalibracija hidrološkog modela

Hidrološkim modelom pokušalo se u većoj mjeri približiti i prethodnim studijama koje su analizirale pojedine kraće dionice sliva. S obzirom na izvršenu usporedbu, odstupanja između protoka ocjenjenih prema postojećoj studiji i prethodnim studijama ne prelaze 10 %, što je, prema procjeni tvorca studije prikladno.

3.1.3.5 Rezultati hidrološkog modeliranja

S hidrološkim modelom na 11 profila uzduž rijeke Sutle ocjenjene su vrijednosti visokih voda s povratnim razdobljem 10, 25, 50, 100, 500 i 1000 godina. Hidrološki izračuni napravljeni su pomoću alata HEC-HMS, i to za različita trajanja oborina, s ciljem pronalaska protočno najnepovoljnijeg oborinskog događaja na lokacijama odabranih profila.

Sažetak rezultata modeliranja prikazan je u tablici gdje se, osim maksimalnih tokova s različitim povratnim razdobljima, prikazuju i najnepovoljnija trajanja oborina za pojedinu lokaciju.

Br. profila	Opis	Razvođe (km ²)	Povratno razdoblje					
			Q10	Q25	Q50	Q100	Q500	Q1000
1	VP Rogatec	40	43,6	54,4	65,0	77,0	103,9	116,6
2	Pod Draganjom	48	54,3	67,5	80,1	95,6	129,2	145,4
3	Do Ločnice	66	68,1	88,1	103,4	122,9	167,6	189,4
4	Pod Ločnicom	88	91,3	119,0	141,3	166,7	225,8	254,1
5	Pregrada Vonarje	107	89,8	110,7	131,3	156,8	214,7	243,5
6	Pod Mestinjščicom	241	97,7	121,8	142,2	158,9	209,6	231,9

7	Do Bistrice	326	101,9	130,3	153,7	175,5	236,2	262,7
8	Pod Bistricom	434	143,5	190,2	229,9	275,1	378,3	420,2
9	VP Zelenjak	458	150,2	198,3	238,1	285,2	394,0	439,1
10	VP Rakovec	559	162,7	214,3	251,7	290,2	414,6	468,4
11	Ušće u Savu	573	163,1	215,1	252,9	290,3	413,0	467,4

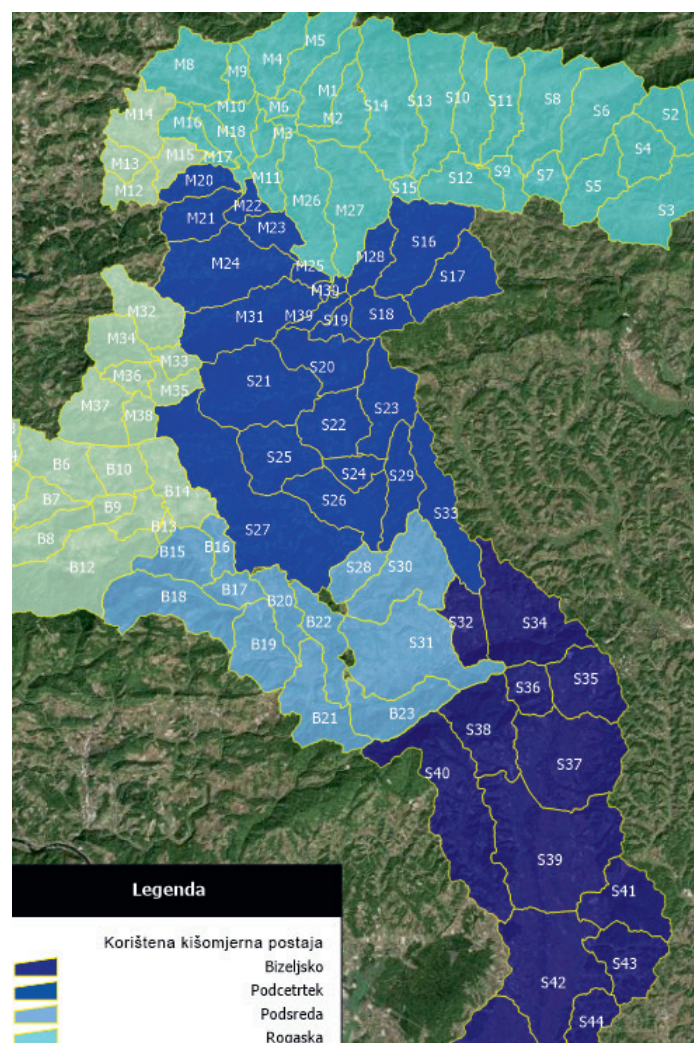
Najnepovoljnije vrijeme trajanja
oborina:

6 h	12 h	15 h	18 h	24 h	30 h	36 h
-----	------	------	------	------	------	------

Izračunati maksimalni protoci (u m³/s) s različitim povratnim razdobljima i najnepovoljnijim trajanjima oborina

3.1.3.6 Izljev poplavnih valova

Za potrebe unosa rezultata hidrološkog modela u hidraulički model, hidrogrami su ocijenjeni u hidrološkom modelu na dijelu ušća svih pritoka i na pojedinim kraćim dijelovima rijeke Sutle ("vlastita voda"). Poplavni valovi pokrivaju cijeli sliv rijeke Sutle. Poplavni valovi ocijenjeni su na 40 lokacija. Poplavni valovi podijeljeni su na dva dijela: područje iznad Vonarja i područje ispod Vonarja. Procijenjeni su hidrogrami koji pripadaju najnepovoljnijim oborinama. Na dionici iznad Vonarja, za povratno razdoblje od 10 i 25 godina, oborine s trajanjem od 6, 12, 15 i 24 sata pokazale su se kao najnepovoljnije, dok su se za povratna razdoblja od 50, 100, 500 i 1000 godina, osim već spomenutih razdoblja oborina najnepovoljnijima pokazale one s trajanjem od 18, 30, 36 i 42 sata. Na dionici ispod Vonarja najnepovoljniji su bili sintetični izljevi s trajanjem od 15, 18, 24, 30, 36 i 42 sata.



Raspodjela sliva rijeke Sutle prema podslivovima, s prikazom razmatranih oborinskih postaja

3.1.4 HIDRAULIČKA ANALIZA

3.1.4.1 *Dionica od izvora Sutle – Kunšperk (Bistrica ob Sotli)*

3.1.4.1.1 Značajke doline

Za dolinu Sutle može se reći da je poplavna dolina već u samoj dionici gornjeg dijela sliva (uzvodno od Trlična), gdje korito teče po relativno plitkom i na nasipima zaraslom koritu rijeke, dok se višak vode gubi na pretežito šumom zarasloj ravnici. Preko korita na ovoj dionici prelazi nekoliko mostova, koji su većinom napušteni odn. koriste se vrlo rijetko.



Korito Sutle u gornjem dijelu

Poplave Sutle na predmetnoj dionici ne predstavljaju značajnije probleme. U dolini se nalazi i nekoliko stambenih objekata koji su postavljeni malo dalje od korita i na nešto višem ili povišenom terenu.

Prvi veći potencijal štete u dolini Sutle javlja se u Trličnom, gdje se visoke vode često izlijevaju iz korita. Problem je poddimenzionirano premošćivanje i opća niska provodljivost korita rijeke nad selom.

Ispod Trlična, dolinu Sutle presijeca željeznički nasip koji siječe poplavno područje i iza kojeg se stvara svojevrsna brana (pozitivno sa stajališta zadržavanja poplavnih voda). Između Dobovca i Rogatca, korito Sutle struji niz dolinu između željezničkog nasipa na slovenskoj strani i ceste Hromec – Hum na Sutli. Korito je, osim na području premošćivanja, prirodna i vijugava te prekrivena drvećem i grmljem. Ovaj je pojas vrlo rijetko naseljen odn. sagrađen, prisutno je samo nekoliko objekata koji su smješteni uz rub doline. Na poplavnoj ravnici u većoj su mjeri prisutne obradive površine.

Rogatec je najveće mjesto u dolini Sutle, koje se nalazi u neposrednoj blizini rijeke, a u značajnom dijelu i na njezinom poplavnom području. S obzirom na prethodno provedene hidrauličke analize, Sutla poplavljuje na ulazu u Rogatec sve do glavne ceste Rogatec – Dobovec. Poplavljena je i željeznička pruga Grobelno – Zaprešić od Zahrenberškog potoka do željezničkog mosta preko Draganje. Na području iznad ušća Draganje ugroženi su stambeni i gospodarski objekti u blizini riječnog korita i na području između željezničke pruge i glavne ceste. Zbog poddimenzioniranog mosta poplavljeno je i šire područje graničnog prijelaza u Rogatcu.



Poddimenzionirani most na Celjskoj cesti u Rogatcu i VP Hum na Sutli

Sve do poprečnog nasipa ceste prema graničnom prijelazu Rajnkovec u dolini nema elemenata koji bi imali značajan utjecaj na vodni režim. Poplavne se vode slobodno prelijevaju pretežito po livadnim površinama. Također, osim u jednom području (na lijevoj obali Sutle neposredno ispod ušća u Teršnicu), u nižem dijelu doline nema prisutnog naselja.

Cestovni nasip prema graničnom prijelazu Rajnkovec predstavlja u prosjeku 1 m visoku barijeru koja prekida uzdužni poplavni tok, nakon čega su vode koncentrirane na mostovne otvore odn. nakon ispunjenja područja iza nasipa, prelijevaju se prema jugu. Tijekom poplava 9.10.1980. (rang do Q_5) visoke vode navodno se nisu prelijevale preko nasipa, dok prikazi poplava 5.8.1987. (rang $Q_{10} - Q_{20}$) bilježe prelijevanje preko tog nasipa. Ostali prostorno zabilježeni događaji poplave u dolini Sutle nisu dostupni. U slučaju poplava s duljim povratnim razdobljima, realno je očekivati poplavljanje poprečnih cesta.

Pod graničnim prijelazom Rajnkovec, na poplavnoj ravnicu na desnoj obali Sutle postavljen je komunalni uređaj za čišćenje Rogaška Slatina (9000 PE) koji pročišćava otpadne vode Rogaške Slatine i Rogatca. Tehnološki dijelovi uređaja za čišćenje podignuti su iznad postojećeg terena, čime bi trebali biti zaštićeni od dosezanja visokih voda, dok se odgovarajući poslovni objekt nalazi na razini postojećeg terena. Uređaj za čišćenje je, dakako, važan zbog opće funkcije pročišćavanja otpadnih voda, a istodobno, smanjenjem ispuštanja polutanata u Sutlu, poboljšane su mogućnosti postizanja prihvatljive razine zagađenja Sutle, što će omogućiti ponovnu uspostavu rada pogona Vonarskog jezera.

Sutla ispod uređaja za čišćenje prelazi u (projektno) utjecajno područje umjetne akumulacije Vonarskog jezera (također Sutlansko jezero), s pregradom visine 12 m, predstavlja najvažniji vodoprivredni objekt na Sutli. Sama pregrada nalazi se u tjesnacu ispod sela Vonarje (uzvodno od ušća Mestinjščice u Sutlu). Akumulacija je izgrađena kao višenamjenska mokra retencija.



Pregrada Vonarje (izvor: Hidrosvet d.o.o.)

Duljina akumulacije po dolini iznosi približno 6 km, a površina iznosi 195 ha. Izgrađene su dvije pregrade, gornja Prišlin i donja Vonarje. Gornja betonska pregrada Prišlin osigurala bi stalno stvaranje jezera tijekom rada sustava, čime bi se spriječilo stvaranje močvare od gornjeg dijela doline. Donja pregrada Vonarje izgrađena je kao na tlu nasuta pregrada, visine 12,0 m. Danas uz pregradu djeluju samo kao suhe retencije.



Pregrada Prišlin

Objektima na pregradi u dogovoru s hrvatskom stranom upravlja slovenska strana koja provodi redovite radove održavanja. Posljednjih godina došlo je do ozbiljnih oštećenja na betonskim i armiranobetonskim upravljačkim jedinicama pregradnog objekta, dok je hidromehanička i elektro-mehanička oprema dotrajala i potrebna je njihova obnova.

Dolina u utjecajnom području retencije je nenaseljena, a površine u gornjem dijelu su pretežno travnate i obradive.

Približno 500 m ispod pregrade Vonarje, Sutla se spaja s Mestinjščicom. Mestinjščica i Bistrica najveći su pritoci Sutle. S obzirom na pojavu poplava u godinama nakon pražnjenja retencije Vonarje, utvrđeno je da, unatoč zadržavanju visokih voda Sutle, Mestinjščica predstavlja toliko značajan vodotok, da Sutla obogaćena vodama Mestinjščice na nizvodnoj dionici još uvijek poplavljuje.

Nizvodno od ušća Sutle i Mestinjščice, na desnoj obali Sutle u Podčetrtku postavljen je vodeni park Aqualuna (Terme Olimia). Odvod vode iz poplavnog područja iznad parka usmjeren je poprečnim nasipom sjeverno od parka natrag do korita rijeke. Pod vodenim parkom, poplavna se ravnica ponovno širi, ali se kod Harinzlake opet sužava. Neposredno ispod suženja, dolinu Sutle (osobito niži, lijevi nasip) siječe poprečni nasip s platoom MP koji povezuje granične prijelaze u Podčetrtku.

Ispod graničnog prijelaza, dolina se ponovno proširuje, dok je poplavno područje općenito ograničeno željezničkim nasipom na slovenskoj strani te podnožjem brda na području Poljanske Luke na hrvatskoj strani. Ravnica je gotovo u potpunosti korištena za poljoprivredne/obrađive površine, samo obale korita su obrasle drvećem i grmljem.

Visoke vode Sutle preko mosta na Olinjskom potoku slijevaju se i u razvođe željezničkog nasipa. Korito Sutle regulirano je na širem području ušća u Olinjski potok tijekom izgradnje željezničke pruge Stranje - Savski Marof (1956. – 1960.).



Vodomerica postaja Bratkovec i stanje u koritu ispod nje

Korito ispod vodomerice postaje nije održavano – zaraslo je i djelomično ispunjeno nakupljenom naplavinom.

Na području Imena odn. Sutlanske Poljane, dolina Sutle proširuje se na preko 1 km širine. Na Imenskom polju, kao i na Sedlarjevu, korito ima prirodni vijugavi tok. Gotovo sve površine u dolini koriste se u poljoprivredne svrhe, samo je korito rijeke prekriveno drvećem. Poplave 1980. i 1987. godine prelijele su dno doline po cijeloj njezinoj širini. Dno doline gotovo je nenaseljeno, a objekti najbliži rijeci postavljeni su na povišenom terenu.

Na području Golobinjeka, Imensko polje završava prelaskom preko željezničkog nasipa koji sa zapadnog ruba doline prelazi na sjeveroistočni rub Sedlarjeva. Naime, nasip predstavlja svojevrsnu branu

poplavnom toku, no, unutar poplavnog područja nema prisutnih objekata ili osjetljive infrastrukture, i zato je takav učinak zbog povećane retencije čak i pozitivan. Sutla je regulirana u vrijeme izgradnje željeznice i na području predmetnog prijelaza.



Željeznički most na završnom dijelu Imenskog polja

Sedlarjevo je manje selo na terasi iznad rijeke Sutle. Selo ima i granični prijelaz s prijelazom preko Sutle. Platoi MP na obje obale postavljeni su približno 0,6 – 0,8 m iznad razine okolnog terena, cesta koja prolazi hrvatskim teritorijem prema selu Plavić izvedena je samo 0,3 m iznad terena, zbog čega može biti preplavljena čestim visokim vodama. Isto je tako iznad razine okolnog terena dignuto i područje malog zaselka od nekoliko kuća na sredini doline, pa je moguće pretpostaviti da objektima prijeti opasnost od poplave.

Nasip željezničke pruge prolazi kroz SI odn. S rub doline, dok otvori u nasipu omogućuju širenje poplavnih voda Sutle i u razvođe nasipa. S obzirom na zabilježene poplave i konfiguraciju terena, očekuje se više događaja poplave čitavog dna doline.



Dolina Sutle pod Zagorskim Selom

Na području Pleške šume, Sutla iz SI smjera kreće se prema JI, dok se dolina odn. potencijalno poplavno područje na putu prema ušću u Bistricu znatno sužava. Osim geomorfološkog sužavanja, u dolini se nalaze još i (inače zapuštene) željeznička pruga i cesta. Na predmetnoj dionici korito Sutle također je regulirano kod izgradnje željezničke pruge.

Ulaz Sutle na Bistričko polje je prilično složen s hidrotehničkog stajališta. Najprije se s desne strane Sutli priključuje jak pritok Bistrica, dok su prelivene vode neposredno pod ušćem usmjerene željezničkim nasipom, a ispod željezničke pruge u nastavku nalazi se cestovni nasip prema MP i sam plato MP Bistrica ob Sotli.

Tok željezničkog nasipa s mostom, koji pored glavnog otvora u koritu na svakoj strani ima inundacijski otvor, stvara džep u koji se prihvaćaju prelivane vode Sutle i Bistrice. U nasipu željeznice, južno od mosta, napravljena je i manja inundacija širine 2 m, što nema značajan utjecaj na prohodnost poplavnih voda. Iznad mosta u koritu Sutle prisutan je prag.

U Bistričkom (Kumrovačkom) polju, nasip željeznice ponovno prelazi na slovensku stranu. Na dnu doline, približno 1 m iznad razine terena uz korito rijeke Sutle, nalazi se selo Polje kod Bistrice, a neki od objekata u Kumrovcu već dopiru u dno. Korito Sutle na Bistričkom polju regulirano je, a ostaci vijuga sada su riječni izbojci. Bistričko polje završava u Kunšperku prijelazom u usku dolinu Zelenjak.



Bistričko polje iznad Kunšperka

3.1.4.1.2 Hidrološki podatci

Na obrađenoj dionici Sutle nalaze se tri vodomjerne postaje (VP), odnosno Rogatec (SLO), Hum na Sutli (HR) i Bratkovec (HR). U prošlosti je bila aktivna još i vodena postaja Miljana (Imeno). Vodomjerna postaja je i na jezeru Vonarje opremljena vodomjernom letvom. Mjerenja se provode samo pri visokovodnim pojavama. U Rogatcu je vodomjerna postaja bila smještena na desnoj obali, neposredno pod mostom na graničnom prijelazu. Bila je aktivna između 1949. i 1989. godine. U 2016. godini, u sklopu projekta BOBER, na istoj je lokaciji ponovno je uspostavljena vodomjerna postaja.

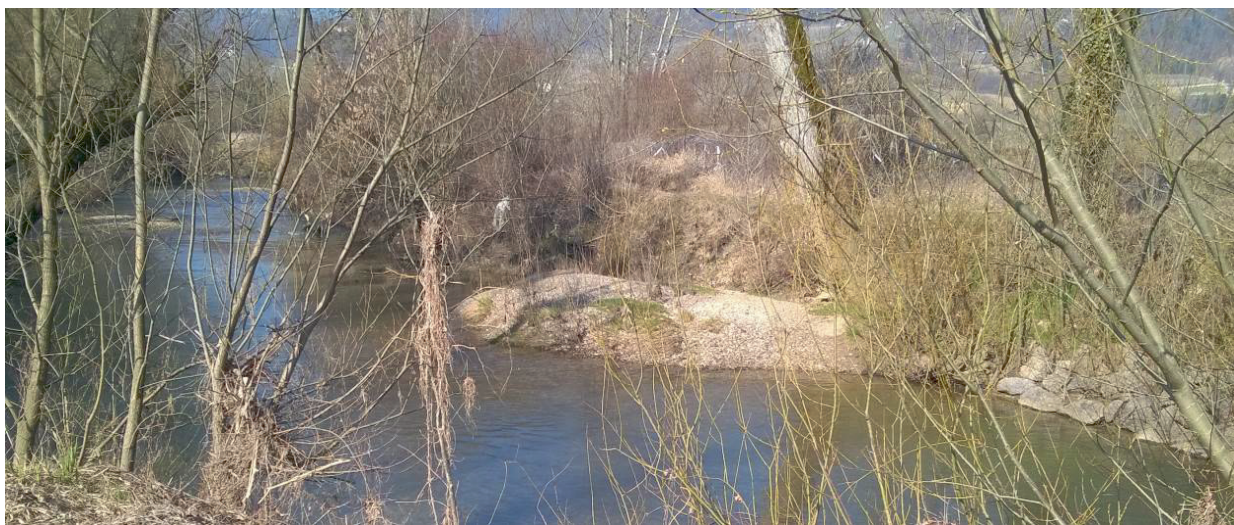
Na istoj dionici Sutle u Rogatcu odn. Humu na Sutli nalazi se i hrvatska VP koja je pozicionirana iznad mosta na graničnom prijelazu. Za predmetnu postaju nisu dostupni on-line arhivski podaci, provedena je samo statistička analiza izmjerenih protoka za razdoblje 2008. – 2015. Postaja se nalazi iznad poddimenzioniranog mosta, a zbog toga interpretacije protoka s obzirom na zabilježenu razinu vode mogu biti pogrešne. Na području Imena odn. Bratkovca, na Sutli je postavljena VP Bratkovec u upravi DHMZ-a, koji djeluje od 1993. godine.

3.1.4.2 Dionica Kunšperk (Bistrica ob Sotli) do ušća u Savu

3.1.4.2.1 Značajke korita

Obrađena dionica Sutle od tjesnaca Zelenjaka do ušća u Savu svrstava se u donji tok Sutle. Od tjesnaca Zelenjak, uz rijeku Sutlu se prostire prostrana dolina prosječne širine približno 1,5 km. U ovom dijelu Sutla ima nekoliko manjih desnih i lijevih pritoka (uglavnom je riječ o manjim kanalima i hidromelioracijskim kanalima), kao što su npr. potok Sračjek, Bizeljski potok, Brezovski potok, Sicejev Graben, potok Dramlja i Šica. Na ovoj se dionici u dolini s lijeve strane Sutle proteže željeznička pruga koja je u većem dijelu podignuta iznad okolnog terena za najmanje 0,5 do 1 m. Tako su svi lijevi pritoci u ovom dijelu provedeni ispod nasipa željezničke pruge kroz otvore. S vremenom se zbog uređenja profil protoka korita Sutle preoblikovao.

Sutla je izrazito vijugava na dionici od tjesnaca Zelenjak do naselja Gregovce. Na ovoj dionici korito nije regulirano. Obale korita su na dionici uz naselja Mehaničev dol i Lepoglavec uglavnom obrasle visokim stablima i oskudnom niskom vegetacijom. Na nekim su mjestima obale također potpuno bez vegetacije, kao što su npr. lijevi nasip uz naselje Mehaničev Dol, gdje je korito izrazito plitko. U ovom se području na krivini nalaze dvije razine (odn. manje brane), koje umiruju tok vode i smanjuju bočnu eroziju u krivini i propadanje lijevog nasipa Sutle. Na nizvodnim dionicama još je izraženije vijuganje Sutle, a obale korita su i jače obrasle. Gusta niska vegetacija ne nalazi se samo na obalama, već i u priobalnim područjima. Zbog izrazitih vijuga, na tom se području nakuplja šljunak na unutrašnjim stranama krivina.



Šljunak u krivini korita Sutle, na dionici snažnog vijuganja

Na dionici nizvodno od naselja Gregovce obale korita manje su obrasle, a posvuda su prisutna visoka stabla. Očigledno je i to da korito na ovoj dionici provodi veće količine vode nego na uzvodnim, plićim i vijugavim dionicama. Na pojedinim je lokacijama, na toj ravnijoj dionici, korito izuzetno zaraslo gustom niskom vegetacijom, što ima izrazito nepovoljan utjecaj na zaštitu od poplava naselja u priobalnim područjima.



Manje su obrasle obale i oblikovan profil korita nizvodno od naselja Gregovce (lijevo) i razina nizvodno od krivulje prije graničnog prijelaza Rakovec (desno)

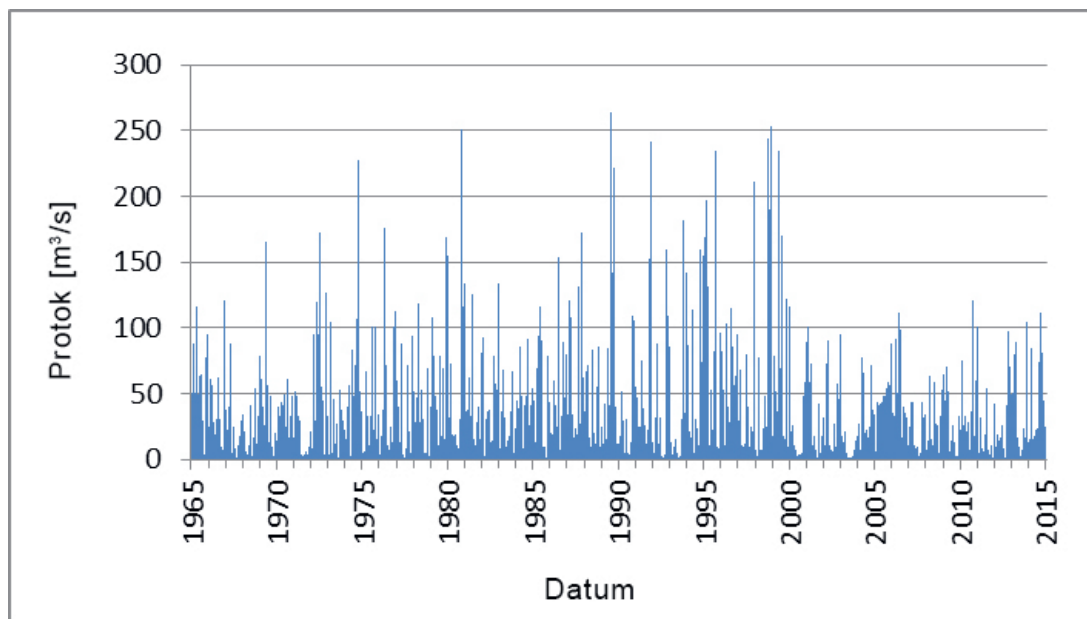
Na dionici uz granični prijelaz Rakovec nizvodno se nalazi nekoliko razina koje učinkovito smiruju tok vode i smanjuju bočnu eroziju na uzvodnom dijelu. Razine u koritu Sutle na nizvodnim dionicama nalaze se još i uz naselje Vukovo selo, uz granični prijelaz Rigonce (odn. granični prijelaz Harmica te uz Rigonce. Opisana dolina Sutle prostire se sve do željezničke pruge Zagreb-Ljubljana, gdje Sutla teče ispod mosta željeznice na poplavno područje rijeke Save. Na toj je dionici Sutla pri pojavi visoke vode Save ujezerena. S obzirom na zabilježene poplave iz 2010. godine može se zaključiti da je utjecaj Save na Sutlu također uzvodno od željezničke pruge Zagreb-Ljubljana.

3.1.4.2.2 Hidrološki podatci

Na obrađenoj dionici Sutle nalaze se dvije vodomjerne postaje, to su Zelenjak i Rakovec I. Prva se nalazi na početku dionice na lijevoj obali u tjesnacu Zelenjak, uzvodno od naselja Lipoglavec i Mihanovičev Dol, a druga na desnoj obali uz naselje Rakovec.



VP Zelenjak - lijevi nasip (lijevo) i VP Rakovec I - desni nasip (desno)



Maksimalni protoci Sutle (po mjesecima) VP Rakovec I u posljednjih 50 godina
(arhiv www.arso.gov.si)

Analiziran je dokument »Procjena opasnosti za općinu Brežice« (Općina Brežice) u kojem se navodi da rijeka Sotla, zbog obilnih padalina, razmočenosti zemljišta i topljenja snijega u slivu, ugrožava prije svega nekoliko izloženih kuća u selima Orešje, Bračna vas, Nova vas, cestu prema međudržavnom graničnom prijelazu Nova vas, Stara vas, Veliki Obrež i Rigonce.

U članku »Poplave i klizišta u jesen 1998. godine« (Slavko Šipeć, UJMA, 2000) autor iznosi sljedeće zaključke u vezi s poplavama 1998. godine:

Poplave 13. i 14. rujna 1998.: »U Rogatcu i Dobovcu, zbog narasle Sutle, poplavljeno je nekoliko podrumskih prostora stambenih kuća te poduzeće Emkor. Sotla je poplavila i cestu Podčetrtak-Bistrica ob Sotli, a kasnije se prelila i u donjem toku. Zbog poplavljenja rijeke Sutle, zatvorena je cesta Bizeljsko-Orešje i međudržavni granični prijelaz u Orešju. Dvije kuće su poplavljene u Novoj vasi. U Drožanju u općini Sevnica voda je poplavila cestu, a poplavljene su bile i ceste u području Blance. U Podvrhu je lavina odnijela 50 metara ceste Klenovček-Podvrh te srušila vinski hram.«

Poplave između 5. i 10. listopada 1998.: »U mjestu Trebež u općini Brežice, meteorska voda je poplavila nekoliko podruma i stambenih objekata.

Poplave između 4. i 6. studenog 1998.: »U općini Brežice Sava je također poplavila područja uz rijeku te sela Rigonce i Loče i djelomično Brežice. Kada su se Sava i manji vodotoci već smirili, počela je poplavljavati Sotla. U Rigoncima u općini Brežice uništila je sanirani cestovni nasip i poplavila regionalnu cestu Dobova-Rigonce, Republika Hrvatska. Granični prijelaz Orešje također je bio zatvoren kao posljedica poplava uz Sutlu, a ugrožene su bile kuće i gospodarski objekti.«

Stoga je u nastavku dana procjena rizika od poplava u spomenutim naseljima s obzirom na postojeće podatke o poplavama. Pritom su korišteni sljedeći GIS slojevi o poplavama:

- slovenska integralna karta opasnosti od poplava i razreda opasnosti od poplava za utjecajno područje HE Mokrice (desni nasip Sutle),
- karta razreda opasnosti od poplava za dionicu Sutle od utoka Šice do ušća u Savu (»Uređenje Sutle za osiguravanje poplavne sigurnosti područja Rigonca i Dobove«, Idejna osnova, 2012., IS projekt d.o.o. br. 13 i 13b-S/12)
- zabilježena linija poplave kod pojave visokih voda 1990. i 2010. godine na području ušća Save i Sutle (desna i lijevi nasip Sutle),
- hrvatske karte opasnosti od poplava i ugroženosti za cijeli lijevi nasip Sutle na dionici od Bistrice uz Sutlu do ušća u Savu (*hrvatski: Karte opasnosti od poplava, Karte rizika od poplava*).

Hrvatske karte opasnosti od poplava i ugroženosti obuhvaćaju nisku, srednju i visoku vjerojatnost pojave poplava. Pritom srednja vjerojatnost predstavlja povratno razdoblje poplava od 100 godina, dok niska vjerojatnost predstavlja povratno razdoblje veće od 100 godina te uz to obuhvaća i poplave zbog urušavanja visokovodnih nasipa te pregrada – umjetne poplave.

Hrvatske karte ugroženosti izrađene su na temelju rizika od poplava i korištenja tla te informacija o lokacijama ranjivih objekata kao što su škole, vrtići, odlagališta, domovi za starije osobe te ceste i željeznice koje su izložene niskim, srednjim i visokim vjerojatnostima poplava. Korištena uporaba tla podijeljena je na sljedeće kategorije:

- Površine intenzivne poljoprivredne uporabe (»intenzivna poljoprivreda«)
- Površine ostale poljoprivredne uporabe (»ostala poljoprivreda«)
- Močvare i oskudna vegetacija (»Močvare i oskudna vegetacija«)
- Vodene površine (»Vodene površine«)
- Sportski i rekreativni objekti (»Sportski i rekreacijski sadržaj«)
- Područje gospodarske uporabe (»Područje gospodarske rabe«)
- Područje naselja (»Naseljeno područje«)
- Šume i niska vegetacija (»Šume i niska vegetacija«)

Prema hrvatskim kartama ugroženosti, na lijevoj obali su na toj dionici poplava izložena samo rijetka područja naselja. To su sljedeće 4 lokacije (od krajnje uzvodne do krajnje nizvodne):

- područje između rijeke Sutle i željeznice kod sela Mihanović Dol,
- područje između rijeke Sutle i željeznice na graničnom prijelazu Rigonce (Harmica),
- područje između rijeke Sutle i VV nasipa u blizini naselja Ključ Brdovečki,
- i područje u razvođu VV nasipa uz naselja Ključ Brdovečki, Drenje Brdovečki i Savski Marof.

Prvo područje nalazi se u naselju Mihanovićev Dol, nešto više nizvodno od tjesnaca Zelenjak. Prema hrvatskoj karti rizika od poplava za srednju i nisku vjerojatnost pojava poplava, poplavama je izloženo

naseljeno područje na lijevoj obali rijeke Sutle između rijeke i željeznice. Drugo područje se mnogo dalje nizvodno, uz granični prijelaz Rigonce (Harmica). Ova lokacija je poznata po izloženosti poplavama, jer se objekti nalaze nedaleko od riječne obale.

Mihanovićev Dol (lijevo) i MP Rigonce (desno) – sažeto prema hrvatskim kartama poplavnog rizika. Treće i četvrto područje nalaze se južno od željezničke pruge i naselja Rigonce. U ovoj dionici potrebno je istaknuti da je opseg poplave najvjerojatnije posljedica poplavlivanja rijeke Save. Visoke vode Sutle na ovom području (tj. na dionici Sutle od Rigonce do ušća u Savu) imaju samo mali utjecaj na rizik od poplava naselja kao što su Ključ Brdovečki, Drenje Brdovečki te Savski Marof. Naime, voda iz Save teče oko postojećeg hrvatskog VV nasipa u razvođu. Prema analizi hibridnih hidrauličkih modela HE Mokrice (UL FG i Hydroinstitut, 2012.), Sava se ne prelijeva preko spomenutog nasipa tijekom 100-godišnjeg protoka rijeke Save. Sljedeća slika prikazuje izloženost naseljenih područja maloj vjerojatnosti poplave (protocima većim od Q_{100}) u području nizvodno od Rigonce.

Tjesnac Zelenjak

Iz hrvatskih karata opasnosti od poplava vidljivo je da su izloženi poplavama objekti u tjesnacu Zelenjak, na lijevoj obali. Sljedeće fotografije prikazuju područje poplava kod Zelenjaka. Lijevo je prikazana lokacija korita, gdje se visoke vode Sutle prelijevaju na područje naselja, dok je desno prikazan cijeli nizinski dio s objektima koji su kod pojava visokih voda poplavljeni.



korito i lijevi nasip Sutle (lijevo) te poplavno područje u tjesnacu Zelenjak (desno)

Bračna vas

Bračna vas nalazi se na desnoj obali Sutle. Neposredno uz korito rijeke nalazi se lokalna cesta, a južno od ceste nalazi se nekoliko stambenih objekata. Prema hrvatskim kartama rizika od poplava za srednju vjerojatnost (opseg poplave Q_{100}) na ovoj dionici Sutla prelazi obale i prelijeva se preko poplavnih ravnica. Izrađene karte obuhvaćaju lijevi nasip Sutle. I na lijevoj i desnoj strani je relativno opsežan ravninski dio.

Nova vas kod Sutle i Gregovce

Nova vas kod Sutle nalazi se na desnoj obali nizvodno od Bračne vasi. Područje naselja je malo udaljenije od korita Sutle nego u slučaju Bračne vasi, ali ipak postoji i relativno široka dolina na desnoj obali. Na desnoj je obali, prema hrvatskim kartama opasnosti od poplava, poplavama izloženo područje

od korita do željeznice, a ponegdje teče i po razvođu nasipa željezničke pruge. I u ovom su slučaju karte izrađene samo za lijevi nasip Sutle, gdje poplava doseže sličnu nadmorsku visinu kao i ona na čijoj se desnoj obali nalazi naselje Nova vas kod Sutle.

Gregovce je naselje smješteno na lijevoj obali Sutle približno 2 km južno od Nove vasi kod Sutle. Nalazi se neposredno uz korito Sutle, međutim, za najmanje metar je više od uzvodnog područja na lijevoj obali.

Gornji i Donji Čemehovec

Gornji Čemehovec nalazi se na lijevoj obali Sutle, istočno od željezničke pruge. U ovom se dijelu sjeverno od naselja u nasipu željezničke pruge nalazi pravokutni otvor. Pri pojavi visoke vode Sutle, voda teče kroz otvor na tom području i prelijeva se po poplavnoj ravnici u razvođu nasipa prema naselju Gornji Čemehovec.

Naselje Donji Čemehovec nalazi se južno od Gornjeg Čemehovca, neposredno uz korito Sutle. U području između objekata i korita Sutle nalaze se polja i lokalna cesta. Stambeni objekti prema hrvatskim kartama ugroženih poplava nisu poplavljeni, osim tri objekta na graničnom prijelazu. Visoka voda Sutle približava se lokalnoj cesti.

Gmajna (kod Velikog i Malog Obreža), Harmica i Rigonce

Na području od naselja Kraj Donji (lijevi nasip) do rijeke Save, značajan utjecaj na poplavljanje Sutle ima rijeka Sava, koja je 1990. i 2010. godine poplavlila sve do željezničkog nasipa. U 2010. godini, prema zabilježenoj liniji poplave, područje sjeverno od željezničke pruge također je bilo pod vodom uz naselja Veliki i Mali Obrež te Gmajna. Na tom području, dakle, očito dolazi do velikih poplava Sutle, prije svega na desnoj obali.

Za utjecajno područje Save dostupne su i slovenske karte opasnosti od poplava i razredi opasnosti od poplava, koji su uključeni u integralnu kartu rizika od poplava. Karte su izrađene u okviru DPN za HE Mokrice. Slijedi prikaz poplava i dubina protoka u protoku Q_{100} Save i Sutle, dobivene na temelju slovenskih i hrvatskih karata opasnosti od poplava.

Rigonce se nalaze na desnoj obali Sutle i poplavno su ugrožene zbog visokih voda Save, kao i visokih voda Sutle. Na ovom su području planirani protupoplavni nasipi već u sklopu DPN za HE Mokrice. VV nasipi u sklopu DPN HE Mokrice planirani su kako bi se zaštitila naselja Mihalovec i Loče.



Korito Sutle nizvodno od Rigonca

Naselje Harmica nalazi se na lijevoj obali Sutle, neposredno uz korito rijeke. Područje između korita i željezničkog nasipa također se smatra poplavno ugroženim. Na ovom području nalaze se granični prijelaz Rigonce (Harmica) i nekoliko stambenih objekata.

Na području naselja Veliki Obrež, koji se nalazi na desnoj obali Sutle, tijekom događaja poplave 2010. godine, prema evidentiranoj poplavnoj liniji, voda se opasno približila naseljenom području Gmajna, koje je blago uzdignuto iznad okolnog terena.

Drenje Brdovečko i Ključ Brdovčki

Na lijevoj obali Sutle, južno od željezničke pruge Zagreb-Ljubljana, nalazi se nekoliko poplavno ugroženih naselja. Pritom treba naglasiti da na tom području poplavljuje rijeka Sava, dok Sutla samo doprinosi povećanom protoku Save. Na ovoj dionici već je izgrađen VV nasip uz naselje Klet Brdovečki u duljini od 3.480 m. Nasip je već poprilično star, a pri pojavi visoke vode Sutle i Save, kroz nasip istječe i nešto vode. U slučaju iznimnog događaja, Savska voda protječe kroz spomenut VV nasip i teče po razvođu i prema sjeveru jer je površina u koritu poprilično viša nego teren u naselju Ključ Brdovečki. U bližem području zbog Save su poplavno ugrožena i naselja Drenje Brdovečki i Savski Marof.

Republika Hrvatska na ovom području ima plan zaštite i spašavanja »Provedbeni plan obrane od poplava branjenog područja sektor c – gornja Sava, branjeno područje 12: područje maloga sliva Krapina-Sutla i sjeverni dio područja maloga sliva Zagrebačko prisavlje« (2014, Hrvatske vode), gdje su navedene i kritične točke postojeće zaštite od poplava.

Pritom službe za zaštitu i spašavanje u slučaju visokih voda neprestano prate istjecanje kroz nasip te se međusobno informiraju i poduzimaju odgovarajuće mjere zaštite objekata i nasipa.

Prema spomenutom dokumentu, VV nasip uz Sutlu štiti područje Ključa Brdovečkog pred poplavama s povratnim razdobljem Q_{50} , sa sigurnosnim nadvišenjem 100 cm.



VV nasip uz Ključ Brdovečki (gledano uzvodno)

3.1.4.3 Mjere za poboljšanje opasnosti od poplava

U prvoj fazi izrade studije, na temelju raspoloživih i analiziranih podataka, poznavanja područja i podataka na temelju praćenja stanja visokih voda i provedbi mjera zaštite od poplava u posljednjih dvadeset godina te stručne procjene, osmišljen je skup mjera protiv poplave, i to:

- izgradnja zamjenskog mosta na graničnom prijelazu Rogatec/Hum na Sutli i uređenje korita Sutle na duljini od približno 600 m,
- sanacija betona i hidromehaničke opreme na pregradi Vonarje (akumulacija Sotelsko jezero), ugradnja opreme za seizmičko promatranje i daljinsko upravljanje, uključujući modernizaciju sustava za praćenje površina i upozoravanje
- rekonstrukcija i dogradnja nasipa odn. zamjenski nasip u naselju Gmajna (Kumrovec).
- analiza utjecaja mosta na cesti Risvica – Kunšperk na rizik od poplava,
- građevinske mjere za osiguranje od poplava naselja Bračna vas, Gregovce, Nova vas i Rigonce, Harina Zlaka, Luka Poljanska, Bratkovec, Plavić, Čemehovec, Harmica, Ključ Brdovečki i Drenje Brdovečko

Zadržavanje vode u slivu Sutle obrađeno je u studiji pod nazivom *Celovita vodnogospodarska uređitev povodja Sotle, I. faza*, br. C-123, VGI Ljubljana, ožujak 1996., koja osim općeg opisa stanja i karakteristika sliva Sutle od ušća u Savu do Žahenberškog potoka (desnog pritoka Sutle iznad Rogatca), također pokazuje mogućnosti zadržavanja visokih voda na Sutli i njezinim pritocima. Za većinu predloženih retencija već je u spomenutoj studiji utvrđeno da imaju samo lokalni utjecaj odn. da su pogodni za višenamjensku uporabu (turizam, navodnjavanje, djelomično visoke vode).

Mjere za smanjenje opasnosti od poplava u nastavku su definirane na temelju novih hidroloških polazišta te hidrauličkog modela. Na temelju analize postojećeg stanja, u nastavku ove studije, definirana su područja postojeće poplavne ugroženosti, za koja je tada predložena većina lokalnih mjera. Predloženim mjerama također se u najvećoj mogućoj mjeri očuva postojeća morfologija korita te s njom povezanih biotopa (Natura 2000).

3.1.4.4 Osnovne karakteristike hidrauličkog modela

Hidraulička analiza rijeke Sutle provedena je pomoću 1D-2D hidrauličkog modela doline Sutle od izvora do ušća u Savu. Model je izradio projektni partner Instituta za hidraulička istraživanja u programskom okruženju MIKE Flood.

3.1.4.4.1 Model Sutla 1

1D model

Hidraulički model *Sutla 1* bavi se dionicom od izvora Sutle (obračunska stacionaža 0 m) do pregrade Vonarje (obračunska stacionaža 34251 m). U hidrauličkom modelu, obračunska stacionaža se povećava u smjeru pritoka. U stacionaži 25216, 1D model završava prelaskom na 2D model u području akumulacije Vonarje. Odvodnja iz akumulacije modelirana je s 1D dionicom koja simulira bočno prelijevanje duljine 8 m na koti 207,5 m n.m.

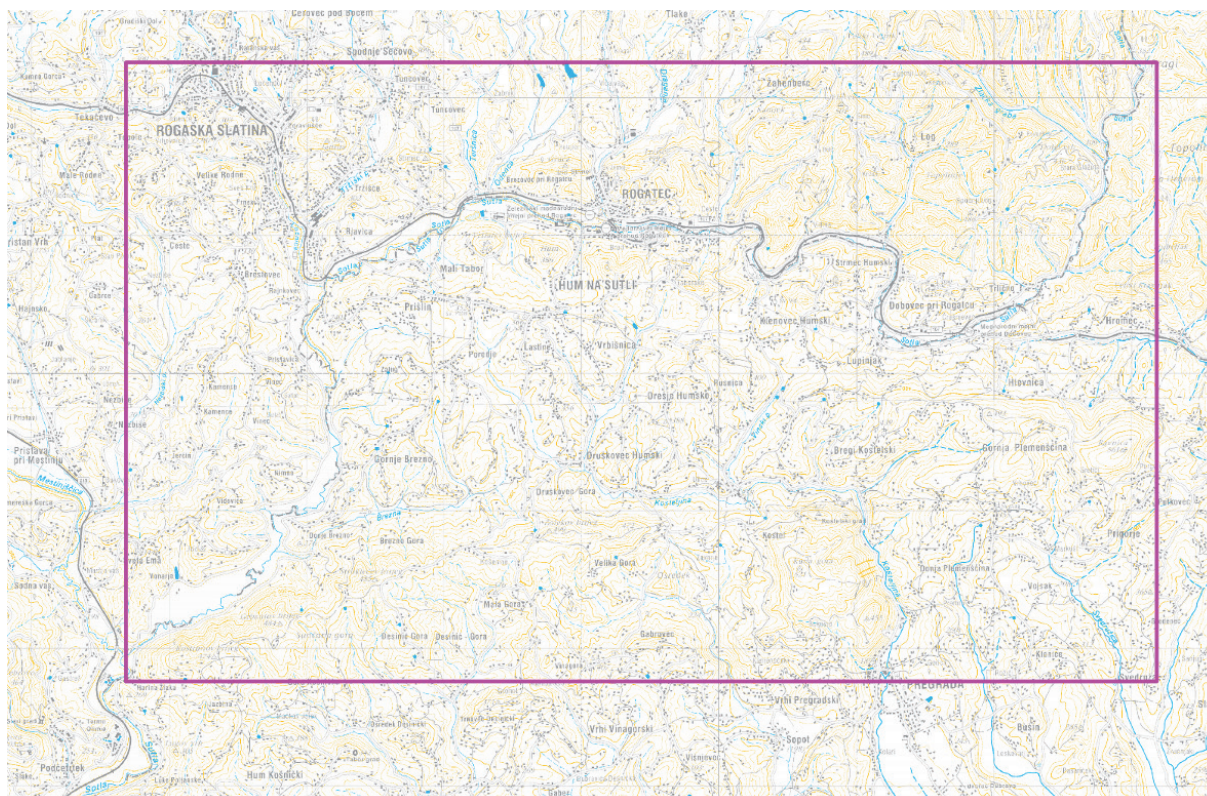
U okviru projekta FRISCO1, na dionici rijeke Sutle od MP Dobovec (stacionaža 7519 m) do ušća u Savu (stacionaža 95528 m), bilo je geodetski izmjereno 280 poprečnih profila. Profili se u prosjeku mjere na 320 m, realno na > 350 m (na pragovima, npr. ukupno 2 – 3 presjeka, izmjereni pritoci).

Zbog male gustoće izmjerenih profila, proizvođač hidrauličkog modela koristio je druge metode za povećanje broja profila. Korišteno je generiranje poprečnih profila iz LIDAR podataka (iznad MP Dobovec u model su ugrađeni poprečni profili, dobiveni iz točaka LIDAR DMR 1 x 1 m) te interpolacija profila među već izmjerenim profilima. LIDAR poprečni profili općenito su generirani na generički određenim ekvidistantnim lokacijama ($dX = 50,0$ m).

2D model

Batimetrija (3D model terena) za 2D hidraulički model izrađena je na temelju javno dostupnih LIDAR podataka na portalu eVode (http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso).

Proračunsko područje obuhvaća 3001 ćeliju dimenzije 5 x 5 m duljine i 1801 ćeliju u visinu (15005 m x 9005 m). Model se sastoji od 5,4M ćelija. Model je izrađen u D96 koordinatnom sustavu.



područje hidrauličkog modela Sutla 1

Rubni uvjeti

Donji rubni uvjet

Donji rubni uvjet modela Sutla 1 predstavljao je 1D odvod iz retencije preko bočnog preljeva.

Gornji i srednji rubni uvjeti

U hidraulički su model ugrađeni poplavni valovi Sutle za povratna razdoblja u trajanju od 10, 25, 50, 100, 500 i 1000 godina, koji su nastali na temelju oborina u trajanju 6, 12, 15, 18, 24, 30, 36 i 42 sata. Po modelu su obračunate sljedeće kombinacije: Q10-Q100 (6h – 24h), Q500 i Q1000 (6h – 42h).

Osnovnom utočnom poplavnom valu dodani su komplementarni poplavni valovi na području modela Sutla 1 na 13 lokacija (u hidrološkoj studiji od izvora do Save obrađeno je 40 hidroloških profila). U nastavku je tablica s prikazom teoretskih karakterističnih protoka Sutle kroz odabrane hidrološke presjeke za različita povratna razdoblja.

Br. profila	Opis	Razvođe (km ²)	Povratno razdoblje					
			Q ₁₀	Q ₂₅	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀	Q ₁₀₀₀
1	VP Rogatec	40	43,6	54,4	65,0	77,0	103,9	116,6
2	Pod Draganjom	48	54,3	67,5	80,1	95,6	129,2	145,4
3	Do Ločnice	66	68,1	88,1	103,4	122,9	167,6	189,4
4	Pod Ločnicom	88	91,3	119,0	141,3	166,7	225,8	254,1
5	Pregrada Vonarje	107	89,8	110,7	131,3	156,8	214,7	243,5

Tablica 1: prikaz mjerodavnih visokovodnih bujica Sutle na području hidrauličkog modela Sutla 1

Kalibracija modela

Kalibracija modela izvedena je s obzirom na zabilježenu površinu u koritu pri povišenom protoku Sutle između 19. i 20.9.2017., kad je protok na VP Rogatec (Hum na Sutli) određen vrijednošću 36,9 m³/s. S obzirom na kalibracije i usmjerenja iz literature, tvorac modela je definirao koeficijente hrapavosti korita n_G između 0,031 i 0,1.

Na inundacijskim površinama korišteni su sljedeći koeficijenti hrapavosti:

Vrsta uporabe tla	Manningov koeficijent hrapavosti
polja, livade	0,035
grmlje, voćnjaci	0,07
šuma	0,10
izgrađena zemljišta	0,15

Tablica 2: korišteni koeficijenti hrapavosti na inundacijskim površinama

3.1.4.4.2 Model Sutla 2

1D model

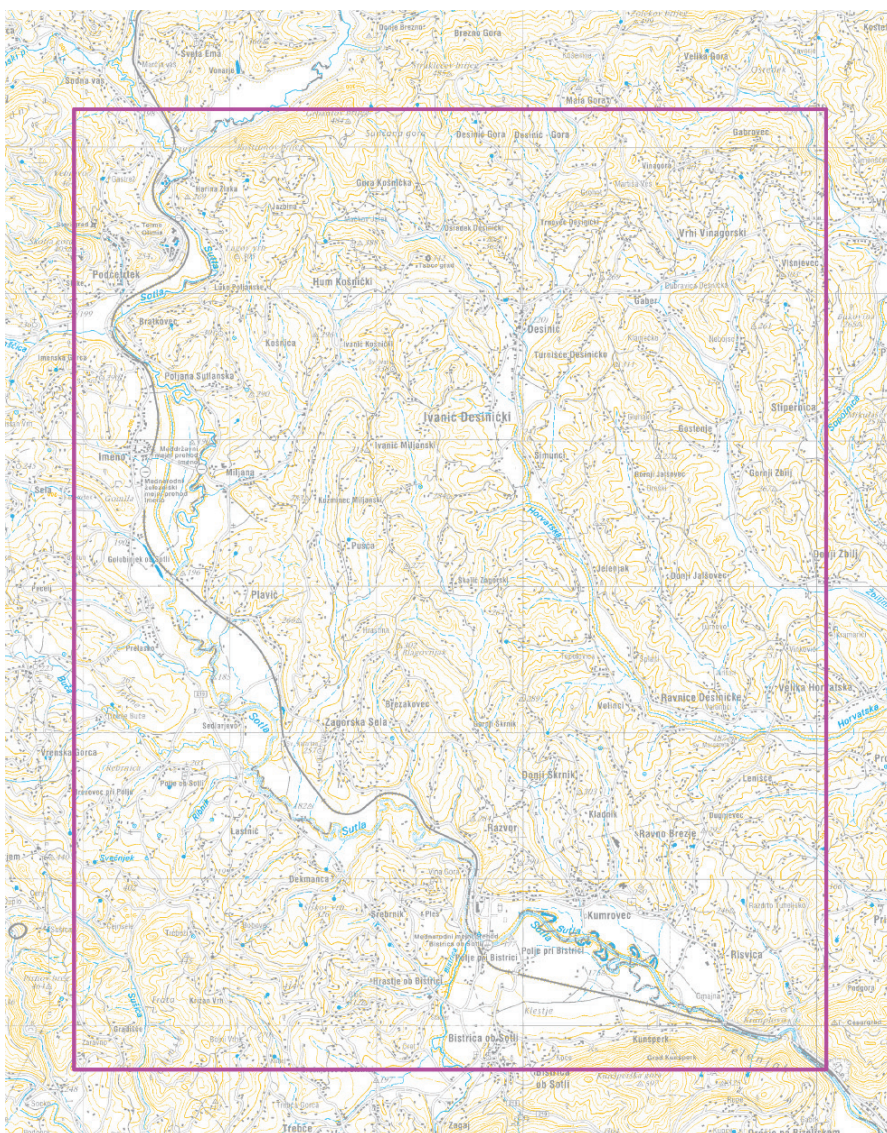
Hidraulički model *Sutla 2* obrađuje dionicu od pregrade Vonarje (obračunska stacionaža 34251 m) do Zelenjaka (obračunska stacionaža 64419 m). U hidrauličkom modelu, obračunska stacionaža se povećava u smjeru pritoka. Duljina obrađene dionice iznosi 30 km.

U hidraulički model ugrađeni su geodetski izmjereni poprečni profili Sutle, izgrađeni za potrebe projekta FRISCO1 u razdoblju siječanj - ožujak 2017. godine. U sklopu tih mjerenja, na dionici Sutle od MP Dobovec (stacionaža 7519 m) do ušća u Savu (stacionaža 95528 m) izmjereno je 280 poprečnih profila. Profili se u prosjeku mjere na 320 m, realno na > 350 m (na pragovima, npr. ukupno 2 – 3 presjeka, izmjereni pritoci). Zbog male gustoće izmjerenih profila, proizvođač je, s ciljem povećanja broja profila, koristio interpolaciju profila među već izmjerenim profilima.

2D model

Batimetrija (3D model terena) za 2D hidraulički model izrađena je na temelju javno dostupnih LIDAR podataka na portalu eVode (http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso).

Proračunsko područje obuhvaća 2051 ćelija dimenzija 5 x 5 m duljine i 2625 ćelija u visinu (10255 m x 13125 m). Model se sastoji od 5,4M ćelija. Model je izrađen u D96 koordinatnom sustavu.



područje hidrauličkog modela Sutla 2

Rubni uvjeti

Donji rubni uvjet

Donji rubni uvjet modela Sutla 2 je Q/h krivulja na mjestu VP Zelenjak, koja je kalibrirana na prethodno izveden spojeni model.

Gornji rubni uvjet

U hidraulički su model ugrađeni poplavni valovi Sutle za povratna razdoblja u trajanju od 10, 25, 50, 100, 500 i 1000 godina, koji su nastali na temelju oborina u trajanju 15, 18, 24, 30, 36 i 42 sata.

Osnovnom utočnom poplavnom valu dodani su komplementarni poplavni valovi na području modela Sutla 2 na 16 lokacija (u hidrološkoj studiji od izvora do Save obrađeno je 40 hidroloških profila). U nastavku je tablica s prikazom teoretskih karakterističnih protoka Sutle kroz odabrane hidrološke presjeke za različita povratna razdoblja.

Br. profila	Opis	Razvođe (km ²)	Povratno razdoblje					
			Q ₁₀	Q ₂₅	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀	Q ₁₀₀₀
1	Pod Mestinjšćicom	241	97,7	121,8	142,2	158,9	209,6	231,9
2	Do Bistrice	326	101,9	130,3	153,7	175,5	236,2	262,7
3	Pod Bistricom	434	143,5	190,2	229,9	275,1	378,3	420,2
4	VP Zelenjak	458	150,2	198,3	238,1	285,2	394,0	439,1

Tablica 3: prikaz mjerodavnih visokovodnih bujica Sutle u području hidrauličkog modela Sutla 2

Kalibracija modela

U izvješću hidrauličkog modela kalibracija modela nije posebno opisana. Navedeno je samo to da je kalibriranje modela izvedeno je s obzirom na zabilježene površine u koritu pri povišenom protoku Sutle između 19. i 20.9.2017., kad je protok na VP Zelenjak određen vrijednošću 94.7 m³/s. S obzirom na kalibracije i usmjerenja iz literature, tvorac modela je definirao koeficijente hrapavosti korita n_G između 0,04 i 0,066. Na inundacijskim površinama korišteni su sljedeći koeficijenti hrapavosti:

Vrsta uporabe tla	Manningov koeficijent hrapavosti
polja, livade	0,035
grmlje, voćnjaci	0,07
šuma	0,10
izgrađena zemljišta	0,15

Tablica 4: korišteni koeficijenti hrapavosti na inundacijskim površinama

3.1.4.4.3 Model Sutla 3

1D model

Za 1D model korišteni su poprečni presjeci korita Sutle, koje je za potrebe projekta izmjerio ARSO (mjerenja od 4.1.2017. do 29.3.2017.). Na ovoj dionici izmjereno je 113 poprečnih profila (profili od 167 do 280) na prosječnoj međusobnoj udaljenosti od 290 m.

Na dionici Sutle od ušća u Savu do napuštenog željezničkog nasipa, u model je ugrađeno dodatnih 140 geodetski izmjerenih poprečnih profila Sutle te 22 poprečna profila pritoka Šica, dobivenih iz postojeće studije odn. idejnog projekta za mjere zaštite od poplava na području Rigonca (IS Project, 2012).

Hidraulički model uključuje i izlivanje dvaju desnih pritoka Sutle: Dramlje i Šice. Na Dramlji je ARSO izmjerio 2 poprečna profila, koji s dodatnim interpoliranim poprečnim profilima prekrivaju izljevnu dionicu ovog pritoka. Detaljniji geodetski podaci o koritu iz studije »Ureditev Sutle za zagotavljanje poplavne varnosti območja Rigonc in Dobove«, Idejna zasnova, 2012, iS projekt d.o.o. br. projekta: 13 i 13b-S/12 (u nastavku »studija iS Projekt«). Tako je u hidrauličkom modelu ugrađeno 22 poprečna profila koji pokrivaju 665 m Šice.

S obzirom na to da su izmjereni poprečni profili za postizanje odgovarajućih rezultata hidrauličke analize zabilježeni na prekomjernoj međusobnoj udaljenosti, u modelu su izrađeni dodatni presjeci uz pomoć interpolacije.

2D model

Za 2D model korišten je LIDAR, koji je dostupan na internetskom portalu eVode (1x1 m DMR). Na dionici Sutle od ušća do VP Rakovec obuhvaća i poplavno područje Sutle na lijevoj obali (Hrvatska). Na dionici uzvodno od VP Rakovec nedostaju precizniji LIDAR podatci na području lijevih poplavnih ravnic. Na tim je dionicama za izradu hidrauličkog modela korišten slovenski stariji digitalni model visine (DMV) s rezolucijom od 1 visinske točke na površini od 12,5 m x 12,5 m, što je relativno malo. Također, spomenuti DMV12,5 je također visinski vrlo neprecizan (preciznost visine je prema iskustvu u rasponu od 1 m). 2D model sadrži 5248881 obračunskih ćelija veličine 5 x 5 m.

Rubni uvjeti

Hidraulički model sadrži podatke o protocima, koji su određeni u hidrološkoj studiji u okviru projekta FRISCO1. Pritoci su integrirani u točku hidrauličkog modela u glavni vodotok Sutle kao izvor točaka, dok se porast protoka zbog vlastitih voda duž glavnog toka Sutle uzima u obzir kao bočni pritok. Za uzvodni rubni uvjet, u modelu je hidrogram definiran za pojedini visokovodni val koji se dobiva iz rezultata uzvodnog hidrauličkog modela (označen kao »Sotla2«).

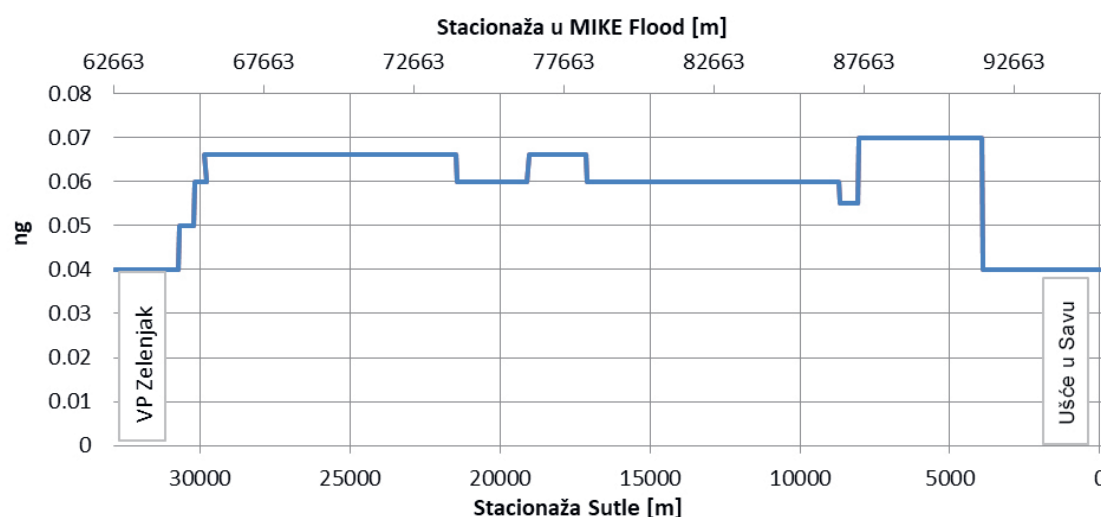
Nizvodni rubni uvjet rijeke Sutle predstavlja površina Save na ušću u Sutlu. Podaci o površinama su sažeti prema studiji »Hibridni hidravlični model območja HE Mokrice, Inštitut za hidravlične raziskave«, UL FGG, IBE, 2012 (u nastavku HHM HE Mokrice). U ovom slučaju korito Save nije posebno modelirano s 1D modelom, već je pokriveno 2D modelom iz LIDAR podataka. Kao rubni uvjet na pritoku i izlazu u i iz 2D modela (gornji i donji rubni uvjet Save), također se uzima u obzir stalna površina, koja je sažeta prema istoj studiji.

U hidrauličkom modelu uzimaju se u obzir sljedeći scenariji s podudarnostima:

- **Q10:** Q10 Sutle i Q100 Save,
- **Q25:** Q25 Sutle i Q100 Save,
- **Q50:** Q50 Sutle i Q100 Save,
- **Q100:** Q100 Sutle i Q20 Save,
- **Q500:** Q500 Sutle i Q20 Save,
- **Q1000:** Q1000 Sutle i Q20 Save.

Kalibracija modela

Koeficijent hrapavosti određen je na dionicama duž vodotoka prema stanju korita i preporučenim vrijednostima iz stručne literature te dosadašnjih studija, koje su obrađivale sliv rijeke Sutle.



Korišteni koeficijenti ng u hidrauličkom 1D modelu Sutla 3 (Hidroinstitut, 2018.)

Na inundacijskim površinama korišteni su sljedeći koeficijenti hrapavosti:

Vrsta uporabe tla	Manningov koeficijent hrapavosti
polja, livade	0,035
grmlje, voćnjaci	0,07
šuma	0,10
izgrađena zemljišta	0,15

korišteni koeficijenti hrapavosti na inundacijskim površinama

Koeficijenti hrapavosti dovoljno su konzervativno odabrani, a rezultati su zbog toga na sigurnoj strani. Do najveće pogreške u rezultatima može doći zbog prerijetko izmjerenih poprečnih profila i lokalno na područjima gdje LIDAR iz portala eVode nije bio na raspolaganju (neka područja na lijevoj obali Sutle).

3.1.5 Hidraulička analiza - rezultati hidrauličkog modela

Poplavnost područja predstavljena je na temelju hidrauličkog modela, razvijenog u okviru projekta FRISCO 1 (proizvođač Institut za hidraulička istraživanja). Kao što su bila odabrana područja hidrauličkih modela, tako su sadržajno podijeljeni i opisi poplavnosti za 3 značajne dionice Sutle:

- Sutla od izvora do pregrade Vonarje
- Sutla od pregrade Vonarje do tjesnaca Zelenjak
- Sutla od tjesnaca Zelenjak do ušća u Savu

a Sutla od izvora do pregrade Vonarje

Sutla se na obalne ravnice u gornjem toku (iznad Trlična) razlije već pri **visokovodnoj pojavi od 10 godina**. Na kontaktnom dijelu s naseljem Trlično odn. S područjem drvenog postrojenja, poplavljen je već cijeli pojas dna doline. Osim drvenog postrojenja, vode ugrožavaju i stambeni objekt. U prošlosti su poplave na tom području već zabilježene. Ispod drvenog postrojenja vode se prelijevaju uglavnom na desni nasip. Poplavno područje presijeca nasip željezničke pruge, a sve su vode koncentrirane na otvor na mostu. Ispod Trlična odn. ispod MP Dobovec, smanjen je opseg desetogodišnje poplave, vode ostaju u užem pojasu uz korito. Tek na području Lupinjaka ponovno se razlijevaju po inundacijskim površinama.

Poplavno područje ostaje ograničeno željezničkim nasipom na desnoj i cestom na lijevoj obali. Ispod Vidine desetogodišnje vode već poplavljuju željeznički nasip. Do ulaska u Rogatec poplavljen je širi pojas dna doline. Ugroženo je samo nekoliko manjih gospodarskih objekata i benzinska postaja u području Straže. U uzvodnom dijelu Rogatca/Huma na Sutli zadržavaju se desetogodišnje vode u koritu, a ponovno se izlijevaju u razvođu MP Rogatec, gdje se prelijevaju na desni nasip i poplavljuju 5 stambenih objekata. Uzrok poplave je poddimenzionirani otvor mosta u području MP. Vodeni režim Sutle u Rogatcu (1200 m vodotoka) određen je na temelju 11 izmjerenih poprečnih presjeka. Veće područje izlivanja nastaje tek ispod Rogatca, kada desetogodišnje vode poplave preko 200 m široku poplavnu ravninu. Platoi pojedinačnih industrijskih/poslovnih objekata koji se šire na poplavna područja pod Rogatcem, općenito ostaju izvan poplavnog područja. Desetogodišnje vode poplavljuju samo sjeverni od 2 objekta Omco Croatia. Na području naselja Prišlin i Rjavica, poplavno područje Sutle već se širi na pojas širine 400 m. Poplavljene su livadne i obradive površine, dok objekata na ovom području nema. Poplavno područje ponovno se sužava iznad ušća u Ločicu, gdje su u usko dno doline, osim korita Sutle, smješteni i željeznica i lokalna cesta. Cesta je pri Q_{10} već poplavljena. Na području Rajnkoveca poplavno područje se ponovno širi, a poplavno je ugrožen i slovenski pogranični objekt te jedan od objekata na CČN Rogaška Slatina (Pristavica). Pod Pristavicom se visoke vode Sutle već šire na područje utjecaja pregrade Vonarje (područje posebnog vodnog režima bez elemenata ugroženosti).

Pri pojavi od 25 godina, poplave u području Trlična vrlo su slične desetogodišnjem događaju. Nema aktivacije dodatnih poplavnih područja. Važna promjena događa se na dionici ispod MP Dobovec, gdje se visoke vode iz korita pretežito izlijevaju na ravninu desnog nasipa. Na dionici između Vidine i Klenovca nasip pruge već je poplavljen na nekoliko mjesta. Na ulazu u Rogatec poplavna se situacija (s obzirom na desetogodišnju pojavu) značajno pogoršava. Poplavljena je tvornica Gorenje na desnoj obali, dok se na suprotnoj lijevoj obali u Straži voda već izlijeva na glavnu cestu, a u samom središtu Rogatca visoke vode izlijevaju se do graničnog prijelaza i na sam granični prijelaz protječu po lijevoj strani. Ispod ušća s Draganjom značajno je povećan i opseg poplava uz samo korito, što još uvijek ne poplavljuje obližnje objekte. Područja poslovnih/industrijskih zona (osim objekta već poplavljenog pri Q_{10}) ostaju nenaseљena. Na dionici od Rogatca do ušća u Ločicu poplave se ne mijenjaju značajno jer je cijelo dno doline već poplavljeno pri Q_{10} . Na području Tržišća pojavljuje se prvo izlivanje željezničkog nasipa. Nema dodatno poplavno ugroženih objekata. Ispod ušća u Ločicu također nema značajnijih promjena u opsegu poplave. S obzirom na to da je već pri pojavi od 25 godina na gotovo cijeloj dionici obrade poplavljeno šire dno doline i da se porastom protoka poplavnost ne povećava značajno, u nastavku navodimo samo područja u kojima dolazi do značajnih promjena u određenim protocima.

Pri visokovodnom događaju u trajanju od 50 godina značajno se povećava izlivanje iz korita dionice Sutle ispod MP Dobovec. Pod Vidinom, pored izlivanja željezničkog nasipa, visoke vode dolaze već i do glavne ceste, koja bi pri takvom događaju vjerojatno već bila neprohodna. U Rogatcu (Hum na Sutli), na području graničnog prijelaza, visoke vode izlijevaju se na željeznički nasip te utječu u prostor između ceste i željeznice, gdje su ugroženi stambeni objekti. Znatno se povećava i poplavljenost parkirnih površina u pojasu između željeznice i Sutle ispod ušća Draganje. Intenzivira se i prelijevanje na lijevi nasip, a vode već dopiru do ugostiteljskog objekta ispod MP. Povećan je i opseg prelijevanja željezničkog

nasipa ispod Tržišća i poniranje vode u depresiju iza nasipa (zaselak Ogrizek), pri čemu nema dodatno ugroženih objekata. Na preostalim dionicama Sutle, gdje su prisutne široke poplavne ravnice, nisu uočene značajnije promjene u opsegu poplava u odnosu na poplave nižih područja.

Pri pojavi u trajanju od 100 godina, izlivanje Sutle značajno se povećava na području Vidine, gdje se visoke vode u većoj mjeri prelijevaju po glavnoj cesti i ponovno utječu u manju depresiju u razvođu ceste. Još uvijek ne dopiru do stambenih objekata. Povećano izlivanje vidljivo je i na ulazu u Rogatec, gdje se povećava opseg poplave na desnoj obali (od tvornice Gorenje do objekata Vetropacka). Poplavljen je dulji dio željeznice, a vode već dosežu neke od objekata u pojasu između željeznice i glavne ceste. Objekt Vetropacka nije poplavljen. Pod Rogatcem (Hum na Sutli) opseg poplave pri pojavi u trajanju od 100 godina ne povećava se značajno.

Najveća promjena poplavnosti pri **pojavi u trajanju od 500 godina** vidljiva je na području Rogatec – Hum na Sutli. Poplavnost se na desnoj obali Sutle uglavnom povećava na području tvornice Gorenje, objekata Vetropacka i njegovog razvođa te parkirnih površina ispod ušća Draganje. Na lijevoj obali poplava se širi na područje dječjeg vrtića (nasuprot ušću Draganje), u većoj je mjeri poplavljena i cesta u području Straže, a vode već dosežu prvu liniju objekata južno od ceste. 500-godišnje vode poplavljuju i šire područje CČN Rogaška Slatina. Glavni bazen, koji ostaje nepoplavljen, protječe duž SZ strane kroz područje staklenika.

Budući da pojava u trajanju od 500 godina, gotovo u cijeloj obrađenoj dionici Sutle poplavljuje sva izložena područja, pojava u trajanju od 1000 godina gotovo se i ne razlikuje. Prema prethodno opisanim karakteristikama vodnog režima Sutle na dionici od izvora do pregrade Vonarje, može se utvrditi da su Rogatec i Hum na Sutli poplavno najugroženija područja u gornjem toku Sutle. Poplavljeno odn. na granici dosega poplava nalaze se i neki drugi raspršeni objekti (Trlično, Vidina, Ceste). Dubine toka na odabranim lokacijama dodatno potvrđuju prethodno opisana opažanja, da se, općenito, opseg poplava značajno ne povećava pri povećanju protoka zbog širokih poplavnih ravnica. Na ravnica je porast površine između Q10 i Q1000 u rang 20 do 50 cm, dok je u užim poplavnim područjima odn. područjima gdje je prisutan utjecaj mostova, porast površine je veći (60 – 75 cm). Pregrada Vonarje može držati visokovodni 100-godišnji val bez prelijevanja preko bočnog izljeva, dok se na protoku od 500 i 1000 godina aktivira već i bočni izljev, ali površina ostaje ispod maksimalno dopuštene razine.

b Sutla od pregrade Vonarje do tjesnaca Zelenjak

Visoke vode Sutle ispod pregrade Vonarje do protoka iznad Q100 predstavljaju vrlo visoke vode Mestinjščice, budući da su visoke vode Sutle do protoka Q500 zadržane u retenciji. Opseg poplave Sutle se ne mijenja značajno zbog povećanja protoka. Zbog niske prohodnosti korita te širokih i ravnih poplavnih ravnica, gotovo maksimalni raspon poplave postignut je već u pojavama s malim povratnim razdobljem (svijetloplava boja). Na području Kumrovačkog polja (Bistrica ob Sotli) u prošlosti je provedena regulacija korita Sutle s lokalnim obalnim nasipima, koji ograničavaju razlijevanje po širem području.

U području ušća u Mestinjšćic, desetogodišnje visoke vode Sutle izlijevaju se po cijelom pojasu dna doline između željeznice i podnožja obronaka na hrvatskoj strani doline. Preljevaju se i na nasip iznad vodenog parka Aqualuna te poplavljuju obližnje naselje turističkih kućica. Ugroženo je približno 100 turističkih objekata. Na lijevoj obali na mjestu suženja između Aqualune i podnožja manjeg grebena, desetogodišnje visoke vode dopiru direktno do prve linije objekata. Prvu liniju objekata vode dosežu već i u naselju Harinzlaka, a prelijevaju se i na cestu između graničnih prijelaza. Kod termi Olimia dno doline se širi, a poplava se rasteže u pojasu širine do 400 m. Kod željeznice Podčetrtek dno doline se ponovno sužava na više od 100 m, a u nastavku primarno poplavno područje uz Sutlu još dodatno sužava nasip željeznice, koji protočni koridor sužava na 70 m. Visoke vode šire se po koritu Olimskog potoka u razvođe željezničkog i uz to još i cestovnog nasipa. U Bratkovcu se desetogodišnje vode izlijevaju po cesti prema mostu (odn. VP), a dosežu i prvu liniju objekata ispod lokalne ceste. Pod Bratkovcem se dolina ponovno proširuje, a poplavno se područje rasteže u pojasu širine do 800 m. Posljedično su dubine poplavnih voda na ravnici niske – prosječno 10 – 30 cm. Na području Imena odn. Miljane, kroz dolinu prolazi cesta koja povezuje hrvatsku i slovensku stranu granice (i graničnog prijelaza). Cesta je pri desetogodišnjoj pojavi već poplavljena, dok objekt graničnog prijelaza ostaje na suhom. Između Golobinjeka i Prelaska (Maroski Breg) željeznički nasip ponovno siječe poplavno područje, a sve se vode preusmjeravaju na otvor na mostu na željezničkoj pruzi. Istočno od Prelaska se u dolini nalaze dva domaćinstva, čiji se pojedinačni objekti nalaze na nešto višem terenu, a pri Q10 su još uvijek nepoplavljeni, dok su drugi poplavljeni. Nizvodno od spomenutih domaćinstava, na dnu doline u blizini Plavića, nalaze se još 2 (nenaseljena) objekta domaćinstva Županc, do kojih pak dopiru desetogodišnje visoke vode Sutle. Veće područje naselja na dnu doline nalazi se SI od Sedlarjeva (domaćinstva Logariček i Bugec). Područja su poplavljena desetogodišnjim visokim vodama. U blizini (napuštene) željezničke postaje Zagorska Sela, desetogodišnje vode već poplavljuju nasipe željeznice, a inače vode ostaju u 200 – 400 m širokom poplavnom koridoru između željezničkog nasipa s lijeve i podnožja brda s desne strane obale. Naselje se nalazi na povišenom terenu pa ga poplavne vode ne ugrožavaju. Željeznički nasip ponovno se prelijeva u području Pleške šume (Razvor), gdje će se vode izlijevati u razvođe, u svakom slučaju i kroz otvor u željezničkom nasipu. Sjeverno od zaselka Ples, nasip željeznice sužava poplavno područje (uključujući korito) na samo 50 m. Dio voda bi inače kroz željeznički otvor poplavljavao i razvođa nasipa, međutim, to (ostatak starog rukava Sutle) ne sudjeluje kao aktivni protočni koridor. Na području Razvora (Plesa) korito Sutle oštro se okreće prema jugu i teče duž užeg koridora između obronaka obližnjih litica do Kumrovačkog polja. Desetogodišnje visoke vode još uvijek ne dosežu stambene objekte na ušću u Bistricu. Poplavljena je jedna gospodarska građevina, a sama poplava širi se uzvodno na ušće u Bistricu. Poplavno područje ispod ušća u Bistricu siječe dva nasipa – nasip napuštene željeznice i nasip ceste koja povezuje granične prijelaze s obje strane rijeke. Pri desetogodišnjim pojavama, mostovi uobičajeno prenose vodne količine. Ispod cestovnog mosta vode se pretežito prelijevaju na lijevi nasip, međutim, ostaju ograničene na područje sportskih površina. Na desnoj obali javlja se mali sekundarni tok kroz livadne površine, dok veći dio vode ostaje u koritu. Opsežnija razlijevanja iz korita pojavljuju se nad selom Gmajna, čiji južni dio je već unutar dosega desetogodišnjih voda Sutle. Ugroženo je približno 10 stambenih objekata. Na završetku Bistričkog (Kumrovačkog) polja,

poplavne se vode s približno 600 m širokog poplavnog područja preusmjeravaju u korito širine 35 m između ceste i obronka obližnjeg brda.

Pri pojavi s trajanjem od 25 godina najveće promjene u vodnom režimu (s obzirom na Q10) javljaju se na području Podčetrтка odn. ušća Olimskog potoka, gdje na većoj udaljenosti visoke vode Sutle poplavljuju cestovni nasip, zbog čega bi cesta bila neprohodna. Povećano je i područje prelijevanja željezničkog nasipa kod Pleške šume (između Zagorskog sela i Razvorja), a najveća promjena u vodnom režimu događa se na Bistričkom polju, gdje vode s trajanjem od 25 godina već poplavljuju veći dio ravnice na obje obale.

Visokovodna pojava s trajanjem od 50 godina uzrokuje dodatno poplavljivanje nasipa željeznice na području Zagorskog sela, a značajan utjecaj ima prije svega na Bistričkom polju, gdje visoke vode počinju poplavljavati cestu sjeverno od MMP Razvor, što bi uzrokovalo prekid prometne veze. Isto tako, prometna veza bila bi prekinuta na nizvodnom zaključku Bistričkog polja jer bi vode poplavlile dio ceste na ulazu u tjesnac Zelenjak.

Pri **pojavi s trajanjem od 100 godina**, ne javljaju se značajne razlike u opsegu poplava u odnosu na pojave od 50 godina, niti se aktiviraju veće dodatne površine.

Pojava s trajanjem od 500 godina predstavlja opasnost za dodatna područja uz Sutlu, budući da se opseg poplava značajno povećava na području Aqualune (poplavljeni vodeni park), veći je opseg poplavljivanja nasipa željeznice u području Imena, a južno od Sedlarjeva se kod poplavljivanja lokalne ceste pojavi novo područje poplavljenja (koje ne dopire do samog sela).

Pri **pojavi s trajanjem od 100 godina** najveća se promjena u vodnom režimu javlja u regiji Razvorja, gdje visoke vode na većoj udaljenosti poplavljuju željeznički nasip iznad ušća u Bistricu i poplavljuju područje postojećih građevina na lijevoj obali Sutle. Na ravnicama je porast površine između Q10 i Q1000 u rangi 30 do 40 cm, dok je u užim poplavnim područjima odn. područjima gdje je prisutan utjecaj mostova, porast površine je veći (70 – 210 cm). Općenito, u pogledu poplava, dionica Sutle između brane Vonarje i klanca Zelenjak donekle nije problematična. U većoj mjeri su na 30 km riječnog korita poplavljene široke netaknute poplavne ravnice, naselja smještena u dolini pomaknuta uz podnožja obližnjih brežuljaka. Unatoč svemu, u obrađenoj dionici nalazi se nekoliko problematičnih mjesta. Najveća poplavna ugroženost prisutna je na području turističkog naselja u blizini Aqualune u Podčetrtku (poplavljeno već pri pojavi s trajanjem od 10 godina, približno 100 pogođenih objekata), u naselju Gmajna na Bistričkom (Kumrovačkom) polju, gdje je niži dio sela (približno 10 objekata) također već poplavljen pri pojavi s trajanjem od 10 godina, a nezanemariva je i u Bratkovcu i Harinzlaki. Pri pojavi većih povratnih razdoblja (iznad Q100), rizik od poplava značajno je povećan na širem području MMP Bistrica ob Sotli. Osim samih objekata, pri visokovodnim događajima na autocestama u dolini Sutle, poplavljene su i dionice ceste, što bi ugrozilo komunikaciju duž doline (poplavljenje ceste ispod Podčetrтка), kao i preko nje (cestovne prekogranične veze na području graničnih prijelaza).

c Sutla od tjesnaca Zelenjak do ušća u Savu

U nastavku su detaljnije opisana sva prethodno spomenuta područja te druga naselja, za koje je utvrđeno da su ugrožena s obzirom na rezultate hidrauličkog modela (kod protoka koji nisu veći od Q1000).

Tjesnac Zelenjak

Iz hrvatskih karata opasnosti od poplava vidljivo je da su izloženi poplavama objekti u tjesnacu Zelenjak, na lijevoj obali. Riječ je o restoranu i pansionu Villa Zelenjak – Ventek. Slično su prikazani i rezultati hidrauličkog modela.

Mihanovičev Dol

Prema rezultatima hidrauličkog modela, cesta Orešje – Mihanovičev Dol već je poplavljena u protoku Q10. Granični prijelaz Orešje nalazi se na uzdignutom platou i nije poplavljen ni pri Q1000. Inače, prema rezultatima modela, naselje Mihanovičev Dol nije poplavno ugroženo.

Bračna vas

Rezultati hidrauličkog modela pokazuju da Sutla kod Bračne vasi u protoku Q10 doseže visinu ceste koja u to vrijeme još nije poplavljena. Kod protoka Q25 već preplavljuje cestu i dopire do prilaza pojedinih stambenih kuća.

Koeficijent hrapavosti na ovoj dionici je 0,066, što je, s obzirom na vijuganje i zaraslost, prikladno. Poprečni presjeci na ovoj dionici mjere se na međusobnoj udaljenosti od približno 300 m, nesigurnost rezultata mogla bi se smanjiti gušće snimljenim (i uključenim u model) poprečnim presjecima korita. Kod protoka Q100 u naselju Bračna vas već postoji mnogo, prema rezultatima hidrauličkog modela, poplavljenih (odn. okruženih vodom) stambenih objekata, dok su kod protoka Q1000 gotovo svi poplavljeni (odn. okruženi vodom). Jesu li zapravo ti objekti preplavljeni kod tih protoka, možemo saznati samo preciznijim geodetskim mjerenjem pragova kuća.

Nova vas kod Sutle

Prema rezultatima hidrauličkog modela, Q500 doseže prvi objekt u naselju Nova vas kod Sutle, koji je poplavljen u protoku Q1000. Na lijevoj obali rijeke Sutle već je kod Q10 poplavljen objekt koji se nalazi neposredno uz vodu. Prema podacima iz portala Google Maps, riječ je o vatrogasnom domu.

Gregovce/Gornji Čemehovec

S obzirom na rezultate hidrauličkog modela, površina čak i kod Q1000 ne doseže najnižu razinu platoa, na kojem se nalaze objekti. Naime, kote terena su približno 20 do 50 cm više od razine vode kod Q1000.

Donji Čemehovec

S obzirom na rezultate hidrauličkog modela, unutar Q100 se ne nalazi niti jedan objekt. Kod Q1000 voda počinje poplavljavati lijevi nasip na uzvodnom dijelu (u rangi nekoliko cm), a zatim voda teče prema naselju Donji Čemehovec te na tom dijelu poplavljuje (sjeverni dio naselja, uzvodno od graničnog

prijelaza) približno 4 objekta, a zatim se vraća još prije graničnog prijelaza natrag u korito Sutle. Na južnom dijelu protoka Q1000, voda se prelijeva preko lokalne ceste i poplavljuje približno 6 objekata.

Vučilčevo

S obzirom na rezultate hidrauličkog modela, voda kod protoka Q100 dopire do ruba naselja i poplavljuje stambeni objekt te poljoprivredni objekt (najvjerojatnije je riječ o skladištu ili štali). Kod protoka Q1000, opseg poplave se ne povećava značajno. Potrebno je napomenuti da je hidraulički model na ovoj dionici izrađen na temelju starijeg 12,5 m DMV (digitalni model visine), a nesigurnost izračunatih dubina i opsega je stoga veća nego u drugim područjima.

Kraj Donji

Naselje Kraj Donji nalazi se na lijevoj obali Sutle na dionici blizu VP Rakovec. Prema rezultatima hidrauličkog modela, dio naselja kod Q100 je poplavljenog (približno 15 objekata). S obzirom na Hrvatsku osnovnu kartu (HOK), koja je izrađena u mjerilu 1:5000 i koja uključuje, između ostalog, i konture terena, vidljivo je da su svi objekti uglavnom smješteni na padini brda i nalaze se iznad kote 147 m n.m., dok je izračunata kota Q1000 u tom području 146,6 m n.m. Iz toga možemo zaključiti da bi svi objekti trebali biti izvan dosega Q1000.

Gmajna

Prema rezultatima hidrauličkog modela, objekti na rubu naselja Gmajna su kod protoka Q100 poplavljeni.

Dobova i Veliki Obrež

Prema rezultatima modela, kod Q100 su poplavno ugrađeni objekti na jugoistočnom rubu naselja Dobova i istočnom rubu naselja Veliki Obrež. Slično je zaključeno već i u studiji iS Projekt. Voda poplavljuje desni nasip već na uzvodnoj dionici od Velikog Obreža, a zatim teče zapadnom stranom napuštenog željezničkog nasipa prema Dobovi i protječe kroz prolaz u napuštenom željezničkom nasipu prema području Rigonce/Harmica.

Rigonce/Harmica

Prema rezultatima hidrauličkog modela, kod Q100 u selu Rigonce poplavno je ugroženo manje od 5 objekata, a kod Q1000 približno 10.

Loče

Loče se nalaze izvan područja valjanosti karata rizika od poplava za postojeće stanje koje je u okviru projekta FRISCO1 izradio Hidroinstitut. Sami rezultati modela pokrivaju i ovo područje. Budući da su rubni uvjeti u ovom dijelu (gornji i donji rubni uvjet u poplavnom području Save) sažeti prema rezultatima hibridnih hidrauličkih modela koji su izrađeni za potrebe DPN HE Mokrice, rezultati modela iz projekta FRISCO1 vrlo su slični (gotovo identični) rezultatima spomenute studije za DPN HE Mokrice. Pritom treba naglasiti da u ovom području prevladavaju poplave Save, a ne toliko Sutle, stoga bi trebalo kao mjerodavne rezultate poplava s trajanjem od 100 godina uzeti u obzir protok Save s povratnim

razdobljem od 100 godina, a ne Sutle (vidi korištene koincidencije Save i Sutle u 2. Poglavlju), odn. Treba uzeti u obzir ovojnici scenarija Q100 Save – Q50 Sutle i Q20 Save – Q100 Sutle.

Ključ Brdovečki

Prema rezultatima hidrauličkog modela, na ovom su dijelu površine najviše na pritoku Sutle s povratnim razdobljem od 50 godina jer se u ovom slučaju uzima u obzir koincidencija Save s povratnim razdobljem od 100 godina (dok je u slučaju Sutle s povratnim razdobljem od 100 godina uzeta u obzir koincidencija Save s povratnim razdobljem od 20 godina).

3.1.6 ANALIZA RIZIKA OD POPLAVA

3.1.6.1 Analiza rizika od poplava postojećeg stanja

Prvo malo veće poplavno područje nalazi se uz ušće Mestinjščice, gdje se usred djelomično močvarne poplavne ravnice nalazi termalni park Aqualuna (Terme Olimia), izgrađen na umjetno nasutom, blago uzdignutom platou koji mu ne pruža odgovarajuću zaštitu od poplava. Drug poplavno područje je prije svega na slovenskoj strani rijeke između Imena i Prelaska, uglavnom nenaseljena i vlažna ravnica Ločica. Poplavama Sutle i desnog pritoka Bistrice također je izloženo i najniže dno Bistričke kotline, međutim, poplave ne uzrokuju veliku štetu jer su naselja gotovo u cijelosti na nešto višoj poziciji. Vijugavi tok Sutle u ovom je dijelu reguliran tijekom izgradnje željezničke pruge.

Nakon izlaza iz tjesnaca Zelenjak, na obje se strane rijeke nalazi šira poplavna ravnica, no poplave se šire samo po najnižim dijelovima gdje su uglavnom vlažne livade. Najveće poplavno područje je u Jovsima, ali ne poplavlja Sutla, već vlažne livade poplavljuju podzemne vode i oborinska voda, najčešće u kasnu jesen i rano proljeće.

Poplavno je ugroženo čitavo nizinsko područje uz rijeku Sutlu, od Dobovca do ušća u Savu. Uređenja (regulacije) u nekim urbaniziranim područjima ograničila su opseg poplava ili smanjila njihovu učestalost. Pritoci se prema Sutli izljevaju po relativno uskim dolinama. Uz Mestinjščicu, Zibiški potok, Tinški potok, Bučicu i Bistricu, uz visoke vode srednjih i duljih povratnih razdoblja (iznad Q_5), poplavljuju uglavnom poljoprivredne površine i pojedinačni manji zaselci odn. pojedinačni objekti. U prošlosti je glavna cesta prema Podčetrtku često bila poplavljena, a uz visoke vode svake godine poplavljene su cijele ravnice na obje obale.

Poplavno ugrožena područja na slovenskoj strani, koja treba spomenuti, su:

- cesta prema graničnom prijelazu Orešje;
- objekti u naseljima Bračna vas, Gregovce, Nova vas, Rigonce, Loče;
- dio naseljenog područja i turistički objekti u općini Podčetrtek;
- područje Rogatec na dijelu uz Sutlu.

Poplavno ugrožena područja na hrvatskoj strani, koja treba spomenuti, su:

- Područje od graničnog prijelaza Harmica (cesta Zaprešić-Dobova) do željezničke pruge Zagreb-Ljubljana, na kojoj nema izgrađenog nasipa. Na ovom je dijelu ugroženo više stambenih kuća, koje se nalaze između željezničkih nasipa i rijeke Sutle;
- naselje Gmajna u Kumrovcu, gdje je poplavljeno više stambenih i gospodarskih objekata;
- naselje Plavić, gdje je kod pojave visokih voda poplavljena lokalna cesta L22026;
- naselja Bratkovec, Luka Poljanska i Harina Zlaka, gdje je poplavno ugroženo nekoliko stambenih i gospodarskih objekata;
- područje uzvodno od graničnog prijelaza Hum u Sutli, gdje je poplavljeno više stambenih i gospodarskih objekata te dječji vrtić.

3.1.6.2 Određivanje parametara za obrađeno poplavno područje

Procjena rizika od poplava temelj je procesa optimizacije mjera te financijske i ekonomske analize. Osnova za definiranje poplavnih šteta u okviru projekta FRISCO1 bila je metodologija »Podloga za Bilateralnu metodologiju ekonomske procjene poplavnih šteta na prekograničnim slivovima, Metodologija Huizinga s parametrima za FRISCO1 projekt (Sveučilište u Zagrebu). Ova metodologija definira ograničen raspon kategorija štete, koje u prosjeku čine 80 % ukupne štete u svim obrađenim državama EU. Metoda obuhvaća procjenu štete na (1) stambenim objektima, (2) poslovnim zgradama, (3) industrijskim zgradama, (4) cestama i u (5) poljoprivredi.

Za potrebe projekta Frisco, u svrhu procjene poplavne štete, utvrđene su samo poplavne štete na zgradama. Poljoprivredna zemljišta su u velikoj mjeri očuvana u svim mjerama kao postojeća poplavna područja, pa se ekonomski učinci na njih ne mogu utvrditi. Također, ne očekuje se da će šteta na prometnoj infrastrukturi biti velika, budući da je infrastrukturna opremljenost područja niska.

Ukupno, svih analiziranih zgrada koje se nalaze u doseg poplava s povratnim razdobljem od 1000 godina, ima 600. Opredjeljeni su svi objekti koji se nalaze u registru zgrada Republike Slovenije (2018.), dakle 462 zgrade. I 138 zgrada na hrvatskoj strani.

Za izračun očekivane godišnje štete od poplava, prvo je potrebno izračunati štetu pojedinog događaja s protocima Q10, Q25, Q50, Q100 i Q500, Q1000. Tablice u nastavku prikazuju obračune prema pojedinoj kategoriji štete.

Faza	Vrsta Štete	Tip Štete	PLŠ (EUR/godišnje)
Post	ZGRADE	zgrade (zgrade i oprema) – Stambene /model/	101.009
Post	ZGRADE	zgrade (zgrade i oprema) – Poslovne /model/	31.804
Post	ZGRADE	zgrade (zgrade i oprema) – Nedefinirano /model/	178.659
Post	ZGRADE	zgrade (zgrade i oprema) – Poljoprivredne /model/	235.668
Post	ZGRADE	zgrade (zgrade i oprema) – Industrijske /model/	10.076
Post	ZGRADE	zgrade (zgrade i oprema) – Druge zgrade /model/	1.320
		Ukupno (zgrade)	558.535
		Preostala šteta (20 % ukupne štete)	139.634

	UKUPNO - očekivana godišnja šteta (bez stepenice)	698.169
--	---	----------------

Očekivana godišnja šteta od poplava u poplavnoj zoni SUTLA po pojedinačnim kategorijama (metodologija H.J. Huizinga 2017) - Model šteta od poplava bez stepenice na objektu

	PLŠ bez nadvišenja	
	EUR/godišnje	posto
Slovenski dio	421.881	76 %
Hrvatski dio	136.655	24 %
Ukupno	558.535	

Očekivana godišnja šteta od poplava u poplavnoj zoni SUTLA na obrađenim područjima (samo zgrade) s analizom učešća u predviđenim godišnjim štetama s obzirom na lokaciju (u Republici Sloveniji, u Republici Hrvatskoj).

3.1.6.3 Šteta od poplava i ekonomska učinkovitost mjere pregrade Vonarje

Glavna problematika pregrade Vonarje je u njezinom lošem održavanju, što prelazi proračunska sredstva godišnje, namijenjena za održavanje i rad objekata vodne infrastrukture na području sliva. Stoga je posljednjih godina na brani Vonarje došlo do ozbiljnih oštećenja na betonskim i armiranobetonskim regulacijskim objektima, dok je hidromehanička i elektro-mehanička oprema dotrajala.

U slučaju rušenja pregrade, najveća je ugroženost Podčetrтка i turističkih objekata u okolici Podčetrтка. Rušenje pregrade može biti uzrokovano poplavnim valom koji bi na svom putu imao razarajuće i katastrofalne posljedice. Najveći stupanj ugroženosti ima kompleks vodenog parka Aqualuna u okviru Termi Olimia, koji je udaljen manje od 1000 m od pregrade, izravno na putu poplavnog vala uz korito rijeke Sutle.



Turistički objekt Aqualuna – rizik od poplava je najveći

U okviru prethodno izrađene dokumentacije procijenjeno je da bi potencijalna šteta od poplava, koja bi se dogodila u samo jednom slučaju katastrofalnih poplava, mogla iznositi čak 7,3 milijuna EUR.

Uz predviđene mjere osigurat će se veća sigurnost i učinkovitost djelovanja retencije Vonarsko jezero. S njom se ne ulazi u karakteristike i dimenzije pregrade, niti u granične uvjete rada, koji će ostati isti kao i sada. To će, zapravo, biti optimizacija i modernizacija već provedenih mjera (pregrade Vonarje), dimenzije pregrade i rubni uvjeti rada se ne mijenjaju s predviđenim dijelovima.

Utvrđeno je da je sama provedba projekta sanacije i modernizacije pregrade Vonarje znatno niža od potencijalne štete koja bi nastala eventualnim rušenjem pregrade. Provedbom investicije, 80 stanovnika imat će djelomične koristi od mjera zaštite od poplava, dok će istovremeno biti zaštićeno područje termalnog parka Aqualuna, a time i razvoj turizma na širem području projekta.

3.2 PRIPREMA I ANALIZA ALTERNATIVNIH RJEŠENJA

3.2.1 PRIPREMA ALTERNATIVNIH RJEŠENJA

Na temelju svih prethodnih analiza, u okviru prve faze studije, predložena su sljedeća lokalna uređenja u obrađenom području:

- Nadvišenje postojećeg visokovodnog nasipa na lijevoj obali Sutle nizvodno od željezničke pruge Ljubljana – Zagreb za zaštitu naselja Ključ
- Visokovodni nasipi u kombinaciji s visokovodnim zidovima za zaštitu naselja Gmajna (kod Dobove), Dobova, Harmica i Rigonce
- Pojedinačne mjere za osiguravanje poplavne sigurnosti naselja Nova vas kod Sutle
- Visokovodni nasip/zid/nadvišenje ceste za zaštitu naselja Bračna vas
- Rušenje postojećeg i izgradnja novog visokovodnog nasipa kod Kumrovca
- Podizanje konstrukcije mosta Gmajna – Kunšperk
- Uređenja na području Aqualune (sekundarno korito i podizanje postojeće ceste)
- Uređenja korita i zamjena mosta u Rogatcu (Hum na Sutli).

U pogledu zadržavanja visokih voda Sutle, predlažu se sljedeće retencije:

- Obnova retencije Vonarje
- Retencije na Mestinjščici
- Retencije na ušću Sutle (Trlično)

U sklopu druge faze osmišljavanja alternativnih rješenja, predložena uređenja detaljnije su ispitana te su po potrebi dopunjeni s obzirom na rezultate hidrauličkog modela. Uređenja za koja se pokazalo da već nakon grube procjene nisu ekonomski opravdana odn. da su i hidraulički neprikladna odn. nepotrebna, bila su isključena iz skupa alternativnih rješenja. Tako su se s hidrauličkim modelom analizirala samo uređenja, koja su se pokazala značajnima za daljnju analizu.

U ovom poglavlju izrađen je skup te dopuna uređenja osmišljenih u prethodnim poglavljima ove studije.

3.2.1.1 Dionica od izvora Sutle do tjesnaca Zelenjak

Naselje Gmajna – Kumrovec

Uz Sutlu je već djelomično izveden nasip duljine 980 m. Nasip slijepo završava usred poplavne ravnice i ne završava na višem terenu, što omogućuje da vode protječu duž razvođa i stižu do zaselka Gmajna.



Nasip uz Sutlu na području Gmajne

Osim visokih voda Sutle, vode u razvođu također dodiruju obrađeno područje. Ispusti su u lošem stanju (oštećeni, začepljeni), zbog toga sustav odvodnje voda u razvođu pri visokovodnim pojavama ne funkcionira, pa je posljedično u zaselku Gmajna veća opasnost od poplava.



Akumulacija voda u razvođu nasipa

U prvoj fazi osmišljavanja alternativnih rješenja, planiran je nasip na području sela Gmajna, koji je na nizvodnoj (istočnoj) strani otvoren. Rezultati hidrauličke analize pokazali su da se u JI području Bistričkog (Kumrovačkog) polja pri visokovodnim pojavama uspostavlja brana, uz koju su kote poplave uzvodno i

nizvodno od sela praktički identične. Prema tim saznanjima bilo je potrebno promijeniti koncept protupoplavne zaštite sela Gmajna. Poplavljeni nasip mora okruživati naselje Gmajna sa 3 strane.

Osim nasipa, bit će potrebno u sklopu protupoplavne zaštite sela Gmajna pobrinuti i za vode u razvođu. Zaštita ravnica iznad Gmajna nije potrebna jer na ovom području nema prisutnih građevina. Postavljen je uređaj za pročišćavanje, koji ima bazene podignute iznad okolnog terena, gdje se po potrebi poduzimaju samo lokalne mjere zaštite strojne opreme i drugih osjetljivih elemenata (podizanje opreme iznad dosega poplavnih voda, provedba dodatnog nasipa uz ČN – u ovom slučaju potrebno je predvidjeti i crpnu stanicu vlastitih voda).

Podčetrtek – Aqualuna; (Harina Žlaka)

Područje vodenog parka s približno 100 turističkih objekata i lokalna cesta na lijevoj obali pri visokim je vodama Sutle poplavljeno. Za zaštitu ugroženih objekata i infrastrukture, na području Aqualune predlaže se provedba sveobuhvatnih mjera. Za poboljšanje prohodnosti uskog koridora uz Aqualunu, predlaže se provedba sekundarnog riječnog korita na lijevoj obali vodotoka. Vanjski rub proširenog korita spojen je s lokalnom cestom, koja se u sklopu uređenja može nadvisiti za najmanje 0,5 m (ovisno o priključcima lokalnih objekata). Područje sekundarnog korita bit će 2 m niže od postojećeg terena, zbog čega očekujemo poboljšanje uvjeta protoka u vrijeme poplave. Sekundarno korito odn. proširenje osnovnog korita Sutle provodi se na duljini od 200 m. Prije izgradnje bit će potrebno srušiti još 2 postojeća (napuštena) objekta. Za preusmjeravanje i naposljetku i priključenje voda nazad na Sutlu, potrebno je uzduž novog korita izgraditi 3 nova mosta (2 na željezničkoj pruzi, 1 na pristupnoj cesti prema Aqualuni).

Provedba sekundarnog preljevnog koridora važna je iz hidrotehničkog, kao i s vidika očuvanja prirode, jer bi ispuštanje vode duž zapadne strane željeznice smanjilo protok uz Aqualunu, a istodobno bi obnovilo dio njezinog identiteta, koji joj je izgradnjom Aqualune i turističkog naselja neposredno uz vodotok i u poplavnom području, oduzet. Duljina preljevnog koridora iznosi 950 m, pri čemu se stanište proteže na duljini od 670 m. Zbog provedbe tunelske dionice korita, potrebno je premjestiti makadamsku cestu, koja je danas preko nasipa postavljena na obližnjim livadskim površinama.

Rogatec (Hum na Sutli)

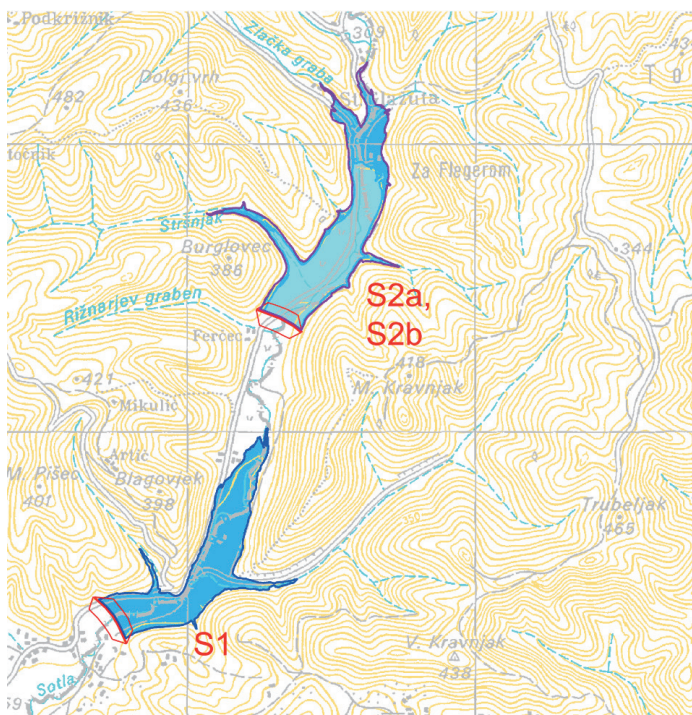
U Rogatcu (Hum na Sutli), s gledišta poplava, najproblematičniju točku predstavlja prijelaz Sutle na području graničnog prijelaza. Postojeća retencija je zasvođena i ima premali svjetlosni otvor za neometan protok poplavnih voda. Osim mostova, samo korito također je lokalno poddimenzionirano.

Na dionici Sutle kroz Rogatec (Hum na Sutli) moguće je poboljšati zaštitu od poplava, osim samim uređenjem korita, i izvedbom zida odn. nadvišenja vrha lijevog nasipa na dionici ispod graničnog prijelaza. Nakon provedbe predloženih mjera, dijelu naselja iznad i ispod graničnog prijelaza značajno će se smanjiti rizik od poplava.

Retencije na ušću Sutle (Trlično)

Bez obzira na planirano uređenje dionice Sutle i zamjenu mosta u Rogatcu, treba uzeti u obzir da se Sutla izliva iz korita već iznad samog ulaza u grad. Osim toga, istodobno s uređivanjem korita

vodotoka, a time i povećanjem odvoda, potrebno je osigurati i adekvatno zadržavanje visokih voda u riječnom slivu, jer povećanje odvoda uzrokuje intenzivnije pojave nizvodno od provedene mjere. Prema opisanim činjenicama, analizirane su moguće lokacije iznad Rogatca, gdje bi se mogla zadržati visoka voda. Identificirane su i analizirane dvije lokacije retencije.



Lokacije predviđenih retencija u slivu Sutle

Zbog udaljenosti mjere od primarnog zaštitnog elementa – Rogatca, zadržavanje vode neće imati isti učinak kao da imaju isti volumen na raspolaganju neposredno iznad Rogatca jer bi se retencijama mogla kontrolirati samo gornja trećina sliva. Kao dodatnu mjeru za smanjenje bujica poplavnih voda, poplavne ravnice treba aktivirati duž doline Sutle između Trličnog i Rogatca.

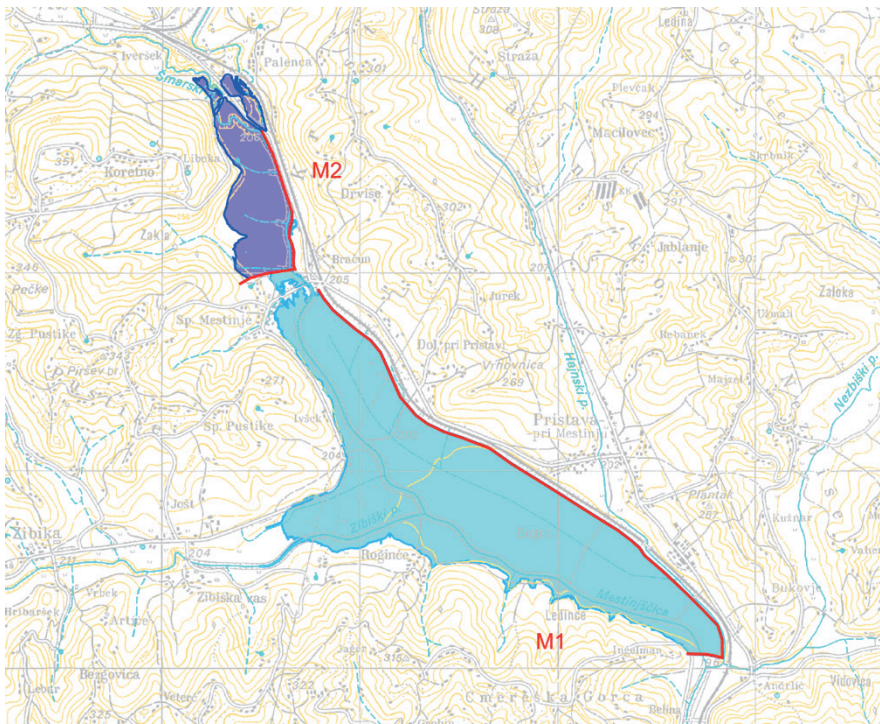
Pregrada Vonarje

Pregrada Vonarje izgrađena je 1980. godine s ciljem zadržavanja visokih voda te osiguravanja pitke vode i vode za navodnjavanje. Zbog loše kvalitete vode u akumulaciji i štetnih posljedica ispuštanja te vode na faunu, 1988. godine akumulacija je ispražnjena, tako da danas služi samo za akumuliranje visokih voda. U posljednjem razdoblju na pregradi su uočene štete na betonskim objektima, a istrošena je i hidromehanička oprema i električne instalacije.

Retencije na Mestinjščici

Mestinjščica kao jedan od većih pritoka Sutle ima značajan utjecaj na vodni režim pretežitog dijela doline ispod pregrade Vonarje. S obzirom na njezinu važnost, utvrđeno je da se dio poplavnih voda može zadržati i u dolini Mestinjščice. Primarnu retenciju na Mestinjščici predstavljala bi retencija M1. Pregrada bi se nalazila u tjesnacu ispod Cmerekške gorice, iznad ušća Jerčinskog potoka. Brana bi se sastojala od čeonih nasipa i nasipa kojeg bi trebalo izvesti uzduž željezničke pruge. Izvedbom nasipa retencije bilo bi potrebno istovremeno urediti i prikladno sakupljanje i ispuštanje okolnih voda koje danas istječu prema

Mestinjšćici. Uzvodno od retencije M1 predviđena je manja izvedba retencije M2. Pregrada je, kao i kod retencije M1, sastavljena iz čeonog dijela, koji je pozicioniran kod mjesta Spodnje Mestinja te dijela nasipa koji protječe uzduž postojeće glavne ceste.



Predloženi sustav retencija na Mestinjšćici

3.2.1.2 Dionica od tjesnaca Zelenjak do ušća u Savu

Na dionici od VP Zelenjak do ušća u Savu (tj. područje hidrauličkog modela Sutla 3), rizik od poplava je relativno mali. U nastavku su predložena uređenja, detaljnije opisana po skupovima (područja naselja), gdje je predviđeno da će utjecati na rizik od poplava

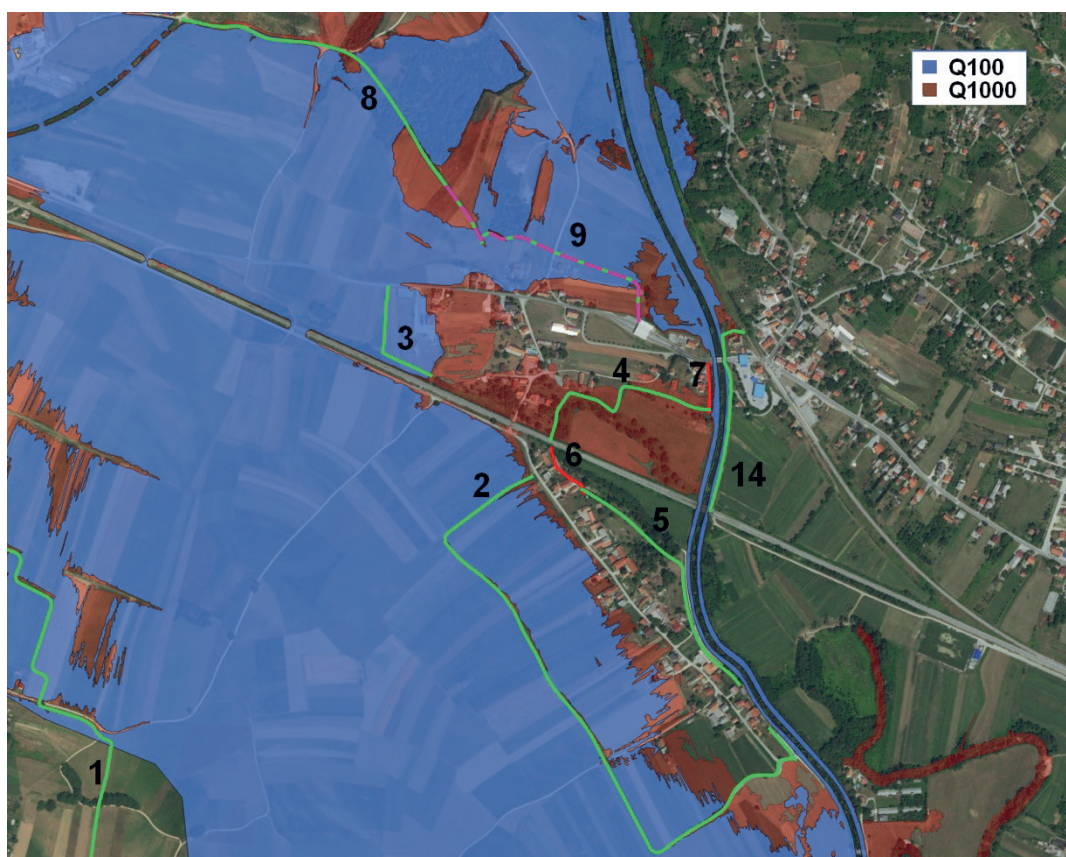
Zaštita naselja Loče (Uredba br. 1)

Za zaštitu naselja Loče predviđen je VV nasip već u sklopu DPN HE Mokrice. Treba naglasiti da na tom području prevladavaju poplave Save, a ne toliko Sutle.

Zaštita na području Rigonce/Harmica – desni nasip (Uređenja br. 2 do 9)

Uređenja za zaštitu naselja Rigonce su sljedeća:

- Uredba br. 2: VV nasip za zaštitu naselja Rigonce zbog visoke vode rijeke Save (već uključeno u DPN HE Mokrice)
- Uređenje br. 3: VV nasip za zaštitu naselja Rigonce zbog prodora Savske vode kroz ispust u željezničkom nasipu (već uključen u DPN HE Mokrice)
- Uređenje br. 4, 5, 6, 7: Visokovodni nasipi (u nekim mjestima kao nadvišenje obale Sutle) i zidovi za zaštitu naselja Rigonce zbog visokih voda Sutle
- Uređenje br. 8, 9: VV nasip za zaštitu naselja Rigonce (sprječavanje prodora vode u naseljeno područje s uzvodnog područja zbog visokih voda Sutle)

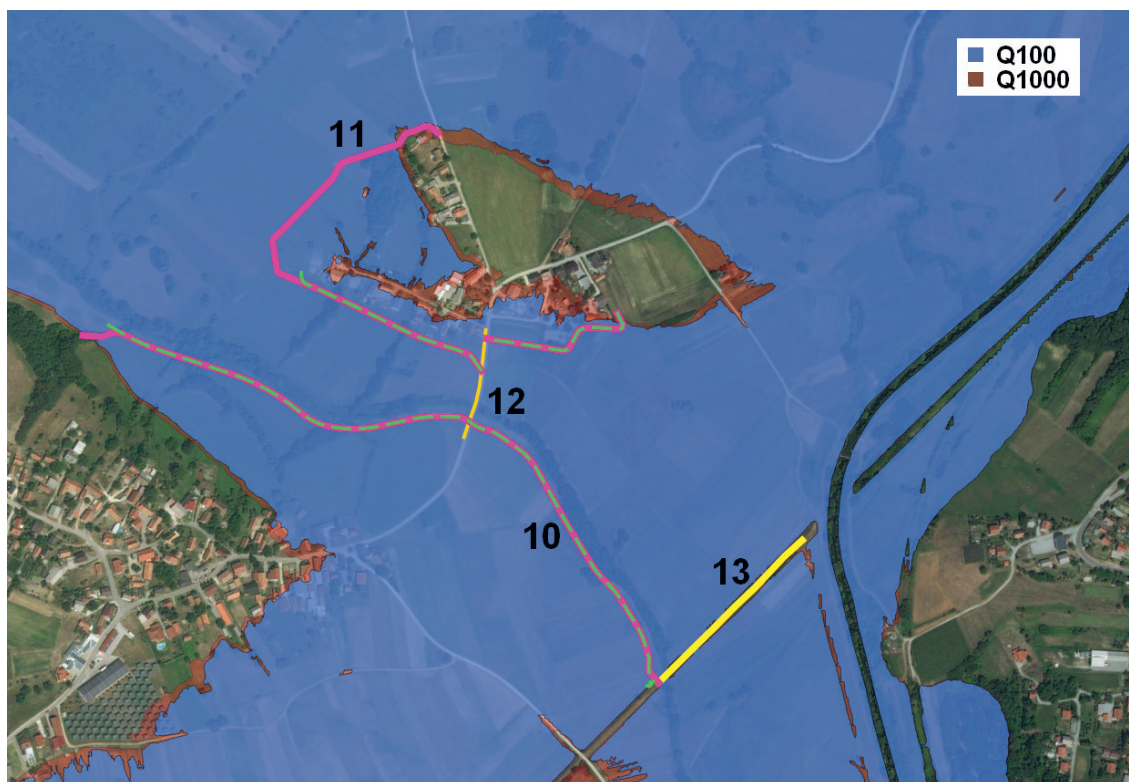


Prikaz ruta svih planiranih uređenja na području Loča i Rigonca/Harmice

Zaštita naselja Dobova, Veliki Obrež i Gmajna (Uređenja br. 10 do 13)

Za zaštitu od visokih voda predviđena su sljedeća uređenja:

- Uređenje br. 10: VV nasip na desnoj obali Šice za zaštitu naselja Veliki Obrež i Dobova (sprječavanje utoka vode u područje zapadno od napuštenog željezničkog nasipa).
- Uređenje br. 11, 12: VV nasip za zaštitu zaselka Gmajna i podizanje razine postojeće ceste za pristup zaselku u vrijeme pojave visokih voda.
- Uređenje br. 13: Uklanjanje napuštenog željezničkog nasipa s ciljem smanjenja brane i uzvodne površine uz zaselak Gmajna.



Prikaz ruta nasipa iz starog projekta IS Projekt, 2012 (zeleno iscrtkana) i nadopunjena ruta nasipa prema rezultatima hidrauličkog modela za postojeće stanje (ružičasta) te podizanja ceste i uklanjanje napuštenog nasipa (ostaje nepromijenjeno prema studiji IS Projekt, 2012)

Zaštita na području Rigonce/Harmica – lijevi nasip (Uredba br. 14)

Na temelju terenske inspekcije, postojećih podataka o opasnosti od poplava, interesa s hrvatske strane te na temelju nalaza o mogućem utjecaju uređenja, na desnoj obali se još predlaže izgradnja visokovodnog nasipa na lijevoj obali Sutle od graničnog prijelaza Rigonce/Harmica do željezničke pruge.

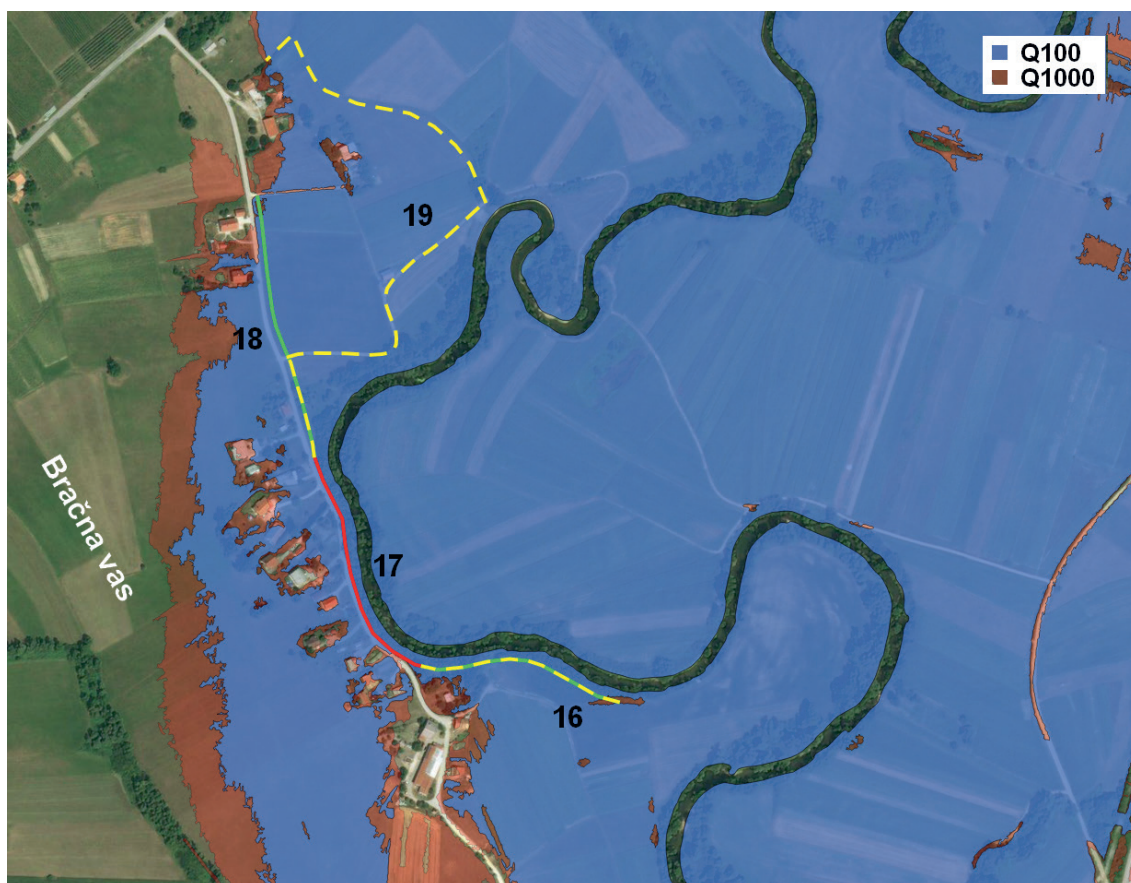
Zaštita naselja Ključ Brdovečki (Uredba br. 15)

Na lijevoj obali Sutle, južno od željezničke pruge Zagreb-Ljubljana, nalazi se nekoliko poplavno ugroženih naselja. Pritom treba naglasiti da na tom području poplavljuje rijeka Sava, dok Sutla samo doprinosi povećanom protoku Save. Na ovoj dionici već je izgrađen VV nasip uz naselje Klet Brdovečki duljine 3480 m (prikazan na sljedećoj slici sa zelenom linijom). Nasip je već poprilično star, a pri pojavi visoke vode Sutle i Save, kroz nasip istječe i nešto vode. U bližem području zbog Save su poplavno ugrožena i naselja Drenje Brdovečki i Savski Marof. Iz terenske inspekcije u okviru ovog projekta, utvrđeno je da postojeći nasip na ovom dijelu stvarno ima mnogo nižu krunu nego na nizvodnoj dionici. Stoga je u prvoj fazi predloženo nadvišenje VV nasipa, koji se proteže uz lijevi nasip neposredno uz korito Sutle.

Zaštita naselja Bračna vas (Uredbe br. 16 do 19)

Prema rezultatima hidrauličkog modela poplavljeno je selo Bračna vas (desni nasip Sutle) s povratnim razdobljem od 100 godina. Nakon razgovora s mještanima iz Bračne vasi, tijekom visokovodnog događaja 2010. godine, voda je došla do ruba ceste koja prolazi kroz naselje. Radi zaštite naselja Bračna vas planira se na južnom dijelu uz korito na desnoj obali Sutle VV nasip (uređenje br. 16), koji počinje

približno 300 m nizvodno od naselja te se na zapadnom dijelu priključi na VV zid uz postojeću cestu (uređenje br. 17). Predviđeni VV zid protječe tada uz cestu prema sjeveru (na lokaciji postojeće državne ograde) i nakon približno 500 m spaja se na postojeću poljsku stazu, za koju je predviđeno nadvišenje.



Predložene mjere protupoplavne zaštite sela Bračna vas

Zaštita ostalih pojedinačnih poplavno ugroženih objekata

Jedno od alternativnih rješenja za zaštitu objekata od poplava je i zaštita objekata s montažnim elementima (zaštita vrata i prozora s panelnom zaštitom od poplava, automatski ventili za zatvaranje cjevovoda). Takva mjera zasigurno će biti potrebna na svim preostalim poplavno ugroženim objektima i koji se ne mogu zaštititi od visokih voda Sutle spomenutim uređenjima visokih voda. S obzirom na relativno mali rizik od poplava Sutle na području od VP Zelenjak do ušća u Savu, takva mjera (tj. individualna zaštita od poplava) mogla bi u ekonomskoj analizi predstavljati alternativno rješenje za sva prethodno opisana uređenja.

KOMBINACIJE UREDBI

Neka uređenja međusobno su ovisna, zato su u analizi rizika od poplava analizirane sljedeće kombinacije:

Opis (kombinacija uredbi)	Oznaka (br.)	Uredba
Zaštita Rigonc - J dio	5	nasip
	6	zid
Za zaštitu SI dijela Rigonca	4	nasip
	7	zid
za zaštitu SZ dijela Rigonca iznad Q100 - varijanta 1	9	nasip
za zaštitu SZ dijela Rigonca do Q100 - varijanta 2	8	nasip
za zaštitu Gmajne - nasip	11	nasip
za zaštitu Gmajne - odstranjivanje napuštenog nasipa	13	odstranjivanje nasipa
zaštita Obreza i Dobove - zaštita Gmajne	11	nasip Gmajna
	10	nasip Šica
	12	podizanje ceste
za zaštitu Bračne vasi - varijanta 1	16	nasip zajednički dio
	18	nasip zaključak varijanta 1
	17	zid
za zaštitu Bračne vasi - varijanta 2	16	nasip zajednički dio
	19	nasip zaključak varijanta 2
	17	zid
Uređenja u sklopu DPN HE Mokrice	3	nasip Rigonce (kratak)
	2	nasip Rigonce (dug)
	1	nasip Loče

Kombinacije uređenja na dionici od tjesnaca Zelenjak do ušća u Savu

3.2.2 ANALIZA ALTERNATIVNIH RJEŠENJA

Predložena su sljedeća lokalna uređenja:

- Nadvišenje postojećeg visokovodnog nasipa na lijevoj obali Sutle nizvodno od željezničke pruge Ljubljana – Zagreb za zaštitu naselja Ključ
- Visokovodni nasipi u kombinaciji s visokovodnim zidovima za zaštitu naselja Gmajna (kod Dobove), Dobova, Harmica i Rigonce
- Pojedinačne mjere za osiguravanje poplavne sigurnosti naselja Nova vas kod Sutle
- Visokovodni nasip/zid/nadvišenje ceste za zaštitu naselja Bračna vas
- Rušenje postojećeg i izgradnja novog visokovodnog nasipa kod Kumrovca
- Podizanje konstrukcije mosta Gmajna – Kunšperk
- Uređenja na području Aqualune (sekundarno korito i podizanje postojeće ceste)
- Uređenja korita i zamjena mosta u Rogatcu (Hum na Sutli).

U pogledu zadržavanja visokih voda Sutle, predlažu se sljedeće retencije:

- Obnova retencije Vonarje
- Retencije na Mestinjščici
- Retencije na ušću Sutle (Trlično)

Analiza alternativnih rješenja uzima u obzir troškove ulaganja, rada i održavanja, te ostale troškove, ako ih ima (troškovi smanjenja utjecaja na okoliš itd.) i koristi. Analiza odabranih alternativnih rješenja temelji se na rezultatima hidrauličkog modeliranja za planirano stanje i izračunatih šteta od poplava.

U sljedećem poglavlju studije napravljen je uži izbor uređenja pomoću hidrauličkog modela, a u nastavku je napravljena još i detaljna ekonomska analiza. S obzirom na to da poljoprivredne površine imaju vrlo mali potencijal štete, u sklopu hidrauličke analize alternativna rješenja su se ciljno optimizirala u smjeru smanjenja rizika od poplava na području postojećih naselja. To je također u skladu s načelom da se nove građevinske mjere trebaju predvidjeti prvenstveno radi zaštite sigurnosti i zdravlja stanovništva te najvrjednijih gospodarskih dobara i aktivnosti, kao i kulturne i prirodne baštine.

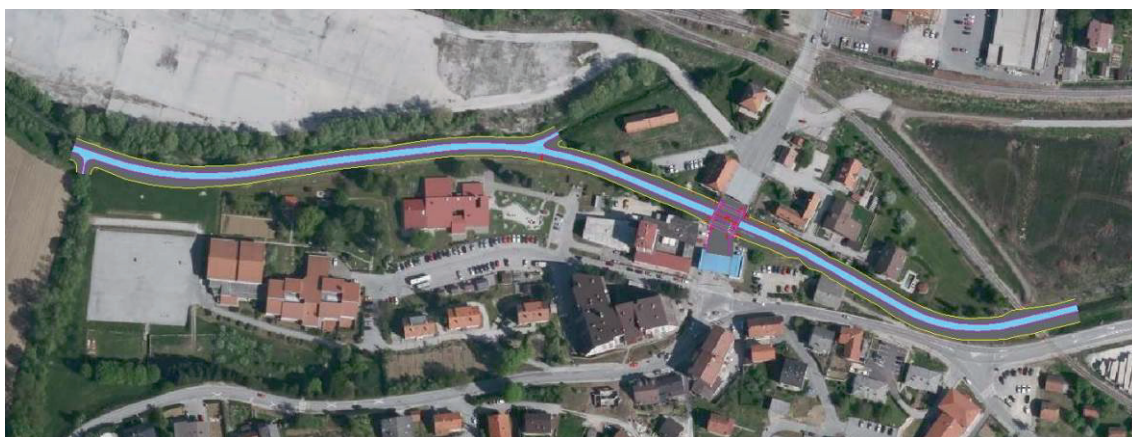
3.2.2.1 *Dionica od izvora Sutle do Zelenjaka (Bistrica ob Sotli)*

Na dionici Sutle iznad Zelenjaka predložene su sljedeće mjere:

- zamjena mosta i uređenje korita rijeke u Rogatcu (Hum na Sutli).
- proširenje protočnog presjeka Sutle i uređenje ekološki uređenog sekundarnog preljevnog koridora (zelena infrastruktura) na području Aqualune u Podčetrtku/Harina Žlaka
- nasip s uređenjem odvodnih kanala na području naselja Gmajna (Kumrovec).

Rogatec (Hum na Sutli)

U Rogatcu, s gledišta poplava, najproblematičniju točku predstavlja prijelaz Sutle na području graničnog prijelaza.



Područje planiranih mjera u Rogatcu.

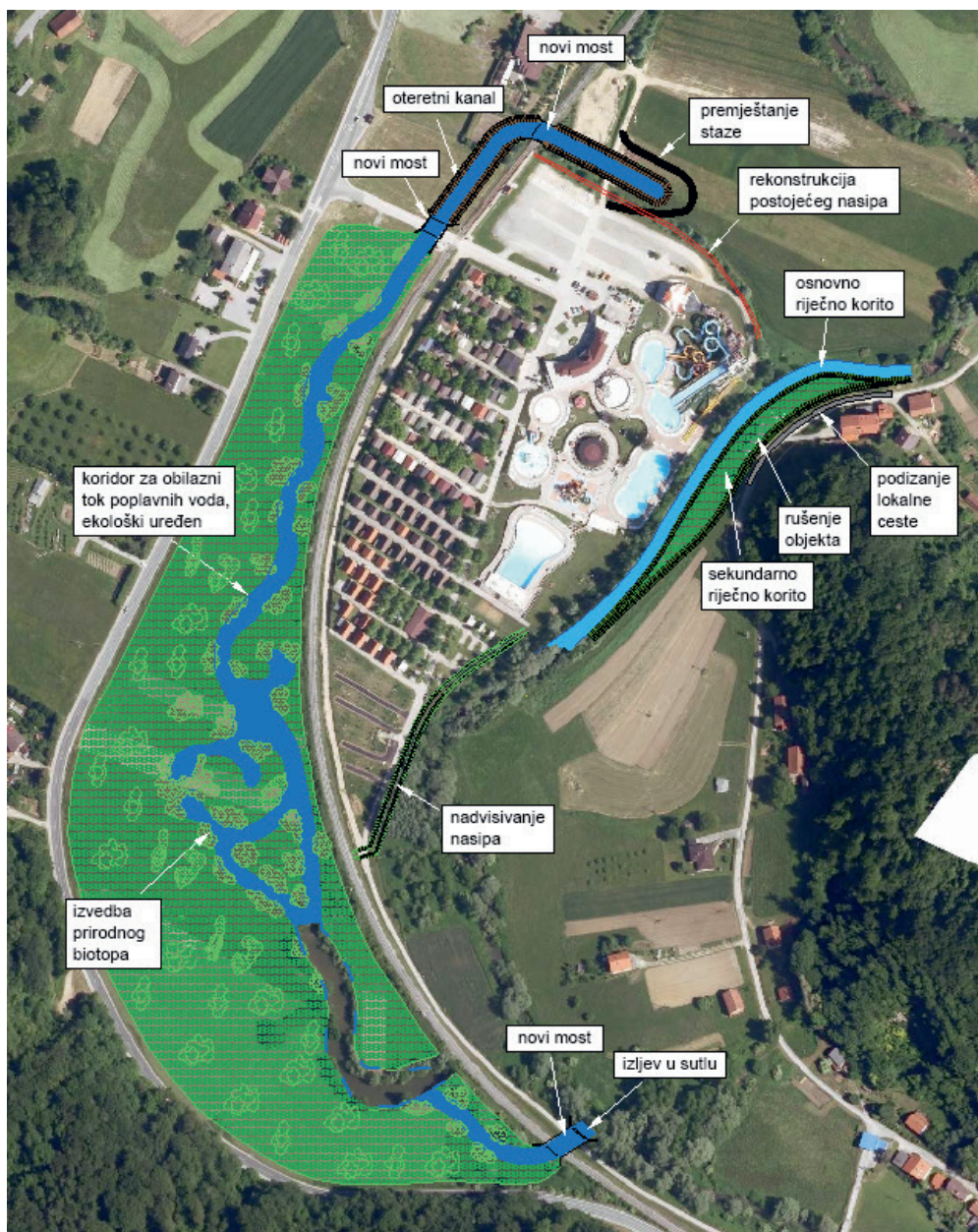
Hidraulička analiza pokazala je da u slučaju pojave stogodišnje vode, unatoč boljoj prohodnosti planiranog korita i mosta, još uvijek bi bili poplavljeni objekti na desnoj obali uzvodno od mosta te objekti

na lijevoj obali nizvodno od mosta. S obzirom na to da bi pojedinačna područja i nakon uređenja korita još uvijek bila poplavno ugrožena, na dionici Sutle kroz Rogatec/Hum na Sutli, za zaštitu postojećih objekata dodatno bi se nudio i AB visokovodni zid koji štiti stambene objekte od stogodišnje visoke vode Sutle.

U slučaju pojave Q100, predložene mjere pozitivno utječu na zaštitu od poplava dijela Rogatca. Zbog visokovodnog zida, od poplava su sigurni i objekti, prema predviđenom visokovodnom zidu, a i željeznica. Hidraulička analiza planiranog stanja 1000-godišnjih voda pokazala je da prelijevanjem preko planiranih zidova uglavnom dolazi do poboljšanja poplavnih razmjera, međutim, nekim se objektima uz planirani visokovodni zid lijevog nasipa stanje pogorša. Zbog toga se na nizvodnoj strani predviđenog zida lijevog nasipa na duljini od 5 m izvodi lamelarna protupoplavna zaštita (IBS ili slično), koja se uklanja u slučaju prelijevanja preko zida (npr. kod Q1000), da bi se poplavne vode u razvodu mogle vratiti u korito Sutle. Nakon provedbe predloženih mjera, dijelu naselja iznad i ispod graničnog prijelaza značajno će se smanjiti rizik od poplava u slučaju visokih voda Sutle. Analiza i oblikovanje rješenja zbog poplave rijeke Draganje u sklopu ovog projekta nije bilo predviđeno.

Podčetrtek – Aqualuna (Harina Žlaka)

Za zaštitu ugroženih objekata i infrastrukture, na području Aqualune predlaže se provedba sveobuhvatnih mjera. Za poboljšanje prohodnosti uskog koridora uz Aqualunu, predlaže se provedba sekundarnog riječnog korita na lijevoj obali vodotoka. To se provodi približno 1 m iznad površine u normalnim hidrološkim uvjetima. Vanjski rub proširenog riječnog korita spojen je s lokalnom cestom, koja je u sklopu uređenja područja nadvišena za 1 m. Područje sekundarnog korita bit će 2 m niže od postojećeg terena, što će poboljšati uvjete protoka u vrijeme poplave. Sekundarno korito odn. proširenje osnovnog korita Sutle provodi se na duljini od 260 m. Prije izgradnje bit će potrebno srušiti još dva postojeća (napuštena) objekta te pješački most preko Sutle.



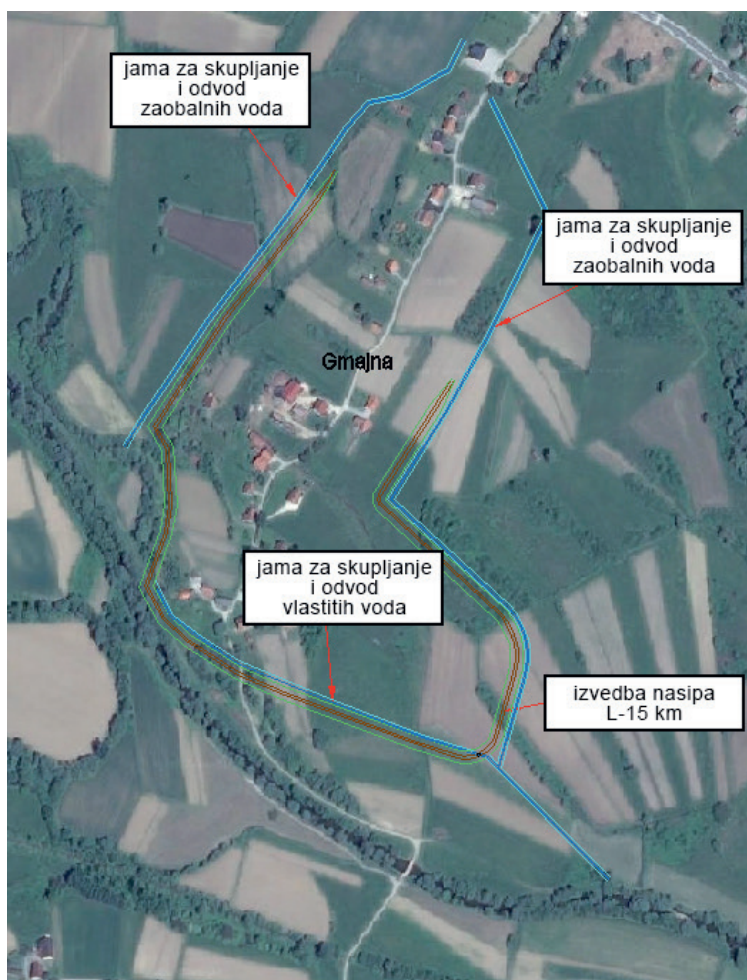
Predložene mjere na širem području Aqualune.

Predložene mjere provjerene su hidrauličkim modelom. U području predviđenog sekundarnog korita Sutle, poprečni profili u 1D modelu su preoblikovani. Profili na dionici uređenja generirani su na temelju snimke terena LIDAR (izvedenim 2014. godine), pri čemu je dno vodotoka određeno s obzirom na razinu iz modela postojećeg stanja. U sklopu uređenja predviđeno je uklanjanje postojećeg pješačkog mosta u ovom dijelu, koje se nije ni uzimalo u obzir u računici postojećeg stanja. Hidraulička analiza planiranog stanja pokazala je da predložene mjere imaju pozitivan učinak na poplavnu sigurnost objekata, kao i na dubinu poplavne vode na obradivim površinama. U slučaju pojave Q100, područje Aqualune i uzdignuta dionica lokalne ceste sigurni su od poplava, dok se dubina poplavne vode na livadama i poljima smanjuje do 25 cm. U slučaju pojave Q500, poplava u području Aqualune ne ugrožava objekte, a u krajnjem SI dijelu, na području tobogana, gdje dubina vode ne prelazi 8 cm, dolazi do manjeg razlijevanja vode. U slučaju vode od 1000 godina, poplavna voda počinje dolaziti na područje Aqualune na SI dijelu, odakle

se poplava širi najprije prema Z, a zatim prema J. Područje turističkog naselja je djelomično poplavljeno. Prosječna dubina vode iznosi 15 cm, a maksimalna 45 cm. Željeznica je na obrađenoj dionici sigurna od poplava, čak i u slučaju pojave Q1000.

Naselje Gmajna – Kumrovec

Za zaštitu sela Gmajna predviđen je nasip dug 1360 m, koji okružuje selo s tri strane. Osim nasipa, u sklopu zaštite od poplava sela Gmajna, potrebno se pobrinuti i za vode u razvođu. Zapadno i istočno od planiranog nasipa trebalo bi izvesti poljske jarke koji bi bili povezani s postojećim kanalima (odn. koridorima kroz koje bi se mogao očekivati dovod površinskih voda) te bi se na kraju priključili postojećim vijugama odn. koritu Sutle. Unutar zaštićenog područja također bi bilo potrebno izvesti kanal za odvod vlastitih voda duž nasipa. Gravitacijska odvodnja vlastitih voda bila bi moguća samo u slučaju niskog vodostaja u Sutli. U slučaju povišenog vodostaja bilo bi potrebno spriječiti prodor vode s poplavnog područja u zaštićeno područje Gmajne. U tu svrhu na odvodnom kanalu treba postaviti protupovratni preklop, a unutar zaštićenog područja osigurati crpnu postaju za crpljenje vlastitih voda u Sutlu. Planirani nasip je na JI dijelu nešto udaljeniji od samog naselja. Ovaj prostor je višenamjenski i omogućuje zadržavanje vlastitih voda u slučaju kvara crpne postaje, zadržavanje vode kao njezina osnovna funkcija – posljedično, manja crpna postaja odn. izvodi se samo crpna osovina, a može se koristiti i za skupljanje procjednih voda, koje bi se zbog visoke podzemne vode iz tla mogle cijediti u zaštićeno područje.



Mjere na području sela Gmajna.

Postojeći se nasip u potpunosti ruši, a teren se izravna na razinu okolnog terena. Utjecaj predviđenog nasipa provjeren je hidrauličkim modelom i utvrđeno je da je, izvedbom nasipa, selo Gmajna u slučaju stogodišnjih visokih voda sigurna, a u slučaju Q500 nasip se počinje prelijevati na istočnoj strani, odakle se voda širi prema zapadu i preplavljuje cijelo područje iza nasipa. U slučaju pojave Q1000, nasip se prelijeva po cijeloj dužini.

Hidraulička analiza pokazala je da predviđeni nasip ima negativan utjecaj na površinu, osobito na području livada i na obradivim površinama. U protocima viših povratnih razdoblja (Q100 i više) sigurnost od poplava se pogoršava (porast površine za nekoliko cm) postojećim stambenim objektima na desnoj obali (Krunšperk 19). Stoga, kao dodatnu mjeru za uklanjanje negativnog utjecaja izgradnje nasipa uz Gmajnu te za dodatnu zaštitu, predviđena je panelna protupoplavna zaštita otvora objekata do visine poplavnih voda od 1000 godina, tj. do kote od 173,0 m n.v.

Zaštita ravnica iznad Gmajna nije potrebna jer na ovom području nema prisutnih građevina. Postavljen je uređaj za pročišćavanje, koji ima bazene podignute iznad okolnog terena, gdje se po potrebi poduzimaju samo lokalne mjere zaštite strojne opreme i drugih osjetljivih elemenata (podizanje opreme iznad dosega poplavnih voda, provedba dodatnog nasipa uz ČN – u ovom slučaju potrebno je predvidjeti i crpnu stanicu vlastitih voda).

3.2.2.2 *Dionica od Zelenjaka (Bistrica ob Sotli) do ušća u Savu*

Na dionici od ušća u Savu do Zelenjaka (Bistrica ob Sotli) obrađuju se četiri skupine građevinskih mjera koje čine smislene cjeline:

- Zaštita SZ dijela Rigonca do Q100 (nasip duljine 536 m i prosječne visine 1,4 m)
- Zaštita Obreza i Dobove, zaštita Gmajne (nasip duljine 809 m i 1,7 m visine, nasip uz Šicu duljine 944 m s prosječnom visinom od 2,1 m, podizanje ceste duljine 128 m s prosječnom visinom 1,9 m, zamjenski most te ugradnja povratnog ventila na ispust u napuštenom željezničkom nasipu kod Dobove)
- uređenja u sklopu DPN za HE Mokrice (nasip Rigonce duljine 228 m s prosječnom visinom 2,1 m, nasip Rigonce duljine 1285 m s prosječnom visinom 1,3 m, nasip Loče duljine 3137 m s prosječnom visinom 1,6 m)
- te za pojedinačne mjere zaštite stambenih objekata (montažne protupoplavne barijere)

Pritom visokovodni nasipi i ostala uređenja unutar važećeg DPN za HE Mokrice u toj studiji nisu obrađeni u ekonomskom smislu jer će se financirati u sklopu DPN. Međutim, uzeti su u obzir u fazi hidrauličke analize planiranog stanja zbog mogućeg utjecaja uređenja iz DPN HE Mokrice na područje planiranih uređenja iz projekta FRISCO1. Tako su kote VV nasipa iz DPN HE Mokrice sažete prema projektu građevinskih konstrukcija idejnog projekta HE Mokrice, br. proj. IBMK-A200/037, IBE, travanj 2013., zaprimljen od Hidroinstituta.

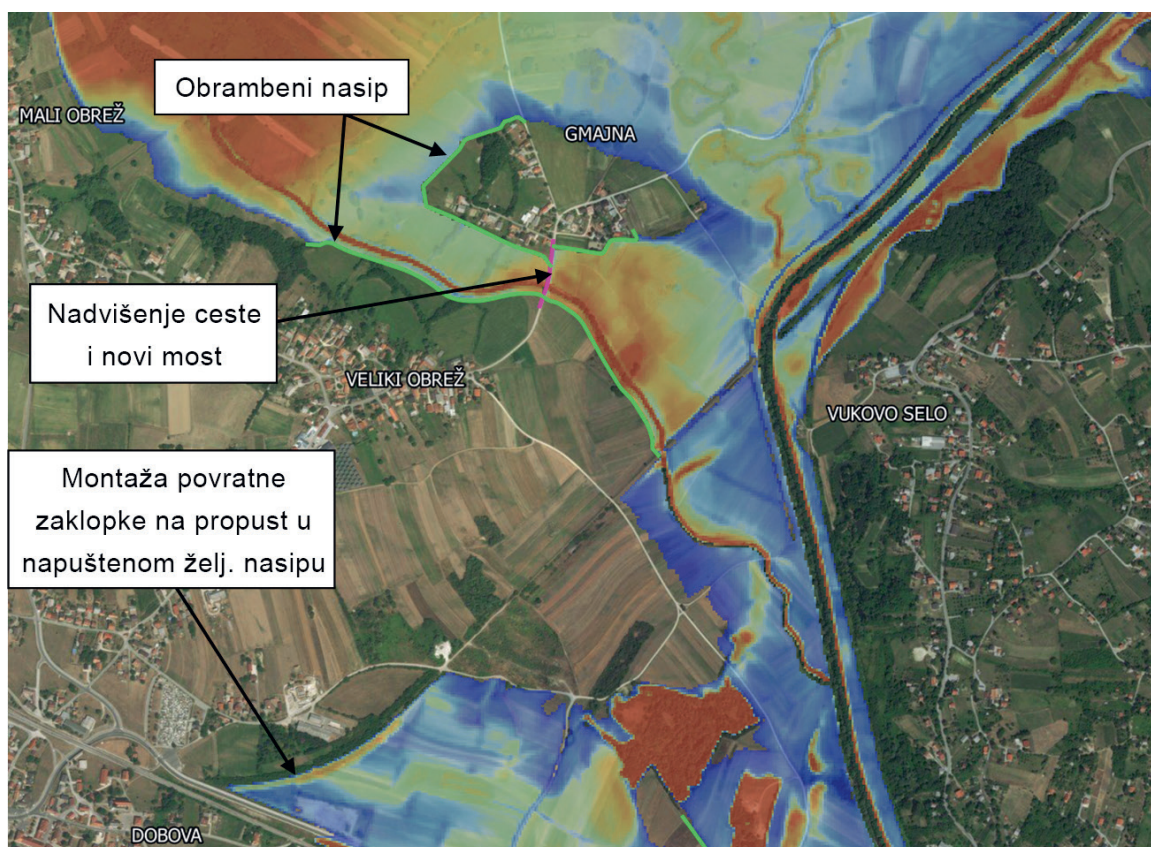
3.2.2.3 Utjecaji na opasnost od poplave

Hidraulički model

Za hidrauličku analizu planiranog stanja korišten je hidraulički model koji je razvijen u Hidroinstitutu u okviru projekta FRISCO1. Uređenja iz DPN HE Mokrice uključena su u hidraulički model, ali ne i u ekonomsku analizu. Donji rubni uvjeti za planirano stanje izrađeni su na isti način kao i za postojeće stanje. Promijenjen je i uzvodni rubni uvjet u 2D modelu (uzvodno od HE Mokrice), gdje voda utječe nakon inundacije Save u obrađeno područje ušća Sutle i Save. Na tom je rubnom uvjetu tok površine sažet prema rezultatima HHM HE Mokrice. Sva odabrana uređenja nalaze se na relativno kratkoj dionici Sutle. Utvrđeno je da ovdje prevladavaju trajanja oborina koja uzrokuju na toj dionici najveće bujice.

Utjecaji odabranih uređenja na opasnost od poplava područja uz Gmajnu, Veliki Obrež i Dobovu

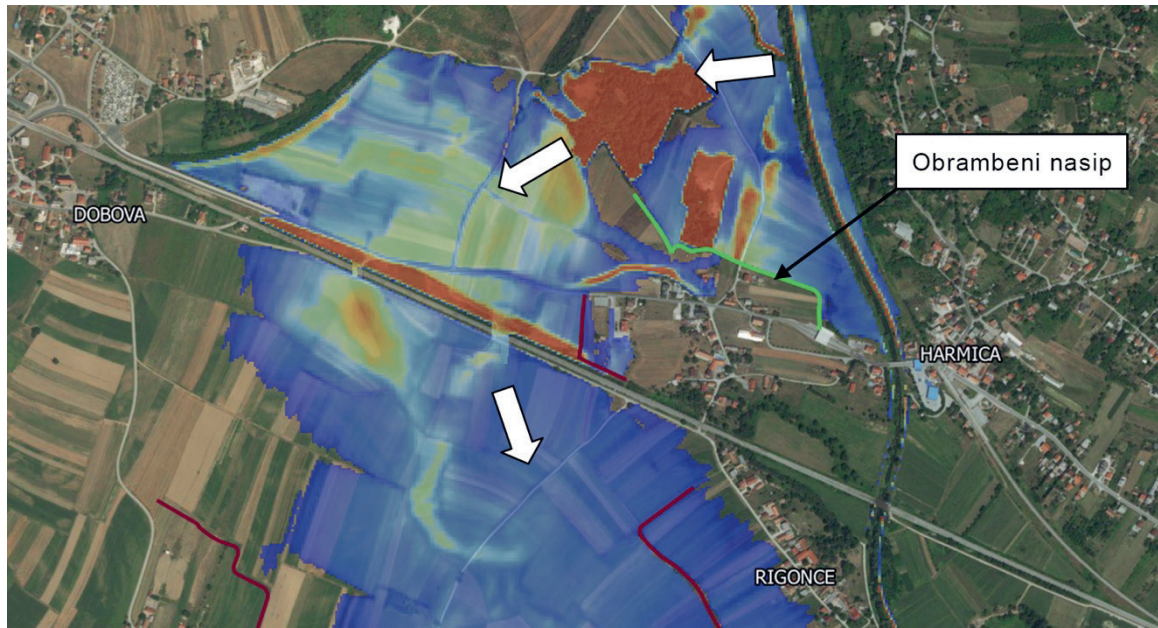
Uređenja na području Gmajne, Dobove i Velikog Obreža, zbog sigurnosnog nadvišenja, adekvatno štite sva naselja čak i prije 1000-godišnje visoke vode. Također, podizanjem ceste i novog mosta, omogućen je pristup naselju Gmajna i u vrijeme visokih voda.



Dubina pri Q100 na području Gmajne, Velikog Obreža i Dobove sa svim odabranim uređenjima

Utjecaji odabranih uređenja na opasnost od poplava u području uz Rigonce/Harmicu

Planirani nasip za zaštitu SZ dijela Rigonca do Q100, adekvatno štiti dio naselja Rigonce koje je u postojećem stanju poplavljeno.



Dubina pri Q100 u području Rigonca/Harmice

Zbog svih uređenja, po koritu protječe nešto više vode nego u postojećem stanju, zato se npr. pri Q100 površina Sutle na graničnom prijelazu Rigonce/Harmica podigne za približno 17 cm. U slučaju Q10 nema utjecaja. Zbog manjeg podizanja površine u koritu Sutle pri Q100 u području Rigonce/Harmice, predložena je kao mjera ublažavanja nadvišenje lijevog nasipa korita Sutle na dionici od graničnog prijelaza Rigonce/Harmica do željezničke pruge, u područjima gdje je ona niža od kote Q100 + 0,5 m. Zbog činjenice da na ovoj dionici postoji samo mala razlika u površinama pri Q100 i Q1000, takva će mjera ublažavanja zaštititi lijevi nasip od izlivanja do Q1000.

3.3 ODABIR NAJPRIKLADNIJEG RJEŠENJA

3.3.1 DEFINICIJA SKUPA MJERA

U okviru utvrđivanja mjera definirane su sljedeće mjere:

a) Dionica od ušća u Savu do Zelenjaka (Bistrica ob Sotli)

- zaštita SZ dijela Rigonca do Q100
- zaštita Obreza i Dobove, zaštita Gmajne

b) Dionica od Zelenjaka (Bistrica ob Sotli) do ušća u Savu

- uređenja Gmajna:
- uređenja Aqualuna

- uređenja Rogatec

c) no regret measure

- Sanacija pregrade Vonarje:

3.3.2 Investicijski troškovi uređenja te financijska i ekonomska opravdanost

Za predložene mjere u donjoj je tablici prikazana procjena investicijske vrijednosti.

Investicijska vrijednost projekta

		Vrijednost (EUR)	DDV/PDV (EUR)	Vrijednost s porezom (EUR)	Opravdani troškovi sufinanciranja (EUR)
A	Dionica od ušća u Savu do Zelenjaka (Bistrica ob Sotli)	899.316,00	197.849,52	1.097.165,52	1.097.165,52
1	zaštita SZ dijela Rigonca do Q100	113.418,00	24.951,96	138.369,96	138.369,96
2	zaštita Obreza i Dobove, zaštita Gmajne	704.142,00	154.911,24	859.053,24	859.053,24
	Nepredviđeni radovi na dionici (10 %)	81.756,00	17.986,32	99.742,32	99.742,32
B	Dionica od Zelenjaka (Bistrica ob Sotli) do ušća u Savu	3.356.677,50	780.996,15	4.137.673,65	4.137.673,65
1	uređenja Gmajna	699.600,00	174.636,00	874.236,00	874.236,00
2	uređenja Aqualuna	1.579.847,50	351.612,25	1.931.459,75	1.931.459,75
3	uređenja Rogatec	1.077.230,00	254.747,90	1.331.977,90	1.331.977,90
C	pregrada Vonarje	1.103.993,57	259.438,49	1.363.432,06	1.363.432,06
D	Nadzor nad gradnjom (2 %)	127.119,87	27.966,37	155.086,24	155.086,24
E	Informiranje i obavještanje javnosti	70.825,00	15.581,50	86.406,50	86.406,50
	UKUPNO	5.557.931,94	1.281.832,03	6.839.763,97	6.839.763,97
	DDV (22 %) odnosno PDV (25 %)	1.281.832,03			
	UKUPNO S DDV-om i PDV-om	6.839.763,97			
	UKUPNO bez nepredviđenih radova	6.238.115,11			

Cjelokupna vrijednost investicije bez PDV-a je procijenjena na 5.557.931,94 EUR. Ukupna vrijednost, uzimajući u obzir 22 % slovenske stope poreza na dodanu vrijednost i 25 % hrvatske stope poreza na dodanu vrijednost, iznosi 6.839.763,97 EUR i u cijelosti predstavlja opravdane troškove projekta, budući da se porez na dodanu vrijednost ne može vratiti.

Financijska neto sadašnja vrijednost ulaganja negativna je i iznosi -7.432.332 EUR. Financijski stupanj profita investicije također je negativan i iznosi -17,58 %.

Ekonomska neto sadašnja vrijednost projekta je pozitivna i iznosi 1.978.399 EUR, što znači da koristi projekta prelaze troškove projekta. To potvrđuje i interna stopa rentabilnosti, koja u slučaju projekta iznosi 7,57 %. Također, projekt je povoljan pokazatelj prednosti u smislu troškova, koji iznose 1,38.

3.3.3 Multikriterijalna analiza

Zajednička bilateralno koordinirana metodologija za ekonomsku procjenu šteta od poplava u prekograničnim riječnim slivovima (rujan 2018.) namijenjena je procjeni šteta od poplava u prekograničnim riječnim slivovima rijeka Kolpe, Sutle, Drave, Mure, Dragonje i Bregane radi provedbe aktivnosti FRISCO1 projekta.

Metodologija je razvijena na temelju bilateralno koordiniranog i prihvaćenog dokumenta Osnova bilateralne metodologije ekonomske procjene šteta od poplava u prekograničnim riječnim slivovima (u daljnjem tekstu „Osnova za metodologiju“), koju je u kolovozu 2018. godine izradio Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu (Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu).

Usvojena Metodologija sugerira da, s ciljem sveobuhvatne procjene rizika od poplava, s obzirom na prezentirani metodološki pristup dokazivanja ekonomske održivosti i izvedivosti predloženih mjera za smanjenje rizika od poplava, analizirani prijedlozi varijanti mjera također uzimaju u obzir štetne posljedice vezane uz zdravlje ljudi i okoliša.

U pripremi Prekogranično usklađenih studija sveobuhvatnog upravljanja rizicima od poplava u prekograničnim riječnim slivovima rijeka Kolpe, Sutla, Drave, Mure, Dragonje i Bregane, u okviru projekta, nakon izvedenog izračuna ekonomske održivosti i izvedivosti predloženih varijanti mjera za smanjenje rizika od poplava kao dodatni aspekt odabira najprikladnijeg rješenja, u obzir se uzima učinak svih „prihvatljivih rješenja“ za smanjenje utjecaja poplava na zdravlje ljudi i na okoliš. Dodatni postupak odabira najprikladnijeg rješenja provodi se za sve varijante prihvatljivih rješenja u sljedećim koracima:

- A. Procjena pozitivnih učinaka prihvatljivih rješenja na ljudsko zdravlje
- B. Procjena pozitivnih učinaka prihvatljivih rješenja na okoliš
- C. Zajednička procjena posljedica poplava na ljudsko zdravlje i okoliš
- D. Odabir najboljeg rješenja

A. Procjena pozitivnih učinaka prihvatljivih rješenja na ljudsko zdravlje

Za područje koje je obrađeno u okviru projekta FRISCO, analizirano je nekoliko pogođenih stanovnika na temelju stanja prema središnjem registru stanovnika u RS (stanje 2015.). Za hrvatsku stranu napravljena je procjena učinaka poplavnog područja vezanog uz naselje Risvica, a prema podacima Hrvatskog zavoda za statistiku (Statističko izvješće 1583/2016), naselje Risvica ima 277 stanovnika prema popisu stanovništva iz 2011. godine. Zbog ukupne vrijednosti podataka nije bilo moguće precizno procijeniti kuću, međutim, bilo je procijenjeno da se u doseg visokih voda s povratnim razdobljem u trajanju od 100 godina nalazi približno 20 % stambenih objekata, što znači da je poplavama izloženo 55 stanovnika.

B. Procjena pozitivnih učinaka prihvatljivih rješenja na okoliš

Na temelju raspoloživih podataka – stanje kanalizacijske mreže u analiziranom poplavnom području rijeke Sutle (ZKGJI 2018, CRP-EHIŠ 2015) provedena je prostorna istraga s definiranim »buffer« područjem od 50 metara na svakoj strani javne kanalizacijske mreže, čime su se identificirali objekti i

njihovi stanovnici koji još nisu priključeni na kanalizacijski sustav te stoga predstavljaju kriterij za predloženu multikriterijalnu analizu.

C. Zajednička procjena posljedica poplava na ljudsko zdravlje i okoliš za područje FRISCO Sutla

S obzirom na to da sve obrađene varijante u okviru propisane multikriterijalne analize imaju zajedničko opredjeljenje prepoznato kao najprimjernije, zaključujemo da je izbor jednog ili drugog varijantnog rješenja potpuno prikladan. Sam izbor jednog ili drugog rješenja treba se temeljiti na drugim kriterijima.

3.4 ZAKLJUČAK

Poplavno je ugroženo čitavo nizinsko područje uz rijeku Sutlu, od Dobovca do ušća u Savu. Uređenja (regulacije) u nekim urbaniziranim područjima ograničila su opseg poplava ili smanjila njihovu učestalost. Uz Mestinjščicu, Zibiški potok, Tinški potok, Bučicu i Bistricu, uz visoke vode srednjih i duljih povratnih razdoblja (iznad Q_5), poplavljaju uglavnom poljoprivredne površine i pojedinačni manji zaselci odn. pojedinačni objekti. U prošlosti je glavna cesta prema Podčetrtku često bila poplavljena, a uz visoke vode svake godine poplavljene su cijele ravnice na obje obale.

Područje obrade u okviru studije obuhvaća cijeli sliv rijeke Sutle. Na temelju prikupljenih podataka i dokumentacije, analize postojećeg stanja te izrađene hidrološke i hidrauličke analize, definirana je poplavnost obrađenog područja, koje je vrlo rijetko i slabo urbanizirano. Na temelju hidroloških obilježja, sliv Sutle je za potrebe analize podijeljen na dvije dionice, odnosno dionica od izvora Sutle do tjesnaca Zelenjak i dionica od tjesnaca Zelenjak do ušća u Savu.

Alternativna rješenja u prvoj fazi, na temelju dostupnih informacija, poznavanja područja, podataka o praćenju stanja pri pojavi visokih voda i provedbi mjera zaštite od poplava u posljednjih dvadeset godina, oblikovana su na temelju stručne procjene. Sutla uglavnom protječe kroz područje Nature 2000, dok je korito Sutle prirodna vrijednost na cijeloj dionici. Procijenjeno je da bilo koje veće intervencije u koritu u smislu povećane prohodnosti odn. Promjene morfologije, imaju poguban utjecaj na prirodnu vrijednost, i zato se takve intervencije ne obrađuju.

Na temelju analize postojećeg stanja i dostupnih podataka definirana su i područja postojećeg rizika od poplava, za koje su tada predložene uglavnom lokalne mjere. U prvoj fazi studije predložen je skup uređenja, koja su zatim dalje analizirana.

U drugoj fazi analize alternativnih rješenja, predložena lokalna uređenja i retencije analizirane su na temelju hidrauličkog modela i procjene rizika od poplava kako bi se točnije procijenila gospodarska učinkovitost alternativnih rješenja, i da bi se mogla preciznije klasificirati prema parametrima gospodarske učinkovitosti i drugim odlučujućim čimbenicima.

Hidraulička analiza također je potvrdila nalaze prethodnih stručnih procjena, odnosno da je dolina Sutle znatno poplavno ugrožena, no relativno je malo elemenata, s obzirom na duljinu toka, sa značajnim stupnjem ranjivosti, prisutno u njezinoj dolini. Među poplavno najugroženija područja spadaju Rogatec, područje Aqualune u Podčetrtku, selo Gmajna, Bračna vas, Gmajna (kod Obreža), Veliki Obrež, Dobova, Rigonce/Harmica i Loče. Na temelju hidrauličkog modela, u drugoj su fazi analizirana uređenja, za koje se u ovoj fazi pokazalo da su smisljena.

Uređenja za koja se pokazalo da već nakon grube procjene nisu ekonomski opravdana odn. da su i hidraulički neprikladna odn. nepotrebna su bila isključena iz skupa alternativnih rješenja. Na temelju višestupanjskih analiza na kraju studije predložene su sljedeće mjere:

Dionica od izvora Sutle do Zelenjaka (Bistrica ob Sotli)

- uređenja Gmajna
- uređenja Aqualuna
- uređenja Rogatec

Dionica od Zelenjaka (Bistrica ob Sotli) do ušća u Savu

- zaštita SZ dijela Rigonce
- zaštita Obreza i Dobove, zaštita Gmajne

No regret measure – Sanacija pregrade Vonarje.

Predložene mjere dodatno su analizirane i kroz analizu troškova i koristi, gdje se pokazalo da mjere donose i povoljne ekonomske koristi.

Predlagani optimalni program upravljanja rizikom od poplava u studiji je podijeljen na mjere, koje bi bilo moguće provesti tijekom tekućeg razdoblja provedbe Europske direktive o poplavama (2016. – 2021.) i onih koje bi se mogle provesti kasnije. Rekonstrukcija pregrade Vonarje spada među mjere koje će se provoditi tijekom sadašnjeg razdoblja izvođenja direktive o poplavama, dok studija pripremljena u skladu s prijavnicom projekta FRISCO1 predstavlja alat za podršku donositeljima odluka u vezi s daljnjim pripremama i provedbom drugih predloženih mjera.



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA OKOLJE IN PROSTOR

DIREKCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA VODE

Hajdrihova ulica 28c, 1000 Ljubljana
gp.drsv@gov.si | www.dv.gov.si