

Uredila: Tanja Vrančić

## DRUŠTVENE VIJESTI

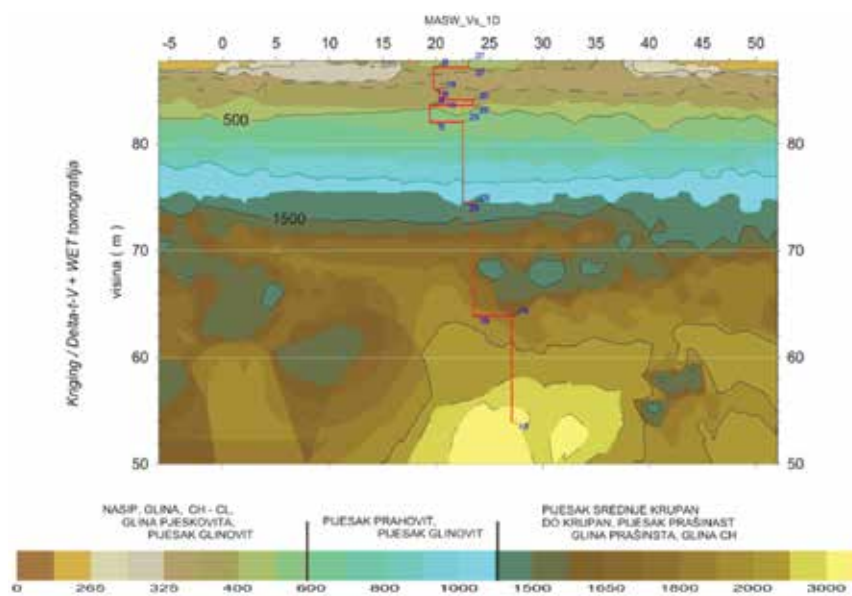
STRUČNO PUTOVANJE HGD-a NA GRADILIŠTA NASIPA NAKON POPLAVE

## Uzroci djelomičnog ili potpunog rušenja

Prošli su kroz Gunju u kojoj je poplava oštetila mnoge zgrade, neke i srušila, ali su u međuvremenu mnoge obnovljene ili nanovo izgrađene, a o tome je sudionike putovanja detaljno izvijestio prof. Vrkljan koji je u tom mjestu proveo djetinjstvo

Hrvatsko geotehničko društvo (HGD) organiziralo je 3. listopada 2014. stručno putovanje u županijsku Posavinu. Cilj je bio da se geotehnička stručna javnost, nakon proljetnih poplava koje su uzrokovale velike štete, na samom mjestu upozna s uzrocima nastanka poplava. HGD je organizirao ekskurziju baš u vrijeme kad su se obavljali radovi na sanaciji obrambenih nasipa. Prethodno su *Hrvatske vode* angažirale *Geokon Zagreb d.d.* i *Institut IGH d.d.* da obave potrebne istražne radove na temelju kojih će se odrediti uzroci djelomičnog ili potpunog rušenja nasipa. Slijedom analize rezultata istražnih radova, izrađeni su projekti sanacije i obnove nasipa za koje se smatra da će sada biti otporniji na djelovanje visokih voda. Voditelji ekskurzije od strane Upravnog odbora HGD-a bili su prof. dr. sc. Ivan Vr-

kljan, prof. dr. sc. Predrag Kvasnička i dr. sc. Davor Milaković. Stručni su voditelji bili: član Stručnog povjerenstva za izradu ekspertize proboja nasipa kod Rajeve Sela umirovljeni profesor Građevinskog fakulteta u Zagrebu dr. sc. Franjo Verić i inženjeri projektanti Silvija Puljak, dipl. ing. građ. i Ninoslav Tomljanović, dipl. ing. građ. (*Institut IGH*) te Ivan Mihaljević, dipl. ing. građ. i Goran Grget, dipl. ing. građ. (*Geokon-Zagreb*). U stručnom je putova-

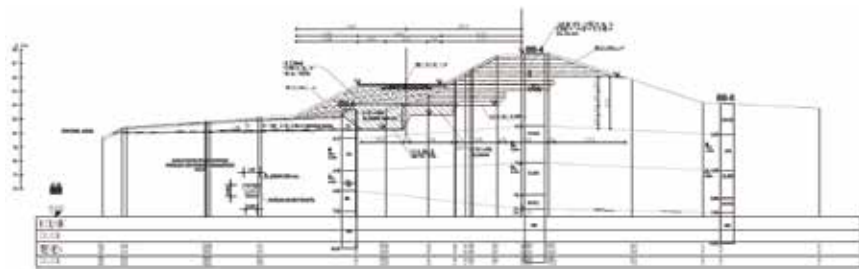


Dubinski seizmički presjek ispod nasipa u Bošnjacima



Detalji odrona u Bošnjacima

## DRUŠTVENE VIJESTI



Karakteristični presjek sanacije nasipa u Bošnjacima

nju sudjelovalo tridesetak članova HGD-a.

Prva je stanica na obilasku Posavine bilo selo Bošnjaci pokraj Županje. Tamo je zbog iznimno visokih vodostaja rijeke Save u svibnju 2014. na lijevoobalnom nasipu u blizini Bošnjaka došlo do procjeđivanja kroz tijelo nasipa i iznošenja materijala iz nasipa u duljini od približno 3400 m, što je na najkritičnijem mjestu uzrokovalo slom ili odron pokosa zaobalne strane nasipa u duljini od gotovo 30 m. Da se spriječi proboj, nasip je na tom mjestu obložen geomembranom, a slagane su i vreće s pijeskom u njegovoj nožici. Nakon što se voda povukla, na temelju vizualnog pregleda nasipa i provedenih istražnih radova, zaključeno je da se voda kroz nasip najvjerojatnije procjeđivala kroz pjeskovite proslojke.

Ing. Ivan Mihaljević opisao je projekt sanacije i rekao kako je predviđeno da se na mjestima odrona i prekomjernog procjeđivanja nasip sa zaobalne strane stepenasto zasiječe u duljini od približno 40 m i rekonstruira ugradnjom novih slojeva nasipa od koherentnog materijala. U nožici nasipa izvodi se uzdužni dren od šljunkovitog materijala koji će kontrolirano prihvaćati procjedne vode i odvoditi ih prema bočnom odvodnom kanalu kroz poprečne drenažne izvode na svakih 30 metara. Nasip se u duljini 3400 m sa zaobalne strane ojačava bermom visine 2 m. Sljedeća je stanica bila gradilište lijevoobalnog nasipa kod Topole na desnom konkavnom zavoju rijeke Save. Bila je

ugrožena dionica nasipa ukupne duljine 2150 m. Tijekom nailaska velikog vodnog vala u svibnju 2014. tamo se nizvodno od čuvarnice voda procjeđivala kroz tijelo nasipa u duljini od približno 2000 m. Voda je izvirala sa zaobalne strane, na polovini visine pokosa, i time potakla pliče odrone s te strane nasipa. Na dionici od približno 1000 m pojavila su se tri odrona, koja su tijekom vodnog vala privremeno sanirana slaganjem vreća s pijeskom. Time je spriječeno i njihovo daljnje širenje koje bi vjerojatno dovelo i do sloma nasipa. Osim toga, na dvije dionice na nasipu, na kojima je kruna bila niža od ostatka dioni-

ce, slaganjem vreća izvedeno je nadvišenje protiv prelijevanja preko krune.

Na mjestima procjeđivanja, na kojima nije došlo do pojave odrona, nisu zamijećene promjene oblika nasipa, odnosno deformacije i pukotine. Pretpostavlja se da je razlog tome pravovremeno postavljanje vreća po pokosu koje je spriječilo iznošenje sitnih čestica iz tijela nasipa.

U okviru sanacije obavljen je pregled postojećeg stanja, a provedeni su i geotehnički istražni radovi te prikupljena dostupna projektna dokumentacija. Najvjerojatniji uzrok procjeđivanja kroz nasipe su pjeskoviti proslojci u glinenim materijalima od kojih su bili izgrađeni stari nasipi, a koji pri nadogradnji nisu uklanjani. Nadvišenjem i nadogradnjom nasipa 2004., formiran je relativno nepropustan glineni ekran na zaobalnoj strani koji je pri posljednjem visokom vodostaju djelovao kao glineni pokrov i spriječilo dreniranje kroz propusnije slojeve starog nasipa. Međutim, uslijed pritiska vode došlo je do proboja tih glinenih pokrova pa su se na zaobalnom pokosu na pojedinim



Saniranje nasipa u Topoli (lijevo) i mjesto procjeđivanja uzvodno od čuvarnice u Topoli (desno)



Saniranje nasipa (lijevo) i pukotina na odronu (desno) u Topoli

## DRUŠTVENE VIJESTI



## Projektno rješenje sanacije nasipa kod Topole

mjestima pojavili izvori, a ponegdje i plići odroni. Odroni pokosa nisu zahvatili temeljno tlo koje se pokazalo otpornim na hidrostatske pritiske u tlu prouzročene vodnim valom.

Nasip se rekonstruirao tako što se na mjestu odrona u zaobalni pokos ugradio dren i izvela zaobalna potporna zona u obliku berme visine 2 do 3 m. Od nožice nasipa do obodnog kanala izveli su se drenažni rovovi na svakih 30 m. Na taj se način, pri pojavi velikog vodnog vala, voda koja se procjeđuje kroz nasip, kontrolirano prihvaća i provodi u obodni zaobalni kanal. Izvođenjem berme na zaobalnoj nožici nasipa povećala se njegova stabilnost na klizanje. Na bermi se izgradio servisni makadamski put širine 3 metra koji će služiti za održavanje nasipa. Kruna se nasipa zadržali na postojećim kotama (kota 87,3 m n.v.), a na mjestima na kojima je niža izvelo se njezino nadvišenje. Tijekom radova na sanaciji padale su kiše koje su vlažile glinu koja je trebala biti ugrađena u nasip i time onemogućile da se ugrađuje pri optimalnoj vlažnosti. Zbog toga je trebalo poduzeti dodatne mjere ojačanja nasipa što je postignuto ugradnjom geomreža i geotekstila na mjestima odrona. Budući da se ugrađuje prekomjerno vlažna glina, očekuje se i povećano slijeganje koje će se kompenzirati nadvišenjem krune i pokosa za 50 cm iznad projektne kote. Sljedeće godine nasip treba reprofilirati, pokriti humusom i zatravniti.

Sljedeća je stanica stručnog putovanja bila u Rajevu Selu gdje je došlo do proboga nasipa. Prof. Verić, član međunarodne

komisije koja je istraživala uzroke rušenja nasipa u Rajevom Selu, objasnio je da je na temelju provedenih istražnih radova ustanovljeno da je tlo na mjestu proboga izrazito heterogeno i anizotropno. Sastavljeno je od tanjeg sloja površinske gline ispod kojeg su vrlo propusni slojevi pijeska kroz koje je voda iz Save prošla ispod glinenog nasipa u zaobalje. Voda je iznosila čestice pijeska iz podloge pa se nasip, koji je do tada odolijevao bočnom pritisku rijeke Save, slegnuo i voda se počela prelijevati preko nasipa i razarati ga do konačnog sloma. Nasip je razoren u duljini od gotovo 110 m. Iznošenjem ma-

terijala vodom nastala je depresija širine 80 do 110 m, duljine od približno 150 m i dubine oko 12 m ispod površine terena. Ing. Silvija Puljak prikazala je način sanacije razrušenog nasipa. Sanacijom se predvidjelo uklanjanje dijela postojećeg oštećenog nasipa uz prodor (po 30 m s obje strane) i gradnja novog nasipa na uklonjenom dijelu. Erodirano područje saniralo se kontroliranim ugradnjom slojeva šljunka i gline te izvedbom vodoravne zavjese u osi nasipa mlazno injektiranim stupnjacima. Nasipi su se ojačali bankinama na zaobalnoj strani nasipa. Na putu do Račinovaca autobus je prolazio kroz Gunju u kojoj je poplava oštetila mnoge zgrade, a neke i potpuno razrušila. U međuvremenu je veći broj kuća obnovljen, a neke su iznova izgrađene. Prof. Vrkljan je sudionicima ekspedicije detaljno objašnjavao događaje tijekom poplave o kojima je doznao od rođaka i prijatelja s kojima je u Gunji proveo djetinjstvo, a za vrijeme i nakon poplave pomogao im



Lokacija proboga lijevoobalnog nasipa u Rajevu Selu 20. svibnja 2014.



Pogled prema jugu na depresiju nasipa u Rajevu Selu 10. listopada 2014.

## DRUŠTVENE VIJESTI



Obnova nasipa u Rajevu Selu



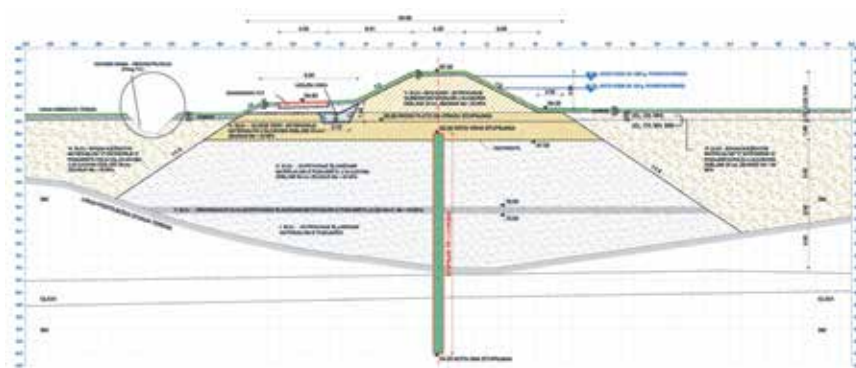
Obnova nasipa u Račinovcima

je da lakše prebrode nedaće koje su ih snašle.

Krajnja stanica stručnog putovanja bila je u mjestu Račinovci na nasipu kod crpne postaje *Teča*. Nasip je od visokih voda rijeke Save osim Račinovaca štiti i poljoprivredne površine. Prolaskom velikog vodnog vala u svibnju 2014. došlo je do proboja nasipa kod Teče te odrona u nasipu na mjestu koje je približno 500 m nizvodno. Do odrona i proboja nasipa došlo je 17. svibnja 2014., pri vodostaju Save na koti od oko 85,40 m n.v., što je otprilike 50 cm ispod kote krune postojećeg nasipa.

Nasip je izgrađen od gline na temeljnom tlu koje se sastoji od tanjeg sloja površinske gline i sloja pijeska te podinske gline. Debljine slojeva površinske gline i pijeska variraju, a sloj podinske gline je horizontalan duž cijele dionice. Uz nožicu je nasipa kanal *Stručac* koji prikuplja procjednu i oborinsku vodu s terena u zaobalju te je odvodi do kanala *Teča*.

Tijekom obrane od poplava na mjestu odrona, u nožicu su nasipa interventno ugrađeni drveni piloti koji su zaustavili odron i potencijalnu havariju nasipa na tom mjestu. Odron je bio dugačak četrdesetak metara. U kruni nasipa nastale su pukotine, a sama se kruna slegla i do metra. Na uzvodnoj je poziciji proboja na-



Presjek nasipa kod Rajeva Sela s prikazom elemenata sanacije

sipa visoka voda u zaobalju onemogućila ugradnju pilota te je do trenutka proboja nasip nadvisivan vrećama s pijeskom. Širina proboja bila je gotovo 100 m, a nizvodno je nastala depresija površine 45 x 80 m i dubine približno 7 m. Depresija je nastala tako da je ispran gornji sloj pijeska do površine sloja gline u podlozi. Razdoblje u travnju i svibnju 2014. bilo je izrazito kišno i voda je dulje vrijeme bila u inundaciji pa je tlo bilo saturirano. Već je početkom svibnja voda u Savi bila iznad nožice nasipa i vodostaj je rastao do 17. svibnja i kote 85,40 m n.v., a što je gotovo 40 cm više od stogodišnje visoke vode. Visok vodostaj izazvao je porast pornih tlakova u tijelu nasipa, uslijed čega je nastao hidraulički slom tla u nizvod-

noj nožici. Nakon toga je u kruni nasipa nastala pukotina, nizvodna se polovica krune slegla, a nožica izdigla. Srećom, na mjestu odrona nije došlo do prelijevanja krune nasipa, a interventnim zabijanjem drvenih pilota u nožici, odron je zaustavljen za trajanja visoke vode. Prelijevanje vode preko krune nasipa sprječavano je postavljanjem vreća s pijeskom, međutim na mjestu gdje je nasip počeo tonuti, otvorile su se vertikalne pukotine okomito na os nasipa. Kroz pukotine je prodrla voda koja je iznosila materijal iz nasipa, pa se nasip slegnuo i rijeka se počela prelijevati preko nasipa i potpuno ga razrušila u duljini od 120 m.

Sanacijom je nasip rekonstruiran u duljini od 130 m, a vodni pokos nasipa u duljini

## DRUŠTVENE VIJESTI



Pogled s krune nasipa na mjesto proboja i depresiju uzvodno i nizvodno od proboja u Račinovcima

od 340 m neposredno uzvodno od mjesta odrona. Na cijeloj dionici sanacije formiran je nizvodni dren duljine 500 m u nožici nasipa, a nožica je zbog stabilizacije pokosa opterećena zemljanim materijalom.

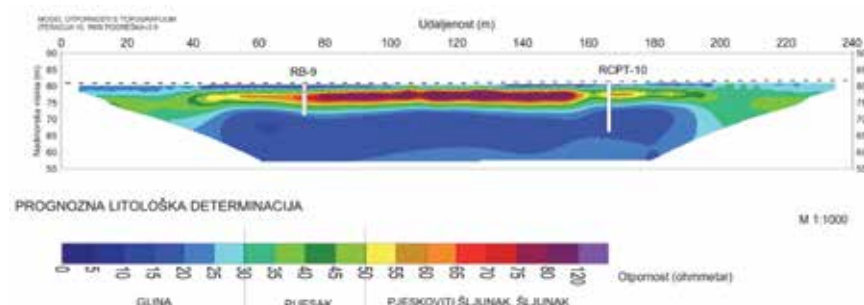
U zoni odrona izveden je privremeni zagat koji ima funkciju zaštite od visoke vode Save do kote 84,50 m n.v. za trajanja sanacije. Privremeni je glineni zagat dug približno 160 m i izveden je od materijala iz iskopa nasipa. Izvan zone odrona uzvodni je pokos saniran zasijecanjem nasipa u stubama visine od metra. Sanacija izvan zone odrona je duga gotovo 340 m. Kanal Teča je očišćen, a zatvoren je i proboj kanala prema depresiji. Na kanalu Stručac izvesla se kamena obalutvrda na geotekstilu. Obloga kanala Stručac i ojačanje nožice nasipa povećat će stabilnost nasipa i smanjiti rizike pojave hidrauličkog sloma tla pri ekstremnim vodostajima. Tijekom sanacije proboja izveden je privremeni zagat od čeličnog žmurja koji ima funkciju zaštite od visoke vode Save do kote 84,15 m n.v. Čelično se žmurje ostavlja nakon sanacije i ima vododrživu funkciju u temeljnom tlu i u zoni proboja kao dodatno osiguranje.

Radovi na sanaciji započeti su u srpnju 2014. Stalne kiše i plavljenje nalazišta glinenog materijala u inundaciji krajem srpnja sprječavali su dinamiku radova i ugradnju glinenog materijala u optimalnim uvjetima. Na zahtjev investitora predloženo je tehničko rješenje koje je

hitnim mjerama omogućilo gradnju i zadržavanje nasipa prije jeseni i zime kako bi funkcionirala zaštita od visokih voda Save. Krajem kolovoza izmjerena je prirodna vlaga gline na nalazištu veća od 30 %. Rezultati ispitivanja zbijenosti bili su ispod minimalnih projektnih zahtjeva. Kad se ugrađuju prevlažni materijali, očekuju se veća slijeganja nasipa od projektiranih, a i njihova je posmična čvrstoća

manja od posmične čvrstoće pri optimalnoj vlažnosti. Bez dodatnih mjera nije bilo moguće izvesti nasip koji će zadovoljiti projektne zahtjeve. U svrhu ojačanja, nasip je armiran geosinteticima, s time je riješen problem smanjivanja posmične čvrstoće gline, a očekivana veća slijeganja preduhitrena su izvedbom nadvišenja nasipa za 50 cm.

Jedan dio sanacijskih radova uključuje sanaciju depresije nastale ispiranjem materijala u zaobalju, rekonstrukciju nasipa u duljini od približno 120 m te sanaciju nizvodne nožice nasipa i kanala Stručac uzvodno od proboja u duljini od 1300 m. Drugi dio obuhvaća sanaciju odrona nasipa kod crpne postaje Teča s dionicom nasipa neposredno uzvodno od odrona. Radovi uključuju rekonstrukciju nasipa u duljini od 120 m na mjestu odrona te sanaciju uzvodnog pokosa nasipa dugog gotovo 340 m od odrona prema proboju.



Geoelektrični profil paralelno s nasipom u zoni proboja u Račinovcima



Prikaz alternativnog rješenja sanacije nasipa uzvodno od odrona u Račinovcima