

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Bračič, S., 2016. Analiza posledic porušitve pregrade Drtjščica. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Kryžanowski, A., somentor Humar, N.): 33 str.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5938/>

Datum arhiviranja: 26-09-2016

University
of Ljubljana
Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Bračič, S., 2016. Analiza posledic porušitve pregrade Drtjščica. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kryžanowski, A., co-supervisor Humar, N.): 33 pp.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5938/>

Archiving Date: 26-09-2016

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM PRVE STOPNJE
VODARSTVO IN OKOLJSKO
INŽENIRSTVO

Kandidat:

SIMON BRAČIČ

**ANALIZA POSLEDIC PORUŠITVE PREGRADE
DRTIJSČICA**

Diplomska naloga št.: 66/B-VOI

**ANALYSIS OF THE CONSEQUENCES OF THE
DRTIJSČICA DAM FAILURE**

Graduation thesis No.: 66/B-VOI

Mentor:

doc. dr. Andrej Kryžanowski

Somentor:

Nina Humar, univ. dipl. inž. grad.

Ljubljana, 22. 09. 2016

STRAN ZA POPRAVEK

Strani z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Spodaj podpisani študent Simon Bračič, vpisna številka 26300267, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: **Analiza posledic porušitve pregrade Drtijiščica**

IZJAVLJAM

1. Obkrožite eno od variant a) ali b)

a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;

b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil/-a;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V Ljubljani,

Datum: _____

Podpis študenta/-ke:

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČKI

UDK:	627.82(043.2)
Avtor:	Simon Bračič
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski
Somentor:	Nina Humar, univ. dipl. inž. grad.
Naslov:	Analiza posledic porušitve pregrade Drtijiščica
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	33 str., 2 pregl., 16 sl., 5 pril.
Ključne besede:	Pregrada, porušitev pregrade, sistem Drtijiščica, poplavni val, poplavno območje, analiza, tveganje

Izveček

Pregrada je objekt, ki lahko predstavlja tveganje za okolico. V primeru porušitve se lahko soočimo s katastrofalnimi posledicami poplavnega vala, ki ne povzroča le škode na objektih, ampak lahko ogrozi tudi človeška življenja. V diplomskem delu sem se osredotočil na analizo posledic porušitve ene izmed pregrad, katere osnovni namen je zagotavljanje poplavne varnosti. Predstavljena sta namen in princip delovanja sistema zadrževalnika Drtijiščica. Pregrada Drtijiščica se nahaja ob štajerski avtocesti v občini Lukovica in lahko v primeru porušitve ogrozi prebivalce naselij dolvodno vse do mesta Domžale. Osnova za določitev števila ogroženih objektov je izračun poplavnega vala v primeru porušitve pregrade Drtijiščica. Diplomsko delo dopolnjuje tudi teoretično ozadje o pregradah in z njimi povezanim tveganju, ki pa ga lahko zmanjšamo z minimalnimi ukrepi.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	627.82(043.2)
Author:	Simon Bračič
Supervisor:	Assist. Prof. Andrej Kryžanowski, Ph.D.
Cosupervisor:	Nina Humar, B. Sc.
Title:	Analysis of the Consequences of the Drtijiščica Dam Failure
Document Type:	Graduation Thesis – University studies
Scope and tools:	33 p., 2 tab., 16 fig., 5 ann.
Keywords:	A dam, a dam failure, the Drtijiščica system, a flood wave, a flood area, analysis, a risk.

Abstract

A dam is a structure that can represent a risk to the surrounding area. In case of a collapse we can face catastrophic consequences of a flood wave, that does not cause only damage to structures but may threaten human lives. In my thesis, I focused on the analysis of the effects of a collapse of a bulkhead, the primary purpose of which is to provide flood protection. I introduced the purpose and the principle of the operating system of the Drtijiščica. The Drtijiščica Dam is located along the Styrian highway in the municipality of Lukovica, and in case of a collapse it can endanger the inhabitants of the villages downstream, all the way to Domžale. The basis for determining the number of endangered structures is the calculation of the flood wave in case of the Drtijiščica Dam collapse. The thesis is complemented with the theoretical background of the dams and the related risk, which can be reduced with minimal measures.

ZAHVALA

Za pomoč pri izdelavi diplomskega dela bi se rad zahvalil mentorju doc. dr. Andreju Kryžanowskemu in somentorici Nini Humar, univ. dipl. inž. grad. Zahvalil bi se rad tudi staršema za vso podporo tekom študija, še posebej pa Eriki, ki me je z vzpodbudnimi besedami motivirala skozi vsa leta študija.

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVEK	I
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČKI.....	III
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT.....	IV
ZAHVALA.....	V
KAZALO SLIK	VIII
KAZALO PREGLEDNIC.....	IX
1 UVOD.....	1
2 SPLOŠNE INFORMACIJE O PREGRADAH.....	2
2.1 Pomen pregrad	2
2.2 Delitev in ločevanje pregrad.....	3
2.2.1 Nasute pregrade.....	4
2.2.2 Zemeljske pregrade	5
3 SISTEM DRTIJŠČICA	7
3.1 Splošen opis	7
3.2 Geološke razmere.....	8
3.3 Seizmo-tektonske razmere.....	8
3.4 Hidrološko-hidravlične razmere	8
3.5 Opis objektov	9
3.5.1 Pregrada Drtijiščica	10
3.5.2 Zadrževalnik	11
3.6 Pretekli dogodki na področju pregrade	12
3.6.1 September 2010 – poškodba pregrade.....	12
3.6.2 Vzrok poškodb	13
3.2 Terenski ogled	14
4 PORUŠITEV PREGRADE DRTIJŠČICA.....	19
4.1 Splošno o porušitvah	19
4.1.1 Opis možnih porušitev.....	20
4.1.2 Tveganje	21

4.1.3 Alarmiranje in obveščanje na Drtjščici	22
4.2 Analiza porušitve pregrade Drtjščica	23
4.2.1 Ocena posledic	23
4.2.1.1 Področje 1.....	24
4.2.1.2 Področje 2.....	24
4.2.1.3 Področje 3.....	24
4.2.1.4 Področje 4.....	25
4.2.1.5 Področje 5.....	26
4.2.2 Čas prihoda čela oz maksimuma porušnega vala do posameznih profilov	26
4.2.3 Analiza škode	27
5 ZAKLJUČEK	30
VIRI.....	31

KAZALO SLIK

Slika 1: Prikaz sistema Drtjščica (1-pregrada Drtjščica, 2-zadrževalnik Gradiško jezero, 3-avtocesta, 4-tunelski prepust, 5-vtočni kanal reke Radomlje). (Humar, Kryžanowski, 2012)	7
Slika 2: Karakteristični prerez pregrade Drtjščica (Turk, Logar, 2004)	11
Slika 3: Iztok iz talnega prepusta pregrade septembra 2010 (Humar, Kryžanowski, 2012)	13
Slika 4: Erozijska zajeda levega brega podslapja septembra 2010 (Humar, Kryžanowski, 2012)	13
Slika 5: Vodna stran pregrade Drtjščica	14
Slika 6: Vtok v talni izpust	15
Slika 7: Stalna ojezeritev - Gradiško jezero	15
Slika 8: Rampa, ki preprečuje dostop motornim vozilom do pregrade	16
Slika 9: Kanalete na telesu pregrade	16
Slika 10: Čiščenje odvodnega jarka za meteorne vode na zračni strani pregrade	16
Slika 11: Talni izpust in podslapje pregrade	17
Slika 12: Kontrolna hišica na kroni pregrade	17
Slika 13: Zaraščena struga Drtjščice	17
Slika 14: Zračna stran pregrade	18
Slika 15: Vzroki porušitev različnih tipov pregrad višjih od 15 m (Costa, 1985)	19
Slika 16: Delež ogroženih objektov po računskih področjih poplavnega vala iz akumulacije pregrade Drtjščica	28

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Čas prihoda čela in maksimuma porušnega vala do posameznih profilov. (Rajar, Zakrajšek, 1995)	26
Preglednica 2: Ogroženi objekti zaradi porušitve pregrade Drtijiščica.	29

»Ta stran je namenoma prazna«

1 UVOD

Glede na podatke ICOLD (Mednarodni komite za velike pregrade) imamo v državi Sloveniji trenutno 40 velikih pregrad. V kolikor bi iz kakršnegakoli vzroka prišlo do porušitve tovrstnih pregrad, bi se soočili s katastrofalnimi posledicami in veliko gmotno škodo. V ekstremnih primerih bi bila celo ogrožena človeška življenja. Vprašanje *Kako varne so vodne pregrade v Sloveniji?*, ki ga je izpostavil avtor članka v časopisu Delo (G.P., Znanost, 2013), je zato povsem smiselno.

Nedavno je bil po naročilu Uprave Republike Slovenije za zaščito in reševanje Ministrstva za obrambo (MORS – URSZS) izveden razvojno-raziskovalni projekt VODPREG. Namen projekta je bila evidenca stanja vseh pomembnejših vodnih pregrad v Sloveniji, ki so namenjene vodnogospodarskim potrebam (zaščita pred škodljivim delovanjem vode, namakanje, vodoskrba). Pri projektu so bile izvzete pregrade namenjene pridobivanju električne energij. Pregled pregrad je pokazal, da je stanje vodnih zadrževalnikov v Sloveniji slabo, čeprav v večini primerov kondicijsko stanje pregrade sploh ni problematično. Kot pogosti povzročitveni dejavniki tveganja so se izkazale nenačrtovane razmere dodatne rabe, npr. ribištvo in turizem, zaradi česar so zadrževalniki stalno polni in ne zagotavljajo zadostnega rezervnega volumna za visoke vode. Težavo povzroča tudi neredno vzdrževanje objektov, odsotnost hidroloških meritev in pomanjkljivost projektne ter obratovalne dokumentacije (G.P., Znanost, 2013).

Tovrstne pomanjkljivosti lahko v času izjemnih razmer privedejo do neželenih posledic, kot je porušitev pregrade in posledično ogroženost prebivalcev dolvodno. Za pisanje te diplomske naloge sem se odločil, ker me je tekom študija navdušilo področje o pregradah in njihov vpliv na okolje. Vsak takšen objekt namreč predstavlja tveganje za objekte in prebivalce v okolici. Namen in cilj diplomskega dela je ugotoviti, kakšne posledice bi povzročila porušitev zemeljske pregrade Drtijiščica, oziroma koliko dolvodnih objektov je v vplivnem območju poplavnega vala. V prvem delu diplomske naloge sem želel predstaviti nekaj splošne teorije o pregradah ter opisati sistem Dritijiščice, ki je bil med drugim zaznamovan z dogodki iz leta 2010. V drugem sklopu diplomskega dela sem se posvetil pregledu vzročnih dejavnikov za porušitev ter ugotavljal prisotnost možnosti za porušitev, na podlagi česar sem lahko opravil analizo posledic porušitve zemeljske pregrade Drtijiščica. Slednje sem v zaključnem delu predstavil tako opisno kot vizualno glede na področja.

2 SPLOŠNE INFORMACIJE O PREGRADAH

Po Kryžanowski, A. (2013) je pregrada definirana kot "stalen ali začasen objekt, ki deli vodno telo z namenom akumuliranja vode in izravnave nihanj pretokov, dviga hidravlične višine, reguliranja vodotoka ali omejitve neke snovi od ostalega prostora".

2.1 Pomen pregrad

Za razumevanje posledic porušitve pregrad je potrebno najprej razumeti njihov primaren namen oziroma pomen izgradnje le-teh. Že v zgodnejšem razvoju človeštva je bila gradnja jezov ena izmed primarnih gradbenih dejavnosti. Z naraščanjem števila ljudi in poseljenosti območij se je povečala tudi potreba po pitni vodi in hrani. Tovrstne probleme so lahko rešili z gradnjo zajeznih objektov, ki so služili za zadrževanje vode na določenem območju, potrebne za namakanje, lov in zagotavljanje ostalih osnovnih človeških potreb. V današnjem času je pomen vodnih pregrad že veliko širši, saj pregrade poleg najosnovnejših dejavnosti omogočajo tudi pridobivanje električne energije, razvoj industrije, rekreacijo, ribogojništvo, plovbo, zadrževanje drugih snovi (lužine, drobirski tok, izplake...), ob čemer zagotavljajo tudi varovanje pred škodljivim delovanjem visokih voda.

Najstarejše pregrade v Sloveniji so bile zgrajene na povodju reke Idrijce v 18. in 19. stoletju. Namenjene so bile plavljenju lesa za potrebe rudnika v Idriji. Danes so zavarovane kot del narodne dediščine. V 20. stoletju so pospešeno nastajale pregrade in zadrževalniki na območju večjih vodotokov Slovenije (Drava, Sava, Soča) z namenom pridobivanja električne energije. Nekje v šestdesetih letih se je gradnja hidroenergetskih objektov ustavila, začela pa se je gradnja pregrad in zadrževalnikov za vodnogospodarske namene kot so: poplavna varnost, namakanje, uravnavanje rečnega režima, vodooskrba itd. Zadrževalniki so bili zasnovani kot večnamenski, da lahko ob primarni rabi dopuščajo tudi drugo rabo. V zadnjih dvajsetih letih pa je bila gradnja zadrževalnikov za vodnogospodarske potrebe povezana s projektom izgradnje avtocestnega križa in zadrževanja poplavnih valov za zaščito urbanih površin. Najvišja pregrada v Sloveniji je visoka 60 m (HE Moste), prvo mesto po velikosti zadrževalnika pa zavzema Ptujsko jezero oziroma pregrada HE Formin s kapaciteto akumulacije 23 hm³. Večina zadrževalnikov v Sloveniji je manjših ter ima volumen akumulacije manjši od 3hm³. Namenjeni so vodnogospodarskim potrebam, medtem ko so veliki zadrževalniki namenjeni hidroenergetski rabi. Velikost pregrade ni nujno pogojena tudi z velikostjo akumulacijskega bazena, saj so visoke pregrade pogosto grajene v območju ozkih kanjonov, kjer ni prostora za velike volumne. Pregrade za vodnogospodarske potrebe so večinoma zemeljske in kombinirane zemeljsko-skalometne, težnostne in

kombinirane pa se uporabljajo izključno za hidroenergetske namene. Starost nasutih pregrad je nekje v razponu med 20 in 45 let, kar z vidika življenjske dobe pomeni nekje polovico amortizacijske dobe (VODPREG - Končno poročilo, 2012).

2.2 Delitev in ločevanje pregrad

Pregrade delimo po absolutni višini, merjeni od najnižje točke temeljev do najvišjega dela – krone pregrade, na:

- velike pregrade (nad 15m)
- nizke pregrade oziroma jezove (pod 15m).

V skladu s starimi priporočili ICOLD (Mednarodno združenje za velike pregrade) med velike pregrade štejemo objekte, katerih:

- gradbena višina presega 15m
- gradbena višina presega 10m in:
 - je njihova krona daljša od 500m,
 - prostornina zadrževalnika presega 1hm^3 ,
 - pretok čez pregrado presega $2000\text{m}^3/\text{s}$,
 - so težki pogoji temeljenja,
 - je poseben projekt.

Novejša priporočila ICOLD (junij 2011) uvrščajo med velike pregrade objekte, katerih gradbena višina presega 15m oziroma objekte, katerih gradbena višina presega 5m in je prostornina zadrževalnika večja od 3hm^3 . Velikost zadrževalnika s stališča nevarnosti objektov v primeru porušitve predstavlja ključni kriterij.

Zadrževalnike lahko delimo tudi po polnitvi, in sicer na:

- mokre (imajo stalno ojezeritev)
- suhe (ojezeritev je le občasna)
- zaplavne (prod)
- zbirne (lužine, TiO_2)

Glede na način izvedbe in vgrajen material ločimo:

- nasute pregrade

- zemeljske
- skalometne
- betonske (zidane) pregrade
 - masivne in olajšane težnostne
 - stebarske težnostne
 - ločne
- jalovinske pregrade

Pregrade lahko prenašajo obtežbo s svojo lastno težo in držijo v ravnovesju dejavne obtežbe, ko te delujejo na pregrado (nasute in grajene pregrade – masivne, stebarske) ali s pomočjo ločnega efekta, ki prenaša dejavno obtežbo na temeljno hribino (ločne pregrade) (Kryžanowski, A., 2013)

2.2.1 Nasute pregrade

Izbor tipa pregrade po splošnih kriterijih temelji na pridobljenih izkušnjah, študijah ter raziskavah terena in okolice, kjer bo pregrada zgrajena. Pri tem je potrebno preučiti kriterije kot so: geologija in topografija terena, seizmotektonske razmere, klima in hidrološke razmere okolice, material za gradnjo, vpliv objekta na okolico – ekološki problemi itd.

Nasuta pregrada je najpogostejši tip pregrade v Sloveniji, saj je primerna za vse vrste topografskih razmer, razen za ozke kanjonske profile, kjer je problematična evakuacija visokih voda. Običajno je zemeljska pregrada grajena na slabše nosilnih temeljnih tleh, kjer je temeljenje togih konstrukcij zaradi deformacij tal pogojeno. V ekonomičnem smislu so, pri manjših višinah, pogosta izbira tudi na boljše nosilnih temeljnih tleh, predvsem v širokih dolinah, kjer bi bili stroški gradnje betonskih pregrad nesorazmerni. Nasute pregrade so tudi odporne na seizmične obremenitve. Pri betonskih težnostnih pregradah prevajanje poplavnih voda čez telo pregrade ni ovira, medtem ko je to pri nasutih pregradah to težje izvedljivo, saj lahko prelitje krone pregrade povzroči katastrofalne posledice dolvodno. Evakuacijo visokih voda je pri nasutih pregradah smiselno odvajati s stranskimi prepusti, izven območja pregrade. Gradnja nasutih pregrad zahteva velike količine gradbenega materiala ustrezne kvalitete, zato morajo biti nahajališča dovolj velika. Zaradi ekonomičnosti gradnje je smiselno uporabiti material na lokaciji gradnje, če ustreza kvalitativnim in kvantitativnim potrebam, ali pripeljati iz bližnjega nahajališča, saj s tem zmanjšamo transportne stroške. V primeru zemeljskih pregrad razpoložljivost materiala na lokaciji pogojuje izbiro tipa pregrade. Zadostna količina slabo prepustnega materiala omogoča izvedbo homogene pregrade, v nasprotnem primeru pa je pregrada slojevita in tesnjena s tesnilnim jedrom. Tip pregrade in način temeljenja sta zelo odvisna od stanja temeljnih tal. Na dobri temeljni podlagi, kjer so pričakovani posedki enakomerni, lahko gradimo homogene

zemeljske pregrade, v primeru diferenčnih posedkov, na slabše nosilnih tleh, pa se poslužujemo gradnje slojevitih zemeljskih pregrad. Tesnilno jedro je v splošnem material slabe prepustnosti in je večinoma glineno (lahko je tudi iz drugačnih materialov – asfaltno, betonsko, geomembrana...), njegova lega v telesu pregrade pa je odvisna od nosilnosti tal. V primeru dobre temeljne podlage je tesnilno jedro na gorvodni strani, v nasprotnem primeru pa je v centralnem delu (Kryžanowski, A., 2013).

Skalometna pregrada je nasuta pregrada, kjer je večina prostornine telesa sestavljena iz naravnega ali lomljenega kamna. Primerne so povsod, kjer bližnja nahajališča omogočajo zadostne kapacitete in kvaliteto materiala. Posebno primerne so na gorskih območjih, kjer je zaradi neugodnih klimatskih pogojev otežena gradnja drugih tipov pregrad. Temeljene morajo biti na kvalitetnejši podlagi, ki omogoča prevzem deformacij pri posedanju pregrade. Na slabše nosilnih tleh je potrebna tesnilna stena, ki sega do nepropustne podlage. Tesnenje pregrade je lahko izvedeno kot centralno jedro (asfaltna ali glinena izvedba), nagnjeno jedro, ki je primernejše na seizmičnih področjih ali kot nepropustna obloga (betonska, asfaltna ali geomembrana), ki je statično-stabilitetno ugodnejša in dovoljuje vzdrževanje brez omejitev pri obratovanju (Kryžanowski, A., 2013).

2.2.2 Zemeljske pregrade

"Zemeljska pregrada je nasuta pregrada, v kateri je več kot 50% prostornine telesa pregrade iz zgoščenega drobnozrnatega materiala" (Kryžanowski, A., 2013).

Iz geotehničnega in hidrotehničnega vidika so zemeljske pregrade zahtevni objekti, namenjeni zadrževanju vode za potrebe urejanja vodotokov ali namakanja kmetijskih zemljišč oziroma proizvodnje električne energije. Glede strukture in izvedbe so tovrstne pregrade podobne zemeljskim nasipom, katerih bistveni zahtevi sta stabilnost objekta in sprejemljiv velikostni razred deformacij. Pregrade loči od nasipov predvsem zahteva glede prepustnosti, ki mora biti dovolj majhna, da so izgube v akumulaciji majhne, obenem pa je potrebno upoštevati, da strujanje vode skozi telo pregrade ustvarja dodatno obremenitev glede stabilnosti. Namen in cilj preiskav za lociranje pregrade je poiskati najustreznejše mesto za pregrado in ugotoviti bistvene parametre, ki vplivajo na izbor tipa pregrade: morfologijo terena, geološko zgradbo, tektoniko, stabilnost blokov kamnine, temeljna tla, boki pregrade. S sekundarnimi raziskavami spoznavamo podrobnejše geotehnične, hidrološke in hidrogeološke značilnosti lokacije, kot so: prepustnost in geotehnične lastnosti temeljnih tal ter bokov, podatke o toku podzemne vode, natančno morfologijo in podrobno geološko zgradbo terena, možne lokacije odvzema materiala za gradnjo in njegove lastnosti. Idealen material za zemeljsko pregrado mora imeti veliko strižno trdnost, majhno deformabilnost in majhno prepustnost. Pogosto so to izključujoče se lastnosti, zato so pregrade slojevite, kar pomeni, da kombiniramo

materiale visoke trdnosti in majhne deformabilnosti ob brežinah proti jedru in materiale majhne propustnosti v jedru pregrade. Za izvedbo moramo preučiti izbiro materialov na podlagi mehanskih lastnosti dostopnih materialov, razpoložljivih količin, oddaljenosti nahajališč od lokacije gradnje, možnih transportnih poti in terminske usklajenosti gradnje. Pri projektiranju pregrade je najbolj pomembno zagotoviti stabilnost objekta. Odvisna je predvsem od geometrije telesa v primeru dobre nosilne podlage, če pa je pregrada temeljena na slabše nosilnih tleh, pa je stabilnost pogojena tudi z lastnostmi temeljnih tal. Naklon pobočij je določen na osnovi analiz stabilnosti pregrade v primerih prazne akumulacije (v času gradnje – nedrenirano stanje), polne akumulacije (obratovanje pregrade – drenirano stanje), hitrega praznjenja akumulacije (kritično za gorvodno pobočje) in potresne obremenitve. Poleg potresne obremenitve je najbolj kritičen primer hitrega praznjenja akumulacije. Zaradi zastajanja vode v telesu pregrade nastanejo velike strujne sile vode, ki lahko ogrozijo stabilnost, zato je gorvodno pobočje pregrade pogosto bolj položno od dolvodnega, če sta oba iz enakega materiala. Precejanje vode lahko v manj prepustnih delih pregrade (tesnilno jedro) povzroči dodatne porne tlake, ki vplivajo na varnost predvsem v fazi gradnje. Tehnično zelo pomemben kriterij predstavlja tudi vodotesnost, ki ga v pregradi zagotavljamo z manj prepustnimi materiali celotne pregrade ali tesnilnim jedrom, v tleh pa z zmanjšanjem prepustnosti prepustnih slojev tal z injektiranjem, diafragmo ali z zmanjšanjem hidravličnega gradienta s podaljšanjem poti precejanja vode. V vznožju dolvodnega pobočja pregrade je potrebno paziti na nevarnost hidravličnega loma tal, saj so lahko porni tlaki pod pregrado večji od teže pregrade. Tak slučaj pogosto rešujemo s prepustnimi preprogami in drenažami. Hidravlična stabilnost zagotavlja varnost pred pojavom notranje erozije, ko pri večjih hidravličnih gradientih pride do transporta drobnih delcev znotraj telesa pregrade. Nevarnost notranje erozije je predvsem na stikih različno zrnatih materialov, zato je potrebno vgraditi filtrne sloje, ki ne smejo dovoljevati spiranja drobnozrnatega sloja skozi pore, obenem pa morajo zagotavljati vsaj 10 krat večjo prepustnost od drobnozrnatega sloja. Tehnično opazovanje je nujno potrebno na vsaki pregradi v času gradnje in obratovanja. Merimo predvsem posedanje in deformacije pregrade, ki so pogost pojav pri prvem polnjenju akumulacije, saj to predstavlja bistveno obremenitev pregrade v horizontalni in vertikalni smeri na gorvodnem mestu. Diferenčni posedki lahko namreč privedejo do vzdolžnih razpok in posledično ogrozijo stabilnost pregrade. Potreben pa je tudi konstanten nadzor pornih tlakov v telesu pregrade in temeljnih tleh, nivo vode v prepustnem delu pregrade in precdne količine vode (Logar, 2016).

3 SISTEM DRTIJSČICA

3.1 Splošen opis

Primarni namen sistema Drtjščica, ki je bil zgrajen leta 2002, je bil zagotavljanje poplavne varnosti na avtocestnem odseku med Lukovico in Šentjakobom. Strateško pomembna povezava omogoča transportne poti iz centralne Evrope do Mediterana. Izgradnja avtocestnega križa je zmanjšala območje poplavnih ravníc reke Radomlje in posledično ogrozila urbane površine in cestne povezave. Sistem sestavlja zajetje z vtočnim pragom na Radomlji, razbremenilni dovodni rov, ki povezuje dolino Radomlje in Drtjščice, zadrževalnik Gradiško jezero in pregrada Drtjščica (slika 1).

Z aradi pomanjkanja prostora je bil zadrževalnik za poplavno varnost izveden na Drtjščici, levem pritoku reke Radomlje. Sistem je zasnovan tako, da se ob povišanem vodostaju reke Radomlje del pretoka preusmeri preko razbremenilnega dovodnega rova v zadrževalnik v dolini Drtjščice in se jih nato po upadu gladin Radomlje kontrolirano odvaja v strugo Drtjščice in nazaj v Radomljo. Maksimalna kapaciteta zadrževalnika znaša 6,7 hm³ in ustreza kapaciteti visoke vode s povratno dobo 10.000 let. . Celoten sistem za odvajanje vode je voden avtomatsko glede na vodostaj reke Radomlje, v ekstremnih razmerah pa je mogoče z njim upravljati tudi ročno (Humar, Kryžanowski, 2012).



Slika 1: Prikaz sistema Drtjščica (1-pregrada Drtjščica, 2-zadrževalnik Gradiško jezero, 3-avtocesta, 4-tunelski prepust, 5-vtočni kanal reke Radomlje). (Humar, Kryžanowski, 2012)

3.2 Geološke razmere

Pregrada leži v ožjem delu doline oblike »U« v Lokvah, vzhodno od naselja Lukovica pri Domžalah. Desni breg pregrade je omejen s strmim pobočjem vodoneprepustnih plasti permokarbonskega meljevca s prehodi v skrilavi glinovec. Položnejši levi breg tvorijo glinasti skrilavci s prehodom v meljevec. Velika vsebnost glin na območju dolinskih plasti povzroča neprepustnost in zamočvirjenost. Območje akumulacije sestavljajo plasti permokarbonskega skrilavega glinovca in meljevca prekrita z 0,5 do 3m debelo plastjo preperine nanosov Drtjščice (VODPREG – zadrževalnik Drtjščica, 2012).

3.3 Seizmo-tektonske razmere

"Pregrada Drtjščica leži na robu območja Ljubljansko-gorenjskega seizmogenega območja. Lokalna tla sestavljajo gosta oziroma polgosta tla nad geološko trdno podlago, ki jo predstavlja kompakten skrilavec, s srednje dobrimi seizmološkimi karakteristikami in ni pričakovati povečanja potresnih učinkov" (VODPREG – zadrževalnik Drtjščica, 2012, str. 5).

3.4 Hidrološko-hidravlične razmere

Hidrološke analize so bile narejene na osnovi merjenih podatkov na vodomernih postajah:

- Drtjščica – VP Vinje
- Radomlja – VP Trnjava I. in Trnjava II.

Po metodi enotnega hidrograma so bili iz vrednotenih visokovodnih valov v pregradnem profilu z upoštevanjem hidrografske karakteristike, urne vrednosti padavin in odtočnimi koeficienti. Karakteristični visokovodni pretoki znašajo:

- $Q_{10000} = 110\text{m}^3/\text{s}$ računski pretok za prelivni objekt, varnostna širina pregrade
- $Q_{100} = 43\text{m}^3/\text{s}$ računski pretok za visoke vode

(VODPREG - zadrževalnik Drtjščica, 2012)

Hidravlični sistem Drtjščica deluje na osnovi presežkov pretoka reke Radomlje. Ko le-ta preseže vrednost $6\text{m}^3/\text{s}$, začne delovati tunelski prepust, ki ima sposobnost prevajanja pretokov do $30\text{m}^3/\text{s}$. Višek pretokov se

akumulira v rezervoar Drtijiščica, od koder preko evakuacijskih objektov voda odteka v reko Radomljo. Iztok iz akumulacije je omejen glede na mejne vrednosti pretoka reke Radomlje pod sotočjem z Drtijiščico. Določen je na podlagi razpoložljive akumulacije. Merodajna vrednost visokovodnega pretoka v pregradnem profilu, ki določa velikost zadrževalnika in kapacitete evakuacijskih objektov, znaša $Q_{100} = 73\text{m}^3/\text{s}$ (VODPREG – zadrževalnik Drtijiščica, 2012).

Kota 344,8m predstavlja teme preлива na vtočnem objektu v talni izpust in volumen stalne ojezeritve, ki znaša $0,81\text{hm}^3$. Kota maksimalnega obratovanja je na 354,7m in na tej višini dosega volumen akumulacije $5,08\text{hm}^3$, kar predstavlja poplavni val stoletne vode s trajanjem padavin 36 ur. Praznjenje akumulacije poteka skozi talni izpust, katerega kapacitetne zmožnosti so $51,2\text{m}^3/\text{s}$. Kota 355,3m označuje krono varnostnega preлива, pri čemer je volumen akumulacije $6,3\text{hm}^3$. V primeru katastrofalnih razmer, na podlagi izračunov pri tisočletni vodi, lahko volumen akumulacije doseže do $7,17\text{hm}^3$ pri maksimalni koti 356,45m, maksimalni pretok prelivanja pa znaša $108\text{m}^3/\text{s}$ (VODPREG – zadrževalnik Drtijiščica, 2012).

3.5 Opis objektov

Sistem Drtijiščica sestavljajo objekti vodne infrastrukture, med katere štejemo objekte in naprave za zadrževanje, obratovanje in rabo vode:

- pregrado
- injekcijsko zaveso
- talni izpust s podslapjem
- varnostni preliv za visoke vode
- zapornični objekt
- odvzem vode za namakanje habitata
- zadrževalni prostor – Gradiško jezero,

ter objekte pomembne za delovanje sistema:

- vodomerno postajo
- vtočni objekt na vtoku Radomlje v vodni rov
- podzemni vodni rov dolžine 935m
- iztok iz vodnega rova

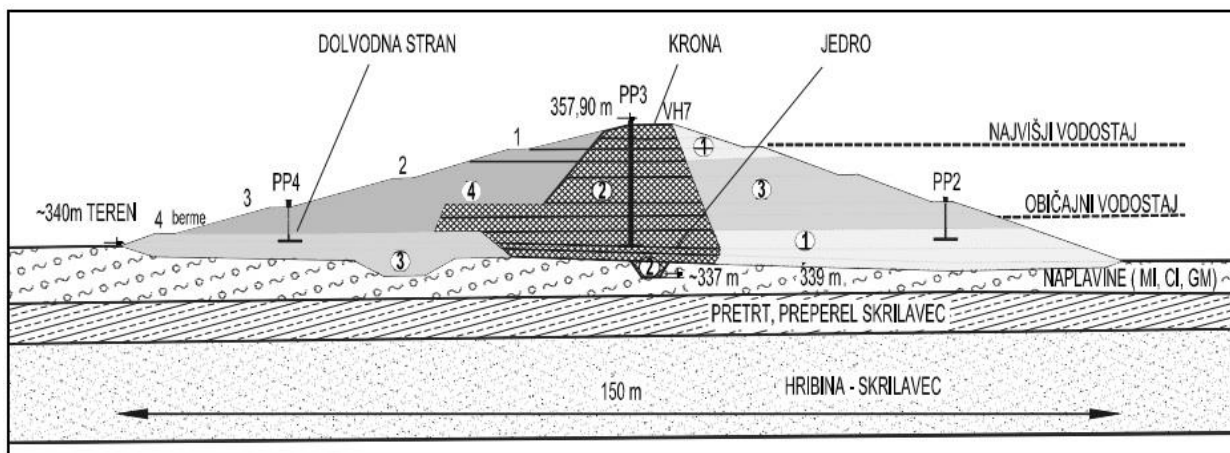
Okoli zadrževalnega prostora poteka makadamska sprehajalna pot, ki spada med objekte javne infrastrukture (VODPREG – zadrževalnik Drtijiščica, 2012).

3.5.1 Pregrada Drtijiščica

Pregrada se nahaja približno 2,3 km gorvodno od sotočja Radomlje in Drtijiščice na vodotoku Drtijiščica. Vrh pregrade sega do višine 357,77 m n.m.v. na desnem boku in 357,59 m n.m.v. na levem. Najnižja točka temeljev pregrade dosega 339,30 m n.m.v., kar pomeni, da je maksimalna višina pregrade 18,2 m in je po kriterijih ICOLD uvrščena med visoke pregrade. Pregrada je klasificirana kot nasuta slojevita pregrada z neprepustnim glinenim (glineno-meljast material iz okolice Krtine) jedrom in nehomogenim prerezom. Jedro je obloženo s kamnolomsko jalovino, med plastmi pa so izvedeni dvojni filtrski sloji iz finega in grobega peska. Globina neprepustnega dela sega do hribinske podlage oziroma do dna doline, kjer se nahajajo neprepustni materiali. Na desnem boku pregrade je izvedena tudi injekcijska zavesa (mešanica cementa in bentonita) dolžine 66 m in dosega globino 320 m n.m.v. Vodna stran pregrade je zavarovana s kamnometom iz lomljenca $d = 30-60$ cm. Dno pregrade sega v širino 150 m. Širina krone je omejena na 6 m, po njej teče utrjena makadamska cesta, katere funkcija je dostop mehanizacije v primeru vzdrževalnih del oziroma sanacije. Dolžina krone po osi pregrade je 256 m. Naklon pobočja zračne strani pregrade je 1:4 s štirimi vmesnimi bermami širokimi 2,5 m, medtem ko je vodna stran nekoliko strmehjša in zavzema naklon 1:3 s tremi bermami enake širine (VODPREG – zadrževalnik Drtijiščica, 2012).

Na desnem boku pregrade se nahaja talni izpust, preko katerega se regulira nivo gladine v zadrževalniku s pomočjo stolpnega zajetja z jaškastim vtokom. Stolpno zajetje s krožnim prerezom obsega osem prelivnih polj skupne širine 21m in višine 2,1m. Voda odteče skozi pravokotno armirano-betonsko konstrukcijo prereza 4 m x 3,5 m v podslapje in od tam naprej v strugo Drtijiščice. Talni izpust je v celoti temeljen na dobro nosilni podlagi, os izpusta pa se s krivinami prilagaja terenu. V osi pregrade se nahaja evakuacijski izpust s tablasto zapornico, ki omogoča uravnavanje pretokov Drtijiščice dolvodno od pregrade, manipulacija z zapornico pa je ročna (Brilly in sod.,2013)

Pod pregrado je razširjen iztočni del dolžine 14 m, zavarovan s tlakom in armirano-betonskim zidom temeljenim na lesenih pilotih. Iztek tega dela podslapja preide v profil trapezne oblike s kamnito zložbo v naklonu 1:1. Dolžina podslapja in prehoda v strugo je okrog 28 m, iztek podslapja pa zaključuje kamnito-betonski prag višine 1 m (Brilly in sod., 2013).



Slika 2: Karakteristični prerez pregrade Drtjščica (Turk, Logar, 2004)

3.5.2 Zadrževalnik

Zadrževalnik Gradiško jezero zavzema površino 71 ha, ko je zadrževalnik poln, pri maksimalni koti zaježitve 354,6 m. Ta kota zagotavlja poplavno varnost območja dolvodno od pregrade, kar je tudi primarni namen zadrževalnega sistema Drtjščice. Na podlagi ocene stoletnega pretoka Drtjščice ($43\text{m}^3/\text{s}$) in 45% deleža pretoka Radomlje ($30\text{m}^3/\text{s}$), ki priteče skozi vodni rov v Gradiško jezero, je ocenjena kapaciteta zaježitve, ki naj bi zadoščala zaježitvi deset tisočletne vode. Pri stalni ojezeritvi, ki obsega 29 ha in je ocenjen volumen $0,8\text{hm}^3$, pa je vloga zadrževalnika več funkcionalna, saj omogoča razvoj ribištva in vodne ter obvodne dejavnosti (Brilly in sod., 2013).

Preko tunelskega prepusta je voda speljana od vtočnega objekta v Krašnji do iztopnega dela v dolini Drtjščice pod naseljem Vinje. Vodni rov je dolg 935 m in lahko prevaja maksimalen pretok $30\text{m}^3/\text{s}$. Vtok je kontroliran z avtomatsko zapornico, ki deluje na podlagi izmerjenih gladin na vodomernih postajah v Krašnji in na Radomlji v Lukovici ter podatkov o vodostaju v zadrževalniku. Iztok iz rova je izveden v obliki drče iz kamna položenega v beton in podslapja z nadaljevanjem v urejeno strugo (VODPREG – zadrževalnik Drtjščica, 2012).

3.6 Pretekli dogodki na področju pregrade

3.6.1 September 2010 – poškodba pregrade

Funkcija sistema Drtjščica je sploščitev poplavnega vala, ki bi lahko ogrozil objekte in prebivalce urbanega naselja v dolini Radomlje. Lastništvo in upravljanje sistema je od Družbe za avtoceste v Republiki Sloveniji (v nadaljevanju: DARS) prevzelo Ministrstvo za okolje in prostor, ki med drugim upravlja z večjim deležem vodnih infrastruktur v Sloveniji namenjenih poplavni varnosti. Prevzem je bil v popolnosti izvršen leta 2009, kar je omogočilo večjo kontrolo nad opazovanjem kondicijskega stanja pregrade, nadziranjem merilnih mest in zajemom podatkov, ki ključno vplivajo na varnost in oceno stanja pregrade (Humar, Kryžanowski, 2012).

V podslapju, kamor voda priteče preko talnega izpusta, so bili na levi strani brežine opaženi manjši znaki erozije, katere nastanek ni bil jasen. Pojavila se je domneva o nepravilnostih na konstrukciji spodnjega dela podslapja, vendar ni izključevala drugih možnosti zaradi razmeroma kratkega prehoda iz podslapja v umerjeno rečno strugo. Dvome o nastanku erozije na skalometni brežini je spodbujala meteorna voda, ki preko kanalet odteka s pregrade in pronica v zbiralni bazen. Po daljšem opazovanju in geotehničnih pregledih je bil erozijski problem opisan kot lokalni fenomen, ki ne ogroža globalne stabilnosti pregrade (Humar, Kryžanowski, 2012).

Septembra 2010 je zaradi visoke intenzitete dolgotrajnega deževja narasel vodostaj rek Radomlje in Drtjščice, kar je posledično vplivalo na povečanje poplavnega vala v zadrževalniku, katerega vrednosti so se približale stoletni povratni dobi. Zadrževalnik je bil napolnjen do planirane najvišje obratovalne gladine. Zaradi varnosti pregrade je bila sprejeta odločitev, da se zadrževalnik začne prazniti. Večja količina vode, ki je odtekala skozi talni izpust, je povzročila nenadno povečanje kapacitet vodostaja v podslapju, kar je bil tudi razlog za preplavljanje brežin. Nastala je erozijska zajeda na levem bregu, velika približno za eno tretjino pete na suhi strani pregrade, medtem ko je desni breg na enakem odseku ostal nepoškodovan. Kritično območje za nastanek erozije je bilo med betonskim opornim zidom in skalometnim nasipom, ki vodi v strugo reke. Zaradi nenadne zožitve struge Drtjščice, ki ni bila sposobna odvajati takšne količine vode, se je formiral vodni skok večji od pričakovanega in prelival levi betonski opornik. Preiskave so pokazale, da v času ekstremnega dogodka stabilnost pregrade ni bila ogrožena (Humar, Kryžanowski, 2012).



Slika 4: Erozijska zajeda levega brega podslapja septembra 2010 (Humar, Kryžanowski, 2012)



Slika 3: Iztok iz talnega prepusta pregrade septembra 2010 (Humar, Kryžanowski, 2012)

3.6.2 Vzrok poškodb

Že pred septembrom 2010 je bilo mogoče opaziti erozijske poškodbe na levi brežini podslapja. Večjo erozivnost na tem območju so preiskovalci povezovali z nepravilno zasnovo in izvedbo podslapja ter slabo izbiro materiala za zavarovanje brežin. Kamena zložba v betonu bi bila primernejša rešitev. Sama oblika talnega izpusta, ki je speljan pod pregrado v obliki krivulje »S«, usmerja in potencira tok vode proti levi brežini podslapja oziroma robu pregrade, kar naj bi celo spodbujalo erozijske procese dolvodno (Humar, Kryžanowski, 2012).

Izgradnja pregrade se je v fazi planiranja, zaradi naravovarstvenih zahtev, premaknila za približno 150 m višje gorvodno po reki Drtjščici, zaradi naravovarstvenih razlogov. Na tem odseku naj bi bila tudi struga urejena sonaravno s kameno zložbo, kar je v splošnem pogosta praksa v Sloveniji. Tovrstna ureditev struge je v primeru visokih vod lahko kritična in privede do neželenih posledic, ki so usodne za objekt (Humar, Kryžanowski, 2012).

Voda teče preko talnega izpusta v podslapje, katerega namen je disipacija energije, od koder mirno odteka v strugo Drtjščice, ki vodi skozi ožji kanjon. V slučaju visokih kapacitet pretoka na tem odseku, o čemer pričajo dogodki iz leta 2010, pa lahko nastane problem, da zaradi počasnega odtekanja in hitrega dotekanja, na razmeroma kratki dolžini struge, voda zastaja v podslapju talnega izpusta. Zaradi usmerjenega in potenciranega toka vode iz zaledne strani pregrade skozi prepust in zastajanja vode v podslapju na drugi strani, je nastal fenomen vrtinčenja vode v horizontalni smeri in vzpodbudil primer formiranega

asimetričnega hidravličnega skoka, kar je izjemno redek in celo prvi tak pojav v Sloveniji (Humar, Kryžanowski, 2012).

3.2 Terenski ogled

Terenski ogled pregrade Drtijiščica in pripadajoče akumulacije Gradiško jezero sem opravil v četrtek, 4. 8. 2016, ob dveh popoldne. Naredil sem nekaj fotografij, ki so sestavni del diplomske naloge v tem poglavju. Namen ogleda je bila vizualizacija objekta in stanja pregrade. Opazil sem, da je okolica zadrževalnega prostora močno zaraščena z drevjem in grmičevjem. Pregrado prekriva travnata ruša, ki je v tem letnem času že kar visoka. Okolica vtoka v talni izpust je prav tako zaraščena. Grmičevje in drevesa zastirajo pogled tudi v podslapju pregrade, kjer voda odteka v strugo Drtijiščice. Na makadamski cesti dostop do pregrade z motornim vozilom preprečuje rampa in večje skale. Na zračni strani je bilo mogoče opaziti, da so se pred kratkim izvajala vzdrževalna dela, in sicer čiščenje jarkov za površinsko vodo.



Slika 5: Vodna stran pregrade Drtijiščica



Slika 6: Vtok v talni izpust



Slika 7: Stalna ojezeritev - Gradiško jezero



Slika 8: Rampa, ki preprečuje dostop motornim vozilom do pregrade



Slika 9: Kanalete na telesu pregrade



Slika 10: Čiščenje odvodnega jarka za meteorne vode na zračni strani pregrade



Slika 11: Talni izpust in podslapje pregrade



Slika 12: Kontrolna hišica na kroni pregrade



Slika 13: Zaraščena struga Drtijiščice



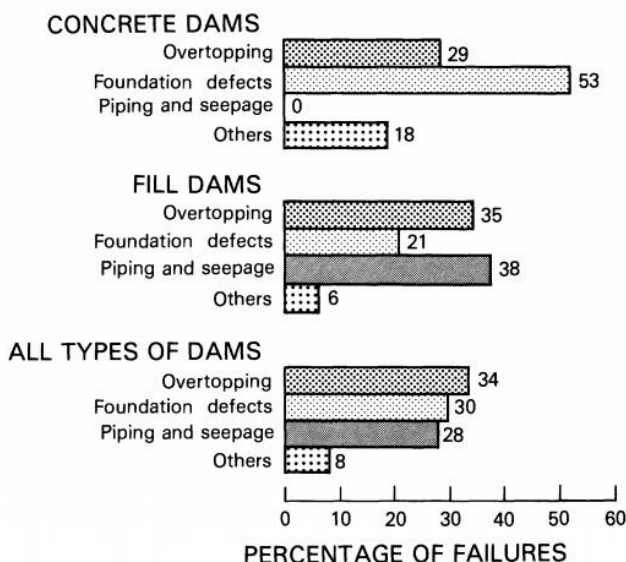
Slika 14: Zračna stran pregrade

4 PORUŠITEV PREGRADE DRTIŠČICA

4.1 Splošno o porušitvah

Pregrade so objekti, ki so že močno integrirani v našo družbo in okolje. Zanje pravzaprav večina sploh ne ve, dokler ne gre kaj narobe, čeprav lahko predstavljajo veliko grožnjo za dolvodna naselja in njihove prebivalce. Porušitev pregrade je lahko trenutna ali postopna, kjer se sprosti velika količina vode in spremeni v poplavni val, usmerjen proti dolvodni dolini, ki pa ima lahko katastrofalne posledice. V splošnem so posledice poplavnega vala podobne poplavam zaradi visokih vod, vendar je ključna razlika v tem, da voda, zaradi porušitve pregrade preplavi večje območje v relativno kratkem času. Poplavni val dosega velike hitrosti in zaradi velikega volumna vode tudi rušilno moč, zato je škoda na infrastrukturi praktično neizogibna, ogrožena pa so lahko tudi človeška življenja.

Verjetnost porušitve pregrade je v osnovi zelo redek pojav, kot ugotavlja Costa (1985), je ta verjetnost 10^{-4} na leto. V zadnjih 100 letih naj bi bilo okrog 200 omembe vrednih porušitev, ki pa so terjale več kot 11.100 življenj. Več kot 60% teh žrtev je bilo na območju treh največjih porušitev: Vajont, Italija, 1963, 2.600 žrtev; South Fork Pennsylvania, ZDA, 1889, 2.200 žrtev; Machhu II, Indija, 1974, 2000 žrtev (Costa, 1985).



Slika 15: Vzroki porušitev različnih tipov pregrad višjih od 15 m (Costa, 1985)

Slika 15 prikazuje vzroke za porušitev in občutljivost različnih tipov pregrad. Pri betonskih pregradah je za porušitev najbolj kritično popuščanje temeljne podlage in prelitje pregrade. Pri nasutih pregradah sta prevladujoča mehanizma porušitve pregrade prelitje pregrade in notranja erozija, sledi še popuščanje temeljne podlage. Prelitje pregrade, popuščanje temeljne podlage in notranja erozija so tako prevladujoči mehanizmi porušitve pregrad. Masivne pregrade so bolj občutljive na procese popuščanja temeljne podlage (pojav razpok, deformacije, zdrsi, notranja erozija, prekoračitev trdnosti podlage,..), medtem ko so nasute pregrade bolj občutljive na prelitje in erozijske procese v telesu pregrade.

4.1.1 Opis možnih porušitev

Vzroki za poškodbe pregrade in porušitev so lahko različni in dostikrat nepredvidljivi, v splošnem pa jih lahko razvrstimo v tri skupine: konstrukcijske napake, prelitje pregrade in človeški dejavnik. Najpogosteje pride do porušitve pregrade po izgradnji in tekom prvega polnjenja akumulacijskega bazena. Porušitev je lahko hipna in se zgodi v zelo kratkem času, poruši pa se celotna pregrada. Takšna porušitev je značilna predvsem za ločne pregrade. Bolj pogosta je postopna oziroma delna porušitev, ki lahko traja od nekaj minut pa do nekaj ur, kar je značilno za nasute pregrade. Delna trenutna porušitev pa je pogosta pri masivnih in stebrskih pregradah (Širca in Četina, 2010).

Pri zemeljskih pregradah nastopi postopna porušitev, kar pomeni, da voda postopno erodira telo pregrade. Za to je lahko kriva konstrukcijska napaka kot je hidravlični lom ali pojav razpok v telesu pregrade, ki povzroči erozijske procese v telesu pregrade. Hidravlični lom nastane zaradi velikih tlačnih razlik med gorvodno in dolvodno stranjo pregrade. Količina precedne vode je večja od kapacitetnih zmožnosti drenažnega sistema in posledično odteka skozi pregrado na dolvodno stran. Precedna voda odnaša delce nasutega materiala in progresivno večja erozijsko poškodbo, ki se širi gorvodno. Tovrstno erozijsko dogajanje lahko hitro privede do porušitve pregrade, zato je za preprečitev hidravličnega loma potreben konstanten monitoring stanja pregrade in dobra izvedba filtrnih in drenažnih plasti v telesu pregrade (Širca in Četina, 2010).

Najbolj pogost vzrok porušitve zemeljskih pregrad je prelitje pregrade. V tem primeru začne voda erodirati dolvodno pobočje. V telesu pregrade nastaja vedno večja erozijska zajeda, trapezne oblike. S progresivnim večanjem erozijske zajede se povečuje hitrost vode in erozijska moč. Vzrok za takšno postopno porušitev je lahko nezadostna pretočna sposobnost evakuacijskih objektov za odvajanje visokih voda oziroma zamašitev le-teh, kar lahko naglo povečali vodostaj v zadrževalniku čez maksimalne dopustne vrednosti. Vodostaj v akumulaciji lahko nenadno poveča tudi zdrs večje mase bregov (plaz) in izpodrine velik volumen

vode, ki prelije pregrado, kot se je v preteklosti to že zgodilo v Italiji na pregradi Vajont (1963) (Širca in Četina, 2010).

Do hidravličnega loma lahko privedejo tudi poškodbe pregrade, ki jih povzročijo živali. Glodalci skopljejo rove v telo pregrade in tako ogrozijo strukturo pregrade. Visoka voda zalije rove, ki predstavljajo šibko točko na pregradi, kjer progresivno začne nastajati erozijska zajeda. Z večanjem luknje v pregradi lahko pride do preboja in neizogibne porušitve. Tovrstne posledice lahko preprečimo z rednim monitoringom in vzdrževanjem pregrade. Krtine in luknje glodalcev so bile opažene tekom vizualnega pregleda tudi na pregradi Drtijiščica, kot pojasnjujejo Brilly in sodelavci (2013).

Ne smemo zanemariti tudi možnosti nasilne porušitve, ki jo lahko povzroči človek. Nastane lahko popolna in trenutna porušitev, katere vzrok je lahko miniranje ali bombardiranje pregrade. Načeloma je tak vzrok mogoč v času vojnega stanja, pa vendar glede na znane dogodke, ki se dogajajo po Evropi in svetu, je takšen scenarij potrebno predvideti tudi dandanes, ko so vedno bolj pogosta teroristična dejanja.

4.1.2 Tveganje

"Tveganje je po definiciji opredeljeno kot funkcija, ki je odvisna od spremenljivk: nevarnosti (verjetnost pojava škodnega dogodka), potencialne škode (direktni in indirektni stroški), ter ranljivosti okolja (stopnja izgub – žrtve, infrastruktura, okolje...)" (VODPREG- končno poročilo, 2012, str. 28).

Glede na tveganje so pregrade razvrščene na:

- pregrade velikega tveganja – porušitev bi lahko terjala človeška življenja in povzročila veliko škode na infrastrukturi,
- pregrade srednjega tveganja – povzročena bi bila znatna škoda na infrastrukturi in ogrožena bi bila človeška življenja, vendar je časa za evakuacijo dovolj,
- pregrade majhnega tveganja – življenja in infrastruktura niso ogroženi.

"Če slovenske pregrade vrednotimo s stališča tveganja, ugotovimo, da večino ali natančneje vse velike pregrade v Sloveniji lahko razvrstimo med pregrade velikega tveganja, saj bi morebitna porušitev povzročila tako znatno gmotno škodo na javni infrastrukturi kot človeške žrtve. Vse pregrade bi torej zahtevale skrbno obravnavo in redno vzdrževanje in opazovanje" (Humar, N., Mišičev vodarski dan, 2008, str. 269).

Pregrada predstavlja tveganje za okolico oziroma populacijo dolvodno od pregrade. Na faktorje tveganja vplivamo s:

- pripravljenostjo
- preventivnim ukrepanjem
- varnostjo in
- odzivnostjo.

Že v sami fazi načrtovanja lahko vplivamo na boljšo pripravljenost v primeru pojava ekstremnih dogodkov, kjer lahko presodimo, kako bo pregrada vplivala na populacijo dolvodno od pregrade in predvidimo možne scenarije porušitve ter ocenimo posledice le-te. Potrebna je izdelava načrtov zaščite in reševanja, nujno pa je tudi določiti vplivno območje porušnega vala ter načine pravilnega ukrepanja v tovrstnih primerih. Prebivalci, ki živijo na takem območju, morajo biti osveščeni in informirani o možnih dogodkih in posledicah. Pomembna je tudi izurjenost ekipe za reševanje, da je evakuacija lahko kar se da učinkovita. S preventivnim ukrepanjem lahko predvsem zmanjšamo grožnjo in omilimo pojav izjemnih dogodkov. Na podlagi opazovanja in rednega vzdrževanja lahko dovolj zgodaj odkrijemo poškodbo in v ekstremnih razmerah izvedemo hitro ter učinkovito alarmiranje ogroženega prebivalstva. Samo varnost pregrade zagotavlja pravilno in strokovno ravnanje v celotnem življenjskem obdobju pregrade od načrtovanja, gradnje, prve polnitve in obratovanja. Vzdrževanje je prav gotovo eden izmed pomembnejših členov za varno obratovanje pregrade, ki posledično vpliva na zmanjšanje možnosti nastanka večjih poškodb. Redno opravljanje vzdrževalnih del tako povečuje življenjsko dobo samega objekta (Humar, N., Mišičev vodarski dan, 2008).

4.1.3 Alarmiranje in obveščanje na Drtijiščici

Ob nastopu izrednih razmer mora koncesionar, izvajalec javne gospodarske službe, izvajati ukrepe, ki so v skladu z določili poslovnika o obratovanju in vzdrževanju. V pravilniku je opredeljeno, da se za izredne razmere šteje:

- tako stanje poškodb na pregradi, brežinah akumulacijskega prostora ali spremljajočih objektih, da obstaja nevarnost poškodbe ali porušitve,
- nastop izredno visokih voda, ki ogrožajo poplavno varnost območja dolvodno od pregrade (pretoki s sto-letno povratno dobo ali večji),
- nastop možnosti nasilne porušitve objekta,
- potres.

Koncesionar mora o vseh izrednih spremembah na objektu obvestiti koncudenta oziroma center za obveščanje (Humar, N., 2011).

4.2 Analiza porušitve pregrade Drtijiščica

4.2.1 Ocena posledic

Izračun posledic porušitve zadrževalnika na Drtijiščici je leta 1995 izvedla Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo v Laboratoriju za mehaniko tekočin. Izračun poplavnega vala je upošteval delno porušitev pregrade, ki naj bi trajala približno 50 minut. Po dogodkih septembra 2010 pa naj bi se porajal dvom o ustreznosti opravljenega preračuna, saj se je bazen polnil hitreje kot je bilo predvideno, volumen akumulacije pa ni ustrezal ocenam ojezeritve (VODPREG – zadrževalnik Drtijiščica, 2012).

Zadrževalnik Drtijiščica služi za poplavno varnost območja doline Radomlje, kjer poteka avtocesta Ljubljana - Vranksko. Celotno prizadeto območje, v katerega bi se izlil porušni val, je razdeljeno na pet računskih področij:

1. računsko področje zajema dolino Drtijiščice,
2. računsko področje zajema dolino Radomlje od okoli 1km gorvodno do vtoka Drtijiščice v Radomljo do nadvoza Lukovica - Zgornje Prapreče,
3. računsko področje zajema dolino potoka Radomlja med nadvozom Lukovica – Zgornje Prapreče in linijo Krtina – Brezje,
4. računsko področje zajema dolino med vasjo Krtina in vtokom Rače v Kamniško Bistrico južno od avtocestnega odseka,
5. računsko področje zajema del doline med vasjo Krtina in vtokom Rače v Kamniško Bistrico severno od avtocestnega odseka.

Prvo računsko območje je bilo izvedeno z 1D matematičnim modelom, medtem ko je bilo območje doline Radomlje izvedeno z 2D matematičnim modelom. Slednje je tokovno zelo komplicirano, saj vzdolžno poteka avtocestni nasip višine do tri metre, prečno pa območje prekinjajo nadvozi ali delno naravne prepreke (Rajar, Zakrajšek, 1995).

Na karte digitalni-ortofoto (DOF 25) sem v skladu z izračunom poplavnega vala, ki bi nastal v primeru porušitve pregrade, vrisal poplavno območje. Državne topografske karte (DTK 5), digitalni-ortofoto (DOF 25) in podatke o katastru stavb (KS) sem pridobil od Geodetske uprave Republike Slovenije (GURS). Preštel

sem objekte, ki bi jih dosegla voda, in naredil tabelo, razdeljeno glede na namensko rabo objektov (stanovanjski objekti, nestanovanjski objekti). Preglednica 2 prikazuje število ogroženih objektov za vsako naselje ali vas na območju poplavnega vala in je razdeljena na računsko področja.

4.2.1.1 Področje 1

To računsko področje zajema dolino Drtijiščice pod pregrado. V primeru porušitve bi potopljeno območje segalo do kote 347 m, saj bi v zoženem delu struge Drtijiščice, pred izlivom v Radomljo, nastala zajezeitev. V zadnjem profilu 1. računskega področja je kota poplavne vode okoli 346 m zaradi denivelacije za približno 1m v sami zožitvi. Na tem območju bi poplavni val zalil desni in levi breg struge Drtijiščice, na katerem so le gozdne površine, pot in pešpot. Poplavljenno območje ne ogroža stanovanjskih objektov. Vizualno je navedeno prikazano v prilogi A1.

4.2.1.2 Področje 2

Kot je prikazano v prilogi A1, bi na tem območju poplavni val zalil dolino Radomlje približno 700 m gorvodno od vtoka Drtijiščice. Voda bi dosegala koto 343 m in preplavila avtocesto vse do cestninske postaje Kampilje. Ogrožena bi bila tudi regionalna cesta II. reda, ki poteka ob avtocesti in povezuje štajersko in osrednjeslovensko regijo. Na nekaterih mestih bi bila regionalna cesta popolnoma prelita. Voda bi zajela tudi večji del naselja Trnjava, ki leži nasproti izliva Drtijiščice. Poplavljenih bi bilo 15 objektov namenjenih stanovanjski rabi in 5 objektov namenjena kmetijstvu, ki ležijo pod koto 343m. V naselju Podpeč bi voda dosegla 8 hiš, za nadvozom čez avtocesto pa bi bila kota poplavljenega območja 338,5 m. Na tem odseku bi bila avtocesta prelita 2 m visoko. Nasip nadvoza bi deloval kot zajezni objekt, voda pa bi odtekala v nižje ležeče območje pod nadvozom in njegovim vznožjem pri naselju Podpeč. Na področju št. 2 bi bila torej ogrožena cestna infrastruktura in 33 objektov.

4.2.1.3 Področje 3

Voda bi tukaj zalila poplavno območje severno in južno od avtoceste. Severni del objema teren s precej višjimi kotami, kar pomeni, da bi voda zavzemala višje kote kot na južni strani avtoceste. V naselju Lukovica bi voda ogrožala hiše, ki ležijo južno od magistralne ceste Ljubljana – Celje in hiše severno od magistrale v bližini vasi Podpeč. Poplavljenih bi bilo 7 stanovanjskih objektov, 2 bencinski črpalki s počivališči in restavracijo, 2 cestninski postaji in objekt za tehnični pregled vozil. Voda bi preplavila manjši

del naselja Šentvid pri Lukovici in ogrozila 16 stanovanjskih objektov, 2 športna objekta, industrijski objekt, cerkev in kmetijske površine s pripadajočimi nestanovanjskimi objekti. Naselje Vrba bi bilo skoraj v celoti poplavljen. Zalilo bi 54 objektov, od tega 31 stanovanjskih, 10 kmetijskih, 5 industrijskih in 8 objektov za ostale namene. Preplavljena severna stran bi prelila avtocesto in se združila z južnim poplavnim območjem. V Spodnjih Preprečah bi voda ogrozila 8 hiš, vas Videm bi merila škodo na 8 objektih, v Imovici bi bila ogrožena 2 industrijska objekta, v Škocjanu pa 6 hiš in 6 objektov namenjenih nestanovanjski rabi. V dolini reke Radomlje so ob avtocesti, na severni in južni strani, kmetijska zemljišča, ki pa bi bila v slučaju porušitve pregrade preplavljena. Kota gladine vode vzdolž 3. računskega področja hitro pada, saj je poplavno območje v dolini vedno širše. Gladina vode, ki priteče iz 2. računskega polja, dosega kote med 336,3m in 337,6m, do začetka 4. računskega področja pa kote padajo do približno 314 m. Zaradi velike spremembe v višinski razliki so vodi omogočene relativno velike hitrosti, dolina Radomlje pa deluje kot usmerjena struga. Globina vode se na večjem območju giblje med 1,5 m in 2,5 m, ponekod pa doseže tudi do 4m. Bolj ali manj bi bilo ogroženih 136 objektov, avtocesta in lokalne ceste. Priloga A2 prikazuje področje št. 3.

4.2.1.4 Področje 4

Poplavno območje se v 4. računskem področju še bolj razširi po pretežno ravninskem delu, kot je tudi vidno v prilogi A3. Razgiban relief na južni strani avtoceste določa koto gladine poplavne vode, ki pa se vzdolž območja niža. Iz 3. računskega polja voda vteka na koti 313,6m in izteče v 5. računsko polje na koti 308,5 m. Globina vode se giblje med 1,5 m in 2 m, na manjšem območju pa presega celo 4 m. Nižje ležeča naselja, kot so Spodnja Krtina, Dolenja vas, Gmajnica in zaselek Zavg, bi bila skoraj v celoti preplavljena in bi zagotovo beležila večjo škodo od višje ležečih naselij na tem območju. Delno preplavljena bi bila naselja Zgornja Krtina, Brezje pri Dobu, Rača, Laze pri Domžalah in hiše ob vznožju nadvoza Gorjuša – Dob. Zgornja Krtina bi bila oškodovana za 49 objektov. Hujše posledice bi utrpeli prebivalci nižje ležeče Spodnje Krtine, katere kota je pod gladino poplavnega vala. Naselje šteje 233 objektov, ki pa so v večji meri namenjeni stanovanjski rabi. Voda bi zajela tudi 25 objektov naselja Brezje pri Dobu, 50 objektov oziroma celotno Dolenjo vas in 2 osameli hiši s pripadajočima objektoma v zaselku Zavg, blizu vasi Studenec pri Krtini. Poplavni val bi prizadel 7 objektov v Rači, 7 objektov v neposredni bližini naselja Laze pri Domžalah in 8 objektov oziroma celotno naselje Gmajnica. Voda bi ogrozila tudi 15 objektov ob vznožju nadvoza, ki povezuje Dob z naseljem Gorjuša. Celotno poplavljenno področje terja škodo na 398 objektih. V pretežno ravninskem delu doline se nahajajo kmetijske obdelovalne površine, ki pa bi bile v celoti potopljene.

4.2.1.5 Področje 5

To računsko področje zavzema območje poplavnega vala, ki se nahaja na severni strani avtoceste. Voda bi zajela dobršen del naselja Dob in celotno naselje Podrečje, ki sega vse do začetka mesta Domžale, kjer se voda izlije v Kamniško Bistrico. Poplavno območje se, za razliko od 3. in 4. računskega področja, začne postopoma ožati. Kota gladine vode postopoma pada od začetka področja 5 od kote 307,2 m na desnem, 306,3 m na levem delu poplavnega območja do izliva na koti okrog 302 m. Razlika kote terena na začetku in koncu tega področja je majhna, okrog 5 m, kar pomeni, da so tu hitrosti vode nižje. Globina vode se giblje od 0,5 m do 1 m, na območju iztekanja v Kamniško Bistrico pa so globine večje in dosežejo tudi 2,4m. Slaba polovica naselja Dob bi bila preplavljena, ogroženih bi bilo 225 objektov, od tega kar 153 stanovanjskih, 34 bi bilo kmetijskih objektov, 6 industrijskih, cerkev ter nekaj objektov za ostale nestanovanjske namene. Prav tako bi skrb vzbujajoče posledice utrpelo naselje Podrečje, ki bi beležilo škodo na 204 objektih, od tega 137 namenjenih prebivanju, 15 kmetijskih, 5 industrijskih in 47 ostalih. Na celotnem območju številka 5, kot je vizualno prikazano v prilogi A4, bi bilo ogroženih kar 429 objektov, največ izmed vseh prej omenjenih področij.

4.2.2 Čas prihoda čela oz maksimuma porušnega vala do posameznih profilov

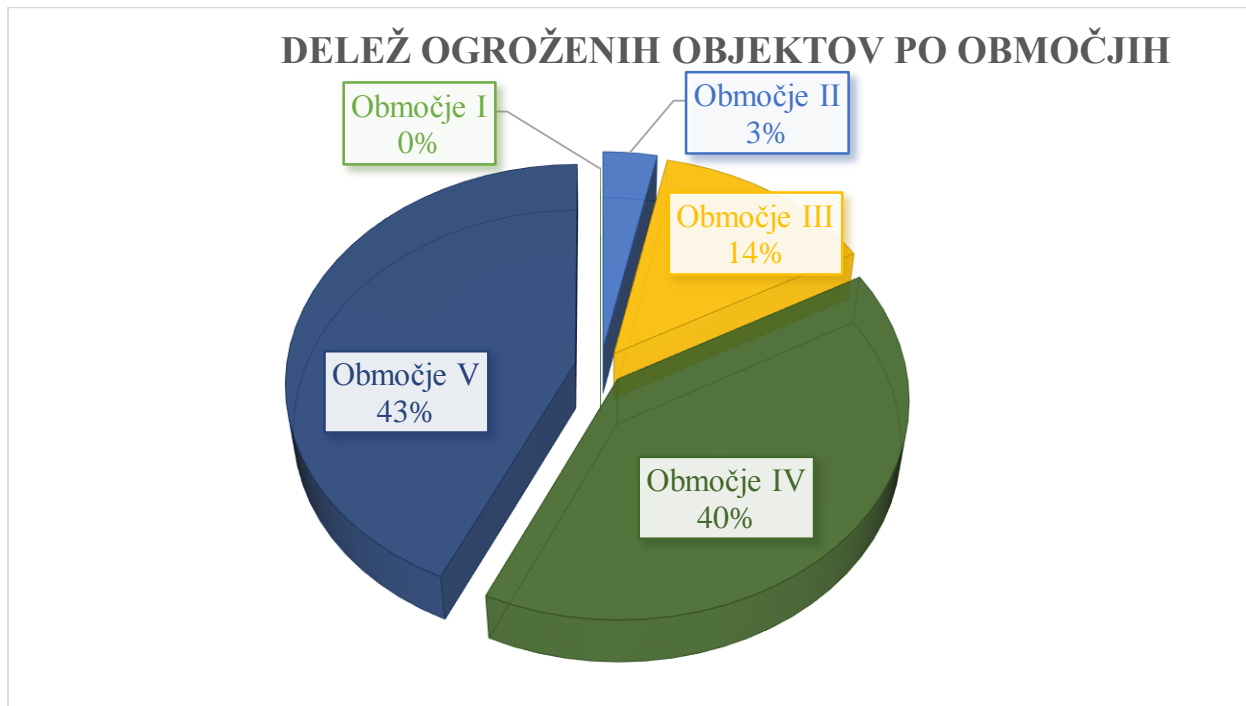
Tabela 1 prikazuje, v kolikšnem času bi porušni val dosegel določen računski profil poplavnega območja. Izračunano je tudi, kdaj bi v izbranem profilu nastopila maksimalna gladina vode.

Čas prihoda čela oziroma maksimuma porušnega vala		
Pozicija	Čas prihoda čela [min]	Čas nastopa maksimuma [min]
Izliv Drtijiščice v Radomljo	6	50
Nadvoz Lukovica - Zgornje Prapreče	18	56
Linija Krtina - Brezovica	53	85
AC med Krtino in Gorjušo	100	153
Iztok Radomlje v Kamniško Bistrico	166	192

Preglednica 1: Čas prihoda čela in maksimuma porušnega vala do posameznih profilov (Rajar, Zakrajšek, 1995)

4.2.3 Analiza škode

Področje, po katerem bi se razlil poplavni val, je razmeroma veliko. V vzdolžni smeri obsega kar nekaj kilometrov, od cestninske postaje Kompolje pa vse do naselja Domžale. Reliefna oblika terena določa potek poplavnega vala in koto gladine vode. V primeru porušitve pregrade Drtijiščica bi poplavni val zajel ali popolnoma preplaval 20 naselij in vasi. Število ogroženih objektov se vzdolž poplavnega območja, po računskih področjih, stopnjuje. Bolj ko se bližamo mestu Domžale, večja in bolj strnjena so naselja. Na celotnem izračunanem poplavnem področju bi voda ogrozila 998 objektov, od tega je večina objektov (599) namenjenih stanovanjski rabi – hiše, večstanovanjske hiše, manjši bloki. Če privzamemo, da v vsakem od teh objektov v povprečju živijo 4 osebe, je na celotnem poplavnem območju ogroženih skoraj 2400 prebivalcev. Bolj ali manj bi poplava poškodovala še 399 objektov, ki so nestanovanjskega značaja – kmetijski objekti, industrijski objekti, cerkev, šola, garaža, lopa, gostinski objekti... Ogrožena bi bila tudi cestna infrastruktura, predvsem avtocesta, katere trasa poteka skozi centralni del poplavnega območja. Poleg naselij bi voda zalila kmetijske obdelovalne površine, ki predstavljajo večino poplavnega območja. Približno polovica volumna vala bi se akumulirala na 3. in 4. računskem področju, kjer bi bila voda ujeta med višji teren. Preostali del volumna vala, ki steče naprej v 5. računsko področje, je sorazmerno velik. Največje globine vode na iztoku Radomlje v Kamniško Bistrico nekoliko presegajo 1 m, kar pomeni, da bi bil preplavljen tudi del naselja Domžale in bližnje vasi. Račun poplavnega vala Drtijiščice je bil izveden le do omenjenega iztoka vode v Kamniško Bistrico, zato ni mogoče natančno določiti, koliko objektov v Domžalah bi bilo ogroženih, je pa mogoče sklepati, da bi bile globine na tem območju zaradi širšega področja manjše. Poplavljen območje je prikazano v prilogi A5.



Slika 16: Delež ogroženih objektov po računskih področjih poplavnega vala iz akumulacije pregrade Drtijaščica

Naselje	Število ogroženih objektov	Nestanovanjski objekti					
		Stanovanjski objekti	Hiše	Kmetijski objekti	Industrijski objekti	Cerkev	
Trnjava	23	15	5	0	0	3	II. območje
Podpeč	10	8	0	0	0	2	
Lukovica pri Domžalah	21	7	0	0	0	14	III. območje
Spodnje Prapreče	10	8	0	0	0	2	
Šentvid pri Lukovici	29	16	3	1	1	8	
Vrba	54	31	10	5	0	8	
Videm pri Lukovici	8	3	5	0	0	0	
Imovica	2	0	0	2	0	0	
Škocjan	12	6	0	0	0	6	
Zgornja Krtina	50	22	15	0	0	13	IV. območje
Spodnja Krtina	233	130	47	0	0	56	
Dolenja vas	50	33	10	0	0	7	
Gmajnica	8	3	3	0	0	2	
Brezje pri Dobu	25	13	9	0	0	3	
Zavg (zaselek)	4	2	0	0	0	2	
Rača	7	2	4	0	0	1	
Laze pri Domžalah	7	4	3	0	0	0	
Gorjuša	15	6	9	0	0	0	
Dob	226	153	34	6	1	32	
Podrečje	204	137	15	5	0	47	V. območje
VSOTA	998	599	172	19	2	206	

Preglednica 2: Ogroženi objekti zaradi porušitve pregrade Drtijiščica

5 ZAKLJUČEK

Zavedati se je potrebno, da so vodne pregrade objekti, ki zagotovo imajo vpliv na okolje. Večina velikih pregrad v Sloveniji je, po ugotovitvah razvojno-raziskovalnega projekta VODPREG (2012), v slabem stanju. Tveganje, ki ga predstavlja pregrada za okolje, je opredeljeno z verjetnostjo porušitve, škodo, ki pri tem nastane, in stopnjo izgub oziroma žrtvami. Čeprav je kondicijsko stanje le-teh razmeroma dobro, pa visoko tveganje povzročajo drugi dejavniki, med katere spada pomanjkljiva dokumentacija, neredno vzdrževanje in pomanjkljivo opravljanje meritev.

Skozi analizo posledic porušitve pregrade Drtjščica je bilo ugotovljeno, da bi se le-ta v primeru izjemnih dogodkov porušila postopno in bi po izračunih poplavnega vala trajala 50 min. Vzroki za porušitev bi lahko bili različni. Mednje spadajo prelitje pregrade, ki je statistično najpogostejši vzrok pri zemeljskih pregradah, hidravlični zlom ali človeški vpliv nasilne porušitve. Neodvisno od načina porušitve bi poplavni val, ki nastane ob porušitvi, dolvodno povzročil katastrofalne posledice. Ogrožena bi bila vsa naselja, ki segajo v poplavno območje. Na celotnem območju bi voda zalila 998 objektov, med katerimi prevladujejo predvsem objekti, namenjeni stanovanjski rabi. Če privzamemo, da v vsakem od 599 ogroženih stanovanjskih objektov v povprečju živijo 4 osebe, je na celotnem poplavnem območju ogroženih skoraj 2400 prebivalcev. Številčno bi voda najbolj ogrozila objekte v nižje ležečih naseljih blizu mesta Domžale, in sicer na področjih 4 in 5. Nekatera naselja bi bila poplavljenjena v celoti, varnejša pa bi bila tista naselja, katerih nadmorska višina je višja od kote vode na poplavnem območju. Poleg objektov bi poplavni val zalil tudi cestno infrastrukturo, predvsem avtocestni odsek od Lukovice do Domžal. Voda bi na svoji poti zalila vrsto kmetijskih obdelovalnih zemljišč, ki se nahajajo med naselji in ob avtocesti. Prebivalci, ki živijo na omenjenem potencialno ogroženem območju, morajo biti ozaveščeni in ustrezno obveščeni o morebitnih posledicah, ki lahko nastanejo v primeru porušitve pregrade.

Morebitne katastrofalne posledice porušitve pregrade po mojem mnenju potrjujejo, da je nujno potrebno nameniti več pozornosti vzdrževanju pregrade in akumulacijskega bazena. Potrebno je redno spremljati obnašanja pregrade, redno izvajati hidrološke meritve in ustrezno vodenje dokumentacije v skladu z ugotovitvami. Za minimizacijo tveganja je bistvenega pomena tudi redno vzdrževanje in izvajanje sanacijskih ukrepov na pregradi. Vsi navedeni minimalni ukrepi, ki so v domeni upravljavca, lahko bistveno povečajo varnost pregrade in njen vpliv na okolje.

VIRI

Brilly, M., Schnabl, S., Kryžanowski, A. 2013. Izvedba vizualnega pregleda zadrževalnika Drtijiščica in izdelava končnega poročila z usmeritvami za naprej. Projektna naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko.: str. 1-28.

Costa, J.E. 1985. Floods from Dam Failures. U.S. Geological Survey, Report 85-560: str. 1-5.
<https://pubs.usgs.gov/of/1985/0560/report.pdf> (Pridobljeno 1. 9. 2016.)

G., P. 2013. Kako varne so vodne pregrade v Sloveniji.

<http://www.delo.si/druzba/znanost/kako-varne-so-vodne-pregrade-v-sloveniji.html> (Pridobljeno 1. 7. 2016.)

Humar, N., Kryžanowski, A. 2012. The Drtijiščica case study – restoration of the stilling basin for improvement of hydraulic conditions. Commission Internationale des Grands Barrages. Vingt Quatre Congres, Kyoto: 1-15.

Humar, N. 2011. Pravilnik za obratovanje in vzdrževanje pregrade Drtijiščica. Ljubljana, Republika Slovenija, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje, Urad za upravljanje z vodami, Sektor za vodno območje Save, Oddelek povodja reke Srednje Save, inventarna številka: 12523056141, lokacijska številka: 851324000: str. 1-19.

Humar, N. 2008. Skrb za varnost pregrad v Sloveniji in možnosti za zmanjšanje tveganja. V: Vodnogospodarski biro (Maribor) (ur.), Drava vodnogospodarsko podjetje (Ptuj) (ur.). Zbornik referatov / 19. Mišičev vodarski dan 2008, Maribor, Slovenija, 8. december 2008. Maribor, Vodnogospodarski biro: 269–278. <http://mvd20.com/LETO2008/R35.pdf> (Pridobljeno 10. 8. 2016.)

Kryžanowski, A., Širca, A., Humar, N., Ravnikar Turk, M., Žvanut, P., Četina, M., Rajar, R., Detela, I., Polič, M. 2012. Zemeljske in betonske vodne pregrade strateškega pomena v RS – VODPREG. Razvojno raziskovalni projekt. Ljubljana, Republika Slovenija, Ministrstvo za obrambo: str. 11–52.
http://www.sos112.si/slo/tdocs/naloga_97.pdf (Pridobljeno 3. 8. 2016.)

Kryžanovski, A., Širca, A., Humar, N., Ravnikar, T., M. (avtor, vodja projekta), Žvanut, P., Četina, M., Rajar, R., Detela, I., Polič, M. Zemeljske in betonske vodne pregrade strateškega pomena v RS VODPREG: razvojno raziskovalni projekt: končno poročilo: dodatek 1 – poročila o pregradah: Zadrževalnik Drtijiščica. Ljubljana: Zavod za gradbeništvo Slovenije, 2012: str. 2-12.

Kryžanowski, A. 2013. Inženirska hidrotehnika. Pregrade. Neobjavljeno študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG: loč. pag.

Logar, J. 2016. Zemeljske pregrade. Študijsko gradivo.

<http://www.fgg.uni-lj.si/kmtal-gradiva/Gradiva%20za%20vec%20predmetov/Skripta%20Janko%20Logar/zemeljske%20pregrade.pdf>

(Pridobljeno 20. 8. 2016.)

Rajar, R., Zakrajšek, M. 1995. Izračun posledic porušitve zadrževalnika na Drtijiščici. Projekt za pridobitev gradbenega dovoljenja (PGD), april 1997. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG – Katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem: 13 str.

Širca, A., Četina, M. 2010. Porušitve pregrad. Slovenski vodar 21-22: str. 18-26.

Turk, M., R., Logar, J. 2004. Analiza obnašanja zemeljske pregrade Drtijiščica. V: Kryžanowski, A. (ur.), Sedej, A. (ur.). Aktualne teme v pregradnem inženirstvu – uporaba računalniških orodij pri načrtovanju in upravljanju velikih pregrad. 6. posvetovanje SLOCOLD. Ljubljana: str. 63.
http://www.slocold.si/zbornik/Z_6.pdf (Pridobljeno 31. 8. 2016.)

Ostali viri

GURS, 2016. Digitalni orto-foto (DOF 25). Državna topografska karta (DTK 5). Kataster stavb (KS). Osebna komunikacija. (Pridobljeno 11. 8. 2016.)

»Ta stran je namenoma prazna.«

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: PORUŠITEV PREGRADE DRTIJŠČICA – POPLAVNI VAL

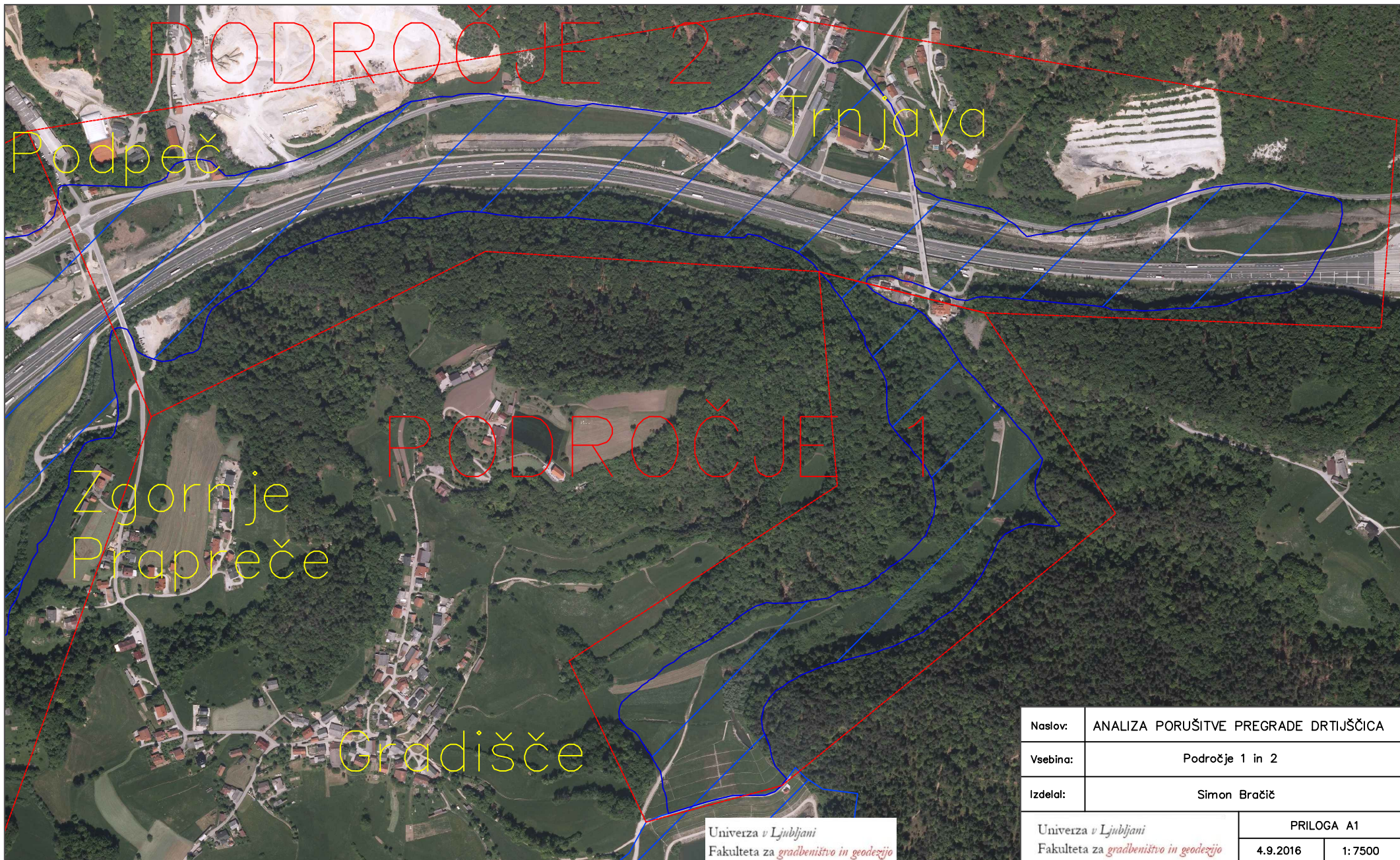
Priloga A1: Poplavno področje 1 in 2

Priloga A2: Poplavno področje 3

Priloga A3: Poplavno področje 4

Priloga A4: Poplavno področje 5

Priloga A5: Poplavno območje



PODROČJE 2

Podpeč

Trnjava

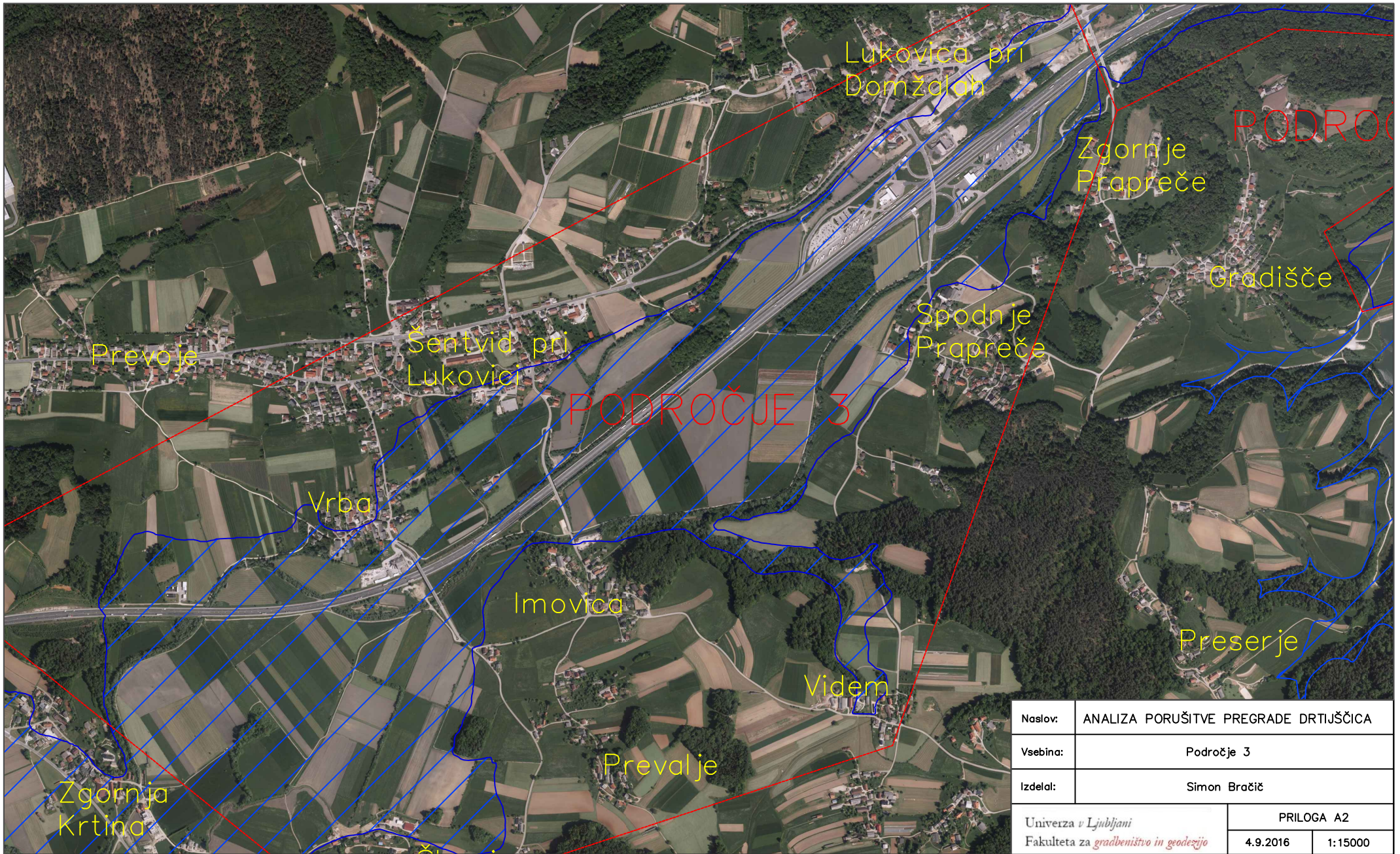
PODROČJE 1

Zgornje Prapreče

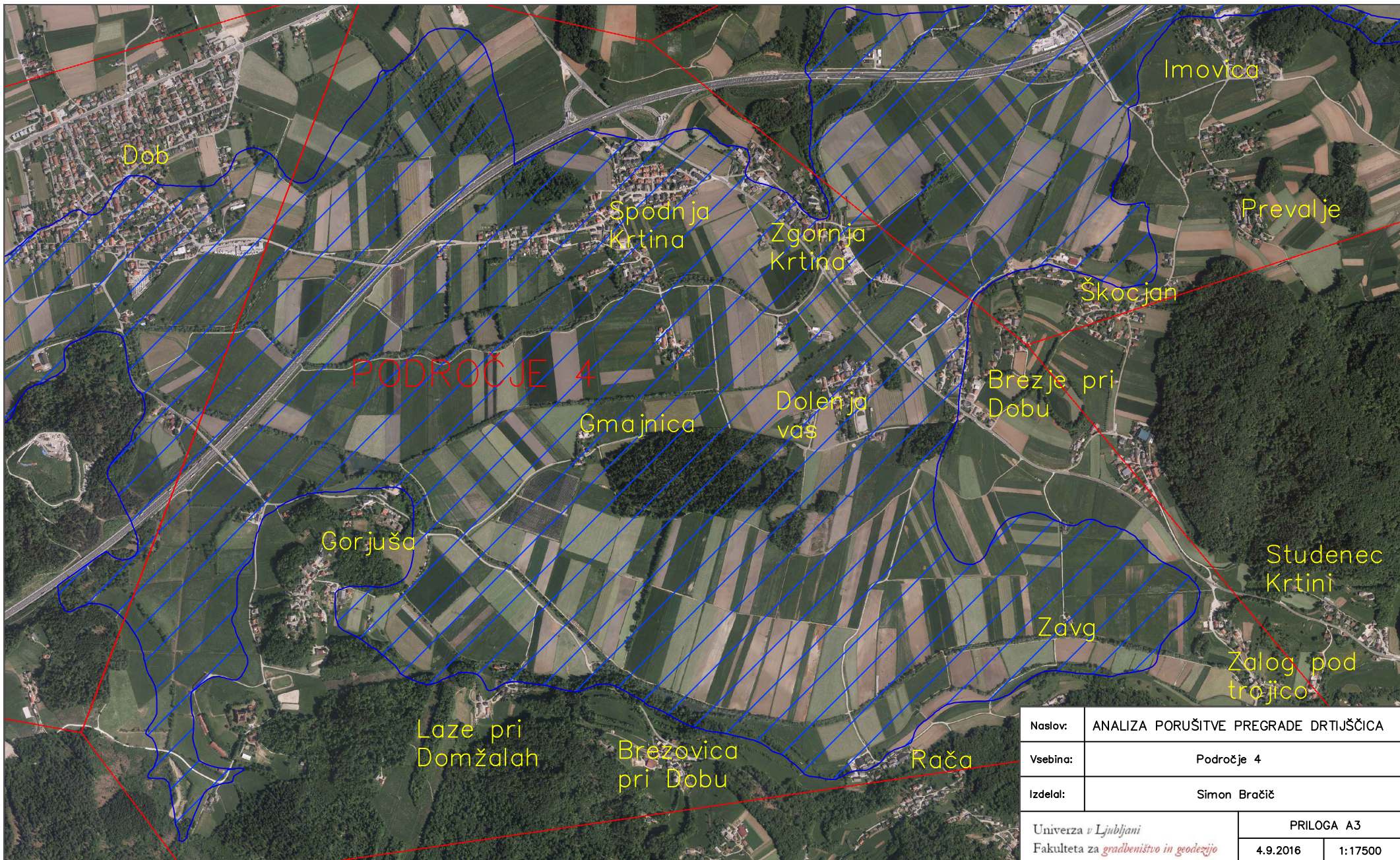
Gradišče

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za *gradbeništvo in geodezijo*

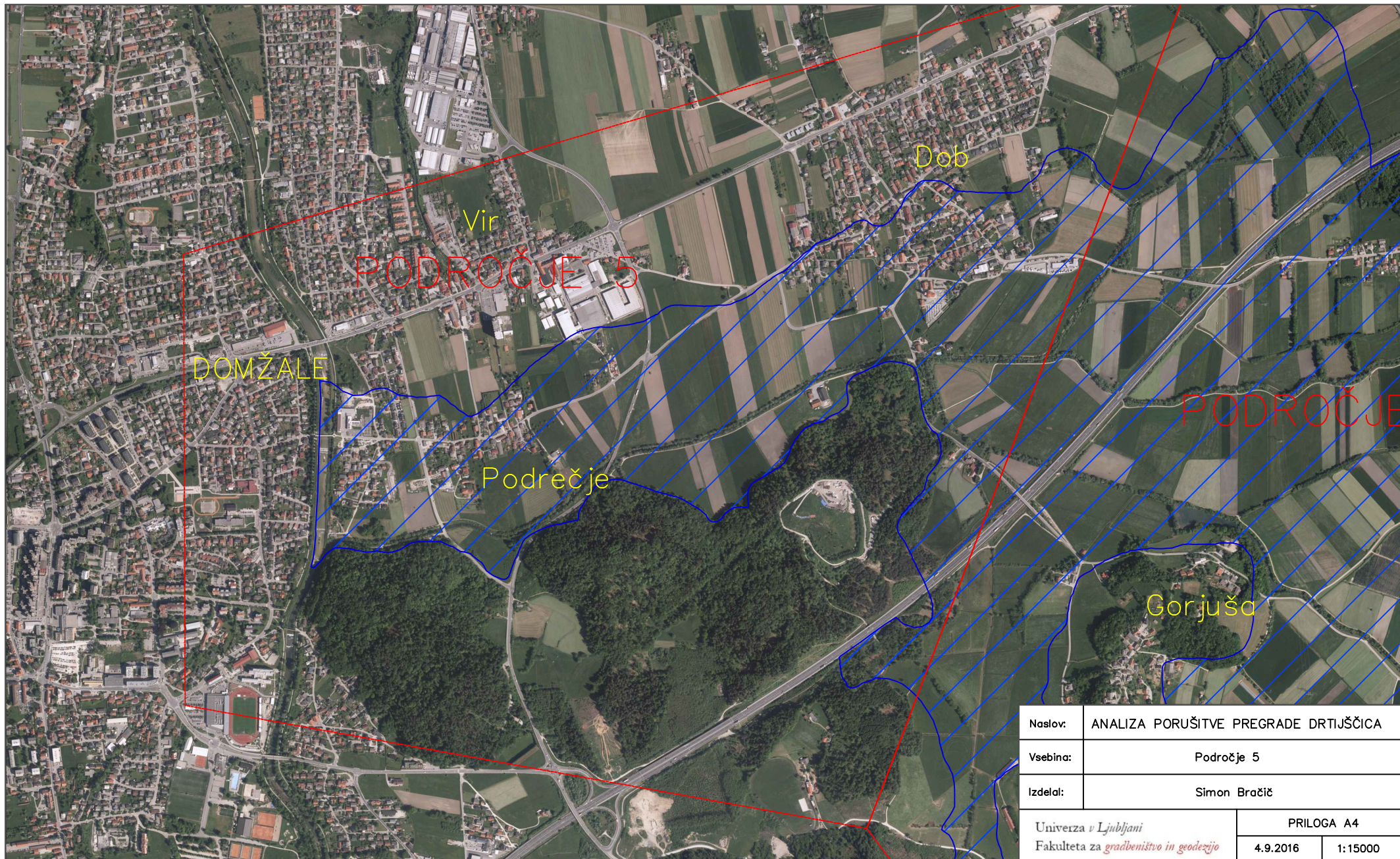
Naslov:	ANALIZA PORUŠITVE PREGRADE DRTIJSČICA		
Vsebina:	Področje 1 in 2		
Izdela:	Simon Bračič		
Univerza v Ljubljani Fakulteta za <i>gradbeništvo in geodezijo</i>	PRILOGA A1		
	4.9.2016		1:7500



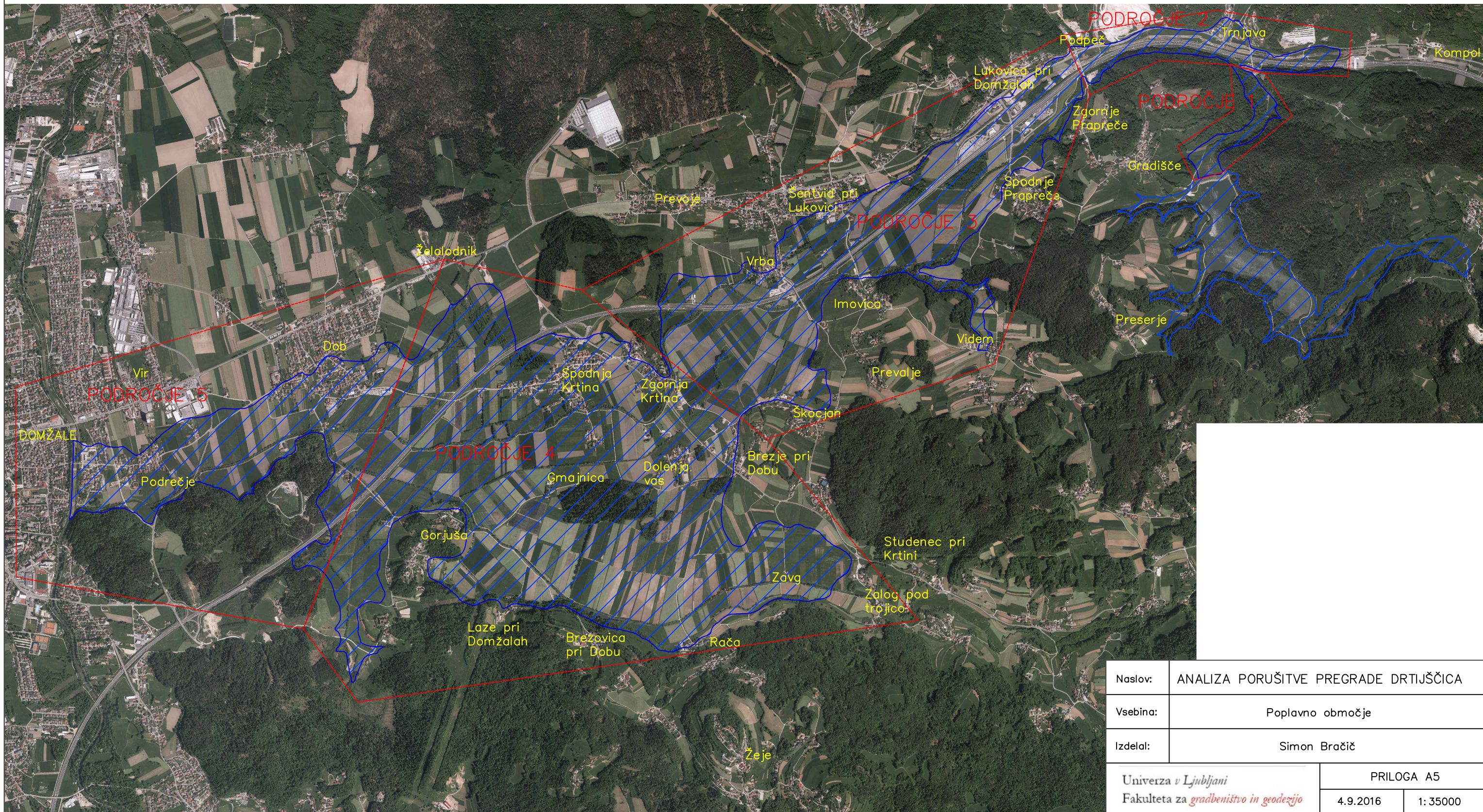
Naslov:	ANALIZA PORUŠITVE PREGRADE DRTIJSČICA	
Vsebina:	Področje 3	
Izdela:	Simon Bračič	
Univerza v Ljubljani		PRILOGA A2
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo		4.9.2016 1:15000



Naslov:	ANALIZA PORUŠITVE PREGRADE DRTIJSČICA	
Vsebina:	Področje 4	
Izdela:	Simon Bračič	
Univerza v Ljubljani Fakulteta za <i>gradbeništvo in geodezijo</i>	PRILOGA A3	
	4.9.2016	1:17500



Naslov:	ANALIZA PORUŠITVE PREGRADE DRTIJSČICA	
Vsebina:	Področje 5	
Izdela:	Simon Bračič	
Univerza v Ljubljani Fakulteta za <i>gradbeništvo in geodezijo</i>	PRILOGA A4	
	4.9.2016	1:15000



Naslov:	ANALIZA PORUŠITVE PREGRADE DRTIJSČICA	
Vsebina:	Poplavno območje	
Izdela:	Simon Bračič	
Univerza v Ljubljani Fakulteta za <i>gradbeništvo in geodezijo</i>	PRILOGA A5	
	4.9.2016	1: 35000