

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA GOZDARSTVO IN OBNOVLJIVE
GOZDNE VIRE

Jaša SARAŽIN

**POPLAVNA IN EROZIJSKA OGROŽENOST OB
HUDOURNIKU BRUT**

Diplomsko delo
(Univerzitetni študij – 1. stopnja)

Ljubljana, 2011

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA GOZDARSTVO IN OBNOVLJIVE GOZDNE VIRE

Jaša SARAŽIN

**POPLAVNA IN EROZIJSKA OGROŽENOST OB HUDOURNIKU
BRUT**

Diplomsko delo
(Univerzitetni študij – 1. stopnja)

FLOOD AND EROSION RISK BY THE STREAM BRUT

B. Sc. Thesis
(Academic Study Programmes)

Ljubljana, 2011

Diplomsko delo je zaključek univerzitetnega študija gozdarstva na Oddelku za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.. Opravljeno je bilo na Katedri za mehaniko tekočin Oddelka za okoljsko gradbeništvo, na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo.

Komisija za študijska in študentska vprašanja Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire BF je dne 11. 3. 2010 sprejela temo in za mentorja diplomskega dela imenovala prof. dr. Francija Steinmana za recenzenta pa prof. dr. Igorja Potočnika.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Datum zagovora:

Diplomsko delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddal v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Jaša Saražin

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Du1
- DK GDK 383+384(043.2)=163.6
- KG hudourniki/poplave/cevni prepusti/pregrade/vodozbirna območja/avtoceste
- AV SARAŽIN, Jaša
- SA STEINMAN, Franci (mentor)
- KZ SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83
- ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire
- LI 2011
- IN POPLAVNA IN EROZIJSKA OGROŽENOST OB HUDOURNIKU BRUT
- TD Diplomsko delo (univerzitetni študij - 1. stopnja)
- OP VII, 40 str., 10 pregl., 11 sl., 0 pril., 20 vir.
- IJ sl
- JI sl/an

AL Na povodju hudournika Brut je bilo slutiti, kasneje so tudi domačini to potrdili, da so nekateri cevni prepusti poddimenzionirani. Zato je bila narejena temeljita analiza odtočnega režima ter analiza pretočnih zmognosti posameznih objektov. Ugotovljeno je bilo, da so trije cevni prepusti premajhni ter da je vzdrževanje struge in objektov zelo slabo. Nato so bile izračunane zadovoljive dimenzije cevni prepustov, ki lahko prevajajo vode, ki se pojavljajo s pogostostjo 50-ih let, kar je bilo tudi določeno za sprejemljivo stopnjo tveganja. Izkazalo se je, da je za poplavljanje dveh cevni prepustov krivo predvsem odvodnjavanje z avtoceste, dokončane leta 2004. za naslednjo težavo se je izkazalo pomanjkanje vzdrževanja objektov. Zato na nekaterih objektih voda uhaja in erozijsko ter poplavno ogroža človekove objekte in dejavnosti dolvodno. Na drugem kraku hudournika pa je primer dobre prakse. Tam so ob izgradnji nove ceste za Osp, pred več kot 40-imi leti, zgradili sistem sedmih pregrad, ki lahko prevajajo 100-letne vode, večina celo 500-letne, ki še danes trdno stojijo in odlično opravljajo svojo nalogo podpiranja brežin in manjšajo moč hudourniški vodi. Zaključek ugotovljenega je pokazati, da je prava pot v preventivi (pravilno projektiranje in vzdrževanje), ne pa čakanje na kurativo (sanacije po poplavnih dogodkih).

KEY WORDS DOKUMENTATION

ND Du1
DC FDC 383+384(043.2)=163.6
CX stream/flood/culvert pipe/drainage basin/runoff/highroad
AU SARAŽIN, Jaša
AA STEINMAN, Franci (supervisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83
PB University of Ljubljana, Biotechnical faculty, Department for Forestry and
Renewable Forest Resources
PY 2011
TI FLOOD AND EROSION RISK BY THE STREAM BRUT
DT Gradual Thesis (Academic Study Programmes)
NO VII, 40 p., 10 tab., 11 fig., 0 ann., 20 ref.
LA sl
AL sl/en

AB On drainage basin of the stream Brut it was assumed and later even locals confirmed that some of culvert pipes are under measured. Because of this, it was made detailed analysis of runoff regime and throughput capacities for each stream object. It was summed up that three culvert pipes have to small capacities and that maintenance of the stream is really bad. Than it was calculated what would be satisfactory dimensions for pipes with risk factor lower than 50-years waters, which is in the same time even acceptable risk rate in this Thesis. It showed out that two culvert pipes are flooding because or runoff from new highway. Next problem is maintenance of stream and supporting objects. Because of this, on some objects the water is escaping from stream and than makes flood and erosion risk for mans objects and activities downstream. However, on the other arm of the stream we have example of good practice. More than 40 years ago, while there were building a new road, they built even big system of seven water barriers. Most of those can withstand even 500-years waters and today they still perfectly do their job of consolidating slopes and lowering stream impact force. Essence found that is better prevent with right design and maintenance, than waiting on post-flood rehabilitation.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD.....	1
1.1	POPLAVNA IN EROZIJSKA OGROŽENOST NA SPLOŠNO.....	1
1.2	UREJENOST ODVODNJAVANJA Z AVTOCESTE TER SPREMLJAJOČIH OBJEKTOV NA ODSEKU KLANEC – SRMIN.....	2
2	OPREDELITEV PROBLEMA	3
3	OPIS OBMOČJA	4
3.1	MATIČNA PODLAGA, TLA IN VODE	4
3.2	RELIEF.....	4
3.3	UPORABA IN POKROVNOST TAL	4
3.4	PODNEBJE	6
4	PREGLED OBJAV	7
4.1	DOLOČANJE POPLAVNE IN EROZIJSKE NEVARNOSTI V SLOVENIJI ...	7
4.2	PRAKSA IN DOLOČILA ODVODNJAVANJA AVTOCEST V SLOVENIJI	12
4.3	PREGLED HISTORIČNIH ZAPISOV O NEDAVNIH VISOKOVODNIH DOGODKIH V SLOVENIJI.....	13
4.4	PROTIPOPLAVNI IN PROTIEROZIJSKI UKREPI.....	16
4.5	MNENJE VAŠČANOV O STANJU NA IZBRANEM OBMOČJU (HUDOURNIKA BRUT).....	17
5	CILJI.....	18
6	METODE IN PODATKI.....	19
6.1	DOLOČITEV ODTOČNEGA REŽIMA (MAKSIMALNI MOŽNI ODTOK) GLEDE NA LASTNOSTI VODOZBIRNEGA OBMOČJA.....	19
6.1.1	Določanje površin in odtočnih količnikov	19
6.1.2	Določitev časa odтока in merodajnih intenzivnih padavin za zelene obhodne dobe	21
6.2	ANALIZA STANJA	23
6.2.1	Pretočnost strug (Zmožnost prevajanja ali maksimalni možni odtok)	23
6.2.2	Nevarnost plavin.....	24
6.2.3	Erozijska stabilnost.....	25
6.3	PREGLED PODATKOV, UPORABLJENIH V NADALJNJIH ANALIZAH..	26
6.4	CILJNO STANJE ZAHTEVANIH OZ. ŽELENIH RAZMER	34
7	REZULTATI IN RAZPRAVA	36
7.1	PRIMERJAVA MED ODTOČNIM REŽIMOM IN STANJEM STRUG	36
7.2	DOLOČITEV NEVARNOSTI.....	38
7.3	PREGLED MOŽNIH UKREPOV	39
8	SKLEPI.....	42

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Odtočni koeficienti 1. (Brilly in Šraj, 2006: 37)	20
Preglednica 2: Odtočni koeficienti 2. (Steinman, 2009: 6 / 27).....	20
Preglednica 3: Koeficienti površinske hrapavosti (Brilly in Šraj, 2006: 68)	21
Preglednica 4: Zmožnosti pretokov posameznih objektov	27
Preglednica 5: Velikosti prispevnih območij za vsak objekt posebej	29
Preglednica 6: Čas odtoka	32
Preglednica 7: Odtoki glede na povratne dobe in intenzivnost padavin	32
Preglednica 8: Pretoki na posameznih objektih po povratnih dobah	34
Preglednica 9: Razlike (viški) med pretočnimi zmožnosti objektov in odtokom z območja po povratnih dobah.....	37
Preglednica 10: Primerjava med obstoječimi in predlaganimi objekti	40

KAZALO SLIK

Slika 1: Eden od primerov slabega odvodnjavanja	2
Slika 2: Zatočišče lovorja, širokolistne zelenike in hrasta črnike na Osapski steni.	5
Slika 3: letna količina padavin v Sloveniji. (ARSO, 2006: 2).....	6
Slika 4: Gravitacijski lovilec olj in trdih delcev nad viaduktom Črni Kal	12
Slika 5: Visokovodni dogodek septembra 2010 ob Dragonji in Rižani	16
Slika 6: Velika potencialna nevarnost plavin	25
Slika 7: Nekaj opazovanih objektov	26
Slika 8: Pregled vseh objektov na ortofoto posnetku (Atlas okolja, 2011)	27
Slika 9: Tik pod viaduktom se lepo vidi, da voda odteka zunaj urejenega korita proti cevnem prepustu (CP 3)	29
Slika 10: Pregled prispevnih območij na ortofoto posnetku (Atlas okolja, 2011)	30
Slika 11: Intenzivnost padavin, glede na različna povratna obdobja, za postajo Bilje.....	33
Slika 12: Nedavni visokovodni dogodki	39
Slika 13: Dva primera iz Gruzije v pomislek, kako bi lahko rešili težavo poddimenzioniranja in vzdrževanja.....	44

1 UVOD

Najprej bi namenili nekaj besed za lažje razlikovanje med pojmom »nevarnost« in »ogroženost«. Za tem pa bi še poskušali na hitro prikazati stanje odvodnjavanja z nove avtoceste in njenih spremljevalnih objektov.

1.1 POPLAVNA IN EROZIJSKA OGROŽENOST NA SPLOŠNO

Slovenija je zaradi svojega razgibanega reliefa in zadostne količine padavin precej hudourniško aktivna. Moč hudournikov in posledično tudi njihova nevarnost se večja z večanjem naklona terena, velikostjo zaledja, jakostjo kratkotrajnih padavin in nenazadnje tudi količino, vrsto in velikostjo plavin, ki jih lahko hudourniki odnesejo s seboj v dolino.

Območja nevarnosti, kjer lahko pride do poplave, si sledijo po hudourniku dolvodno, oziroma so tam, kjer imamo t. i. ozka grla ali pa ko se padec nenadoma zmanjša in se ozka dolina odpre. Tam lahko visoka voda prestopi bregove in odloži material, ki ga nosi s seboj (nastane vršaj).

Pri tem je **območje ogroženosti** tisto območje nevarnosti, kjer se nahaja človek s svojimi dejavnostmi in objekti, oziroma kjer živi. Torej tam, kjer obstaja nevarnost, da se človeku ali njegovemu imetju kaj zgodi.

Varnostne objekte projektiramo za določeno količino visoke vode in plavin. Pri tem tudi do neke stopnje tvegamo. Če se zgodi dogodek z višjo vodo, lahko naš objekt popusti in območje pod njim poplavi ali odnese, lahko celo uniči. Zato moramo v projektu predvideti take dogodke in v naprej oceniti stopnjo tveganja (npr. če se pojavi voda višja od 50 letne, bo objekt popustil, itd.).

V nadaljevanju smo se osredotočili na konkreten primer na območju koprskega zaledja.

1.2 UREJENOST ODVODNJAVANJA Z AVTOCESTE TER SPREMLJAJOČIH OBJEKTOV NA ODSEKU KLANEC – SRMIN

Na tem 14,9km dolgem avtocestnem odseku blestita dva moderna predora (Dekani in Kastelec) ter viadukt Črni Kal, ki je ob odprtju leta 2004, z dolžino 1065 m postal najdaljši in največji premostitveni objekt v Sloveniji, z višino 95m pa takoj za trboveljskim dimnikom drugi najvišji objekt v Sloveniji.

Ta odsek spremlja 1614 m opornih in podpornih zidov, 5,1 km regulacij, 15 zadrževalnih bazenov ter 18,2 km priključnih, dovoznih in preusmeritvenih cest (Avtocestni..., 2010).

Žal pa je odvodnjavanje z avtoceste v nekaterih primerih priključeno kar v obstoječe vodotoke, katerih pretočnost ni bila preverjena za novonastalo stanje. Prav tako so oskrbovalne ceste zelo skromno vzdrževane, s ponekod poddimenzionirami cevnimi prepusti in podpornimi zidovi. Najbolj kritičen deluje hudournik Brut pod črnokalskim viaduktom, ki je slabo vzdrževan. Nekateri objekti na njem so vsaj na prvi pogled poddimenzionirani.



Slika 1: Eden od primerov slabega odvodnjavanja. Slika prikazuje odvodnjavanje z avtocestnega priključka za Črni Kal. Očitno predviden kanal s kamenjem v betonu ni služil svojemu namenu, saj si je voda izdolbla novo korito zunaj urejenega in povzročila veliko erozijsko jedro na kmetijskih površinah. V času pisanja te diplomske naloge je bil objekt uspešno saniran.

2 OPREDELITEV PROBLEMA

Na hudourniku Brut je precej dejavnikov, ki potencialno lahko pripomorejo k povečanju območja nevarnosti; to je povečanje območja posameznega razreda nevarnosti ali pa spremembo iz nižjega razreda v višji razred nevarnosti, zaradi zamašitve ali popustitve kritičnih točk. Te so lahko kritične zaradi zmanjšanja pretočnosti struge, cevnega prepusta, mostne odprtine, večjega pretoka zaradi odvajanja z avtoceste, itd. ali pa povečanja erozijske sile (napetosti). Vzroki tičijo predvsem v pomanjkljivem vzdrževanju, tudi nedoslednem načrtovanju ali nenazadnje zaradi nastopa izjemnih dogodkov.

3 OPIS OBMOČJA

Tukaj bomo opisali okolico avtocestnega odseka med predoroma Kastelec in Dekani. Podrobneje se bomo posvetili razmeram na področju hudournika Brut. Le ta leži nad vasjo Stara Gabrovica in pod viaduktom Črni Kal.

3.1 MATIČNA PODLAGA, TLA IN VODE

Ravno pod črnokalskim viaduktom gre za stičišče apnenca na severo-vzhodni strani ter fliša na jugo-zahodni strani. Apnenec je dobro topna in zato prepustna kamnina, ki na svoji skrajni legi formira Kraški rob. Pod Kraškim robom pa je matična podlaga facijes fliša, ki bistveno hitreje razpada, ampak bolje zadržuje vodo. Zaradi takega stika je na prelomnici precej kraških izvirov. Najbližji znan izvir je 2 km severo-zahodno v Osapski jami, kjer izvira Osapska reka. Na tem Osapskem koncu ima peščenjak v flišu apneno vezivo, zato so tla nad in tudi pod Kraškim robom rahlo bazična. Na apnencu prevladuje rendzina, na flišnatih pobočjih pa evtrična rjava tla.

3.2 RELIEF

Osapsko dolino na kraški strani omejuje Kraški rob, z vrhom Gaber (447 m), na zahodni strani 374 m visok flišnat Tinjan, sama Osapska dolina pa je pod vasjo Gabrovica na nadmorski višini približno 40 m in se počasi v svojih 8 km dolžine spusti v Miljski zaliv.

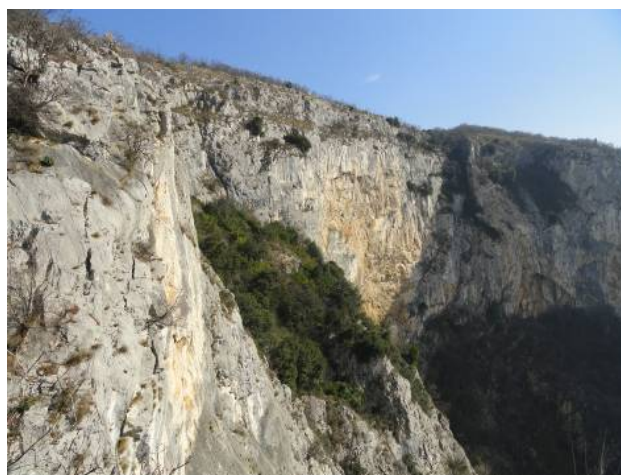
Flišni del je zelo gričevnat in narezan s hudourniki, medtem ko je apnenčast suh in nad Kraškim robom bolj uravnan, sam prelom pa predstavlja strma pobočja, pogosto pa tudi navpične stene, ki so nad Ospom višje tudi od 100 m.

3.3 UPORABA IN POKROVNOST TAL

Naravno vegetacijo predstavljajo na flišu gozdovi gradna in jesenske vilovine (*Seslerio – Quercetum petraea*). Na apnencu pa večinoma združba črnega gabra z jesensko vilovino (*Seslerio – Ostryetum*). Ta združba je sekundarna in je nastala zaradi devastacije Krasa v preteklosti. Gre za vmesni sukcesijski stadij med negozdnimi združbami in potencialno

naravno zarastjo, ki je v tem primeru združba puhastega hrasta in črnega gabra (*Ostrya carpinifoliae* – *Quercetum pubescentis*). Tako se tam, kjer je sekundarna združba že opravila svojo meliorativno vlogo, ali pa so bili gozdovi boljše ohranjeni, že pojavlja tudi ta združba hrasta in črnega gabra. Zaradi manjše gospodarske zanimivosti, velike raznolikosti in mogoče tudi netipičnih slovenskih rastišč, so ta rastišča in njihove gozdne združbe slabše fitocenološko raziskana. Večinoma v 20. stoletju so ta ogolela tla pogozdovali s črnim borom, ki se je dobro uveljavil in tvoril svoje sestoje. Spremljajo ga pionirji mali jesen in beli gaber, v zadnjem času se uveljavlja tudi graden ter invazivna robinija. Večina kamnitih kraških travnikov se sedaj zarašča z grmičevjem. Tako se je gozdnatost sežanske območne enote od leta 1830 do leta 2000 povečala za kar 3-krat. Iz 17,6 % poraščenosti z gozdovi na 56,1 % (ZGS, 2011; Razvoj Krasa, 2011).

Na samem kraškem robu ostajajo refugiji nekaterih mediteranskih vrst. Zaradi prisojne lege, zavetja pred burjo, razgretega apnenca in težke dostopnosti, avtohtono uspevajo črnika (*Quercus ilex*), širokolistna zelenika (*Phillyrea latifolia*), lovor (*Laurus nobilis*) ter še nekateri drugi.

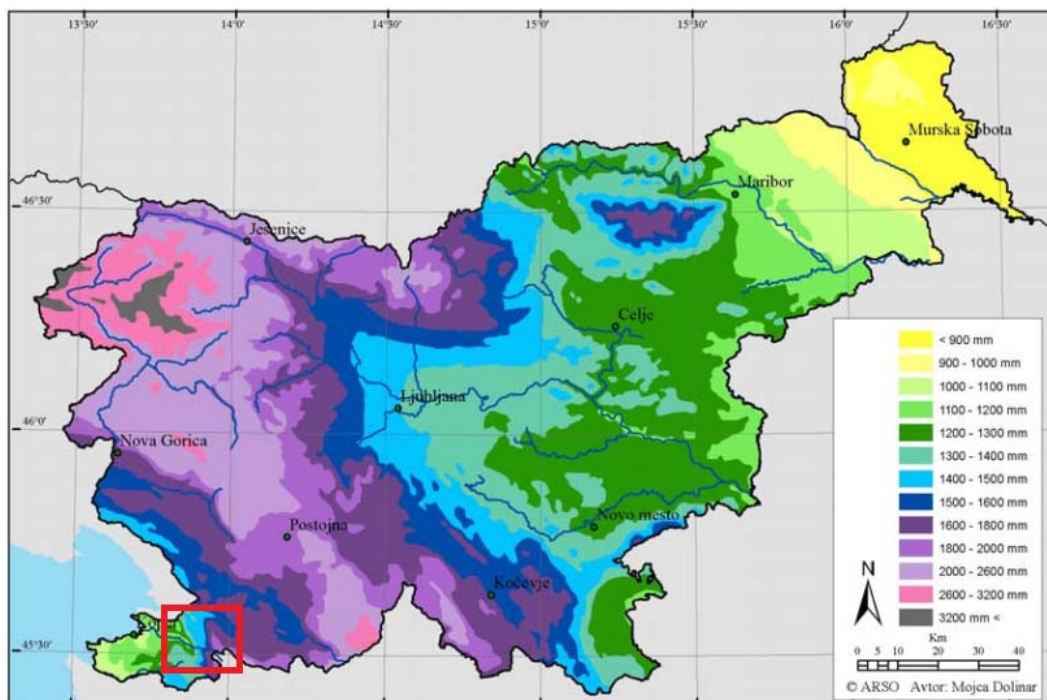


Slika 2: Zatočišče lovorja, širokolistne zelenike in hrasta črnike na Osapski steni.

Nad Kraškim robom je še vedno veliko pašnikov. Nekateri so v uporabi, ostali se zaraščajo. V Osapski dolini domačini obdelujejo njive in sadovnjake na dnu prisojnih pobočij pa manjše vinograde in oljčnike. Osojna pobočja pokrivajo gozdovi.

3.4 PODNEBJE

Submediteransko podnebje poskrbi, da so zime mile, poletja pa suha. Letna količina padavin hitro narašča z oddaljevanjem od morja in naraščanjem nadmorske višine. Od 1100 mm pri Ospu, pa celo preko 1800 mm v zaledju na Slavniku. Značilen je jesenski višek. Srednje letne temperature prav tako hitro padajo z oddaljevanjem od morja. Od 12°C pri Ospu, pa do 8°C na Slavniku.



Slika 3: letna količina padavin v Sloveniji. Opisano območje se nahaja v rdeči obrobi (ARSO, 2006: 2)

4 PREGLED OBJAV

S pregledom objav smo poskusil na kratko predstaviti predvsem zakonske podlage ter kaj so prinesle s seboj zadnje večje poplave.

4.1 DOLOČANJE POPLAVNE IN EROZIJSKE NEVARNOSTI V SLOVENIJI

Direktiva 2007/60/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 23. oktobra 2007 o oceni in obvladovanju poplavne ogroženosti je nastala zaradi vse pogostejših poplav na območju EU in zaradi preventivnega zmanjševanja podnebnih sprememb. Ugotovljeno je bilo, da je zaradi poplav trpel napredek celotne Skupnosti.

V okvirnem programu izvajanja direktive navajajo: “Sporočilo direktive je predvsem, da so poplave naravni pojav, ki ga je potrebno obravnavati celovito v okviru porečja ali vodnega območja ter, da je potrebno dati prednost preventivnim ukrepom, ki obsegajo poleg gradbenih ukrepov tudi ustrezno informiranost o ogroženosti oziroma nevarnosti poplav na območju, ustrezno rabo prostora in ustrezen način gradnje, ustrezno organiziranost alarmiranja ter zaščite in reševanja, ter zavarovalništvo, kot instrumentu za omilitev materialnih posledic poplav.”

Pri pripravi načrtov obvladovanja poplav morajo biti upoštevani in zagotovljeni tudi okoljski cilji. Z načrtovanim je potrebno informirati in vključiti javnost. Odgovorna uprava mora o izvajanju posameznih nalog direktive poročati evropski komisiji. Poročanje poteka preko skupnega informacijskega sistema WISE (water information system for Europe) v obliki tehničnih formatov.

Poplavna direktiva, poglavje III/ Člen 6

Direktiva določa, da morajo države članice pripraviti karte poplavne nevarnosti in karte poplavne ogroženosti v najustreznejšem merilu. Če dotična območja zajemajo več držav članic, si morajo le te izmenjavati podatke.

Dalje direktiva za pripravo kart določa:

3. Karte poplavne nevarnosti zajemajo geografska območja, na katerih lahko pride do naslednjih vrst poplav:

- (a) poplav z majhno verjetnostjo oziroma poplav kot posledice izrednih dogodkov;
- (b) poplav s srednjo verjetnostjo (verjetna povratna doba 100 let);
- (c) poplav z veliko verjetnostjo, kjer je to primerno.

4. Za vsako vrsto poplav iz odstavka 3 se prikažejo naslednji podatki:

- (a) obseg poplav;
- (b) globina vode ali gladina vode, kar je ustrezno;
- (c) kjer je to primerno, hitrost toka ali ustrezni pretok vode.

5. Karte poplavne ogroženosti prikazujejo morebitne škodljive posledice, povezane z vrstami poplav iz odstavka 3, ki se jih opiše z naslednjimi kazalci:

- (a) okvirnim številom prebivalcev, ki jih lahko prizadene poplava;
- (b) vrstami gospodarskih dejavnosti na območju, ki jih lahko prizadene poplava;
- (c) obrati kritični za onesnaževanje, in zavarovana območja, ki jih lahko prizadene poplava;
- (d) drugimi podatki, za katere države članice menijo, da so koristni.

Nekaj statistike iz Okvirnega programa izvajanja direktive (2010: 5): “V opozorilni karti poplav, ki je objavljena, kot javni podatek na Agenciji RS za okolje, je trenutno prikazanih 880 km² poplavnih območij, od tega je ogroženih 40 km² urbanih površin in približno 80.000 prebivalcev. Poleg navedenih poplavnih površin je evidentiranih tudi 130 km odsekov vodotokov, ki poplavlajo. V preteklosti se je zaradi interesov družbe prekomerno posegalo v režim odtoka rek ter na obale jezer in morja. Zaradi zmanjševanja poplavne nevarnosti na območjih skupne velikosti 2382 km² je bilo v R Sloveniji regulirano 1633 km vodotokov, zgrajeno 1646 vzdolžnih in 2387 prečnih objektov (Statistični letopis RS, stanje leta 2002).”

Direktiva naprej določa pripravo načrta obvladovanja poplavne ogroženosti, za območja, kjer imajo na podlagi predhodne ocene poplave rek in morja pomemben škodljiv vpliv na prebivalce in njihovo zdravje, na okolje, kulturno dediščino ter gospodarske dejavnosti.

Pravilnik o metodologiji za določanje območij, ogroženih zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja, ter o načinu razvrščanja zemljišč v razrede ogroženosti (junij 2007), določa za območja, ogrožena zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja način določanja poplavnih in erozijskih območij ter razvrščanje zemljišč v razrede poplavne in erozijske ogroženosti. Prav tako določa tudi način priprave kart poplavnih in erozijskih območij.

Opozorilno karto poplav in erozije za območje Republike Slovenije pripravi ministrstvo, pristojno za vode. Na podlagi te karte določi pomembnejša območja poplavne in erozijske nevarnosti (karta poplavne in erozijske nevarnosti) in pomembnejša območja poplavne in erozijske ogroženosti (karta poplavne in erozijske ogroženosti). Podatke o mejah območij objavi v vodnem katastru. Sproti še zbira podatke o novih poplavnih in erozijskih dogodkih, ki bodo prišli v poštev pri obnovi kart. Le te se obnavljajo najkasneje na 6 let. Zbirka podatkov o poplavnih in erozijskih dogodkih lahko vsebuje tudi podatke o škodi, o številu prizadetih prebivalcev, morebitnih onesnaženjih, lokacijah vodnih objektov, kjer lahko pride do poplav in erozije zaradi napačnega obratovanja ali porušitve, ter druge podatke, pomembne za določitev ogroženosti.

Verjetnost nastanka poplavne nevarnosti je verjetnost nastanka pretokov $Q(10)$, $Q(100)$ ali $Q(500)$ oziroma verjetnost nastopa gladin $G(10)$, $G(100)$ ali $G(500)$, ki povzročijo poplavo. Za površino povodja, ki je manjša od 100 km^2 , izračunamo $Q(500) = 1,4 * Q(100)$;

Moč poplavne nevarnosti je določena z globino ali zmnožkom globine in hitrosti toka, medtem ko je moč erozijske nevarnosti določena z debelino odplavljenega sloja ali debelino odloženega sloja preperlega kamninskega materiala;

Na opozorilni karti, ki vsebuje podatke o topografiji in rabi tal, se znotraj povodij in porečij označi tudi mejna črta možnega dosega poplav, mejna črta možnega obsega erozijskih pojavov, mesta posameznih poplavnih dogodkov s točkovnimi oznakami in s točkovnimi ali linijskimi oznakami posamezni vodni objekti, kjer lahko nastanejo poplave in erozija zaradi napačnega obratovanja ali porušitve.

Območja poplavne in erozijske nevarnosti ob tekočih vodah se prikažejo v grafični obliki na kartah poplavne in erozijske nevarnosti, ki vsebujejo podatke o mejah območij poplavne nevarnosti pri pretoku $Q(10)$, $Q(100)$ in $Q(500)$ ter podatke o mejah območij erozijske nevarnosti pri pretoku $Q(100)$.

Merila za določitev razredov nevarnosti

Poplavna nevarnost:

Območja poplavne nevarnosti se na podlagi meril, ki razvrščajo moč poplavnega toka pri enaki verjetnosti nastanka dogodka, razvrstijo v naslednje razrede poplavne nevarnosti, pri čemer je odločujoče tisto merilo, ki izkazuje največji razred nevarnosti:

- razred velike nevarnosti, kjer je pri pretoku $Q(100)$ ali gladini $G(100)$ globina vode enaka ali večja od 1,5 m oziroma zmnožek globine in hitrosti vode enak ali večji od $1,5 \text{ m}^2/\text{s}$,
- razred srednje nevarnosti, kjer je pri pretoku $Q(100)$ ali gladini $G(100)$ globina vode enaka ali večja od 0,5 m in manjša od 1,5 m oziroma zmnožek globine in hitrosti vode enak ali večji od $0,5 \text{ m}^2/\text{s}$ in manjši od $1,5 \text{ m}^2/\text{s}$ oziroma, kjer je pri pretoku $Q(10)$ ali gladini $G(10)$ globina vode večja od 0,0 m,
- razred preostale nevarnosti, kjer je pri pretoku $Q(100)$ ali gladini $G(100)$ globina vode manjša od 0,5 m oziroma zmnožek globine in hitrosti vode manjši od $0,5 \text{ m}^2/\text{s}$, in
- razred zelo majhne nevarnosti, kjer poplava nastane zaradi izrednih naravnih ali od človeka povzročenih dogodkov (npr. izredni meteorološki pojavi ali poškodbe ali porušitve proti poplavnih objektov ali drugih vodnih objektov).

Erozijska nevarnost:

Območja erozijske nevarnosti se na podlagi meril, ki razvrščajo erozijo glede na njeno moč pri enaki verjetnosti nastanka dogodka, razvrstijo v naslednje razrede erozijske nevarnosti:

- razred velike nevarnosti, kjer je pri pretoku $Q(100)$ ali gladini $G(100)$ debelina odplavljenega sloja večja od 2,0 m oziroma debelina odloženega sloja večja od 1,0 m,
- razred srednje nevarnosti, kjer je pri pretoku $Q(100)$ ali gladini $G(100)$ debelina odplavljenega sloja od 0,5 m do 2,0 m oziroma debelina odloženega sloja od 0,3m do 1,0m
- razred majhne nevarnosti, kjer je pri pretoku $Q(100)$ ali gladini $G(100)$ debelina odplavljenega sloja manjša od 0,5 m oziroma debelina odloženega sloja manjša od 0,3 m.

Ranljivost

Analiza ranljivosti na območjih posameznih razredov poplavne in erozijske nevarnosti se izdelava za potrebe ocene ogroženosti posameznih elementov ogroženosti ali skupin elementov in obsega predvsem oceno števila izpostavljenih prebivalcev, določitev vrste in števila izpostavljenih gospodarskih in ne gospodarskih dejavnosti, prikaz lokacije in opis obratov in naprav zaradi katerih lahko pride do onesnaženja velikega obsega, določitev lokacij in opis občutljivih objektov, prikaz in opis območij s posebnimi zahtevami po predpisih, ki določajo način priprave načrtov upravljanja voda, na katerih bi ob poplavih in eroziji lahko prišlo do onesnaženja pomembnih zavarovanih habitatov in vrst, virov pitne vode in območij kopalnih voda.

Na podlagi analize ranljivosti se elementi ogroženosti, določeni s tem pravilnikom, razvrščajo v razrede velike, srednje, majhne in zelo majhne ranljivosti.

Poplavna in erozijska ogroženost

Poplavna in erozijska ogroženost se določita na podlagi analize ranljivosti elementov ogroženosti na območjih poplavne nevarnosti. Torej gre za skupno upoštevanje nevarnosti in ranljivosti.

Poplavna in erozijska ogroženost se razvrsti v razrede velike, srednje in majhne ogroženosti.

Naslednji pomemben dokument je **Uredba o pogojih in omejitvah za izvajanje dejavnosti in posegov v prostor na območjih, ogroženih zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja** (september 2008). Le ta prepoveduje posege v prostor na območjih velike poplavne in erozijske nevarnosti, na območjih srednje nevarnosti pa večinoma pogojno dovoljuje posege v prostor po presoji vplivov na okolje, vodnem soglasju in izvedbi omilitvenih ukrepov. Izvajanje dejavnosti pa je popolnoma prepovedano v razredih visoke in srednje nevarnosti. Natančnejše pogoje o posegih v prostor in izvajanju dejavnosti lahko najdemo v prilogi 1 in 2 te uredbe.

4.2 PRAKSA IN DOLOČILA ODVODNJAVANJA AVTOCEST V SLOVENIJI

Najprej je potrebno razdelati pojme tujih, zalednih in lastnih voda. **Tuje vode**, so tiste, ki nastanejo drugje in samo prečkajo cestno telo. Le tem se uredi križanje s cestnim telesom (npr. prepust, most). **Zaledne vode** so tiste, ki padejo na neutrjene površine cestnega telesa (npr. odkopne in nasipne brežine). Ker niso v stiku z onesnaženimi vodami s cestišča se jih odvaja ločeno od lastnih voda. **Lastne vode** pa so padavinske vode, ki so padle na utrjene površine javnih cest. Le te se posebej zbira v gravitacijske lovilce olj in trdih delcev, ki so lahko izvedeni v betonski ali zemeljski obliki. Če pa ti ukrepi ne zadostijo standardom za dano območje pa se zbirajo v koalescentnih lovilcih olj ali pa se izvede nadaljnje čiščenje vod. Čistilne objekte se projektira glede na gostoto prometa na cesti, tehtano tudi glede na sestavo prometa, vode kritičnega naliva (izplakovalni učinek), kamninske podlage in posebnih določb za dano območje.

Upravljavca javnih cest mora zagotoviti tudi izvajanje monitoringa onesnaženosti padavinske odpadne vode na iztoku iz zadrževalnikov in čistilnih naprav, ter prav tako samo vzdrževanje in čiščenje čistilnih objektov. (Uredba o emisiji snovi pri odvajanju padavinske vode z javnih cest, 2005, cit. po Krajnc, 2006)



Slika 4: Gravitacijski lovilec olj in trdih delcev nad viaduktom Črni Kal

4.3 PREGLED HISTORIČNIH ZAPISOV O NEDAVNIH VISOKOVODNIH DOGODKIH V SLOVENIJI

Ker smo Slovenci že na svoji koži izkusili moč poplavnih dogodkov, prilagamo zbirko nekaj nedavnih zapisov, da bi se zavedali, kaj se lahko ponovno zgodi, če ne bomo preučevali vodotokov in jim namenili ustreznega prostora. Prav tako se iz minulih dogodkov lahko kaj uporabnega naučimo.

Poplave 18. in 19.9.2007 (Cerkno, Železniki)

18. septembra 2007, je padavinska cona že ob 5h zajela zahodno Slovenijo. Ob 9:30 so v tem hribovitem delu države že začeli močni nalivi, ki so se postopoma širili tudi proti vzhodu. Več serij nalivov si je s premori sledilo na zahodu do približno 22h, najdlje pa na jugovzhodnem koncu Slovenije, do 2:30 naslednjega jutra (19.9.). Najbolj je bila prizadeta zahodna Slovenija (Bohinjsko območje, Škofjeloško hribovje ter Cerkljansko). Na tem predelu je padlo med 200 mm in celo do 300 mm padavin, v približno 12-urnem obdobju. Nad 100 mm padavin pa je padlo še v severnem delu Ljubljanske kotline, okolici Celja ter v delu Savinjske doline. V južni polovici Slovenije je večinoma padlo manj kot 60 mm padavin.

Čeprav so nalivi zajeli celotno Slovenijo, so bili v splošnem zelo lokalnega značaja in so se hitro spreminjali. Zato so bile lahko med dvema bližnjima krajema zelo velike razlike v zapadlih padavinah. Na dveh merilnih postajah so namerili količino 6-urnih in 12-urnih padavin, ki je presegala 250 letno povratno dobo (Letališče J.P. Ljubljana ter Lesce). Dnevna količina padavin pa je presegla 100 letno povratno dobo še v Davči (250), Gomilskem (100), Trbojah (200), Zgornjih Bitnjah (100) in Vodicah (200) (na teh postajah so bile merjene samo 24-urne padavine).

Zjutraj so bili pretoki rek večinoma mali, reke v vzhodni Sloveniji ter reka Vipava pa so imele srednje pretoke. Že med 9h in 10h so lokalno začeli naraščati vodotoki s povirji v Davči, Cerkljanskem hribovju ter na Bohinjskem grebenu. Do 14h so v roku 30 minut do poplavnih vrednosti narasle reke Bača, Selška Sora in Cerkniščica. Selška Sora je v

Železnikih s 170 m³/s dosegala 50 do 100-letno povratno dobo, Bača prav tako s 170 m³/s 5 do 10-letno povratno dobo, Cerknica v Cerknem pa 50 letno povratno dobo. Tržiška Bistrica je ob istem času v Preski s 133 m³/s dosegla 100 letno povratno dobo. Popoldan so poplavljalje reke na Domžalskem polju, proti večeru, ko so pretoki rek v zahodni Sloveniji že začeli upadati, pa so začele poplavljalje reke v porečjih Kamniške Bistrice, Dravinje in Savinje. Npr. Savinja je v Laškem ob 1h zjutraj dosegla maksimalno vrednost 1254 m³/s, kar ustreza 20 do 50-letni povratni dobi. Zanimivo je spremljanje maksimalnih vrednosti na Savi, ki so tako počasi napredovale zaradi velikosti zbirnega območja ter pomikanja padavin proti vzhodu. V Radovljici ob 0:30 (593 m³/s), Šentjakob ob 2h (1140m³/s), Hrastnik ob 5:30 (1290 m³/s), narašča še do 10h, Jesenice na Dolenjskem popoldan (2220 m³/s).

Hitrost naraščanja in velikost pretokov je bila ob tem dogodku izredna. Zato so tudi poplavljalje reke povzročile veliko materialne škode na objektih, prometni infrastrukturi ter drugem osebnem premoženju ljudi. Poplavljalja je večina rek v severnem delu države, predvsem v zgornjem, hudourniškem delu. V večini primerov je naraščanje pretokov do poplavnih vrednosti trajalo manj kot eno uro (Poročilo ..., 2007).

Bolj kot zaradi samih visokih pretokov, nam bodo te poplave ostale v spominu zaradi stiske, ki so jo utrpeli ljudje ob najbolj kritičnih mestih, ko jim je voda drla skozi hiše, odnašala avtomobile in prometno infrastrukturo, onesposobila oskrbo z električno energijo in čisto vodo, s številnimi plazovi izolirala posamezne predele, uničila trško jedro Kroke in Železnikov in nenazadnje skoraj v celoti odnesla kulturni spomenik, Partizansko bolnišnico Franjo. Skupna ocenjena škoda je znesla 223.678.634,64 € z DDV, od tega največ v občini Železniki, ostalo pa še po 54 občinah po celi Sloveniji. Prav tako so nastale škode na parkih, kanalizaciji, kmetijskih objektih in površinah, gozdovih, ... ter seveda na samih vodotokih. (Program odprave posledic ..., 2008)

Poplave 17. do 21. 9. 2010

16. septembra 2010 popoldan so padavine dosegle zahodno Slovenijo. V noči na 17. so zajele že vso državo. Nalivi so lokalno popuščali in se spet krepili do 19. popoldan, ko je

prenehalo deževati še na jugovzhodu države. Na severozahodu je prenehalo že zjutraj. Marsikje je večina padavin zapadla v 24ih urah, drugod pa so se bolj enakomerno razporedile skozi štiri dni deževja. Največji štiridnevni maksimum so zabeležili med Ajdovščino in Idrijo, kjer je lokalno padlo kar preko 500 mm dežja. Preko 200 mm je padlo na veliko merilnih postajah po zahodni in osrednji Sloveniji. Najintenzivnejše kratkotrajne nalive so zabeležili na Primorskem.

17. septembra zvečer so reke na zahodu Slovenije in Gradaščica dosegli velike pretoke, 18. zjutraj pa tudi drugod. Obsežne poplave so se vile ob reki Vipavi, Idrijci, Poljanski Sori, Savinji v spodnjem toku, Krki in Savi v spodnjem toku. Sava je v Jesenicah na Dolenjskem dosegla največji pretok od pričetka opazovanj (3600 m³/s). Zajezila je Krko in kasneje še Sotlo, zato sta ti poplavljali na večji površini kot običajno. Skoraj vse reke v državi so imele višje pretoke kot pri eno letni, veliko pa tudi več kot pri 10 letni povratni dobi. 100 letno povratno dobo so dosegle poleg Save v spodnjem toku še reka Vipava, Gradaščica ter Krka. (Hidrološko poročilo, 2010) Skupna ocena škode, ki je zajela kar 137 občin, tako znaša 225.456.763,10 € z DDV. (Ocena škode, 2010)

Ne moremo pa niti mimo dogajanja na območju Obalno – Kraške regije v teh dneh. O poplavljanju reke Dragonje in Rižane verjetno ni uradnega poročila, ker nimata vodomernih postaj. Vseeno pa je ob in v njunih strugah nastala precejšnja škoda. V noči iz 17. na 18. je reka Rižana zalila nekaj hiš, iz dveh ribogojnic odplaknila 20 ton rib, poškodovala prometno infrastrukturo, odnesla nekaj avtomobilov in poplavela koprsko železniško postajo. Visokovodni dogodek je v Primorju trajal le nekaj ur, za razliko od drugod po Sloveniji. Izjema je bila le Ankaranska Bonifika, kjer je slab meter vode pokrival kmetijske površine, cesto in zalival vse območje betonarne s stanovanjskim poslopjem in vsem imetjem skoraj cel teden. Dragonja pa je odnesla veliko hm cest, začasno onesposobila mejna prehoda Dragonja in Sečovlje ter poplavela obširno območje kmetijskih površin. Razmočenost tal je pripomogla tudi k velikemu številu zemeljskih plazov. V Primorju smo beležili nekajurne maksimume padavin. Če bi imeli 4 dnevne maksimume kot drugod, Dragonja kot hudourniška reka vsekakor ne bi presegla običajnih vrednosti. Na obeh rekah takih pretokov v zadnjih 20ih letih ne pomnimo.



Slika 5: Visokovodni dogodek septembra 2010 ob Dragonji in Rižani je prizadel precej materialne škode.

4.4 PROTIPOPLAVNI IN PROTIEROZIJSKI UKREPI

Poznamo negradbene in gradbene protipoplavne ukrepe. Z **negradbenimi** vplivamo na obnašanje ljudi. Taki ukrepi so coniranje prostora, zavarovalništvo, spreminjanje namembnosti prostora, ter drugi. Z **gradbenimi** ukrepi pa vplivamo na sam pojav (Steinman, 2009). Gradbeni ukrepi so v glavnem vodnogospodarski objekti, ki so lahko prečni ali vzdolžni. **Prečni objekti** so:

- konsolidacijski pragovi ali rebra brez stopnje,
- pragovi s stopnjo do 2 m ter
- pregrade s stopnjo nad 2 m.

Vsi prečni objekti varujejo korito struge pred nadaljnim poglobljanjem (globinsko erozijo), ter lahko služijo pri preusmerjanju toka v sredino struge, da ne prihaja do bočne erozije.

Objekti s stopnjo zmanjšajo vzdolžni naklon struge ter s tem tudi hitrost in potisno silo vode. Lahko zadržujejo nošeni material, podpirajo labilne brežine in druge objekte, ali celo sortirajo nošeni material. Najpogostejša in najbolj učinkovita oblika prečnih objektov so pregrade. Le te razdeljujemo:

- Po obliki (v grobem na ravne in ločne).
- Po namenu na ustalitive, ki utrjujejo strugo in brežine in zadrževalne, ki zadržujejo nanose.

- Po principu delovanja pregrade delimo na gravitacijske, ki s svojo težo zadržujejo material in so temeljene od spodaj; ločne, ki material zadržujejo s svojo trdoto in obliko, zato so le te lahko veliko tanjše (v prečnem prerezu), temelje pa imajo na bokih; gravitacijsko – ločne ter še ukleščene pregrade.
- Glede na uporabljen material obstajajo kamnite, betonske, železne, lesene, ter kombinacije teh materialov. Npr. kamen v betonu, kamen v lesu, armirani beton, gabioni (žičnato ogrodje, notri pa kamenje. So zelo prožni).
- Posebna vrsta pregrad so še funkcionalne pregrade. Poleg funkcije stabilizacije, konsolidacije (utrjevanja) in zadrževanja plavin, obstaja tudi funkcija sortiranja plavin glede na plovnost in velikost delcev. To dosežemo z različnimi rešetkami ali grabljami ter naklonom le teh. Funkcijo razbijanja hudourniške lave dosežemo z močnimi armiranobetonskimi razbijači. Ti zadržijo največje kamenje in hlode, da ne pustošijo dolvodno. Z zaježitvijo pa tudi zmanjšajo naklon nivelete.

Vzdolžni objekti služijo predvsem preprečevanju bočne erozije. Te razdeljujemo v:

- Regulacije, ki zagotavljajo nemoten pretok visokih vod skozi strugo. Večinoma gre za utrjevanje brežin (npr. s kamnometom, ...)
- Nasipi, ki preprečujejo razlivanje vode v primeru visokih voda
- Napere so polpregrade, ki ščitijo pred bočno erozijo
- “valobrani” – ščitijo pred globinsko bočno erozijo. Taki objekti so npr. podporni zidovi in biotehniški ukrepi (Kostadinov, 2008).

4.5 MNENJE VAŠČANOV O STANJU NA IZBRANEM OBMOČJU (HUDOURNIKA BRUT)

Vaščani trdijo, da se je z izgradnjo kraka avtoceste Kastelec – Srmin močno spremenila pretočnost hudournika skozi vas ob večjih nalivih. Od leta 2004 je voda vsaj dvakrat prestopila mostič, ki pelje v vas. Prej se to ni dogajalo.

5 CILJI

Najprej nameravamo podrobno preučiti **odtočni režim** na izbranem hudourniku Brut. Le ta je odvisen od velikosti vodozbirnega območja (Atlas okolja, 2011), odtočnih količnikov na različnih podlagah, časa odtoka ter nenazadnje tudi od intenzivnosti padavin za želene obhodne dobe (Podnebne razmere ..., 2006). Iz teh podatkov bomo izvedeli, kakšne pretoke vode lahko pričakujemo ob zelenih povratnih dobah.

Sledi **analiza stanja**, ki bo pokazala, kakšne so dejanske zmožnosti strug, kakšna je nevarnost plavin in okvirna ocena erozijske stabilnosti hribine.

S primerjavo odtoka z vodozbirnega območja, dobljenega s pomočjo odtočnega režima in dejanskih pretokov strug, bomo dobili **sedanjo stopnjo tveganja** za posamezna območja.

Ugotavljali bomo, ali je dosežen potreben nivo varnosti ter nadalje določili stopnjo **poplavne in erozijske nevarnosti**.

Ob vsem tem pa bomo še ugotovili, kakšna je vloga avtoceste.

Z opredeljeno dopustno stopnjo tveganja se bomo lahko odločili o potrebnih posegih v strugo in **predlagali ukrepe**.

6 METODE IN PODATKI

V tem poglavju nameravamo predstaviti vso teoretično podlago za določitev odtočnega režima in analizo stanja ter prikazati vse podatke, ki smo jih uporabil pri izračunih.

6.1 DOLOČITEV ODTOČNEGA REŽIMA (MAKSIMALNI MOŽNI ODTOK) GLEDE NA LASTNOSTI VODOZBIRNEGA OBMOČJA

Maksimalni odtok z vodozbirnega območja bomo določili po **racionalni metodi**. Ta metoda se uporablja predvsem za izračun največjega odтока z urbanih površin in manjših ruralnih povodij. Maksimalni odtok je v grobem odvisen od **površine** vodozbirnega področja, **odtočnega koeficienta** (upošteva učinek podlage) ter količine **intenzivnih padavin**, ki se jih določi glede na **čas zbiranja** za želeno **povratno dobo**. (Brilly in Šraj, 2006)

Odtok z vodozbirnega območja (Q) po racionalni enačbi:

$$Q = 0,00278 * C * i * A$$

C ~ koeficient odтока

i ~ intenziteta padavin za določene povratne dobe v mm/h

A ~ površina vodozbirnega območja v ha (v originalu km²)

0,00278 ~ pretvornik enot (=10000/(1000*3600))

6.1.1 Določanje površin in odtočnih količnikov

Skupno **površino vodozbirnega območja** (A) bomo sprva razdelili na manjša vodozbirna območja, za vsako »kritično« (izbrano) točko na vodotoku posebej, kasneje pa jih bomo še dodatno stratificirali za različne podlage (različne odtočne količnike ter koeficiente hrapavosti). Meje med vodozbirnimi območji potekajo po grebenih. Nato pa greben povežemo po padnici do zelene točke. Območje nad izbrano točko, med padnicama do grebena, tako predstavlja vodozbirno območje za to zeleno točko na vodotoku. Pri tem moramo biti pozorni, če naše območje sekajo morebitna cestna telesa, saj lahko s svojim odvodnjavanjem precej spremenijo velikost vodozbirnih območij.

Odtočni količniki (C) so odvisni predvsem od podlage in naklona terena. Predstavljajo razmerje med odtekle in padlo vodo (efektivnimi ali neto padavinami ter bruto padavinami). Podobno vlogo, s tem da upoštevata samo hrapavost podlage, imata **Manningov koeficient hrapavosti (n_g)** ter **koeficient površinske hrapavosti (N)**. Vse tri količnike bomo določili iz tabel:

Odtočni koeficienti (C):

Preglednica 1: Odtočni koeficienti 1. (Brilly in Šraj, 2006: 37)

Raba tal	Odtočni koeficient C
poslovni predel mesta	0,7-0,95
mestna soseska	0,5-0,7
naselje individ. hiš	0,3-0,5
parki, pokopališča	0,1-0,25
otročka igrišča	0,2-0,35
trava, peščena zemljina, naklon do 2 %	0,05-0,1
trava, peščena zemljina, naklon nad 7 %	0,15-0,2
trava, težka zemljina, naklon do 2 %	0,13-0,17
trava, težka zemljina, naklon nad 7 %	0,25-0,35

Preglednica 2: Odtočni koeficienti 2. (Steinman, 2009: 6 / 27)

Po Wang-u	C	
pretežno poljedelska območja (prepustna tla)	0,33-0,35	
gorata območja, z mnogo gozdovi	0,35-0,45	
gorata območja, z malo gozdovi	0,45-0,55	
gorata območja, s skalnimi goljavami	0,50-0,70	
Po Singer-ju	padavine	C
ravnine, do 150 m/nm	500-600 mm	0,25
sredogorje, 150-900 m/nm	700-1700 mm	0,40
gorovje, nad 1500 m/nm	> 2500 mm	0,77

Koeficienti površinske hrapavosti (N):

Preglednica 3: Koeficienti površinske hrapavosti, povzeti po US Army Corps of Engineers, 2000. (Brilly in Šraj, 2006: 68)

Vrsta površine	Koeficient N
gladke površine (beton, asfalt, pesek, gola zemljina)	0,011
ledina, neobdelane površine	0,05
obdelana zemljina: pokritost \leq 20 %	0,06
pokritost $<$ 20 %	0,17
trava: kratka (stepa)	0,15
gosta trava	0,24
gozd: z malopodrastjo	0,40
z gostjo podrastjo	0,80

Manningov koeficient hrapavosti bomo poskušali čim natančneje določiti iz povzetih vrednosti po Chow-u (1959).

6.1.2 Določitev časa odtoka in merodajnih intenzivnih padavin za zelene obhodne dobe

Količina intenzivnih padavin je sprva odvisna od podnebja in orografije, kjer se vodozbirno območje nahaja. Meteorologi so z dolgoletnimi meritvami pridobili podatke o verjetnosti nastanka različno intenzivnih padavin, za različna povratna obdobja, za nekaj klimatsko značilnih krajev v Sloveniji. Tu bomo uporabili podatke za Bilje (Podnebne..., 2006), saj z letno količino in porazdelitvijo padavin najbolj ustreza izbranemu območju.

Intenzivnost padavin (i) se nanaša na čas, v katerem pade določena količina padavin. Npr. 15 minutne so zelo intenzivne, 24 urne so manj intenzivne.

Povratna doba padavin pa predstavlja statistično verjetnost (stopnjo tveganja), da se določena količina padavin pojavi v letu. Npr. 50-letna povratna doba (i_{50}) predstavlja 2 % možnost, da bo količina padavin v določenem letu dosežena ali presežena; zato bo ta vrednost višja, kot pa i_{20} . Za določeno povratno dobo se odločimo, glede na pomembnost samega objekta, ki ga projektiramo ali opazujemo, oziroma ogroženost drugih objektov ali življenj zaradi tega objekta dolvodno. Lahko pa tudi obratno ugotavljamo, kakšno je sedanje stanje struge.

Katero intenzivnost padavin bomo upoštevali, pa je odvisno od **časa odtoka** (T_n) z meje vodozbirnega območja, do zelene točke na vodotoku. Ker je vodozbirno območje zaradi različnih razmer stratificirano, imamo opravka z večimi različnimi časi odtokov. Tako bo potrebno poizkusiti več različnih intenzivnosti (na intervalu od najintenzivnejšega do najmanj intenzivnega posameznega vodotoka) in ugotoviti, pri kateri je največji odtok s celotnega območja. Računati moramo, da pri intenzivnejših padavinah ne moremo upoštevati odtoka s celotnega območja (če ima le ta daljši čas odtoka), ampak je to količino potrebno relativno zmanjšati.

Za izračun časa odtoka bomo uporabili SCS metodo. S tem bomo dobili precej natančnejše podatke, saj racionalna metoda upošteva samo eno-urne intenzivne padavine. Metoda je bila razvita v Ameriki za manjša kmetijska povodja. Čas odtoka (T_n) je v tesni povezavi s časom koncentracije (T_c).

$$T_n = \Delta t / 2 + T_p$$

Če želimo izračunati maksimalni odtok, bomo za čas efektivnih padavin (Δt) uporabili T_c . T_p pa je čas zakasnitve, ki ga poenostavljeno izračunamo kot »0,6 * T_c «. Tako dobimo poenostavljeno enačbo:

$$T_n = 1,1 * T_c$$

Čas koncentracije (T_c) je odvisen od razdalje, Manningovega koeficienta hrapavosti ter koeficienta površinske hrapavosti, naklona, načina toka ter intenzivnih padavin. Je vsota posameznih delnih časov koncentracije posameznih tokov.

$$T_c = t_{povr} + t_{plitev} + t_{kanal}$$

Površinski tok (t_{povr}) priteče od roba vodozbirnega območja pa do struge, vendar največ do 1000m (10m – 1000m, navadno 100m), odvisno od konfiguracije terena in podlage. Če še ni struge, se formira **plitev koncentrirani tok** (t_{plitev}). Ko zbrana voda doseže strugo, se formira **kanalski tok** (t_{kanal}). Površinski tok je najpočasnejši, kanalski pa najhitrejši.

$$t_{povr} = \frac{0,091(NL)^{0,8}}{P_2^{0,5} I^{0,4}}$$

t_{povr} ~ čas potovanja po površini povodja (h)

N ~ koeficient površinske hrapavosti (drugačen kot n_g !)

L ~ dolžina površinskega toka (m)

P_2 ~ 24-urna višina padavin, za dvoletno povratno dobo (mm)

I ~ hidravlični padec, oz. padec terena (m/m)

$$t_{\text{plitev}} = \frac{L}{3600 \cdot v}$$

t_{plitev} ~ čas potovanja po plitvem tokovnem segmentu

v ~ hitrost ocenimo za neasfaltirane površine z $4,918\sqrt{I}$ ter z $6,196\sqrt{I}$ za asfaltirane

$$t_{\text{kanal}} = \frac{L}{3600 \cdot v}$$

t_{kanal} ~ čas potovanja v kanalu

v ~ hitrost je drugače izračunana:

$$v = \frac{R^{2/3} I^{0,5}}{n_g}$$

R ~ hidravlični radij (m); je kvocient pretočnega prereza (A v m²) in obsega omočenega kanala (O v m) → $R = A / O$

n_g ~ koeficient hrapavosti po Manningu (upošteva lastnosti tal do globine 3 cm)

6.2 ANALIZA STANJA

Z analizo stanja bomo skušali pokazati, kakšne so dejanske zmožnosti strug, kakšna je erozijska stabilnost hribin ter tudi kakšna je nevarnost plavin.

6.2.1 Pretočnost strug (Zmožnost prevajanja ali maksimalni možni odtok)

Hudourniške in rečne struge imajo tolikšno zmožnost prevajanja, kot jo ima njihova najšibkejša točka (ozko grlo). Maksimalni možni odtok za želen prerez na vodotoku se določi enako kot hitrost kanalskega toka, že predstavljenega v prejšnjem poglavju.

Manningova enačba

$$Q = A \cdot v$$

$$v = \frac{R^{2/3} I^{0,5}}{n_g}$$

Q ~ pretok ali odtok (m³/s)

v ~ hitrost

A ~ površina prereza (m²)

R ~ hidravlični radij (m); je kvocient pretočnega prereza (A) in obsega omočenega kanala (O v m) → R = A / O

I ~ hidravlični padec (m/m)

n_g ~ koeficient hrapavosti po Manningu

Zmožnost pretoka bomo izračunavali za vse opazovane objekte.

6.2.2 Nevarnost plavin

Gozd je na brežinah ob strugah zaradi nizke vrednosti sortimentov in mestoma slabše odprtosti z vlakami zelo slabo gospodarjen. Zato leži veliko starih podrtih dreves ob strugi in tudi v njej. To kaže tudi na nevzdrževanje hudourniške struge. Ob nastopu visokovodnega dogodka bo marsikatero od teh dreves ter ležečih vej dobilo dovolj potiska ter vzgona, in odplavalo po strugi dolvodno do zožitve, kjer ne bo moglo naprej. Najraje se to zgodi na samih objektih. Tako se objektom zmanjša zmožnost pretoka in nastanejo pogoji za verižno reakcijo, da se še manjše plavine začnejo nalagati. Taki objekti zato bistveno hitreje poplavijo in v najslabšem primeru celo popustijo.



Slika 6: Velika potencialna nevarnost plavin, ki bi jo zlahka odpravili z gospodarjenjem gozda ob strugi.

6.2.3 Erozijska stabilnost

Geološka stabilnost je v zgornjem toku hudournika, kjer je matična podlaga apnenec dobra. Po njem voda zelo malo teče po površini, pa tudi zaradi svoje trdnosti so stabilne naklonine preko 75° . Bolj erozijsko ogrožen je fliš, ki se nahaja v srednjem in spodnjem toku hudournika. O nestabilnosti pričajo prestrme odkopne brežine, ki se močno posipajo in se ne zarasejo, če so strmejšje od 45° , kar pa je tudi stabilna naklonina za vse nasute materiale. Flišnata pokrajina je polna dolinic, ki se zaradi mehкости »kamnine« hitro poglobljajo. Fliš je dober vodonosnik.

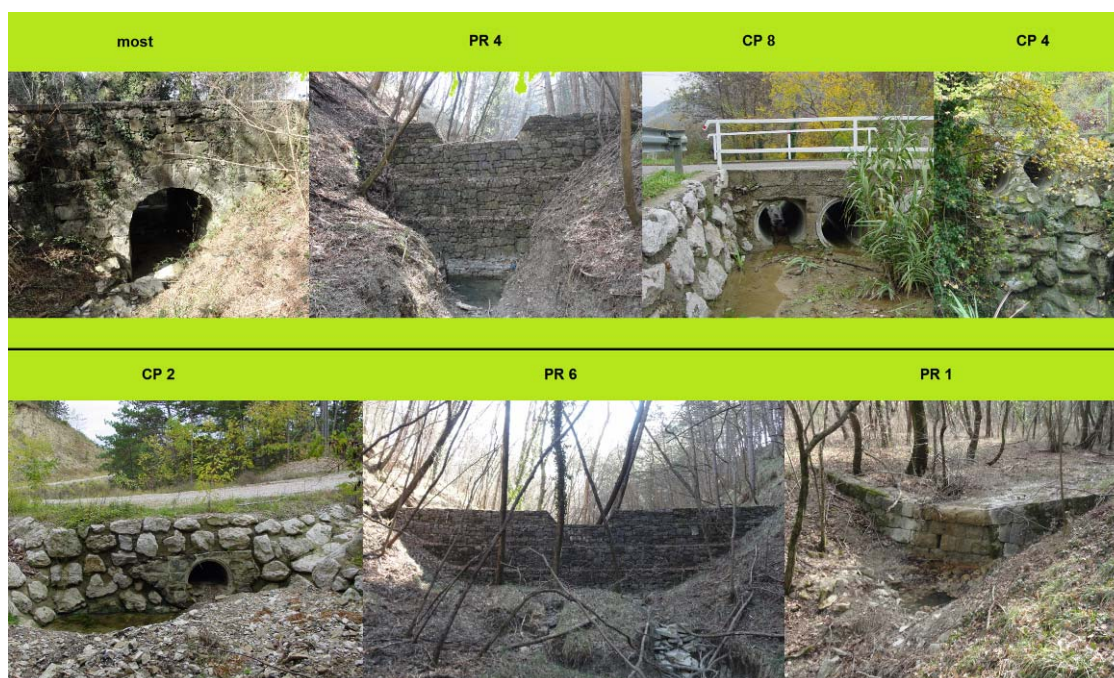
Zaradi nekoliko redkejšje drevesne plasti je v gozdu bujna tako pritalna kot tudi grmovna **vegetacija**. Zato so tla dobro prekoreninjena, gost koreninski preplet pa tudi dobro vpliva na stabilnejšo strukturo **tal**. Tako rendzina, kot tudi evtrična rjava tla (ERT) so dobro propustna. Pri ERT je težava v tem, da zaradi zadostne globine in slabše sprijetosti z matično podlago, ki ni tako prepustna, ob močni namočenosti lahko zdrsnejo. Tako so ERT na večjih nakloninah erozijsko izpostavljena.

6.3 PREGLED PODATKOV, UPORABLJENIH V NADALJNJIH ANALIZAH

Pri posredovanju podatkov je zelo pomembna njihova preglednost. Le to smo skušali doseči s številnimi tabelami. Za samo natančnost podatkov pa je bilo ključno pogosto in številčno opazovanje in delo na terenu, kjer se je vsakič našla še kakšna nova malenkost, ki je pripomogla k temeljitejši, objektivnejši in natančnejši sliki stanja na terenu.

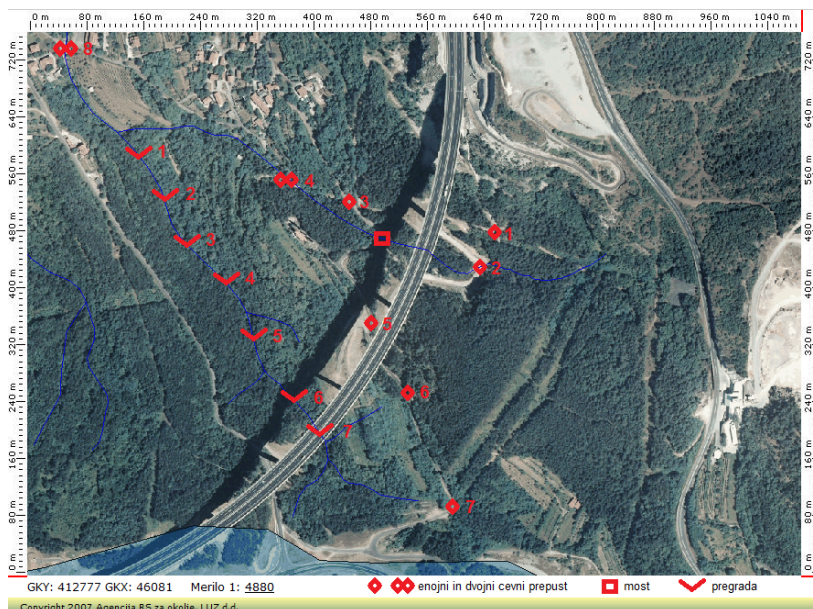
6.3.1 Opazovani objekti na izbranem vodozbirem območju

Na izbranem vodozbirnem območju smo opazovali kar 16 objektov. Od tega 7 zaplavnih pregrad (okrajšava PR), 6 enojnih cevnih prepustov in 2 dvojna (okrajšava CP) ter manjši zidan most (most). Lokacije in dimenzije objektov so vidne na sliki ter v tabeli. Prav tako so izračunane pretočne zmoglosti za posamezne objekte (Q).



Slika 7: Nekaj opazovanih objektov: zidani **most** nad vasjo bi potreboval nekaj vzdrževanih del, zagotavlja pa zadostne pretoke. Pregradi (**PR 4 in PR 6**) sta narejeni iz žičnatih gabionov in še vedno kot po 40ih letih trdno stojita in nemoteno opravljata svojo konsolidacijsko nalogo. Mostič pod vasjo (**CP 8**) je najšibkejši člen mojih preučevanj. Cevi bi bilo potrebno zamenjati z večjimi. Prepust (**CP4**) je objekt s stopnjo, zato poleg tega da zagotavlja dovoljšnje pretoke, tudi podpira brežine nad sabo. Prepust (**CP 2**) je postal šibka točka zaradi nevdrževanja. Apneno vezivo je zmanjšalo pretočnost cevi za tretjino. Pregrada

(PR 1) je najnižje ležeča pregrada na levem toku in se po načinu izgradnje precej razlikuje od zgornjih šestih. Drugače pa prav tako dobro opravlja svojo nalogo.



Slika 8: Pregled vseh objektov na ortofoto posnetku (Atlas okolja, 2011)

Preglednica 4: Zmožnosti pretokov posameznih objektov

	Premostitveni o. na desnem kraku					Pr. o. na levem kraku			Skupni
	CP1	CP2	CP3	CP4	most	CP7	CP6	CP5	
fi (m)	1	1	0.6	1	0.9	0.8	0.6	0.6	0.8
A (m ²)	0.79	0.52	0.28	1.57	2.12	0.50	0.28	0.28	1.01
O (m)	3.14	2.72	1.88	6.28	5.65	2.51	1.88	1.88	5.03
R	0.25	0.19	0.15	0.25	0.37	0.2	0.15	0.15	0.20
S (m/m)	0.15	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
ng	0.012	0.015	0.012	0.012	0.02	0.012	0.012	0.012	0.012
Q (m³/s)	10.06	3.08	1.17	13.74	14.56	2.53	1.17	1.17	6.41
Pregrade na levem kraku									
	PR7	PR6	PR5	PR4	PR3	PR2	PR1		
h (m)	3.5	3	2.4	3.5	1.7	2	1.4		
A (m ²)	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	2.50		
O (m)	3.72	3.72	3.72	3.72	3.72	3.72	8.08		
R	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.31		
S (m/m)	0.1	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04		
ng	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035		
Q (m³/s)	9.56	6.05	6.05	6.05	6.05	6.05	6.53		

2r - premer cevnega prepusta

R - hidravlični radij

I - hidravlični padec*

n_g - Manningov koeficient hrapavosti**
 h - višina pregrade (do krone preliva)
 Q - pretok

*Hidravlični padec smo pri pregradah ocenili kot srednji naklon od prve do zadnje pregrade, zmanjšan za vsoto višin pregrad. Za samo zadnjo pregrado (PR 7), ki je najmanj kritična, pa smo padec ocenili kar iz nadaljnjih 100 m za pregrado (gorvodno). Podobno smo ocenili naklon tudi pri mostu. Pri cevnih prepustih smo izmerili dejanski naklon cevi.

**Manningov koeficient hrapavosti smo poskušali natančneje oceniti iz povzetih vrednosti po Chow, 1959. Pri cevnih prepustih smo upoštevali srednjo vrednost 0,012, razen pri drugemu (CP 2), ki ima dno zacementirano z apnenim vezivom 0,015 (za grob monolitni beton); pri mostu 0,02 (za zaprte kanale, z zidanimi in betoniranimi stenami); ter 0,035 pri pregradah (za odprte kanale s pravilno zloženim kamenjem).

6.3.2 Površine vodozbirnih območij

Poplavno in erozijsko ogroženost bmo preučevali na levem in desnem kraku hudournika Brut, do mostiča pod vasjo Stara Gabrovica, kjer je urejen dvojni cevni prepust (CP 8). To bo tudi zadnji opazovan objekt na izbranem območju. Do mostiča (CP 8) zbirno prispevno območje obsega **180ha**. Za vsak objekt in vsak odtočni količnik posebej je upoštevano lastno vodozbirno območje.

Čeprav bi lahko del viadukta odvodnjavali tudi proti zbiralnemu bazenu tik nad viaduktom, smo predvideli, da ga v celoti odvodnjavajo v spodnji bazen, ki se nahaja slabih 500 m pod koncem viadukta (približno 1500 m pod zgornjim bazenom). Tako smo se odločili, ker so cevi, ki nakazujejo dejansko smer odvodnjavanja, skrite v »drobovju« viadukta ter ker je sam vzdolžni naklon viadukta kar precejšen (2,7 %). Tako lastne vode z viadukta ne odtekajo v povodje opazovanega hudournika in nanj ne vplivajo.

Pri viaduktu Bivje, kjer so cevi lepo vidne, se zbirni bazen nahaja približno pod sredino viadukta. V ta bazen odvodnjavajo lastne vode z zgornjega dela viadukta. Vse lastne vode od tu naprej, pa navzdol. Naslednjega bazena nismo našli. Najverjetneje zato, ker se novi

krak kmalu priključi na koprsko obvoznico, ki je bila zgrajena že pred letom 1995 od kadar obstaja interni predpis DARS-a o odvodnjavanju meteornih voda z avtocestnih površin.

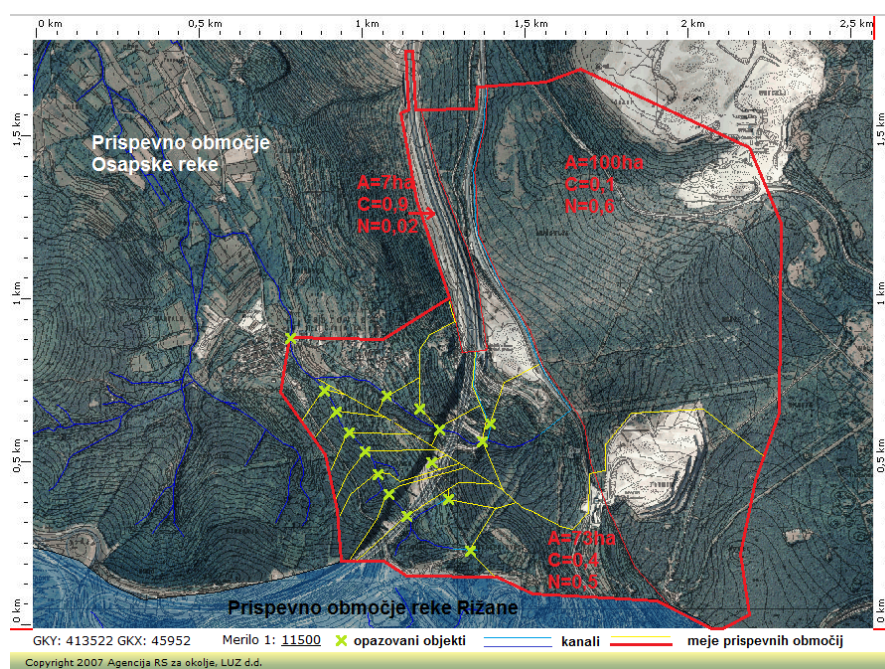
Preglednica 5: Velikosti prispevnih območij za vsak objekt posebej

	Premostitveni objekti na desnem kraku					Pr. o. na levem kraku		
	CP1*	CP2*	CP3*	CP4	most	CP7	CP6	CP5
A1 (ha)		73		75	75	25		
A2 (ha)	10-4=6	17-4=13	12-4=8	24	20	11	2	1
A3 (ha)	7/2=3,5	3,5	3,5	7	7			
skupaj	9,5	89,5	12,5	106	102	36	2	1
	Pregrade na levem kraku							Skupni
	PR7	PR6	PR5	PR4	PR3	PR2	PR1	CP8
A1 (ha)	25	25	25	25	25	25	25	100
A2 (ha)	19	21	25	27	30	32	34	73
A3 (ha)								7
skupaj	44	46	50	52	55	57	59	180

*CP 3, na prvi pogled zgleda, da ima majhno prispevno območje (4ha), dejansko pa ima ob intenzivnih padavinah več vode kot prepusta CP 1 in CP 2, ki imata urejen odtok z avtoceste. Očitno je, da nekaj vode s čistilnega bazena nad viaduktom »zbeži« v stari kamnolom. Zato smo območje avtoceste s pripadajočimi zalednimi vodami pripisali k vsem trem cevnim prepustom in prispevno površino razdelil na pol (pol k CP 3 ter drugo polovico k CP 1 in 2)



Slika 9: Tik pod viaduktom se lepo vidi, da voda odteka zunaj urejenega korita proti cevnem prepustu (CP 3)



Slika 10: Pregled prispevnih območij na ortofoto posnetku (Atlas okolja, 2011)

6.3.3 Odtočni količniki in koeficienti hrapavosti

1. del: Največji del prispevnega območja (100 ha) predstavlja propustna tla na apnencu s srednjim naklonom okoli 20%. Tam uspevajo nizki in redki gozdovi z zmerno podrastjo. Ker velik del padavin odteče v podzemlje, smo za to območje izbrali odtočni koeficient 0,1, koeficient hrapavosti pa 0,6.

2. del: obsega pripadajočo površino avtoceste (celotnega cestnega telesa) v velikosti 7 ha. Zaradi asfaltiranih in gladkih odkopnih brežin skoraj vsa voda zelo hitro odteče po jarkih, zato smo izbrali odtočni koeficient 0,9 ter koeficient hrapavosti 0,02 (za gladke površine).

3. del obsega borove gozdove, večinoma na flišu. Tu so nakloni večji. Pogosto preko 100%, srednji pa okoli 50%. Površina tega območja je 73 ha. Primeren odtočni količnik po Singerju je 0,4, koeficient hrapavosti pa 0,5.

6.3.4 Čas odtoka

Za vsako od treh zgoraj navedenih območij smo najprej določili dolžine različnih tokov ter višinske razlike. Kvocient med tema dvema nam poda hidravlični padec (višinska razlika / dolžina toka), oz. naklon terena.

Pri 1. območju smo zaradi velike propustnosti in manjšega naklona upoštevali kar vse od kamnoloma Črnotiče na zgornjem robu, do obcestnega kanala, kot površinski tok in to kar na 730 m dolžine. Od tu do mostiča pa kanalski tok na dolžini 1400 m, z 220 m višinske razlike (srednji naklon 20%).

Pri 2. območju smo upoštevali površinski tok od najjužnejšega stika s kraškim robom do glavne ceste (200 m), tam so urejeni cevni prepusti, zato od tam naprej plitev koncentriran tok, dokler ni jasno vidna struga. Od tam pa po strugi levega kraka do mostiča kanalski tok.

Pri 3. območju smo upoštevali kot površinski tok razdaljo od sredine med voznima pasovoma do jaška, kjer se zbirajo lastne vode (15 m). Tako dobljen čas odtoka je bil daljši kot od zgornjega roba odkopne brežine do obcestnega jarka (30 m, ampak 100% naklon). Od jaška pa kanalski tok preko gravitacijskega lovilca olj do mostiča.

Parametri, ki določajo odtočni čas kanalskega toka, se vzdolž struge občutno spreminjajo. Ne glede na to, jih ni smiselno stratificirati, saj kanalski tok relativno zavzema zelo majhen delež celotnega časa odtoka.

Vsi uporabljeni parametri so vidni v preglednici.

Preglednica 6: Čas odtoka

	Od kamnoloma Črnotiče	leva struga od kraškega roba	avtocesta
čas odtoka (h)	2.525	0.651	0.061
čas koncentracije	2.30	0.59	0.06
Površinski (h)	2.25	0.48	0.017
N	0.60	0.50	0.02
L (m)	730	200	15
P ₂ (mm)	100	100	100
S	0.20	0.50	0.02
višinska r (m)	145	100	
Plitev (h)	0.000	0.043	0.000
L (m)		375.00	
v		2.41	
S		0.24	
višinska r (m)		90	
Kanalski (h)	0.041	0.070	0.039
L (m)	1400	940	1950
v	9.53	3.72	14.00
R	0.33	0.33	0.33
A (m ²)	1.00	1.00	1.00
O (m)	3.00	3.00	3.00
S	0.16	0.10	0.10
višinska r (m)	220	90	200
n _q	0.02	0.04	0.01

Tako je čas odtoka s prvega območja 2,53 ure, z drugega 0,65 ure in s tretjega 0,06 ure.

6.3.5 Intenzivnost padavin in povratne dobe

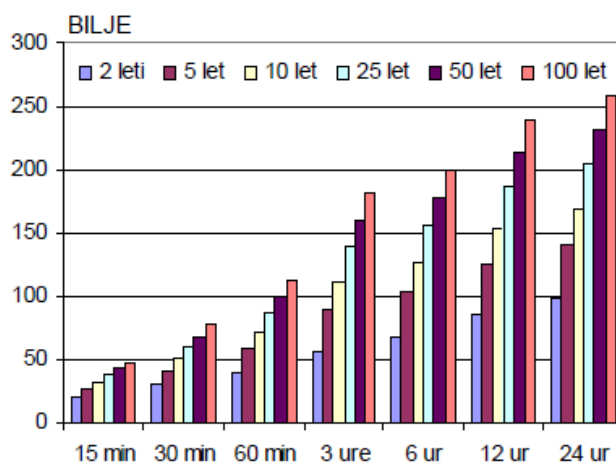
Odtoke smo primerjali s četrtturnimi, polurnimi, enournimi in triurnimi intenzivnimi padavinami za povratne dobe dveh, desetih in stotih let. V vseh treh primerih je bil največji odtok z območja pri polurnih padavinah. Zato bomo pri vseh izračunih upoštevali polurne padavine.

Preglednica 7: Odtoki glede na povratne dobe in intenzivnost padavin

intenzivnost	15 min	30 min	1 h	3 h
Q2	3.95	5.12	4.39	2.32
Q10	5.95	8.54	7.68	4.64
Q100	8.94	13.66	12.62	7.80

6.3.6 Odtoki s prispevnih območij po posameznih objektih in povratnih dobah

Pretoki so podani v m³/s za povratne dobe dveh, petih, desetih, petindvajsetih, petdesetih in stotih let, upoštevajoč podatke s postaje Bilje (ARSO, 2006). Pretok za petsto letno povratno dobo pa je izračunan po formuli $Q_{500} = Q_{100} * 1,4$ (Pravilnik..., 2007).



Slika 11: Intenzivnost padavin, glede na različna povratna obdobja, za postajo Bilje

Preglednica 8: Pretoki na posameznih objektih po povratnih dobah

	Premostitveni o. na desnem kraku					Pr. o. na levem kraku			skupni CP8
	CP1*	CP2*	CP3*	CP4	most	CP7	CP6	CP5	
A1		73		75	75	25			100
C1		0.10		0.10	0.10	0.10			0.10
Tc1/i(h)		5.06		5.06	5.06	5.06			5.06
A2	6	13	8	24	20	11	2	1	73
C2	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Tc2/i(h)	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
A3	3,5	3,5	3,5	7	7				7
C3	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9				0.9
Q2	0.83	1.43	0.86	2.53	2.32	0.65	0.10	0.05	5.13
Q5	1.11	1.91	1.15	3.37	3.10	0.86	0.14	0.07	6.84
Q10	1.39	2.39	1.43	4.22	3.87	1.08	0.17	0.09	8.55
Q25	1.67	2.87	1.72	5.06	4.65	1.29	0.21	0.10	10.25
Q50	1.94	3.34	2.00	5.90	5.42	1.51	0.24	0.12	11.96
Q100	2.22	3.82	2.29	6.75	6.20	1.73	0.27	0.14	13.67
Q500	3.11	5.35	3.49	9.44	8.68	2.42	0.38	0.19	19.14
	Pregrade na levem kraku								
	PR7	PR6	PR5	PR4	PR3	PR2	PR1		
A1	25	25	25	25	25	25	25		
C1	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10		
Tc1/i(h)	5.06	5.06	5.06	5.06	5.06	5.06	5.06		
A2	19	21	25	27	30	32	34		
C2	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40		
Tc2/i(h)	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3		
Q2	1.06	1.16	1.37	1.47	1.62	1.72	1.83		
Q5	1.41	1.55	1.82	1.96	2.16	2.30	2.44		
Q10	1.76	1.93	2.28	2.45	2.70	2.87	3.05		
Q25	2.12	2.32	2.73	2.94	3.24	3.45	3.65		
Q50	2.47	2.71	3.19	3.43	3.78	4.02	4.26		
Q100	2.82	3.09	3.64	3.92	4.33	4.60	4.87		
Q500	3.95	4.33	5.10	5.48	6.06	6.44	6.82		

6.4 CILJNO STANJE ZAHTEVANIH OZ. ŽELENIH RAZMER

Zakonska določila so dokaj ohlapna: Po Pravilniku (2007), ministrstvo pristojno za vode, določi stopnjo poplavne in erozijske nevarnosti. Moč poplavne nevarnosti oceni za 100-letne vode, prikaže pa tudi 10-letne in 500-letne vode. Nadalje je z Uredbo (2008) določeno, pri kateri stopnji nevarnosti lahko izvajamo posamezne dejavnosti in posege v prostor. V veliko primerih je gradnja pogojno dovoljena, če se predhodno izvede omilitvene ukrepe. Na podlagi teh dveh postavk, se kasneje občine dokončno odločajo pri

pripravi občinskega prostorninskega načrta (OPN), v katerih primerih bodo odobrile gradnjo, v katerih pa ne.

Želje ljudi, ki živijo na območju velike poplavne ali erozijske nevarnosti je, da bi pristojne službe uredile vodotoke in s tem zmanjšale stopnjo nevarnosti, v primeru nastanka škode pa da bi dobili boljšo finančno pomoč, čeprav je marsikdo od teh lastnikov zavestno gradil tik ob vodi, kjer bi utegnilo poplavljeni. Po naše, je ciljna pot: Na območjih velike in srednje poplavne ali erozijske nevarnosti izvajati boljši nadzor posegov v prostor in izvajanja dejavnosti. Kjer objekti že stojijo in so ogroženi, bi bilo potrebno počasi pridobiti nadomestne lokacije; če pa gre za večji finančni zalogaj (cela naselja), se poslužiti urejanja vodotokov, saj le ta nimajo nujno vedno le dobrih posledic in če niso dovolj preiščeni, lahko naredijo tudi več škode kot koristi. Zato se nam zdi pomembno vprašanje: »Ali je lažje urejati vodotok ali pa je lažje graditi drugje, mogoče celo tudi prestaviti že ogrožene objekte?«

V našen primeru ocenjujemo ciljno stanje (doseženo s predlaganimi ukrepi), kot vzpostavitev rednega vzdrževanja ter ureditev struge skozi vas vsaj za 50-letne vode, ob gozdni cesti pa vsaj za 20-letne. Ob tem mora biti predviden tudi prostor za plavine. Prav tako je potrebno doseči večjo stabilnost brežin in zmanjšati moč erozije.

7 REZULTATI IN RAZPRAVA

Tukaj bomo predstavili, kaj je končni rezultat vseh izračunov, določili stopnjo nevarnosti ter tudi predlagali potrebna izboljšanja.

7.1 PRIMERJAVA MED ODTOČNIM REŽIMOM IN STANJEM STRUG

Dobljeni odtok s prispevnih območij smo primerjali z zmožnostjo pretoka na posameznih objektih, kot je razvidno v tabeli.

Preglednica 9: Razlike (viški) med pretočnimi zmognosti objektov in odtokom z območja po povratnih dobah

		Premostitveni o. na desnem kraku					Pr. o. na levem kraku		
		CP1*	CP2*	CP3*	CP4	most	CP7	CP6	CP5
pretočne zmognosti	Q (m³/s)	10.06	3.08	1.17	13.74	17.40	2.53	1.17	1.17
odtoki s prispevnih območij za povratne dobe	Q2	0.83	1.43	0.94	2.53	2.32	0.65	0.10	0.05
	Q5	1.11	1.91	1.25	3.37	3.10	0.86	0.14	0.07
	Q10	1.39	2.39	1.56	4.22	3.87	1.08	0.17	0.09
	Q25	1.67	2.87	1.87	5.06	4.65	1.29	0.21	0.10
	Q50	1.94	3.34	2.18	5.90	5.42	1.51	0.24	0.12
	Q100	2.22	3.82	2.50	6.75	6.20	1.73	0.27	0.14
	Q500	3.11	5.35	3.49	9.44	8.68	2.42	0.38	0.19
razlika med možnim pretokom in odtokom z območja	razlika 2	9.23	1.65	0.24	11.21	15.08	1.88	1.07	1.12
	razlika 5	8.95	1.17	-0.07	10.37	14.30	1.66	1.04	1.10
	razlika 10	8.67	0.69	-0.39	9.53	13.53	1.45	1.00	1.09
	razlika 25	8.39	0.21	-0.70	8.68	12.75	1.23	0.97	1.07
	razlika 50	8.12	-0.27	-1.01	7.84	11.98	1.02	0.93	1.05
	razlika100	7.84	-0.74	-1.32	7.00	11.20	0.80	0.90	1.04
	razlika500	6.95	-2.27	-2.32	4.30	8.72	0.11	0.79	0.98
		pregrade na levem kraku							skupni
		PR7	PR6	PR5	PR4	P3	PR2	PR1	CP8
pretočne zmognosti	Q (m³/s)	9.56	6.05	6.05	6.05	6.05	6.05	6.53	6.41
odtoki s prispevnih območij za povratne dobe	Q2	1.06	1.16	1.37	1.47	1.62	1.72	1.83	5.13
	Q5	1.41	1.55	1.82	1.96	2.16	2.30	2.44	6.84
	Q10	1.76	1.93	2.28	2.45	2.70	2.87	3.05	8.55
	Q25	2.12	2.32	2.73	2.94	3.24	3.45	3.65	10.25
	Q50	2.47	2.71	3.19	3.43	3.78	4.02	4.26	11.96
	Q100	2.82	3.09	3.64	3.92	4.33	4.60	4.87	13.67
	Q500	3.95	4.33	5.10	5.48	6.06	6.44	6.82	19.14
razlika med možnim pretokom in odtokom z območja	razlika 2	8.51	4.89	4.68	4.58	4.43	4.32	4.71	1.28
	razlika 5	8.15	4.50	4.23	4.09	3.89	3.75	4.10	-0.43
	razlika 10	7.80	4.11	3.77	3.60	3.34	3.17	3.49	-2.14
	razlika 25	7.45	3.73	3.32	3.11	2.80	2.60	2.88	-3.85
	razlika 50	7.10	3.34	2.86	2.62	2.26	2.02	2.27	-5.56
	razlika100	6.74	2.95	2.41	2.13	1.72	1.45	1.66	-7.27
	razlika500	5.61	1.72	0.95	0.57	-0.01	-0.39	-0.29	-12.73

CP 3 ter CP 8 tudi dejansko predstavljata največjo težavo. Od leta 2004, od kadar je izgrajena avtocesta, so bile njune kapacitete že večkrat presežene.

7.2 DOLOČITEV NEVARNOSTI

Glede na naše izračune, je večina objektov ustrezno dimenzionirana. Pri najnižje ležečih treh pregradah bi njihove pretočne zmožnosti presegel samo prihod 500-letnih vod. Pri cevnemu prepustu (CP 2), bi bile zmožnosti presežene pri prihodu 50-letnih voda. Najbolj ogrožena sta se izkazala cevni prepust (CP 3), ter dvojni prepust (CP 8), ki bi bila poplavljen ob prihodu 5-letnih voda. Tudi dejansko sta bila od leta 2004 že vsaj dvakrat poplavljen, kar dokazuje korektnost izračunov ter potrjuje predpostavko o razdeljevanju površin. Tako pri CP 3, kot pri CP 8, je ogrožen dostop po cesti do vasi Stara Gabrovica: CP 8 na spodnji strani vasi, CP 3 pa na zgornji. Zato je nedopustno, da ju prestopajo že 5-letne vode. Menimo da bi bila dopustna stopnja tveganja največ 2% (za 50-letne vode). Če bi poplavni dogodek odnesel asfaltni cestišči, bi bila vas odrezana od pomoči.

Stopnjo nevarnosti bomo poskušali oceniti zgolj na podlagi globine poplavne vode, saj je zaradi odprtega terena nad objekti hitrost toka težko izračunati. Morebiti bi zmnožek globine in hitrosti (Pravilnik..., 2007) toka katero od omenjenih območij uvrstili v višji razred. **Okolico vseh treh ogroženih objektov bi uvrstili v razred preostale poplavne nevarnosti ter razred majhne erozijske nevarnosti**, saj vsi pri nastopu 100-letnih voda konkretno presežejo kapacitete, ker pa se voda na cesti razlije, le ta ne more doseči višine 0,5m. Najbolj kritičen je mostič (CP 8) na dnu vasi, kjer 100-letne vode prekoračijo kapacitete mostiča kar za dobrih 7 m³/s (pretočnost mostiča je le 6,4 m³/s). Tako smo se odločili na podlagi naslednjih mejnih vrednosti, povzetih iz Pravilnika (2007):

Poplavna nevarnost:

- razred srednje nevarnosti, kjer je pri pretoku Q(100) globina vode enaka ali večja od 0,5 m in manjša od 1,5 m oziroma zmnožek globine in hitrosti vode enak ali večji od 0,5 m²/s in manjši od 1,5 m²/s oziroma, kjer je pri pretoku Q(10) globina vode večja od 0,0 m,
- razred preostale nevarnosti, kjer je pri pretoku Q(100) globina vode manjša od 0,5 m oziroma zmnožek globine in hitrosti vode manjši od 0,5 m²/s, in
- razred zelo majhne nevarnosti, kjer poplava nastane zaradi izrednih naravnih ali od človeka povzročenih dogodkov (npr. izredni meteorološki pojavi ali poškodbe ali porušitve proti poplavnih objektov ali drugih vodnih objektov).

Razredi erozijske nevarnosti:

- razred majhne nevarnosti, kjer je pri pretoku $Q(100)$ debelina odplavljenega sloja manjša od 0,5 m oziroma debelina odloženega sloja manjša od 0,3 m.



Slika 12: Nedavni visokovodni dogodki (zgornji sliki – september 2009, sta iz arhiva KS Gabrovica)

7.3 PREGLED MOŽNIH UKREPOV

Od negradbenih ukrepov bi, poleg zavarovalništva kmetijskih pridelkov v primeru poplav, predlagali spremembo namembnosti, v primeru kjer stoji vrtna lopa tik do struge ob najbolj ogroženem objektu (CP 8). Le ta bi bila aktualna samo pri trenutnem stanju CP 8.

Nadalje bi omenili vzdrževanje. Veliko bi pripomoglo k pretočnosti struge, če bi se jo redno vzdrževalo in skrbelo za objekte ter gospodarilo z gozdom tik ob strugi. K temu bi pripomogel tudi ustrežnejši nadzor, ki bi ugotavljal tako »urejenost« strug.

Z gradbenimi ukrepi bi najprej poskušali zagotoviti zadostno pretočnost skozi objekte na cestah. S preglednico smo poskušali zagotoviti zadostni nivo varnosti, ki smo ga prej

določili. Le ta je, da morajo cevni prepusti zdržati 50-letne vode (2 % verjetnost nastopa pojava v letu).

Preglednica 10: Primerjava med obstoječimi in predlaganimi objekti

	CP3	nov CP3	CP8	nov CP8	nov CP8'	CP2	očiščen CP2	preusmerjen očiščen CP2
fi	0.60	0.80	0.80	1.00	1.05	1.00	1.00	1.00
A	0.28	0.50	1.01	1.57	1.73	0.52	0.79	0.79
O	1.88	2.51	5.03	6.28	6.60	2.72	3.14	3.14
R	0.15	0.20	0.20	0.25	0.26	0.19	0.25	0.25
S	0.07	0.07	0.05	0.05	0.05	0.07	0.07	0.07
ng	0.01	0.01	0.01	0.01	0.012	0.02	0.02	0.02
Q	1.17	2.53	6.41	11.62	13.23	3.08	5.50	5.50
razlika 2	0.24	1.59	1.28	6.49	8.10	1.65	4.06	3.33
razlika 5	-0.07	1.28	-0.43	4.78	6.39	1.17	3.59	2.61
razlika 10	-0.39	0.97	-2.14	3.07	4.68	0.69	3.11	1.89
razlika 25	-0.70	0.65	-3.85	1.36	2.98	0.21	2.63	1.17
razlika 50	-1.01	0.34	-5.56	-0.35	1.27	-0.27	2.15	0.45
razlika 100	-1.32	0.03	-7.27	-2.06	-0.44	-0.74	1.68	-0.27
razlika 500	-2.32	-0.97	-12.73	-7.53	-5.91	-2.27	0.15	-2.58

Iz preglednice je razvidno, da bi pri cevnem prepustu (CP 2) zadostovalo že samo očistiti apneno vezivo, ki zmanjšuje njegov presek in bi tako lahko prevajal tudi 500-letne vode, sedaj pa bi ga prestopile že 50-letne.

Z menjavo obstoječih cevni prepustov z malo večjimi, bi dosegli dopustno stopnjo tveganja (2%). Če bi cev cevnega prepusta (CP 3), ki ima sedaj premer 60 cm, zamenjali z 80 cm, bi zdržala 100-letne vode in ne samo 2-letne kot zdaj. Prav tako bi razbremenili CP 3, če bi ves odtok z avtoceste zadržali v zgrajenemu kanalu, kot je bilo predvideno. V tem primeru bi imeli večji pretok v cevnem prepustu (CP 2), ampak očiščen prepust bi zdržal 50-letne vode. Podobno bi rešili težavo na mostiču (CP 8), na dnu vasi, ki ga sedaj prestopajo 5-letne vode, če bi namesto dveh 80 cm cevi, vgradili dve 100 cm, ki bi ga prestopile šele 50-letne vode. Za stopnjo tveganja manjšo od 2 %, bi zadostovali cevi s 105 cm premera, še primernejši pa bi bil večji škatlasti cevni prepust (npr. 100 cm x 200 cm), kjer bi bilo zagotovljenega tudi dovolj prostora za plavine, stopnja tveganja pa bi se zmanjšala pod 0,2 %. Poseg bi bil majhen, rešil pa bi glavni vhod v vas.

Konsolidacijske pregrade na levem kraku odlično opravljajo svojo vlogo podpiranja ceste Črni Kal – Osp. Edina težava na tem kraku je spet vzdrževanje, saj je v strugi ogromno padlih dreves. Verjamemo, da bi danes tako drag projekt, kot je bila izgradnja sedmih pregrad na tako kratkem odseku, le izjemoma uporabili.

Na desnem kraku so most ter dvojna prepusta CP 4 in CP 8 prav tako objekti s stopnjo. Nad sabo zadržujejo veliko količino materiala in s tem podpirajo brežine, obenem pa tudi zmanjšujejo padec nivelete struge in s tem tudi hitrost vode. Novo usmerjeno konsolidacijsko pregrado bi predlagali proti koncu desnega kraka, kjer bi visoka voda lahko stekla v vinograd. Tako bi zmanjšali moč hudourniške vode in smer nekoliko preusmerili.

8 SKLEPI

Povod za seminarsko nalogo leta 2009, iz katere je kasneje nastala ta diploma, je bilo dokazati, da so nekateri objekti na hudourniku Brut poddimenzionirani. Že s seminarsko nalogo smo ugotovili, da so pretočne zmožnosti mostiča (CP 8) nezadostne. Zaradi nevzdrževanja pa prav tako cevni prepust (CP 2) ni mogel prevajati dovolj vode. Z diplomsko nalogo smo ponovno potrdili enake zaključke, samo da tokrat z natančnejšimi metodami in v pregled smo vzeli vseh 16 objektov na povodju hudournika. Zaradi razširjenega obsega se je zaradi slabe avtocestne infrastrukture izkazal za poddimenzioniranega, na novo obravnavani cevni prepust (CP 3). Tako CP 3, kot tudi mostič (CP 8) na dnu vasi sta bila postavljena pred izgradnjo avtoceste. Ko so vode s teh novih površin priklopili kar v obstoječ vodotok, sta ta objekta postala čez noč premajhna.

Izračunali smo, da bi cevni prepust (CP 2) klonil pod 50-letnimi vodami (če pol vode z avtoceste odteče proti CP 3, kakršno je stanje danes), CP 3 in CP 8 pa pod 5-letnimi vodami. Zaradi pomanjkanja globine poplavne vode ob prihodu 100-letnih voda, smo okolico vseh treh ogroženih objektov uvrstili v razred preostale poplavne nevarnosti ter razred majhne erozijske nevarnosti.

Stopnjo tveganja bi občutno zmanjšali, že če bi redno vzdrževali in skrbeli za normalno pretočnost objektov ter gospodarili z gozdom tik ob strugi. K temu bi vsekakor pripomogel tudi ustrežnejši nadzor, ki bi ugotavljal tako »urejenost« strug. En banalen primer je cevni prepust (CP 2), kjer bi ga zadostovalo že samo očistiti in bi bil na varnem celo pred 500-letnimi vodami.

Če bi vode z avtoceste zadržali v za to izgrajenemu kanalu, bi razbremenili cevni prepust (CP 3), očiščen CP 2 bi pa še vedno lahko zdržal 50-letne vode.

Z menjavo obstoječih cevnih prepustov z malo večjimi, bi dosegli dopustno stopnjo tveganja. Če bi cev CP 3, ki ima sedaj premer 60 cm, zamenjali z 80 cm, bi zdržala 100-letne vode in ne samo 2-letne kot zdaj. Podobno bi rešili težavo na mostiču (CP 8), na dnu

vasi, ki ga sedaj prestopajo 5-letne vode, če bi namesto dveh 80 cm cevi, vgradili dve 100 cm, ki bi ga prestopile šele 50-letne vode.

Po drugi strani pa imamo na levem kraku hudournika odličen primer dobre prakse, kjer so ob izgradnji ceste Osp – Črni Kal pred približno 40-imi leti zgradili odličen sistem pregrad iz gabionov, ki še danes odlično opravljajo svojo nalogo.

Verjamemo, da je legalno in v naši državi dobro uveljavljeno čakanje sanacij po poplavnih dogodkih, da se stanje izboljša. Morebiti se na dolgi rok tudi finančno izplača, saj se tako sanirajo (če se) samo mesta, kjer je prišlo do škode in ne vsa, ki so tega potrebna, ter tudi ker se v takih primerih zagotovi dodatna sredstva, ki v času »miru« ne bi bila namenjena urejanju hudournikov. Zelo dvomimo, da je tako početje moralno, saj so s tem ogroženi marsikateri človekovi objekti, dejavnosti, imetje in nazadnje tudi življenja. Nekateri ljudje se zaradi novonastalih razmer niti ne zavedajo, da živijo na ogroženem območju. Po drugi strani pa je potrebno zelo dobro premisliti, ob katerih vodotokih se bo dopustilo gradnjo. Če se jo že dopusti, bi bilo nujno istočasno predvideti tudi potrebne vodovarstvene ukrepe za zagotovitev zadostne varnosti ter vedeti (sprejeti odgovornost), da je potrebno postavljene objekte tudi nadzirati in vzdrževati. V določenih primerih menimo, da bi bilo ceneje za npr. ogroženo hišo zagotoviti nadomestno, kot pa temeljito urediti hudournik.



Slika 13: Dva primera iz Gruzije v pomislek, kako bi lahko rešili težavo poddimenzioniranja in vzdrževanja. **Leva slika** prikazuje cevni prepust, s premerom preko 2m. Marsikdaj se v Sloveniji izvajalec ne odloči za izgradnjo mostu in želi rešiti težavo z manjšimi cevnimi prepusti (zaradi ugodnejše cene in manjših omejitev pri projektiranju). Z uporabo večjih cevnih prepustov bi prav tako lahko zagotovili zadostno pretočnost za relativno nizko ceno. **Desna slika** pa prikazuje enostavno muldo. Dobra stran muld je ta, da navadno potrebujejo vzdrževanje šele takrat, ko se ni več mogoče čez njo peljat. V takih primerih pa se navadno najdejo sredstva za obnovo. Obe sliki sta bili slikani v Gruziji maja 2011, na eni izmed pomembnih prometnih žil, preko katere se dnevno prepelje tudi precejšnje število tovornjakov.

Tak pristop, kot smo ga ubrali v tej diplomski nalogi (primerjava odtokov z vodozbirnega območja in zmožnosti pretokov v sami strugi), je lahko marsikdaj uporabljen v gozdarstvu. Na primer pri določanju velikosti cevnih prepustov, ko gozdna cesta prečka hudourniški jarek ali pa le pri odvajanju lastnih vod na spodnjo stran prometnice. Prav tako pa lahko samo preverjamo stanje že obstoječih premostitev.

VIRI

- Atlas okolja. Ljubljana, ARSO
http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso; (8. 6. 2011)
- Brilly M., Šraj M. 2006. Modeliranje površinskega odtoka. Ljubljana, FGG
- Chow V. T. 1959. Open Channel Hydraulics (Manningov koeficient). New York, McGraw-Hill
- Avtocestni odsek Klanec – Srmin. Ljubljana, DARS
http://www.dars.si/Dokumenti/O_avtocestah/Nacionalni_program_izgradnje_avtocest/Zgrajene_AC_in_HC/A1_sentilj_-_Srmin_132.aspx; (31. 5. 2010)
- Direktiva 2007/60/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 23. oktobra 2007 o oceni in obvladovanju poplavne ogroženosti. 2007. Ur. l. EU, 6. 11. 2007
- Hidrološko poročilo o povodnji v dneh od 17.-21. 9. 2010. 2010. Ljubljana, ARSO
- Kranjc U. 2006. Odvodnjavanje in čiščenje padavinske vode z javnih cest. Ekolist, 03: 9-14
- Kostadinov S. 2008. Bujični tokovi i erozija. Beograd, Univerzitet, Šumarski fakultet
- Ocena škode septembrskih poplav. 2010. Ljubljana, Vlade Republike Slovenije (RS), Služba za odnose z javnostjo
- Okvirni program izvajanja direktive o oceni in obvladovanju poplavne ogroženosti, za obdobje 2009-2015. 2010. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor
http://www.mop.gov.si/si/delovna_podrocja/direktorat_za_okolje/sektor_za_vode/poplavna_direktiva/ (31. 5. 2010)
- Podnebne razmere v Sloveniji, za obdobje 1971 – 2000. 2006. Ljubljana, ARSO
- Poročilo o vremenski in hidrološki situaciji 18.9.2007. 2007. Ljubljana, ARSO

- Pravilnik o metodologiji za določanje območij, ogroženih zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja, ter o načinu razvrščanja zemljišč v razrede ogroženosti. 2007. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor
- Program odprave posledic neposredne škode na stvareh zaradi neurja s poplavo z dne 18.9.2007. 2008. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor
- Razvoj Krasa: gozd in grmišča
<http://www.razvojkrasa.si/si/narava/99/article.html> (16. 4. 2011)
- Sliki visokovodnega dogodka septembra 2009. 2009. (hrani Arhiv KS Gabrovica)
- Spletni hidrološki program za izračune. LMNO Engineering, Research and Software
<http://www.lmnoeng.com/Hydrology> (16. 6. 2010)
- Steinman F. in sod. 2009. Gospodarjenje s povirji in hudourniki. Ljubljana, FGG
- Uredba o pogojih in omejitvah za izvajanje dejavnosti in posegov v prostor na območjih, ogroženih zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja. 2008. Ljubljana, Vlada Republike Slovenije (RS)
- ZGS: Zavod za gozdove Slovenije; Pokrajinske enote v Sežanskem območju
<http://www.zgs.gov.si/slo/obmocne-enote/sezana/pokrajinske-enote-v-sezanskem-obmocju/index.html> (16. 4. 2011)