

HRVATSKO
DRUŠTVO ZA
ODVODNJU I
NAVODNJAVANJE



HRVATSKO
HIDROLOŠKO
DRUŠTVO

Okrugli stol

Zaštita od poplava u Hrvatskoj

ZBORNİK RADOVA





HRVATSKO DRUŠTVO
ZA ODVODNJU I NAVODNJAVANJE
(HDON)



HRVATSKO HIDROLOŠKO DRUŠTVO
(HHD)

Okrugli stol

***Zaštita od poplava
u Hrvatskoj***

ZBORNİK RADOVA

Vukovar, 18. - 19. listopada 2012.

Izdavač:
HRVATSKE VODE
Zagreb, Ulica grada Vukovara 220

Uredništvo:
dr.sc. Danko Biondić
dr.sc. Danko Holjević

Grafičko uređenje i priprema:
IO d.o.o. Rijeka

Realizacija:
IO d.o.o. Rijeka

ISBN 978-953-7672-06-5

CIP zapis dostupan u računalnom katalogu Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu pod brojem 819023

*Autori su u potpunosti odgovorni za sve što je iznijeto u njihovim radovima.
Izdavač, uredništvo Zbornika radova, te članovi Organizacijskog i znanstvenog odbora Okruglog stola s
time u svezi ne snose nikakvu odgovornost.*

OKRUGLI STOL
Zaštita od poplava u Hrvatskoj
Vukovar, 18. - 19. listopada 2012.

ZBORNIK RADOVA

Uredništvo:
dr.sc. Danko Biondić
dr.sc. Danko Holjević

Vukovar, 2012.

žnice u

g stola s

SADRŽAJ

UVOD

1. Dražen Kurečić, Elizabeta Kos, Ana Mesarić
ZAKONSKI OKVIR ZAŠTITE OD ŠTETNOG..... 1
DJELOVANJA VODA
2. Zoran Đuroković, Danko Biondić, Silvija Sitar
POPLAVE I OBRANA OD POPLAVA U REPUBLICI HRVATSKOJI
ULOGA I ZNAČENJE GLAVNOG CENTRA OBRANE OD POPLAVA 9
3. Danko Biondić, Danko Holjević, Sanja Barbalić, Vesna Grizelj Šimić, Darko Barbalić
SUVREMENI PRISTUP ZAŠTITI OD ŠTETNOG DJELOVANJA VODA 23
4. Ivan Iličić
ULOGA I ZADACI VODNOGOSPODARSKIH TRGOVAČKIH
DRUŠTAVA U PREVENTIVNOJ, REDOVNOJ I IZVANREDNOJ
OBRANI OD POPLAVA 37
5. Borivoj Terek, Krunoslav Mikec, Krešo Pandžić, Vlasta Tutiš
ULOGA I ZNAČENJE DRŽAVNOG HIDROMETEOROLOŠKOG
ZAVODA U OBRANI OD POPLAVA 45
6. Zdenko Lovrić, Igor Milić
ULOGA I ZNAČENJE DRŽAVNE UPRAVE ZA ZAŠTITU
I SPAŠAVANJE U OBRANI OD POPLAVA 59
7. Davorin Marković, Neven Trenc
ZAŠTITA PRIRODE I OBRANA OD POPLAVA 75
8. Zdenko Mahmutović, Zlatko Pletikapić, Željko Pavlin
VIŠENAMJENSKI SUSTAVI UREĐENJA I KORIŠTENJA VODA
I ZEMLJIŠTA - STANJE I RAZVOJNE ODREDNICE 81
9. Lidija Kratofil, Vesna Tusić, Dražen Budišić, Arijana Senić, Marina Barbalić
ZAŠTITA OD POPLAVA NA SLIVU SAVE -
STANJE I RAZVOJNI PROJEKTI 95
10. Ljiljana Pavletić, Goran Petrović
ZAŠTITA OD POPLAVA NA PRIMORSKO-
ISTARSKIM SLIVOVIMA - STANJE I RAZVOJNI PROJEKTI 113

-
11. Igor Ljubenkov, Berislav Glavaš, Živko Barbarić
**ZAŠTITA KRŠKIH POLJA OD POPLAVA U DALMACIJI
- PRIMJER IMOTSKO-BEKIJSKO POLJE** 125
 12. Mladen Petrićec, Renata Vidaković Šutić
**ISKUSTVA U PRIPREMI PRETHODNIH (PRELIMINARNIH)
PROCJENA POPLAVNIH RIZIKA** 137
 13. Neven Kuspilić, Kristina Potočki, Gordon Gilja
ZAŠTITA OD BUJIČNIH POPLAVA SUSTAVOM RETENCIJA 157
 14. Nevenka Ožanić, Željko Arbanas, Snježana Mihalić Arbanas, Ivana Sušanj,
Elvis Žic, Igor Ružić, Nevena Dragičević
**HRVATSKO-JAPANSKI PROJEKT O POPLAVAMA
I KLIZIŠTIMA: ZNANSTVENE AKTIVNOSTI I PRIMJENA
REZULTATA** 171
 15. Lidija Hubalek, Ljiljana Klasanović
VODNI PUTOVI - STANJE I RAZVOJNE ODREDNICE 189
 16. Dragutin Petošić, Josip Marušić, Franjo Tomić, Ivan Mustać, Ivo Stričević
**ULOGA, ZNAČAJ I SVRSISHODNOST MELIORACIJSKE ODVODNJE
U FUNKCIJI ZAŠTITE OD POPLAVA U HRVATSKOJ** 207

OKRUGLI STOL

Zaštita od poplava u Hrvatskoj

Vukovar, 18. - 19. listopada 2012.

HRVATSKO - JAPANSKI PROJEKT O POPLAVAMA I KLIZIŠTIMA: ZNANSTVENE AKTIVNOSTI I PRIMJENA REZULTATA

prof.dr.sc. Nevenka Ožanić ^a, prof.dr.sc. Željko Arbanas ^b,
prof.dr.sc. Snježana Mihalić Arbanas ^c, Ivana Sušanjanj ^d, mr.sc. Elvis Žic ^e,
Igor Ružić ^f, Nevena Dragičević ^g

SAŽETAK

Glavne aktivnosti istraživača u okviru znanstvenog hrvatsko-japanskog projekta "Identifikacija rizika i planiranje korištenja zemljišta za ublažavanje posljedica klizanja i poplava u Hrvatskoj" su istraživanja pojava poplava, blatnih tokova i aktivnih klizišta uz uspostavu monitoringa, zatim uspostava sustava ranog upozoravanja za poplave i klizišta prilagođenog hidrološkim i geološkim uvjetima u Hrvatskoj i definiranje zona hazarda primjenom metoda za procjenu osjetljivosti i hazarda na osnovi lokalnih geoloških uvjeta. Konačni cilj zajedničkog istraživanja je razvoj mjera za ublažavanje rizika koje bi se primjenjivale u sustavu prostornog uređenja. Diseminacija rezultata istraživanja i njihova praktična primjena predstavljat će doprinos za lokalne i

^a Građevinski fakultet, Sveučilište u Rijeci, Radmile Matejčić 3, Rijeka, 51.000, Republika Hrvatska, nevenka.ozanic@gradri.hr

^b Građevinski fakultet, Sveučilište u Rijeci, Radmile Matejčić 3, Rijeka, 51.000, Republika Hrvatska, zeljko.arbanas@gradri.hr

^c Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Pierottijeva 6, Zagreb, 10.000, Republika Hrvatska, snjezana.mihalic@rgn.hr

^d Građevinski fakultet, Sveučilište u Rijeci, Radmile Matejčić 3, Rijeka, 51.000, Republika Hrvatska, ivana.susanjanj@gradri.hr

^e Građevinski fakultet, Sveučilište u Rijeci, Radmile Matejčić 3, Rijeka, 51.000, Republika Hrvatska, elvis.zic@gradri.hr

^f Građevinski fakultet, Sveučilište u Rijeci, Radmile Matejčić 3, Rijeka, 51.000, Republika Hrvatska, igor.ruzic@gradri.hr

^g Građevinski fakultet, Sveučilište u Rijeci, Radmile Matejčić 3, Rijeka, 51.000, Republika Hrvatska, nevena.dragicevic@gradri.hr

regionalne zajednice koje su izravno ili neizravno ugrožene poplavama rijeka i bujica te klizištima.

KLJUČNE RIJEČI: Poplave; Hazard; Klizišta; Sustavi ranog upozoravanja; Zoniranje hazarda.

1. UVOD

Projekt "Identifikacija rizika i planiranje korištenja zemljišta za ublažavanje posljedica klizanja i poplava u Hrvatskoj" ("Risk Identification and Land-Use Planning for Disaster Mitigation of Landslides and Floods in Croatia") pokrenut je 2008., kada je izabran na natječaju kao jedan od projekata u programu "Znanstveno i tehnološko istraživačko partnerstvo za održivi razvoj" (Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development, SATREPS) kojeg financiraju Japanska agencija za znanost i tehnologiju (Japan Agency for Science and Technology-JST) i Japanska agencija za međunarodnu suradnju (Japan International Cooperation Agency-JICA). U okviru SATREPS programa omogućeno je zajedničko istraživanje japanskih i hrvatskih znanstvenika, a iz programa se financiraju troškovi međunarodne razmjene istraživača i donira se oprema za implementaciju aktivnosti projekta. Japanske partnerske institucije u projektu su Sveučilište u Niigati (The Research Center for Natural Hazards and Disaster Recovery), Sveučilište u Kyotu (Disaster Prevention Research Institute, DPRI) i neprofitna organizacija Međunarodni konzorcij za klizišta (International Consortium on Landslides, ICL). Projekt je sufinanciran i nadziran od strane Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta RH. Hrvatske partnerske institucije u projektu su tri hrvatska sveučilišta, Sveučilište u Rijeci (Građevinski fakultet), Sveučilište u Zagrebu (Rudarsko-geološko-naftni fakultet i Agronomski fakultet) i Sveučilište u Splitu (Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije), kao i Hrvatski geološki institut. Predviđena vrijednost projekta je 4 milijuna USD, duljina trajanja projekta 5 godina, a u njemu sudjeluje približno 15 istraživača iz Japana, te 20-tak iz Hrvatske. Voditelj projekta s japanske strane je prof.dr.sc. Hideaki Marui iz Sveučilišta u Niigati, a voditelj s hrvatske strane je prof.dr.sc. Nevenka Ožanić sa Sveučilišta u Rijeci. U okviru ovog projekta provode se međunarodna istraživanja koja se bave procjenom i ublažavanjem hazarda i rizika od poplava i klizišta u Hrvatskoj. Jedan od glavnih ciljeva projekta je analiza geohazarda i razvoj smjernica za primjenu rezultata projekta u sustavu prostornog uređenja. Aktivnosti projekta provode se na pilot područjima koja se nalaze u blizini gradova gdje su smještena tri partnerska hrvatska sveučilišta, u Rijeci, Zagrebu i Splitu. U okviru projekta provode se više grupa istraživanja i analiza: 1) identifikacija i kartiranje klizišta, 2) sustavni složeni monitoring klizišta, 3) ispitivanje fizičkih i mehaničkih svojstava tala i stijena, 4) modeliranje dinamike klizanja tla, 5) modeliranje propagacije poplavnih valova i blatnih tokova; 6) kontinuirani monitoring toka sedimenata, 7) zoniranje osjetljivosti i hazarda klizanja, 8) uspostavljanje sustava ranog upozoravanja i 9) razvoj mjera ublažavanja rizika kroz sustav prostornog uređenja. Aktivnosti projekta organizirane

su u tri radne grupe. Cilj ovoga rada je dati kratak prikaz aktivnosti projekta kao i praktičnu primjenu rezultata istraživanja s posebnim naglaskom na aktivnosti radne grupe za poplave i bujice.

U okviru Radne grupe za klizišta (WG1) provoditi će se aktivnosti sustavnog složenog monitoringa klizišta u realnom vremenu, laboratorijske analize uzoraka tla te numeričke analize ponašanja klizišta u statičkim i dinamičkim uvjetima na odabranim klizištima. Laboratorijsku opremu, uključujući novo razvijeni prstenasti aparat za izravno smicanje, software za analize stabilnosti klizišta i opremu za sustave sveobuhvatnog monitoringa klizišta donirati će Vlada Japana.

U okviru Radne grupe za poplave i bujice (WG2) provoditi će se aktivnosti sustavnog opažanja meteoroloških i hidroloških parametara na predviđenim slivnim područjima i koritima vodotoka (rijekama, bujicama i bujičnim područjima) u realnom vremenu, numeričke i hidrološke analize mjerenih parametara, te izrada simulacijskih modela poplava, bujica, blatnih tokova i tečenja na analiziranim područjima za potrebe izrade sustava ranog upozoravanja na spomenute pojave, a sve prilagođeno hidrološkim i geološkim uvjetima u Hrvatskoj. Neophodnu mjernu i istraživačku opremu, software-ske programe, te opremu za sustave meteoroloških i hidroloških opažanja u najvećem će dijelu donirati Vlada Japana za potrebe analize odabranih istražnih područja u okolici Rijeke i Splita. Dio opreme osigurao je Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci. Aktivnostima Radne grupe 3 (WG3) obuhvaćen je razvoj inventara klizišta pomoću tehnika daljinskih istraživanja (Colombo et al. 2005, Harp et al. 2010) te razvoj metoda analize i zoniranja hazarda klizanja (Chércon et al. 2006, Van Westen et al. 2008, Fell et al. 2008). Softver i hardver, kao i ulazne podatke, koji uključuju stereo parove avionskih snimaka, digitalne modele visina, podatke LiDAR-a (eng. Light Detection and Ranging) i satelitske snimke, donirat će Vlada Japana. Aktivnosti projekta koje slijede su primjena rezultata projekta (karata i digitalnih podataka) u jedinicama lokalne uprave, u obliku uputa za primjenu u sustavu prostornog uređenja i gradnje.

U studenom 2010., te u prosincu 2011. godine u Hrvatskoj su organizirane znanstvene radionice projekta sa svrhom diseminacija rezultata projekta između članova projekta, ali i znanstvenika iz drugih institucija iz regije. Radionice su doprinijele i uspostavljanju regionalne suradnje, što je značajno za održivost rezultata projekta i nakon što on završi u ožujku 2014. godine.

2. AKTIVNOSTI PROJEKTA KOJE SE ODNOSU NA MONITORING KLIZIŠTA I RAZVOJ SUSTAVA ZA RANO UPOZORAVANJE (WG1)

Cilj radne grupe za klizišta (WG1) je uspostaviti metodologiju sustavnog složenog monitoringa u realnom vremenu aktivnih značajnih klizišta u Hrvatskoj na osnovi postojećih rezultata istraživanja dopunjenih novim in situ i laboratorijskim istraživanjima i analizama ponašanja klizišta. Nova in situ i laboratorijska istraživanja i rezultati monitoringa omogućiti će odgovarajuće 3D analize ponašanja odabranih

klizišta, koje bi ukazale na mogući hazard i rizik od daljnjeg razvoja klizanja u nepovoljnim uvjetima i ponovljenim pojavama uzroka klizanja (eng. triggering factors). Rezultati uspostavljenog sustava monitoringa trebali bi ukazati na efikasnost i adekvatnost uspostavljenog sustava i potrebe modifikacije sustava u sličnim uvjetima. Pri tome se uspostavljeni sustavi monitoringa ne bi koristili samo u istraživačke svrhe, već bi uspostavljanje sustava monitoringa slijedilo i uspostava sustava ranog upozorenja na moguće opasnosti kao posljedice daljnjeg pokretanja klizanja. Uspostavljeni sustav ranog upozoravanja omogućio bi službama za krizne situacije lokalnih zajednica, na kojima su smještena promatrana klizišta, korištenje sustava monitoringa i podataka o ponašanju klizišta te odgovarajuće intervencije za prevenciju opasnosti ili odgovarajuće naznake o potrebnim mjerama evakuacije i zaštite stanovništva i materijalnih dobara. S obzirom na postojeće stanje sustava ranog upozoravanja i djelovanja službi za krizne situacije, uspostava sustava svakako predstavlja i značajno unaprjeđenje u uspostavljanju sustava u slučaju pojava složenih situacija izazvanih prirodnim nepogodama.

Pri provođenju numeričkih 3D analiza ponašanja odabranih klizišta na novim in situ i laboratorijskim ispitivanjima materijala iz kliznih tijela odabranih klizišta, značajnu će ulogu imati ispitivanje tla u prstenastom aparatu za izravno smicanje (Sassa et al. 2003; Sassa et al. 2004; Okada et al. 2004; Fukuoka et al. 2006) posebno razvijenom za ispitivanje tla u statičkim i dinamičkim lokalnim uvjetima na odabranim klizištima u Hrvatskoj. Rezultati dobivenih ispitivanja tla u prstenastom aparatu za izravno smicanje trebali bi omogućiti provođenje analiza koje će ukazati na razvoj i propagaciju kliznog tijela nakon ponovnih nastanka opasnosti (hazard) koje slijede iz reaktivacije analiziranih klizišta u statičkim i dinamičkim uvjetima (Sassa et al. 2010).

U okviru istraživanja Radne grupe za klizišta (WG1) odabrana su dva pilot područja istraživanja karakteristična po tipu i značajkama klizišta, izuzetno značajna s obzirom na sadašnji i mogući socijalni utjecaj na društvenu zajednicu (Mihalić et al. 2010a). Klizište Grohovo, višestruko reaktivirano klizište u zaleđu grada Rijeke, tipično je za klizišta na flišnim kosinama, s višestrukim posljedicama u povijesti, kao i vjerojatnim potencijalnim hazardom za grad Rijeku u budućnosti (Benac et al. 2005). Klizište Kostanjek u Podsljemenkoj zoni odabrano je zbog svoje veličine, nastalih oštećenja i mogućeg rizika pri daljnjem razvoju klizanja, a isto predstavlja uzrok značajnih ograničenja u razvoju grada Zagreba (Ortolan 1996.).

3. AKTIVNOSTI PROJEKTA KOJE SE ODNOSU NA RADNU GRUPU ZA POPLAVE I BLATNE TOKOVE (WG2)

Radna grupa za poplave i bujice (WG2) planira mjerenjem i analizom podataka o meteorološkim, hidrološkim i geološkim uvjetima izraditi simulacijske modele tečenja (poplavni valovi i blatni tokovi), te razviti sustav ranog upozorenja na analiziranim pilot područjima u Hrvatskoj. Uspostava sustavnog monitoringa u realnom vremenu

na analiziranim područjima temeljiti će se na postojećim rezultatima istraživanja dopunjenih novim istraživanjima i rezultatima analiza.

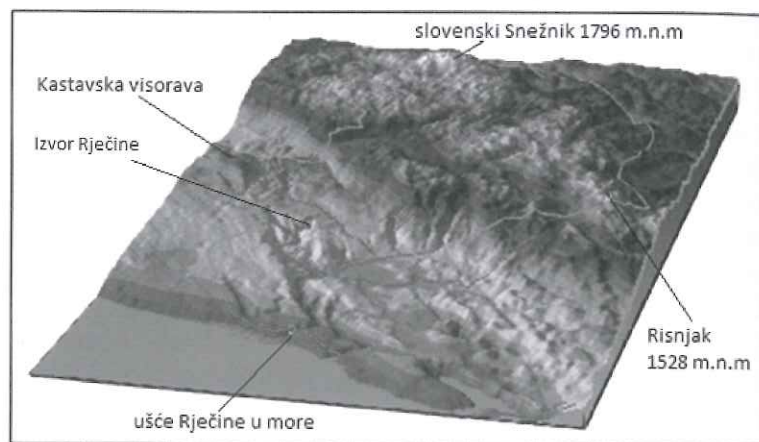
U okviru in situ i laboratorijskih hidrotehničkih istraživanja, predviđena je instalacija mjerne opreme za prikupljanje meteoroloških podataka, prvenstveno o kratkotrajnim intenzivnim oborinama, tlaku zraka, relativnoj vlazi zraka i drugo, te mjerne opreme za prikupljanje hidroloških podataka i razina podzemne vode i drugo. Osim novoprikupljenih podataka koristiti će se i povijesni nizovi vremenskih serija meteoroloških i hidroloških podataka (nadležne institucije). Laboratorijski istražni radovi obuhvatiti će izradu fizikalnih modela i simulaciju tečenja za različite scenarije pojava poplava i blatnih tokova.

Rezultati uspostavljenog sustava meteorološkog i hidrološkog monitoringa trebali bi ukazati na efikasnost i adekvatnost uspostavljenog sustava i potrebe eventualne modifikacije istog u sličnim uvjetima. Osim u istraživačke svrhe, uspostavljeni sustavi monitoringa omogućili bi službama za krizne situacije lokalnih zajednica korištenje podataka i sustava monitoringa za odgovarajuće intervencije za prevenciju opasnosti ili za odgovarajuće naznake o potrebnim mjerama evakuacije i zaštite stanovništva i materijalnih dobara. S obzirom na postojeće stanje ovakvih sustava ranog upozoravanja i djelovanja službi za krizne situacije, uspostava ovakvih sustava predstavlja i značajno unaprjeđenje u uspostavljanju sustava u slučaju pojava složenih nepovoljnih situacija izazvanih prirodnim nepogodama.

Sustav monitoringa predviđen je u realnom vremenu. Uspostavljeni sustav omogućiti će stalni prijenos mjerenih podataka u kontrolni centar i javno dostupnu prezentaciju monitoringa. Kontinuirani monitoring i stalni prijenos podataka, zajedno s izrađenim simulacijskim modelima omogućiti će uspostavu sustava ranog upozoravanja na opasnost od poplava i pojave bujičnih provala, te njihovu koincidenciju s pojavom klizišta (Grohovo, Slani potok). U okviru istraživanja Radne grupe za poplave i bujice (WG2) odabrana su za sada četiri pilot područja istraživanja i to tri u Rijeci i jedan u Splitu. Nastavno će biti detaljnije opisane značajke pilot područja u okolici Rijeke i na njima predviđena istraživanja u okviru projekta. Naime, na tim je područjima većim dijelom instalirana oprema, započeta su pojedina mjerenja u ožujku 2010. i napravljene su osnovne hidrološke analize.

3.1. Sliv Rječine nizvodno od klizišta Grohovo

Rječina je vodotok kojemu glavninu protoka čine vode njezina jakog krškog izvora koji je smješten na nadmorskoj visini od 325 m n. m. Ukupna duljina vodotoka Rječine iznosi 18,63 km, površina neposrednog sliva oko 54 km², a ukupna površina slivnog područja s koje se izvor Rječine i povremena izvorišta na području Grobničkog polja prihranjuju je višestruko veća (slika 1.).



Slika 1. Granica sliva Rječine

Rječina ima nekoliko pritoka, od kojih je najznačajnija Sušica - povremeni lijevoobalni vodotok koji prikuplja vode s Grobničkog polja, te utječe u Rječinu uzvodno od akumulacije Valići. Na donjem dijelu toka neposredno u urbanom dijelu Rijeke u Rječinu utječu i prelivne vode izvora Zvir (2,5 m n. m.) - glavnog riječkog izvorišta koje se u punoj mjeri koristi za potrebe javne vodoopskrbe u razdobljima smanjenih izdašnosti i presušivanja izvora Rječine. Vode Rječine dijelom se i energetske koriste u HE Rijeka. Od 1968. godine. u uporabi je brana Valići (na stacionaži 7+460 km), kote praga preljeva od 225,5 m n. m.) s pripadajućim dnevnim kompenzacijskim bazenom volumena 0.7 milijuna m³, odakle se voda skreće na postrojenje Hidroelektrane Rijeka (Benac et al. 2005.).

Rječina je tipičan krški vodotok koji svoj tok započinje u vidu jakog krškog vrela. Srednji godišnji protok izvora Rječine iznosi 7,76 m³/s. Izvor u ljetnim mjesecima povremeno potpuno presuši dok njegov maksimalni protok iznosi preko 100 m³/s, a na analiziranom hidrološkom profilu Grohovo oko 250 m³/s (Rubinić, Ožanić 1997.).

Iako Rječina ima odlike vodotoka u kršu, pojave velikih voda mogu biti značajne. Tako je kao posljedica izuzetno intenzivne kiše u slivu, dana 19. listopada 1898., formiran katastrofalni poplavni val Rječine s grubo procijenjenim maksimalnim protokom od preko 1.000 m³/s, odnosno značajnije većim od proračunatog za 100-godišnji povratni period. Zbog toga je u razdoblju 1898. - 1908. (za vrijeme austrougarske uprave ovim područjem) uzvodno od mosta Pašac pa do brane Valići izgrađen niz konsolidacijskih stepenica da bi se ublažile posljedice poplava.

U okviru Radne grupe za poplave i bujice (WG2) predviđeno je da se nakon prikupljanja meteoroloških, hidroloških te podataka dobivenih od Radne grupe za klizišta (WG1), naprave matematički i fizikalni modeli za različite scenarije kretanja poplavnih vodnih valova, kretanja tla i kamenog materijala zajedno s vodom po

koritu Rječine - sve do središta grada Rijeke uključujući i moguće scenarije posljedica tih aktivnosti. Za realizaciju spomenutih istraživanja i modeliranja neophodna je uspostava sustava za motrenje i bilježenje neophodnih parametara u realnom vremenu i to ombrografa, limnigrafa, satelitskih radara, mjerača protoka (na temelju Doppler-efekta), piezometara za praćenje razina podzemne vode i drugo. Koristiti će se i do sada prikupljeni povijesni podaci sa postojećih meteoroloških i hidroloških postaja, kao i postojeći već izvedeni hidrotehnički i drugi mjerni objekti na lokaciji



Slika 2. Mjerni kanali i pozicije na kojima će biti ugrađena mjerna oprema za mjerenje hidroloških parametara



Slika 3. Izvedeni hidrotehnički objekti koji će se koristiti za mjerenje protoka površinskih obalnih voda

(slike 2. i 3.).

U okviru rada Radne grupe za klizišta WG1 biti će uspostava složenog integriranog sustava monitoringa u realnom vremenu koji će biti instaliran i uspostavljen na klizištu Grohovo. Rezultati tih mjerenja i analiza biti će korišteni također i kao ulazni podatak za hidrotehnička modeliranja mogućih scenarija tečenja poplavnih valova i bujičnih tokova, te pojava raznih opasnosti za ljudske živote i materijalna dobra opisana u ranijim poglavljima. Rezultat će biti 3D hidraulički matematički i fizikalni modeli za određivanja hazarda i rizika mogućih budućih pojava i propagacije velikih vodnih valova u koritu Rječine.

3.2. Sliv rijeke Dubračine

Sliv rijeke Dubračine nalazi se u središnjem dijelu Vinodolske doline. Izdvojena je geografska cjelina istočnog kvarnerskog prostora. U geografskom smislu Vinodol je jedinstvena prostorna cjelina između Križišća na sjeverozapadu i Novog Vinodolskog



Slika 4. Situacijski položaj sliva rijeke Dubračine

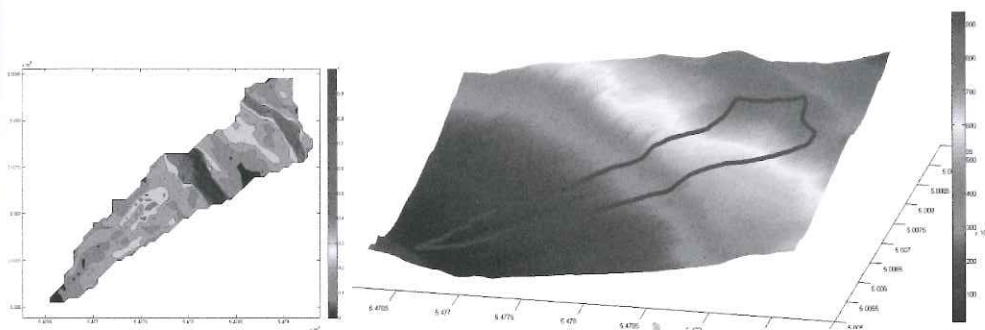
na jugoistoku te primorja uz Vinodolski kanal (Arbanas et al. 2011.) (slika 4.).

Na području Vinodolske doline nalaze se dva glavna vodotoka koja se ulijevaju u Jadransko more i to Dubračina u Crikvenici i Novljanska Ričina u Novom Vinodolskom. Sliv Dubračine je svojom neposrednom površinom i vodnom bilancom najveći i najznačajniji vodotok (Rubinić 2010.).

Sliv Slanog potoka površine je oko 2 km². Pruža se od 50 do 700 m n. m. (slika 5.). Donji dio sliva površine 0,9 km² prekriven je flišom, te čini glavninu površinskog otjecanja. Gornji dio sliva je većinom krška zaravan sa koje su otjecanja zanemariva. Zbog toga su koeficijenti otjecanja Slanog potoka računati sa površinom sliva od 0,9 km², koja odgovara površini prekrivenoj flišom. U zoni kontakta fliša i krša nalazi se više preleivnih izvora koji čine glavninu vodne bilance u sušnom razdoblju. Sliv Slanog potoka je primjer kombiniranog djelovanja erozije. Popratne pojave oko žarišta

erozije, kao i u njemu samom, brojna su klizišta kao posljedica trošenja matičnih stijena flišnoga kompleksa i pretvaranja stijene u inženjersko tlo. Zahvaćena površina je veličine oko 3 km² pa su ugrožena okolna naselja Belgrad, Baretići, Grižane i Kamenjak, te okolne ceste. Retencije su gotovo u potpunosti ispunjene nanosom, uglavnom muljem.

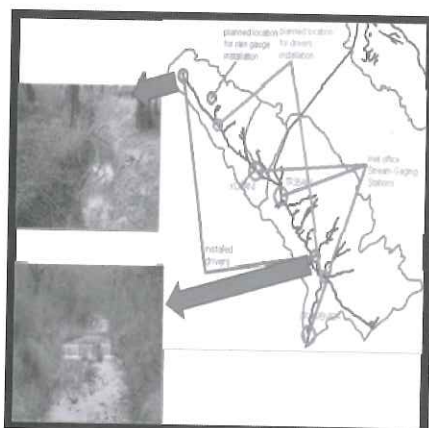
Na slivnom području dolazi do premrežavanja stijenskih pukotina kroz koje prodire padalinska voda. Posljedica je razrahljivanje i razgradnja stijena, kao i njihovo postupno pretvaranje u inženjersko tlo. Tako nastao deluvijalni materijal ima svojstvo deformabilnosti plastičnim tečenjem, posebice kada je saturiran vodom. U određenim okolnostima te naslage su nestabilne pa nastaju klizišta slična onima na drugim lokacijama u Vinodolskoj dolini. Unatoč brojnim mjerama sanacije provedenih tijekom cijelog 20. stoljeća i dalje je izražen proces sveopće degradacije terena pa se navodi da stanje poprima svojstva "trajne elementarne nepogode" (Benac et al., 2009.). Srednji nagib sliva je 22%, nagibi se kreću u rasponu od 5% do 100% (slika 5.), što sliv karakterizira kao veoma strm i pogodan za procese erozije. Vrijeme koncentracije



Slika 5. Karta nagiba sliva Slanog potoka u slivu Dubračine

sliva po Kirpichu je 15 minuta. Ako se razmotri dio sliva na flišnoj podlozi srednji nagib sliva je 19%, vrijeme koncentracije je 9 minuta.

U sklopu istraživanja u okviru WG2 uspostavljena su stalna mjerenja vodostaja na dva hidrološka profila (Slani potok i izvor Dubračine) sa minutnom frekvencijom mjerenja vodostaja. Vodostaji su mjereni tlačnim sondama Mini Diver proizvođača Schlumberger Water Services. Atmosferski pritisak je kompenziran podacima prikupljenim uređajem Baro Diver. Oborine su mjerene uređajem OTT-pluvio, razlučivosti mjerenja intenziteta oborina do jedne minute. Na slici 6 prikazane su lokacije postavljene opreme. Udaljenost kišomjerne postaje od sliva Slanog potoka je osam kilometara što može uzrokovati određena odstupanja izmjerenih od stvarnih oborina u slivu. U daljnjim fazama projekta postaviti će se veći broj meteoroloških, oborinskih i hidroloških stanica ovisno o potrebama, te satelitski radar koji će biti instaliran na zgradu Građevinskog fakulteta u Rijeci i pokrivati sva tri pilot područja.



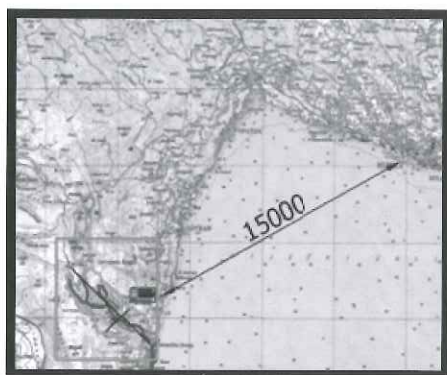
Slika 6. Lokacije postavljanja mjerne opreme i prikaz mjernih profila

Kako su uzroci nestabilnosti padina u slivu Dubračine u većini slučajeva inženjerska svojstva tala nastalih trošenjem, geomorfološki procesi (fluvijalna erozija nožica padina) i fizički procesi (intenzivna kratkotrajna oborina), spomenute su pojave i najčešći inicijator pojave klizanja i blatnih tokova. Planira se napraviti detaljan digitalni elevacijski model terena šireg područja vodotoka Dubračine i Slanog potoka kao podloga za izradu numeričkog modela propagacije blatnog toka na slivu Dubračine (primjena metode konačnih elemenata - FLO-2D, SOLVEC, SICONOS, LGMC-90). Cilj je dobiti prikaz terena u digitalnoj formi, te numerički model tečenja u slivu. Podloga je to za izradu sustava za rano uzbunjivanje koji bi bio od koristi Hrvatskim vodama i lokalnoj zajednici.

3.3. Sliv bujice Mošćenička Draga

Sliv bujičnog vodotoka Mošćenička Draga površine je oko 11 km², a prostire se od kote 0 m n. m. do 1.300 m n. m. uz srednju nadmorsku visinu sliva od 563 m n. m. Sliv karakterizira veliki pad terena, posljedica čega su značajna površinska otjecanja pri intenzivnim oborinama, te erozijski procesi u slivu. U koritu bujice nalaze se veće količine vučenog nanosa. Većina nanosa producira se iz područja napuštenog kamenoloma, dok manji dio nanosa nastaje erozijskim procesima u slivu bujice. Godine 1999. izvedena je regulacija bujice uzvodno od ceste Rijeka - Pula u sklopu koje je napravljena pregrada u svrhu zadržavanja bujičnog nanosa. Akumulacijski dio objekta ($V = 1200 \text{ m}^3$) bio je zapunjen nanosom nakon dvije godine.

Godišnje procjene produkcije vučenog nanosa kreću se između 450 do 675 m³, (Hrvatske vode, 1988.). U slučaju oborina većeg inteziteta, moguće je da se akumulacija relativno brzo popuni nanosom, te prenošenje nanosa preko pregrade i propagacija kroz regulirani dio bujice. Na kraju i do akumuliranja nanosa na samom ušću bujice. Mjesto Mošćenička Draga locirano je 15 km sjeverozapadno od Rijeke uz samo ušće bujičnog vodotoka (slika 7.).



Slika 7. Situacija sliva bujice Mošćenička Draga

daleko je poznato po žalu koje je simbol mjesta i okosnica turističke ponude. Onošeni je nanos prije regulacije prirodnim načinom dohranjivao žalo, te je nakon izgradnje hidrotehničke pregrade došlo do značajnog smanjenja količine površine koja se pokušalo kompenzirati umjetnom dohranom žala. Umjetna dohrana je nepovoljna, ali i nepovoljna za ekosistem okolnog podmorja zbog velikog udjela zemljanog materijala. Kako je zbog izgradnje hotela Mediteran ušće vodotoka u more popločeno kamenom, pitanje je vremena kada će se dogoditi značajnija poplava samog naselja Mošćenička Draga (slika 8.).



Slika 8. Ušće bujice Mošćenička Draga u more u blizini hotela Mediteran

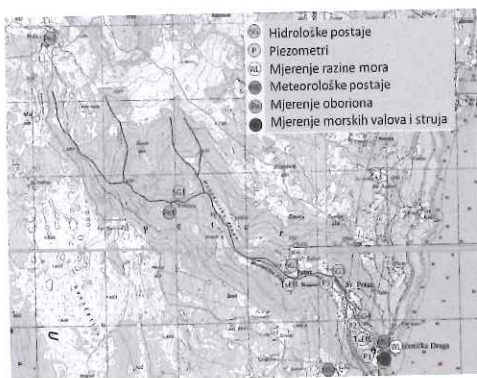
Glavni problemi moglo bi biti u slučaju koincidencije intenzivnih kratkotrajnih poplava na slivnom području bujice, posljedica kojih mogu biti značajno veće protoke kroz koritu bujice s povišenim razinama mora i valovima koji se ulaze u sam kanal bujice, te mogu dodatno smanjiti poticajni kapacitet vodotoka. Potencijalno moguće nakupljanje nanosa na ušću dodatno bi nepovoljno utjecalo na poplavu urbanih područja u slivu bujice. Do sada su zabilježena plavljenja područje Mošćeničke Drage, kao posljedica istjecanja podzemnih voda (slika 9.).



Slika 9. Plavljenje naselja Mošćenička Draga 1998. godine

Jedan od ciljeva ovog dijela istraživanja je procjena opasnosti poplavlivanja mjesta Mošćenička Draga, te razvoj konceptualnog modela zaštite od poplave sa mogućom propagacijom i akumulacijom vučenog nanosa, te utjecaj izgradnje hidrotehničkih objekata na žalo. Naime, izgradnjom objekata obrane od poplave zaustavljen je pronos vučenog nanosa, a time i prirodna dohrana žala, što već dokazano predstavlja velik problem na sličnim lokalitetima u obalnom području Hrvatske (Baška - Krk, Beli - Cres, Makarska, Bol - Brač).

U sklopu projekta predviđeno je istraživanje mehanizama taloženja bujičnog nanosa, uvjeta njegova taloženja u koritu vodotoka, žalu ili pak djelovanje mora na njegovo kretanje. U posljednje vrijeme učestalo je plavljenje obalnih područja zbog podizanja morskih razina, pojave ekstremno visokih morskih razina (aquae alte), te koincidencije visokih morskih razina sa velikim protokama bujičnih vodotoka. Namjera je proračunati trend ekstremnih morskih razina, te prognozirati njihove vrijednosti za određena povratna razdoblja. Na osnovu mjerenja intenziteta oborina i hidroloških parametara (slika 10.) biti će proračunat maksimalni protok bujice Mošćenička Draga na više hidroloških profila, te određeni koeficijenti otjecanja u ovisnosti o promjeni mjerodavnih hidroloških parametara (veličina sliva, godišnje doba, stanje tla, prijašnje oborine....). Postavljenjem mjernih uređaja (sedimentnih zamki) pokušati će se utvrditi propagacija vučenog sedimenta u ovisnosti o hidrološkim parametrima.



Slika 10. Lokacije postavljanja mjerne opreme na pilot području Mošćenička Draga

Predviđeno je također i istraživanje erodirane površine sipara u samom slivu bujice - praćenje u realnom vremenu 3D tehnologijom, obradom sa odgovarajućim softverom i foto aparatom. Predviđena je izrada više simulacija za slučaj da dođe do odrona i pokretanja sipara i stvaranja umjetne brane u koritu bujice, pojave blatnih tokova, pronosa nanosa kroz korito, te propagacija nanosa po obali (slika 11.).



Slika 11. Erodirana površina sipara u slivu bujice Mošćenička Draga

4. AKTIVNOSTI PROJEKTA KOJE SE ODNOSI NA KARTIRANJE KLIZIŠTA I ANALIZE HAZARDA KLIZANJA (WG3)

U okviru aktivnosti Radne grupe za kartiranje hazarda i razvoj uputa za primjenu u prostornom planiranju (WG3) planiraju se sljedeće skupine aktivnosti: izrada inventara klizišta, izrada tematskih karata uzroka klizanja, analiza i zoniranje osjetljivosti i hazarda klizanja, kreiranje karata hazarda za primjenu u urbanističkom planiranju i upravljanju u kriznim situacijama i izrada uputa za primjenu karata osjetljivosti na klizanje i karata hazarda klizanja (Mihalić et al. 2010b). Pilot područja odabrana su na temelju sljedećih kriterija: (i) prirodni uvjeti u kojima klizišta nastaju, a koji su posljedica geološke građe i morfoloških uvjeta koji utječu na postanak klizišta; (ii) potencijalni gubici koje klizišta mogu prouzročiti, a koja je posljedica načina korištenja zemljišta.

U obalnom području Hrvatske klizanju su najviše podložne padine u slivovima u Primorsko-goranskoj županiji. Klizište Grohovo (veličine oko 22 km²), zajedno sa susjednim klizištima predstavlja visok rizik zbog toga što potencijalno može ugroziti tok rijeke, branu Valići i urbanizirani dio grada Rijeke. Sliv rijeke Dubračine (veličine 43,5 km²) nalazi se u istoj županiji i u istoj morfostrukturnoj jedinici, a karakteriziran je plitkim klizištima i intenzivnoj eroziji površinskih naslaga. Urbanizirana područja u ovom slivu relativno su rijetko zastupljena, ali je degradacija krajolika pokretanjem masa tla i stijena visoka. Treće pilot područje je brežuljkasto područje grada Zagreba, tzv. Podsljemenska zona. Podsljemenska zona (veličine 180 km²) je gusto naseljeno područje s relativno malim i plitkim klizištima koja uglavnom ugrožavaju stambene objekte. Povećana urbanizacija ove zone bez primjene strateških mjera za ublažavanje

rizika klizanja uzrokuje značajne ekonomske troškove za lokalnu upravu, ali i za građane.

Konceptualni model za istraživanje uspostavljen je prema općim zahtjevima za zoniranje hazarda (Carrara et al. 1992), koji uključuju: (1) kartiranje klizišta na području istraživanja; (2) identifikaciju i kartiranje seta geoloških, morfoloških i antropogenih faktora (vrsta stijene, geološka građa, hidrogeološki uvjeti, geometrija padine i pokrov zemljišta) koji su neizravno povezani s nestabilnostima padina; (3) procjenu relativnog utjecaja ovih faktora na nastanak sloma kosine; i (4) klasifikaciju područja na domene različitih stupnjeva hazarda.

Karte zoniranja i karte hazarda prilagodit će se potrebama pojedinih skupina korisnika iz lokalne i nacionalne administracije. Metodologija zoniranja i korištenja karata hazarda predložiti će se u vidu odgovarajućih uputa.

5. DISEMINACIJA I ODRŽIVOST REZULTATA PROJEKTA

Diseminacija rezultata istraživanja je neizostavni sastavni dio aktivnosti hrvatsko-japanskog projekta, kako bi se osigurala distribucija i primjena rezultata projekta. Uz objavljivanje znanstvenih članaka, poglavlja u knjigama i izvještaja projekta, s rezultatima istraživanja potrebno je upoznavati i ostale interesne skupine iz lokalne uprave, kao i građane ugrožene klizištima. Sustavan prijenos informacija i znanja potencijalnim korisnicima osigurava se kontinuiranom suradnjom s predstavnicima lokalnih i regionalnih upravnih tijela koji su uključeni u strateško planiranje i razvoj, prostorno uređenje i gradnju, upravljanje u kriznim situacijama, kao i s Hrvatskim vodama (Mihalić and Arbanas, 2012).

Tijekom razdoblja trajanja projekta planira se provedba nekoliko konferencija i radionica. U 2010. godini održana je Prva radionica projekta u Dubrovniku, a 2011. druga u Rijeci, na kojima su sudjelovali hrvatski i japanski članovi projekta, kao i znanstvenici i stručnjaci iz susjednih zemalja. Organizacijom radionica inicirana je regionalna suradnja, jer su znanstvenici s hidrotehničkog, geotehničkog i geološkog područja, koji se bave hazardima i rizicima klizanja i bujica, imali priliku razmijeniti iskustva prezentiranjem svojih radova i istraživanja. Na radionicama su sudjelovali znanstvenici iz 11 zemalja regije.

Diseminacijom rezultata projekta široj znanstvenoj zajednici stimulira se suradnja između institucija u regiji. Promatrano iz perspektive projekta, uspostavljanjem regionalne mreže istraživačkih institucija osigurat će se održivost rezultata projekta na način da će se znanje i metodologije razvijene tijekom projekta primjenjivati i nakon njegova završetka. Istraživački centri, uspostavljeni tijekom projekta, postat će središta edukacije za usavršavanje iz područja naprednog monitoringa klizišta i razvoja sustava ranog upozoravanja. Novi resursi na hrvatskim znanstvenim institucijama poslužit će znanstvenoj zajednici u regiji.

ZAKLJUČAK I PRAKTIČNA PRIMJENA REZULTATA PROJEKTA

Glavni cilj istraživanja klizišta u okviru projekta "Identifikacija rizika i planiranje korištenja zemljišta za ublažavanje posljedica klizanja i poplava u Hrvatskoj" je istraživanje aktivnih klizišta uspostavljanjem sustava monitoringa (WG1), istraživanje mogućnosti pojave poplavnih voda i bujičnih provala - blatnih tokova (WG2), razvoj odgovarajućih sustava ranog upozoravanja (WG1 i WG2), izrada inventara klizišta (WG3) i zoniranje osjetljivosti i hazarda klizanja (WG3). Konačan cilj obje radne grupe (WG1 i WG 3) je razvoj mjera za ublažavanje rizika klizanja kroz sustav prostornog uređenja, gradnje i upravljanja u kriznim situacijama.

Kao pilot područja WG1 odabrana su dva klizišta, različita s obzirom na specifične preduvjete klizanja i na pokretače klizanja (geološki uvjeti i povijest kretanja nestabilnosti): klizište Grohovo u zaleđu grada Rijeke i klizište Kostanjek u gradu Zagrebu. Oba ova klizišta su važna zbog toga što značajno utječu na razvoj područja na kojemu se nalaze. Klizište Grohovo je tipično klizište nastalo na granici flišnih i karbonatnih formacija stijena. Ono je tijekom svoje povijesti prouzročilo značajne štete višestrukim aktiviranjem u povijesti, a danas predstavlja visok hazard i rizik od potencijalnog reaktiviranja. Klizište Kostanjek je smješteno u jugozapadnom dijelu Podsljemenske zone u Zagrebu. Nakon aktiviranja klizišta 1963. godine, razvoj klizanja tijekom posljednjih 50 godina potpuno je zaustavio razvoj ovog dijela grada. Gradnja novih građevina i rekonstrukcija postojećih je zabranjena. Osim toga, većina postojećih kuća iziskuje visoke troškove za održavanje zbog kontinuiranog oštećivanja uslijed kretanja klizišta. Hazard i rizik na klizištu Kostanjek je visok zbog proširivanja klizišta i pomaka, a posebice u dinamičkim uvjetima, prouzročenim potresom.

Analize ova dva klizišta provest će se na temelju rezultata integriranog sustava monitoringa u realnom vremenu, a uspostava sustava ranog upozoravanja omogućit će daljnji urbani razvoj. Uspostavljanje ovih sustava, zajedno s edukacijom javnosti i korištenjem sustava od strane lokalne i regionalne uprave, trebalo bi demistificirati predrasude o "klizanju kao nepoznatoj, opasnoj pojavi", a lokalnoj zajednici će omogućiti da živi s klizištem.

Radna grupa WG2 odabrala je četiri pilot područja koja su različita po hidrološkim i geološkim karakteristikama, ali dijelom i po mogućim posljedicama: sliv Rječine nizvodno od profila klizišta Grohovo, sliv rijeke Dubračine i sliv bujice Mošćenička Draga, sva na riječkom području, te sliv Sutina Karakašica koji nije obrađivan u ovom radu. Velike vode sa spomenutih pilot područja mogu značajno utjecati na razvoj područja na kojemu se nalaze. Naime, velike vode rijeke Rječine, rijeke Dubračine i bujice Mošćenička Draga mogu prouzročiti (a u povijesti već i jesu) značajne štete na nizvodnijim urbanim područjima (Rijeke, Crikvenice i Mošćeničke Drage), te predstavljaju visok rizik od mogućih budućih pojavljivanja. Hidrotehničke analize na spomenutim pilot područjima istraživanja provest će se na temelju rezultata integriranog sustava monitoringa u realnom vremenu, a uspostava sustava ranog upozoravanja omogućit će sigurno funkcioniranje postojećih urbanih područja i njihov daljnji razvoj.

Rezultati WG3, u obliku inventara klizišta i karata osjetljivosti na klizanje, odnosno hazarda klizanja, imaju još veću primjenu u lokalnoj i regionalnoj upravi. Karte klizišta, koje ukazuju na lokacije prošlih i današnjih klizišta, kao i na relativni potencijal budućih kretanja, koristit će se kao osnovne karte za donošenje odluka o ograničenjima namjene zemljišta, za razvoj preventivnih mjera u ranim fazama građenja, te za razvoj mjera ublažavanja gubitaka od klizanja kroz planove upravljanja u kriznim situacijama. Karte zoniranja hazarda klizanja, prilagođene raznim skupinama korisnika, su važne zbog toga što će unaprijediti sustav prevencije i ublažavanja rizika uvođenjem ili novih mjera ili poboljšanjem postojećih mjera u gradu Zagrebu i Primorsko-goranskoj županiji. Hrvatsko-japanski znanstveno-istraživački projekt pruža znanstvenicima priliku da ostvare izravnu socijalnu dobrobit za hrvatsko društvo praktičnom primjenom rezultata svojih znanstvenih istraživanja.

Izravni korisnici bilateralnog hrvatsko-japanskog projekta su tri hrvatska sveučilišta (Sveučilište u Rijeci, Sveučilište u Zagrebu i Sveučilište u Splitu) i Hrvatski geološki institut. Rezultati projekta također će biti podijeljeni s ostalim interesnim skupinama, relevantnim institucijama (Hrvatske vode), organizacijama i pojedincima, od kojih su najvažniji stanovnici ugroženi klizištima na pilot područjima (u Podsljemenskoj zoni grada Zagreba, u slivu Rječine i Dubračine u Primorsko-goranskoj županiji), lokalne i regionalne uprave i znanstvenici i stručnjaci iz susjednih zemalja. Diseminacija rezultata uključivat će publiciranje rezultata, organizaciju radionica i suradnji tijekom trajanja projekta. Održivost rezultata projekta osigurana je s osnivanjem Jadransko-balkanske mreže za klizišta (Adriatic-Balkan Network of ICL), regionalne istraživačke mreže pri Međunarodnom konzorciju za klizišta (International Consortium on Landslides, ICL) (Mihalić et al. 2012). Prijenos znanja u široj regiji odvijati će se provođenjem regionalnih istraživanja i izgradnjom znanstvenih kapaciteta za ublažavanje rizika klizanja, a sve za dobrobit društva i okoliša cijele Jadransko-balkanske regije.

LITERATURA

- [1] Arbanas Ž., Benac Č. and Dugonjić S. 2011. Dynamic and Prediction of future behavior of the Grohovo Landslide. Proceedings of the 1. Workshop of the Project Risk identification and Land-Use Planning for Disaster Mitigation of Landslides and Floods in Croatia. Dubrovnik, November 2010. (in press).
- [2] Benac Č., Arbanas, Ž., Jurak, V., Oštrić, M. and Ožanić, N. 2005. Complex landslide in the Rječina River valley (Croatia): origin and sliding mechanism. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 64(4): 361-371.
- [3] Benac Č., Dugonjić S., Arbanas Ž., Oštrić M. and Jurak V. 2009. The Origin of Instability Phenomena Along The Karst-Flysch Contacts. Proceeding of ISRM International Symposium Rock Engineering in Difficult Ground Conditions: Soft Rock and Karst. October, 2009, Cavtat, CRC Press, Boca Raton-London-New York- Leiden. 757-761.

- [4] Carrara, A., Cardinali, M. and Guzzetti, F. 1992. Uncertainty in assessing landslide hazard and risk. *ITC Journal*, 2: 172-183.
- [5] Chřcon, J., Irigaray, C., Fernńndez, T., and El Hamdouni, R., 2006. Engineering geology maps: landslides and geographical information systems. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 65:341-411.
- [6] Colombo A., Lanteri L., Ramasco M. and Troisi C. 2005. Systematic GIS-based landslide inventory as the first step for effective landslide-hazard management. *Landslides* 2: 291-301.
- [7] Fell R., Corominas J., Bonnard C., Cascini L., Leroi E. and Savage W.Z. 2008. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology* 102: 85-98.
- [8] Hrvatske vode. 1998. Uređenje bujice Moščenička Draga - gornji tok, arhiva Hrvatskih voda VGO Rijeka.
- [9] Mihalić S., Arbanas Ź., Krkač M. and Dugonjić S. 2010a. Japanese-Croatian bilateral project "Risk identification and land-use planning for disaster mitigation of landslides and floods in Croatia" - pilot areas. In: Horvat, M. (ed.) *Proceedings of 4th Croatian geological congress*. Šibenik, Croatian geological institute, Zagreb, 170-171.
- [10] Mihalić S., Arbanas Ź., Krkač M., Dugonjić S. and Ferić, P. 2010b. Landslide hazard maps and early warning systems aimed at landslide risk mitigation. *Proceedings of Croatian platform for risk and catastrophe reduction*, Zagreb, 18-22.
- [11] Mihalić S, Arbanas Ź (2012) The Croatian-Japanese Joint Research Project on Landslides: Activities and Public Benefits. In: Sassa K, Rouhban B, Briceno S, He B (eds) *Landslides: Global Risk Preparedness*. Springer Verlag, pp 345-361.
- [12] Mihalić S, Arbanas Ź, Mikoš M, Abolmasov B (2012a) The ICL Adriatic-Balkan Network: scientific background, opportunities and challenges for regional cooperation. In: Sassa K, Takara K, He B (eds) *Proc IPL Symposium*, 20 Jan 2012, Kyoto, Japan. ICL, Kyoto, pp 27-37.
- [13] Ortolan Ź. 1996. Development of 3D engineering geological model of deep landslide with multiple sliding surfaces (Example of the Kostanjek Landslide). PhD thesis. Faculty of mining, geology and petroleum engineering, University of Zagreb, Zagreb.
- [14] Rubinić, J., Ožanić, N.: *Prirodne hidrološke značajke površinskih vodnih pojava Źupanije primorsko-goranske*, 1997. Hrvatske vode - VGO Rijeka.
- [15] Rubinić, A., Ožanić, N.: *Hidrologija sliva Dubračine // Zbornik radova Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci - XIII / Jelenić, Gordan (ur.)*. Rijeka: Digital point tiskara d.o.o., 2010. Str. 33-68.

- [16] Sassa K., Wang G. and Fukoka H. 2003. Performing undrained shear tests on saturated sands in a new intelligent type of ring shear apparatus. *ASTM Geotech Test J* 26(3): 257-265.
- [17] Sassa K., Fukuoka H., Wang G. and Ishikawa N. 2004. Undrained dynamic-loading ring-shear apparatus and its application to landslide dynamics. *Landslides*, 1: 7-19.
- [18] Sassa K., Nagai O., Solidum R., Yamazaki Y. and Ohta H. 2010. An integrated model simulating the initiation and motion of earthquake and rain induced rapid landslides and its application to the 2006 Leyte landslide. *Landslides*, 7: 219-236.

Zahvala

Istraživanja prezentirana u ovom radu dio su znanstvenog projekta „Hidrologija osjetljivih vodnih resursa u kršu“ (114-0982709-2549) kojeg podržavaju Ministarstvo znanosti, obrazovanja i sporta i Hrvatske vode. Također dio istraživanja je proveden u sklopu međunarodnog hrvatsko-japanskog znanstvenog projekta „Identifikacija rizika i planiranje korištenja zemljišta za ublažavanje posljedica klizanja i poplava u Hrvatskoj“.