

NASIPI ZA OBRANU OD POPLAVA I NJIHOVA OSJETLJIVOST U KRIZNIM HIDROLOŠKIM UVJETIMA* - NA PRIMJERU POPLAVA SAVE IZ 2014. GODINE-

Prof. emerita, dr.sc. Tanja ROJE-BONACCI, dipl.ing.građ.

REZIME

Nasipi su geotehničke građevine, građene od rastresitih materijala iz iskopa. Te su hidrotehničke građevine stariim civilizacijama služile za gospodarenje vodom i upravljanje vodnim resursima. Tim zajednicama su omogućavale dovoljno hrane za opstanak i nadgradnju. Već tada se pojavljuju nasipi većih visina i dužina, brane, koje služe za uskladištenje vode u kišnom periodu i raspolažanje s tom vodom u periodu suše. Neke od tih vrlo starih građevina su još i danas u funkciji [1].

Kroz dugi period su nasipi građeni prema iskustvu. Neki su nastali i kao posljedica zatvaranja korita vodotoka materijalom iz klizišta i muljnih tokova, tzv. prirodne brane, koje voda nije uspjela na vrijeme odgurati nizvodno, pa je iza njih nastalo jezero. Prirodne brane sadrže potpuno nekontrolirani materijal i kao takve mogu biti vrlo opasne po nizvodni dio sliva. (Brana Usoj u Tadžikistanu iz 1911. godine [2])

Tek mnogo kasnije su u uređenim državama doneseni propisi za građenje nasipa, pa tako i za hidrotehničke nasipe. U zemljama Europske unije prihvaćen je Eurocode 7 (EC7): Geotehničko projektiranje. U poglavljiju 5 govori općenito o nasipavanju, a u poglavljju 12 o nasipima kao građevinama (nasipi i male brane za infrastrukturu). Zanimljivo je da se EC 7 posebno bavi

pojavom hidrauličkog sloma, što ukazuje na važnost ove pojave u geotehničkim proračunima vezanim za građevine na koje bitan utjecaj ima voda na bilo koji način.

Nasipi, pa tako ni oni za obranu od poplava, nikoga ne impresioniraju, ne otvaraju se svečano, neugledni su i bezimeni, sve do trenutka dok ne dođu u funkciju, a onda, vrlo često, tu funkciju ne izdrže do kraja, tj. puknu.

Slučaj pucanja, proloma nasipa u istočnoj Slavoniji prilikom poplave rijeke Save 2014. godine pokazao je neke činjenice vezane za projektiranje nasipa za obranu od poplava. Valja uzeti u obzir da su neki od tih nasipa izgrađeni davno, s mnogo jednostavnijim alatima od onih koji danas stoje na raspolažanju, pa su i njihova svojstva lošija od očekivanih. Iz događaja koji su slijedili pri toj poplavi, moguće je dosta toga naučiti.

Ključne riječi: Nasipi za obranu od poplave, poplava, hidrodinamičke sile, procjeđivanje, prolom nasipa, sanacija nasipa

1. VRSTE HIDROTEHNIČKIH NASIPA

Hidrotehnički se nasipi mogu razvrstati prema namjeni i prema materijalu od kojeg se grade. Mogu biti homogeni i složeni. Primjer složenih nasipa prikazani su na slikama 1 i 2.

* Napomena Urednika. Professor emerita dr sc. Tanja Roje Bonacci, dipl.ing.građevinarstva, sa Fakulteta za građevinarstvo, arhitekturu i geodeziju u Splitu, svetski je poznat ekspert iz oblasti Geotehnike, posebno Geotehnike hidrotehničkih građevina. Ima dragoceno iskustvo u izučavanju ponašanje zaštitnih nasipa u ekstremnim hidrološkim uslovima. Uredništvo je zamolilo uvaženu profesorku da za naš časopis napiše namenski članak o ponašanju nasipa za odbranu od poplava u križnim situacijama, sa naglaskom na planerske i operativne mere zaštite takvih objekata. Veoma smo zahvalni profesorci Roje Bonacci na članku, koji će biti vrlo koristan za hidrotehničke stručnjake, ali i za donosioce odluka o izgradnji i održavanju sistema zaštite od poplava. Oni često na shvataju koliko su nasipi važne, ali i sa gledišta održavanja veoma osetljive konstrukcije, koje se ne smiju zloupotrebljavati za druge namene - kao nelegalne saobraćajnice, čime se veoma ugrožava njihova osnovna zaštitna funkcija i bezbednost naselja i objekata koji se njima štite.

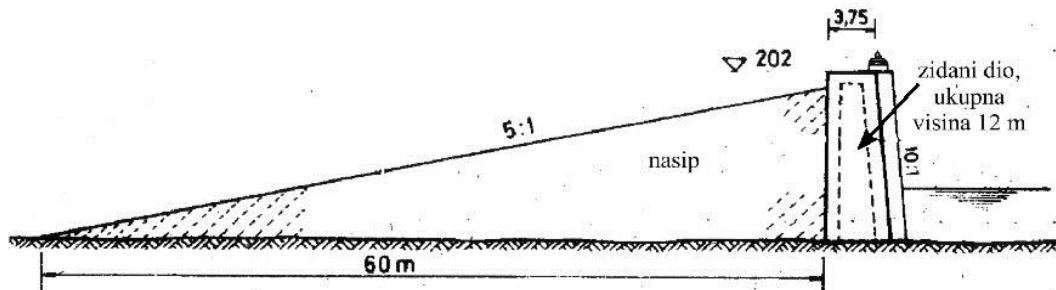
Ovi nasipi obuhvaćaju niz građevina koje služe u različite svrhe. Može ih se podijeliti na nasipe: koji **vodu drže trajno, privremeno i povremeno**.

Također ih se može podijeliti na nasipe i velike nasute brane. Osim velikih brana, trajno vodu zadržavaju obrambeni nasipi (na pr. u Nizozemskoj) i nasipi kojima se oblikuju kanali raznih namjena. Nasipima koji trajno zadržavaju vodu, kao i velikim branama, zbog namjene trajne vododrživosti i što manjih gubitaka vode, poklanja se puna pažnja kako pri projektiranju tako i pri izvođenju.

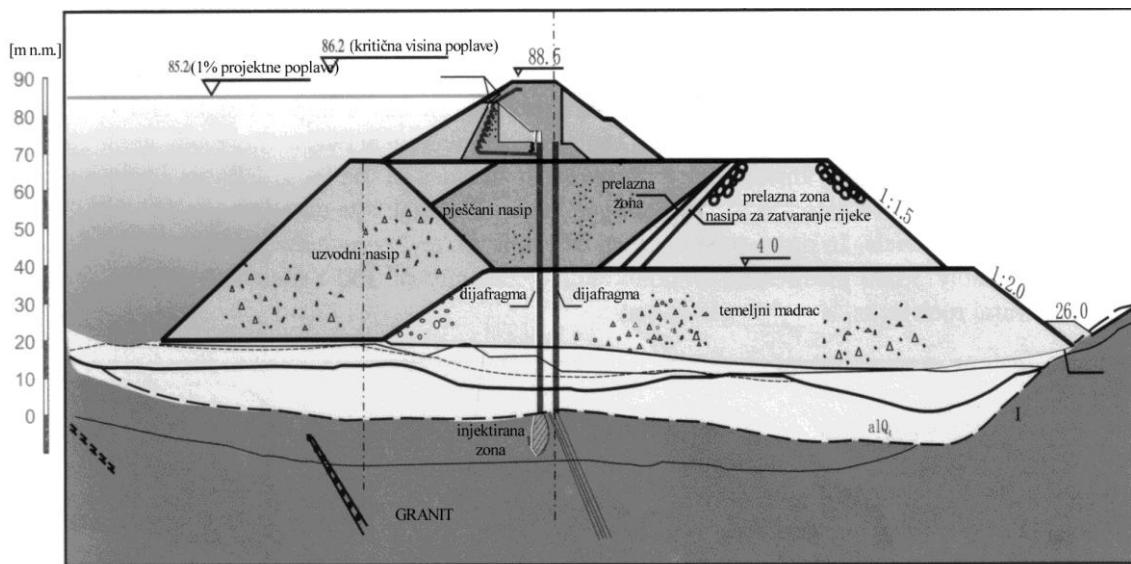
Nasipi koji privremeno drže vodu javljaju se kao **zagati**, kod izrade građevnih jama, pri gradnji građevina u dubokoj i/ili tekućoj vodi. Projektiraju se i izvode tako da se kontrolirano dozvoljava izvjesno procjeđivanje

koje nije štetno za stabilnost i sigurnost nasipa. Mogu se uklanjati ili uklopliti u buduću građevinu. Mogu biti vrlo složeni i značajnih dimenzija kao na pr. uzvodni zagat za građevnu jamu za branu Tri Klanca u Kini.

Nasipi koji povremeno drže vodu su većinom nasipi za obranu od poplava. To su jednostavne, nasute građevine, građene nasipanjem u slojevima uz zbijanje. Najčešće su homogeni, visina do 5,0 m. Širine krune ovise o namjeni nasipa i kod glavnih nasipa su tradicionalno od 1,6 do 6,0 metara zavisno od svojstava gradiva od kojeg je nasip izgrađen i predviđenog trajanja velikog vodnog vala. Izvode se od 'gradiva koje se nalazi u neposrednoj blizini izvedbe, isključujući treset i humus' [3] najčešće na dijelu inundacije prema rijeci. Na slici 3 prikazan je položaj nasipa za obranu od poplave u odnosu na vodotok i branjeno područje.



Slika 1. Brana Prosperina, složenog presjeka, 1.-2. stoljeće, Španjolska, za vodoopskrbu, u funkciji [1]

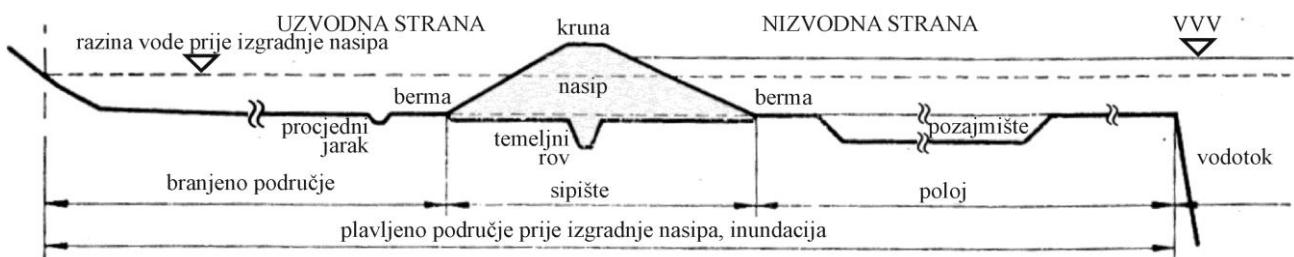


Slika 2. Složeni nasip - zagat za građevnu jamu brane Tri Klanca u Kini [1]

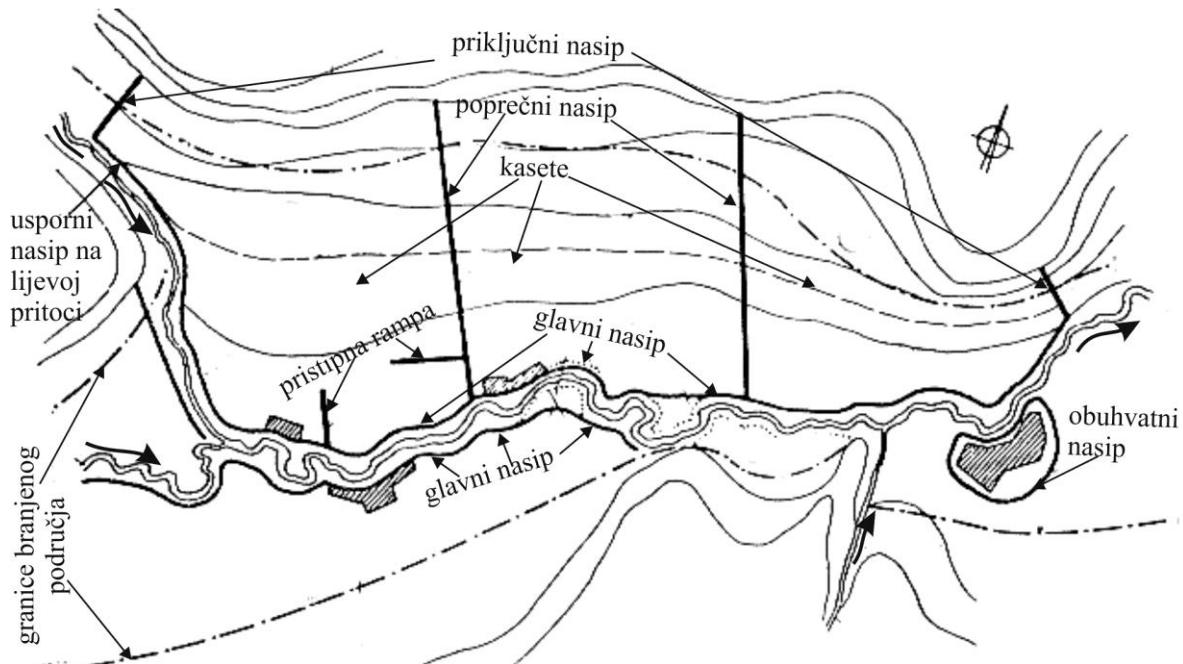
Nasipi za obranu od poplava se mogu podijeliti [3] na: **obuhvatne**, koji štite naselja ili neke druge bitne sadržaje od poplave; **glavne**, koji brane odabrana područja od poplavnih voda odabranog povratnog perioda; **ljetne**, koji brane od ljetnih poplavnih voda i bujica; **dolmice**, koji štite od procjednih voda zaobalje pri ljetnim poplavama; **priklučne**, koji spajaju glavne nasipe i teren viših kota i **transverzalne**, koji branjeno područje dijele u kasete. U slučaju proloma nasipa kasetama se ograničava poplava. Svaki od ovih nasipa

ima neke posebnosti o kojima treba voditi računa prilikom projektiranja.

Glavni nasipi mogu služiti i kao trup puta. Tada moraju zadovoljiti osim hidrotehničkih uvjeta i uvjete koji se traže za put kojem su namijenjeni. U takvim slučajevima, ako se nasip planira za dvonamjensku funkciju – za obranu od poplava i kao saobraćajnica, on se mora projektirati i dimenzionirati namjenski i za tu drugu namjenu. Projekt dvonamjenskog nasipa bitno se razlikuje od nasipa samo za obranu od poplava, o čemu više u točki 3.3.



Slika 3. Položaj nasipa za obranu od poplave [3]

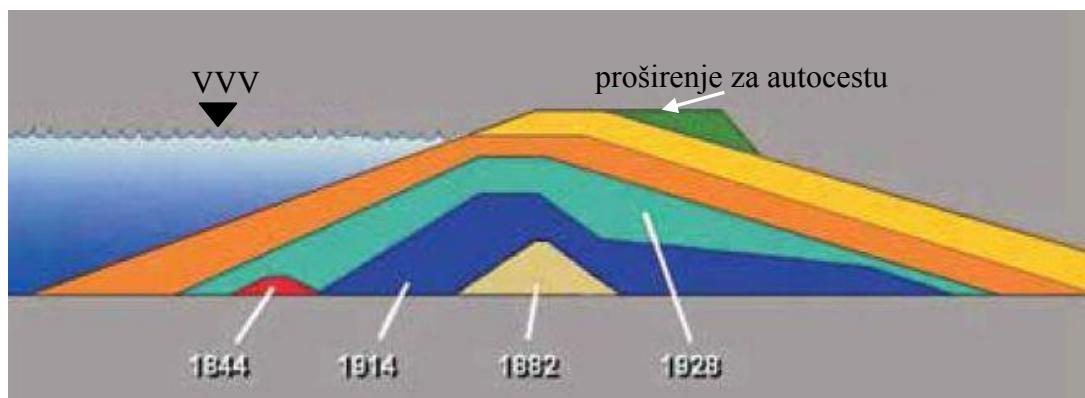


Slika 4. Situacija plavljenog područja s obrambenim nasipima [3]

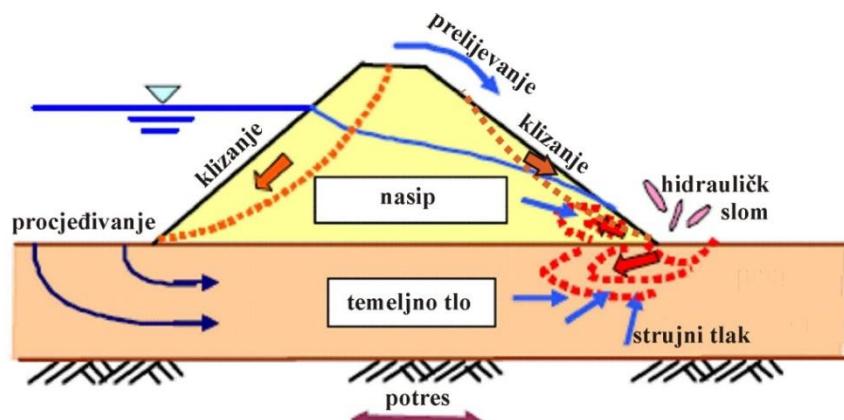
2. MOGUĆA OŠTEĆENJA I POVODI ZA RUŠENJE NASIPA ZA OBRAÑU OD POPLAVA

Nasipi za obranu od poplava spadaju u nasipe koji samo rijetko dolaze u funkciju. Poneki i samo jedanput. Kod nekih se vrlo brzo nakon poplave pristupa njihovoj nadogradnji, nadvišenju. Primjer razvoja nasipa za obranu od poplava je nasip na slici 5, uz rijeku Mississippi od 1844. godine do danas [4].

Ovi nasipi dolaze u upotrebljivo stanje pri visokim (VV) i vrlo visokim (VVV) vodostajima, ovisno o odabranom povratnom periodu. Nasipi u tom trenutku naglo preuzimaju velika opterećenja kao potporne građevine. U istom trenutku započinje djelovanje sila strujnog tlaka uslijed procjeđivanja kroz nasip i ispod nasipa. Ova djelovanja mogu štetno utjecati na stabilnost i sigurnost nasipa. Mogući uzroci oštećenja prikazani su na slici 6 [5].



Slika 5. Nasipi za obranu od velikih voda na rijeci Mississippi od 1844. godine do danas [4]



Slika 6. Mogući povodi oštećenja nasipa (prema [5] uz dopunu autora)

Prvi uzrok je **prelijevanje**. Prelijevanje se sprječava nadvišenjem nasipa za određenu visinu iznad odabrane kote najviše moguće proračunate velike vode (VVV), ovisno o odabranom povratnom periodu. Taj dio proračuna spada u hidrološke proračune. Valja voditi računa i o nadvišenju vodnog lica u krivini, koje nastaje uslijed djelovanja centrifugalne sile. To nadvišenje ovisi o brzini riječnog toka i polumjera predmetne krivine. Tek kada se tako odredi kota razine vode od koje se štiti zaobalje, određuje se visina krune nasipa.

Prelijevanje se može pravovremeno sprječiti izgradnjom privremenih, zečjih nasipa pomoću vreća punjenih pijeskom. Ova mjeru je prema iskustvima u istočnoj Slavoniji 2014. godine, istina uz veliki trud, izvanredno uspjela. **Valja naglasiti da je rušenje nasipa prelijevanjem mnogo rjeđe od rušenja nastalih uslijed raznih drugih oštećenja.**



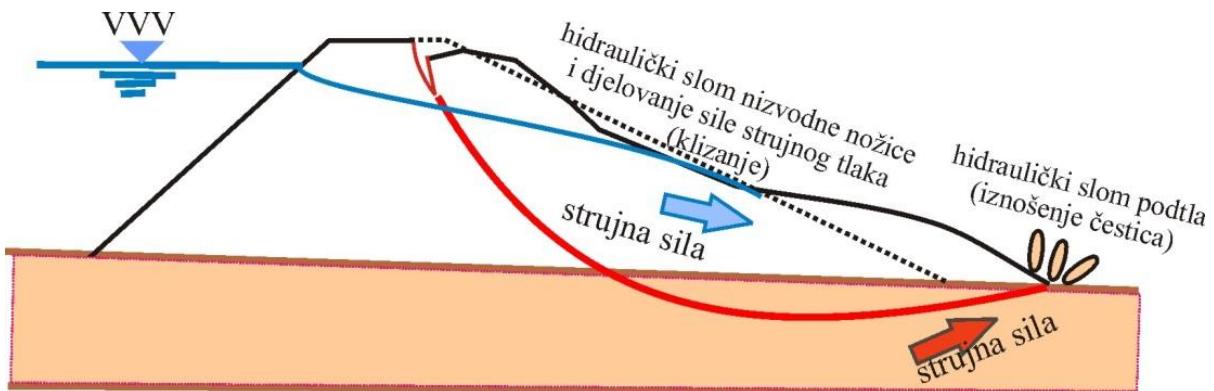
Slika 7. Zečji nasip kod Županje 2014. godine [6]

Drugi uzrok oštećenja nasipa je **klizanje pokosa**. Kliznuti može uzvodna i nizvodna kosina. Klizanje na **uzvodnoj kosini** uzrokovano je naglim spuštanju razine vode u vodotoku. Kod nasipa za obranu od poplava to nije slučaj jer vodostaj pri velikim vodama opada dosta sporo.

Klizanje nizvodne kosine je čest uzrok proloma nasipa. Mehanizam je višestruk. Klizanje može biti uzrokovano silom strujnog tlaka usporedo s nizvodnom kosinom, kako je to prikazano na slici 8. Klizanje, također, može biti uzrokovano visokim izlaznim gradijentima na virnoj plohi, pri čemu dolazi do iznošenja čestica, podlokavanja nožice nasipa i na kraju oblikovanja klizne plohe. Oba se uzroka mogu javiti istovremeno, kao najgora kombinacija.

Privremena zaštita kosine, koja pokazuje namjeru klizanja, ovisiti će o uzroku. Ispiranje i iznošenje čestica s virne plohe može se sprječiti nekom protufiltracijskom mjerom, na pr. dodavanje vreća s pijeskom na virnu plohu (slika 9).

Isto se može primjeniti i na podnožično procjeđivanje i hidraulički slom temeljnog tla u području nožice nasipa. Ako iznošenje čestica nije ključno za stabiliziranje kosine, dovoljno je dodatno opteretiti kosinu i/ili povećati čvrstoću na smicanje duž klizne plohe nekim površinskim zahvatom. Bitno je da bude pravovremena, tj. da stabilizira kosinu za vrijeme trajanja velike vode.



Slika 8. Sile strujnog tlaka i hidraulički slom podtla i virne plohe, uz nožicu, na nizvodnoj kosini



Slika 9. Privremena zaštita nizvodne nožice od hidrauličkog sloma i podlokavanja kosine



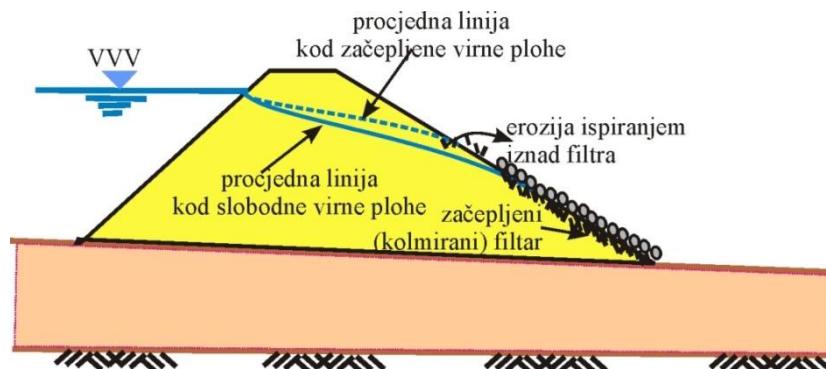
Slika 10. Opterećenje nizvodne kosine kao mjera sprečavanja klizanja



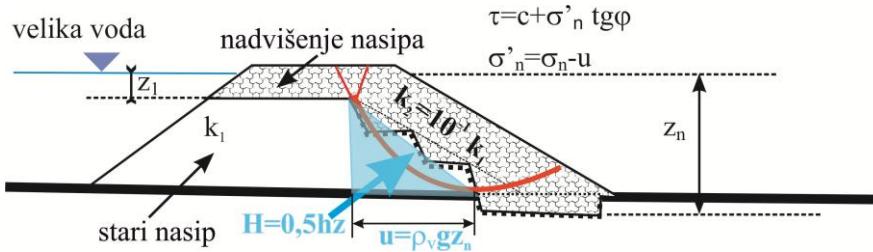
Slika 11. Ojačanje nožice kosine drvenim pilotima, vidi se pukotina na kruni nasipa

Nasip na lokaciji Topola nadvišen je neposredno prije poplave 2014. godine. Kako bi kruna nasipa ostala iste širine bilo je potrebno dodati i dio tijela nasipa. To je učinjeno s nizvodne strane. Postojeći nasip bio je star više decenija, izведен od tla i na način kako je to bilo odgovarajuće vremenu kada je izgrađen. Novi dio nasipa izведен je po današnjim propisima uz stalnu provjeru kvalitete ugrađenog tla i sa znatno boljim mogućnostima ugradnje. Pokazalo se da novi dio nasipa ima znatno manju propusnost od starog dijela. Novi dio nasipa je na stari dio nasipa utjecao kao začepljenje virne plohe. Tumačenje utjecaja začepljene virne plohe na položaj procjedne linije dao je Kuspilić i dr. [7]

U slučaju nasipa kod Topole, zatvorena je cijela virna ploha. To je uzrokovalo hidrostatski tlak na nepropusni dio nasipa. Utjecaj hidrostatskog tlaka na prošireni dio nasipa bio je toliki da ga je odlijepio od starog nasipa. Oštećenje se pokazalo kao odron na nizvodnoj kosini i intenzivno procjeđivanje kroz pukotine nastale uslijed odrona. Prošireni dio nasipa na nizvodnoj kosini nije imao dovoljnu težinu za savladavanje hidrostatskog, ali i hidrodinamičkog tlaka.



Slika 12. Pomak procjedne linije zbog zatvaranja virne plohe kolmacijom filtra



Slika 13. Utjecaj hidrostatičkog tlaka na klizanje novog dijela nasipa (shema)

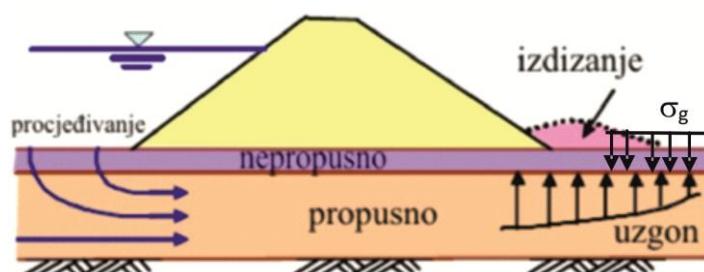
Kada je odnos koeficijenata procjeđivanja 'k' 1:100, tada se ukupni pad potencijala odvija u tlu manje propusnosti, što znači da je stari nasip u odnosu na novi dio, djelovao kao sredina znatno veće propusnosti i nije bitno utjecao na pad potencijala prilikom procjeđivanja. Dodani dio tla na nizvodnoj kosini je djelovao kao čep na virnoj plohi. Zbog dugog trajanja velike vode, novi je dio nasipa bio pod utjecajem punog hidrostatičkog tlaka i ujedno djelovao kao gravitaciona potporna građevina nedovoljne težine. S druge strane povećani porni tlak smanjio je efektivno naprezanje duž kritičnih kliznih ploha (najvjerojatnije na spoju starog i novog dijela nasipa), te je klizanje time dodatno potaknuto.

Slično se dešava kada je temeljno tlo uslojeno kao na slici 14. Ako na dodiru propusnog i nepropusnog sloja

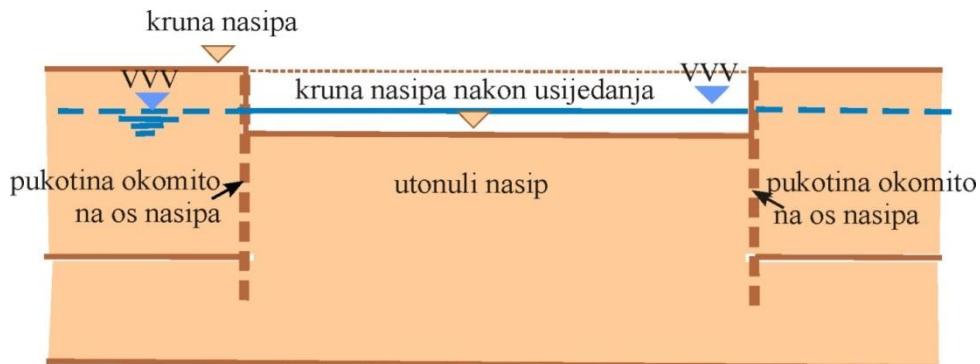
uzgon, \mathbf{u} , postane veći od geostatičkog pritiska, σ_g , dolazi do proloma nepropusnog sloja i naglog prodora vode kroz podtemeljno tlo. Pri tom voda iznosi čestice tla, dolazi do sufozije i nasip gubi podlogu. U slijedećem koraku nasip tone u prostor iz kojeg je izneseno tlo i dolazi do potpunog proloma (slika 15).

Oštećenje nasipa uslijed **djelovanja uzgona na podtlu u nožici** vjerojatno se desilo u Rajevom selu.

Na slici 16 i 17 vidi se poprečni presjek ostatka nasipa. Kod ovakvih proloma poprečni presjek ostatka nasipa je okomit na os nasipa i vertikalnog lica. Isto je uočeno kod proloma u Račinovcima (slika 17). Ova je pojava primjećena jednako kod nasipa od koherentnog tla kao i kod nasipa u pijescima [8].



Slika 14. Proboj nepropusnog sloja male debljine uslijed dugotrajnog djelovanja uzgona



Slika 15. Usijedanje nasipa u prostor gdje je podtllo izneseno sufozijom

Proboj u Račinovcima nastao je uslijed **podnožičnog klizanja nizvodne kosine**. Neposredno uz nožicu nasipa nalazi se kanal Stružac, dio sustava za melioraciju ovog područja. Dugotrajno visoki vodostaj zasitio je tlo i došlo je do popuštanja dijela obale kanala zajedno s kosinom obrambenog nasipa. Kod oba prethodna proboga došlo je do utonuća nasipa u podtlo koje je voda prethodno odnijela sufozijom.

Prolomi nasipa uslijed klizanja pokosa i cijevljenja kroz podlogu mnogo su češći uzroci katastrofalnih oštećenja nego je to prelijevanje preko nasipa. Cijevljenje je naime teško uočiti na vrijeme pa ga je teško na vrijeme i sprječiti. Slično je i sa klizanjem iako je ono nešto uočljivije i ostaje nešto vremena za intervenciju. [4]



Slika 16. Rajevo selo, mjesto proboga nakon isušenja nastale jame



Slika 17. Proboj nasipa u Račinovcima

3. JOŠ NEKI MOGUĆI MEHANIZMI OŠTEĆENJA NASIPA

3.1. Učinak procjedivnja na oštećenje nasipa

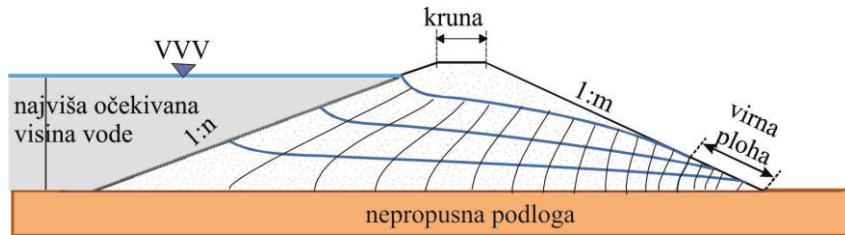
Na svim nasipima gdje su nastala oštećenja pri poplavi Save 2014. godine, uočena su procurivanja kroz nasip. Procurivanje se može objasniti time što su ovi nasipi predviđeni za povremeno zadržavanje vode. Njihov poprečni presjek je najjednostavniji mogući tj. homogen, građen od istovrsnog materijala, bez ikakvih dodatnih protufiltracionih mjera. Predviđeni su da

zadrže vodu za vrijeme trajanja visokog vodostaja. Projektirani su tako da se za dovoljno dugog trajanja visokog vodostaja, unutar njih oblikuje procjedna linija, koja na zračnoj strani završava virnom plohom. Projektirani su tako da kada se uspostavi stacionarno tečenje – procjedivanje kroz nasip, ne smije biti značajnih oštećenja na nizvodnoj kosini.

Ostaje pitanje **trajanja visoke vode**. Kada ona ne traje dovoljno dugo može se dogoditi da se i ne uspostavi stacionarno procjedivanje kroz nasip. Ako traje

dovoljno dugo, treba neko vrijeme da se kroz suhi nasip uspostavi stacionarno stanje procjeđivanja. Ako ono pak traje vrlo dugo, može se dogoditi da započne iznošenje čestica na virnoj plohi. Usljed promjene vlažnosti dolazi i do promjene vrijednosti parametara čvrstoće na smicanje i do punog djelovanja sile strujnog tlaka na

nizvodnoj kosini. Kada se zbog dugotrajno visokog vodostaja ovi svi čimbenici zbroje, vrlo je vjerojatno da će doći do oštećenja ovakvih nasipa. **Oni nisu projektirani niti izvedeni za dugotrajno zadržavanje vode.**

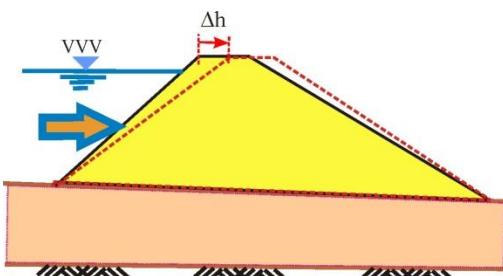


Slika 18. Strujanje kroz homogeni nasip

3.2. Utjecaj hidrodinamičkih sila u zavojima

Na savskim nasipima pri poplavi 2014. godine, primjećene su **pukotine okomito na os nasipa**. Na mjestima gdje je došlo do probroja može se na ostaku nasipa uočiti gotovo pravilan rez okomito na os nasipa. Pukotine okomito na os nasipa primjećene su i na mjestima gdje nije došlo do probroja, već samo do jačeg procurivanja vode.

Ove pukotine, okomite na os nasipa mogu se objasniti hidrostatskim i hidrodinamičkim pritiscima mase vode na zemljanoj građevinu koja je podložna deformacijama. Nasip nije kruta građevina, već njegova deformabilnost ovisi o elastičnim svojstvima tla ugrađenog u slojevima i to u vodoravnom smjeru. U nasipu dolazi do pomaka prema zračnoj strani uslijed djelovanja hidrodinamičkih sila vodnog toka u krivini (slika 19 i 20).



Slika 19. Vodoravni pomaci nasipa uslijed hidrostatskog i hidrodinamičkog pritiska [7]

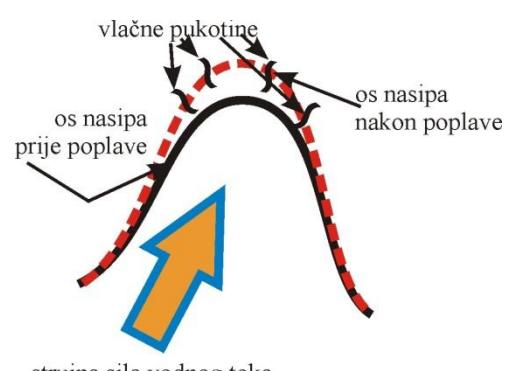
Utvrđeno je da horizontalni pomaci pokazuju velike nasute brane, naročito prilikom prvog punjenja. Utjecaj ovih deformacija na stvaranje vlačnih pukotina, na pr. u glinenoj jezgri brane Peruća ($H=67$ m), umanjen je ili gotovo onemogućen, izvedbom osi brane u luku. Isti je princip gradnje korišten nešto kasnije na brani Oroville ($H=235$ m) u SAD-u. U nasutoj lučnoj brani pritisak

vode izaziva tlak u luku jezgre i nema mogućnosti stvaranja vlačnih pukotina.

U nasipima za obranu od poplava nije moguće izvesti takve nasipe da ne dođu u vlačno stanje naprezanja uslijed jednostranog opterećenja pri visokim vodostajima. Oni uglavnom prate oblikom vodni tok.

Ma kako mali bili, vodoravni pomaci nasipa opterećenog vodnim tokom, aktiviraju posmičnu čvrstoću na bočnim plohama. One najmanje površine i najmanjeg otpora su plohe okomito na os nasipa te tu nastaje popuštanje. Na zračnoj strani nasipa dolazi do rastezanja što aktivira vlačnu čvrstoću tla okomito na smjer ugradnje. Ona nije velika i očito lako dolazi do popuštanja i stvaranja mikropukotina. One pak postaju prioritetski put za vodu koja počinje proces ispiranja i priključuju se ostalim mehanizmima proloma nasipa.

Postavlja se pitanje trajanja visokog vodostaja i utjecaja svih nabrojenih činjenica na jednostavne nasipe za obranu od poplava u vremenu.



Slika 20. Shema rastezanja nasipa i nastajanja vlačnih pukotina

3.3. Utjecaj projektom nepredviđenih opterećenja na nasipe

Nasipi, koji su projektirani za obranu od poplava rijetko su predviđeni da se koriste kao saobraćajnice. Oni prate vodotok i nisu prikladni za trasiranje modernih prometnica. Postoje i iznimke, ali nisu česte. Ponegdje služe kao trup željezničke pruge koja prati riječnu dolinu, kao pogodan prostor za vođenje trase. Radi se o željeznicama standardnih brzina, dok moderne željeznicama, zbog zahtjevnih elemenata trase, ne mogu pratiti krvudanje vodotoka. Međutim, u svim takvim slučajevima, ako se nasip planira za dvonamjensku funkciju – za obranu od poplava i kao saobraćajnicu, on se mora projektirati i dimenzionirati namjenski za tu drugu namjenu. Tada se uzimaju u obzir i dinamička opterećenja koja će na njega djelovati kao i karakteristike tla u zoni temeljenja. U tom slučaju tlo preuzima znatno veće dinamičko opterećenje. Proizlazi da će se projekt dvonamjenskog nasipa bitno razlikovati od nasipa samo za obranu od poplava, uključujući istražne radove, vođenje trase, definiranje profila nasipa i proračuna njegove geotehničke konstrukcije. Uzimajući sve to u obzir, na naspima predviđenima samo za zaštitu od velikih voda potrebno je onemogućiti bilo kakav saobraćaj motornih vozila, osim za službena vozila koja služe za pregled i održavanje. Imajući to u vidu - uredno održavane krune nasipa bez ikakvog motornog saobraćaja, trase koje vode duž mirnih, ničim ne zaposednutih inundacija koje su vrlo bogati ekosistemi - zaštitni nasipi su veoma pogodni za razne ekološki prihvatljive namjene. Za poljoprivrednu djelatnost kao pašnjaci, kao i za razne turističke namjene kao na primjer, sve popularniji biciklistički turizam, tako da se vrlo često upravo po njima vode poznate međunarodne biciklističke rute koje prolaze kroz više država. Za razne rekreativne svrhe kao što je trčanje (individualno i natjecateljsko i slično). [4]

Većina nasipa za obranu od poplava brani naselja i izgrađena je davno, povremeno rekonstruirana i nadvišena, ali bez namjere da služe kao javne saobraćajnice. Ovi nasipi mogu biti izravno ugroženi u koliko se na njima odvija učestali promet i promet teškim vozilima.

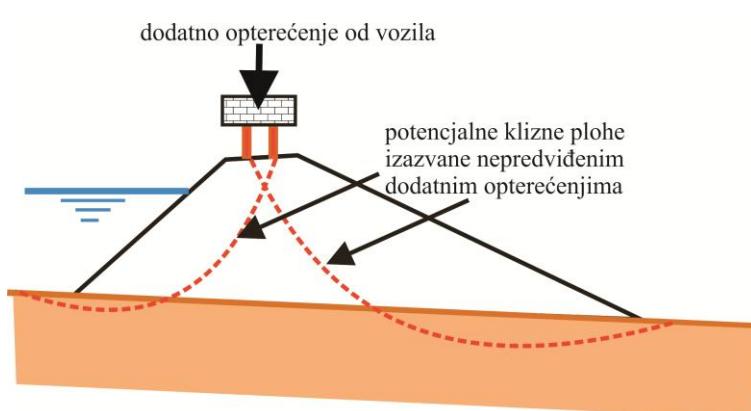
Nekoliko je opasnih djelovanja vozila na nasipe za obranu od poplava. Jedno od njih je opasnost od aktiviranja kliznih ploha na uzvodnoj i nizvodnoj strani nasipa, kako je to prikazano na slici 21.

Druga opasnost je djelovanje vozila na nasip **vibracijama**. Vibracije izazivaju dodatno zbijanje, a time i slijeganje nasipa i tla ispod nasipa. Kako se nasipi grade na plavljenim područjima, podloga je kvartarni nanos koji je vodotok donosio svakom većom poplavom. Kvartarni nanos nije, ili je slabo zbijen, nekonsolidiran i podložan naknadnom zbijanju uslijed dodatnih opterećenja i vibracija. Kvartarni nanos je različitog granulometrijskog sastava i može biti podložan likvefakciji.

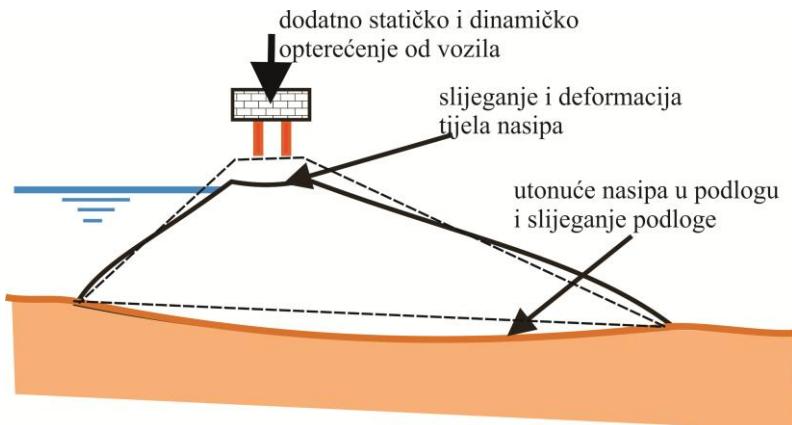
Na slici 22 prikazan je utjecaj dodatnih opterećenja na slijeganje trupa nasipa, utonuće nasipa u podlogu i slijeganje same podlage. Ako je podloga sklona likvefakciji moguć je i prolom nasipa uslijed 'razljevanja' podlage koja za sobom povlači i nasip.

Likveabilni su rahli pijesci jednolikog granulometrijskog sastava. Ovakvi su slojevi pijeska česti u prostorima inundacija. Oni su posljedica taloženja pri određenim brzinama toka vode kod poplava.

Vozila vožnjom po kruni ostavljaju kolotrage. Kolotrazi oštećuju površinu krune nasipa, koja bi trebala biti ravna i blago nagnuta tako da kiša što brže oteče niz nasip. U kolotrazima se zadržava voda poslije kiše što također šteti trupu nasipa.



Slika 21. Utjecaj vozila na aktiviranje kliznih ploha na nasipu



Slika 22. Slijeganje i usijedanje izazvano dodatnim opterećenjem i vibracijama

U svijetu se nasipi za zaštitu od poplava pouzdano štite od zloupotrebe kao saobraćajnice najčešće samo postavljanjem saobraćajnih znakova zabrane, sa upozorenjem da je zabranjen bilo kakav promet motornih vozila, osim službenih. Negdje se to osigurava i postavljanjem fizičkih prepreka, najčešće rampama koje su zaključane. Međutim, danas, kada je sve javno dostupno, mogu se vidjeti i nevjerojatni primjeri, da se sve to ne poštuje, pa se nasip koji je dimenzionisan namjenski, samo za obranu od poplava koristi i kao javna prometnica, po kojoj se kreću čak i vrlo teška vozila (Slika 23).

Nesporno je da je takva zloupotreba zaštitnog nasipa kao prometnice vrlo opasna u odnosu na sigurnost branjenih područja, pa je gotovo nevjerojatno da se takve pojave toleriraju.



Slika 23. Miješalica na nasipu i pokušaj zaustavljanja vozila rampom, koju nitko ne poštuje [10]

4. MJERE ZA SPRJEČAVANJE PROLOMA NASIPA

Više je načina moguće zaštite nasipa od proloma. Svi ovi načini primjenjuju se kod nasipa koji stalno drže vodu, jer je to bitno za njihovu trajnost. Da bi se mogla primijeniti ispravna zaštita potrebno je dobro poznavanje uvjeta u podzemljnom tlu kao i primjena nekog od poznatih načina projektiranja i izvedbe takvih nasipa. Kako nasipi za obranu od poplava djeluju samo povremeno, oni se uobičajeno izvode kao homogeni nasipi zbijani u slojevima bez ikakvih dodataka u poprečnom presjeku, koji bi bili zaštita od proloma. Istražni radovi za ove nasipe su uglavnom nedostatni, a i da su mnogo obimniji ostaje pitanje da li bi obuhvatili najugroženije točke. (Jedna je takva točka u slučaju nasipa u istočnoj Slavoniji, bio nasip u Rajevom selu). Zaštita se kreće u dva smjera; zaštita pokosa od hidrauličkog sloma na virnoj plohi i zaštita podzemljnog tla od hidrauličkog sloma ili sloma uslijed dugotrajnog djelovanja uzgona na suviše tanki nepropusni sloj.

Ako nasipi nisu dimenzionirani za prihvaćanje saobraćaja, potrebno je osigurati da se po njima voze isključivo i povremeno samo službena vozila, prema potrebi.

Mjera zaštite nizvodnih pokosa nasipa su poznate. Kod nasipa koji stalno drže vodu one se obavezno primjenjuju. Potrebno je osigurati da ne dođe do hidrauličkog sloma ni na virnoj plohi, ni u temeljnog tlu neposredno uz nožicu. To je moguće osigurati različitim oblicima drenaža. Način osiguranja ovisi i o propusnosti temeljnog tla na kojem leži nasip. Dodatnu

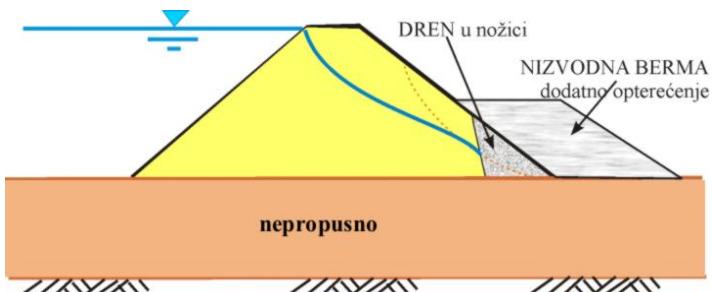
stabilnost nizvodnog pokosa moguće je osigurati izradom berme uz nožicu nasipa, kako je prikazano na slici 24.

Osiguranje virne plohe od erozije, uslijed hidrauličkog sloma, moguće je raznim vrstama drenaže unutar tijela i u nožici nasipa. Kad je nasip izведен na podlozi koja je propusnija od nasipa, potrebno je izvesti prihvaćanje vode koja se procjeđuje kroz temeljno tlo u

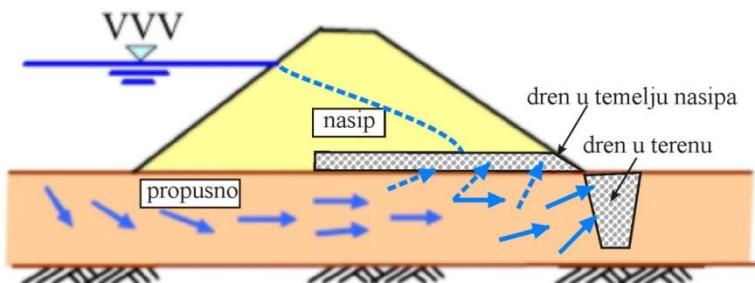
samom temeljnem tlu, određenim vrstama drenaža, koje će osigurati da ne dođe do iznošenja čestica.

Ovako prikupljeno vodu potrebno je kontrolirano odvesti iz drenažnog sustava, jer inače gubi smisao.

Put vode ispod nasipa moguće je produžiti razliitim zahvatima kao što je temeljni rov (slike 26 i 27), ili razni tipovi protufiltracionih zavjesa. Današnje tehnologije pružaju niz mogućnosti.



Slika 24. Osnovanje stabilnosti nizvodne kosine nasipa na nepropusnoj podlozi(shema)



Slika 25. Mogući položaji drenaža za kontrolirano odvođenje procjedne vode iz propusnog temeljnog tla



Slika 26. Trajna sanacija odrona dodavanjem drena s kontroliranim odvodom vode



Slika 27. Ojačanje nizvodne nožice drenom i bermom

5. MOGUĆA OSIGURANJA OBJEKATA OD ŠTETNOG DJELOVANJA POPLAVA

Prije izgradnje naselja u potencijalno plavljenom području treba razmišljati o mogućnosti izvedbe nasipa na cijelom području koje će se urbanizirati i građevine izdignuti na sigurnu kotu. Ovo je prijedlog koji daju Japanci [9].



Slika 28. Zaštita građevina od prelijevanja nasipa [9]



Slika 29. Zaštita od procjeđivanja kroz nasip i visokih podzemnih (zaobalnih) voda [9]

6. ZAKLJUČAK

Nakon gornjih izlaganja ostaje za razmišljanje što s nasipima za obranu od poplava. Pitanje je višestruko složeno. Prvo i najvažnije je ono ekonomske prirode tj. isplati li se nasipe za obranu od poplave raditi kao složene nasute građevine koje znatno poskupljuju izvedbu, a da se ne zna sa sigurnošću kada će i da li će uopće doći u funkciju. Ako i dođu u funkciju vrlo je bitno trajanje visoke (VVV) vode, koje je vrlo teško bilo kojom hidrološkom metodom odrediti. Tu svakako ulogu igraju razni scenariji u analizi rizika. S druge strane ostaje pitanje nadoknade šteta kao faktor u istoj analizi. Poplava međutim ima i druge vidove; sociološke, društvene, psihološke, a ne samo ekonomski. Sve njih treba uzeti u obzir pri odlučivanju u odabiru poprečnog presjeka nasipa za obranu od poplava. [4]

Na državnim je službama da čuvaju nasipe od projektom nepredviđenih opterećenja i uvjetuju, ograniče ili čak onemoguće makar naseljavanje na područjima koja bi mogla biti poplavljena. Tome bi se umanjio barem jedan dio šteta, onaj najpogubniji po stanovništvo.

Japanski inženjeri predlažu način zaštite prema slikama 28 i 29 i za osiguranje građevina od likvefakcije prilikom potresa. Ovakvi nasipi bi trebali dodati na likvefabilni sloj opterećenje, dovoljno da se likvefakcija ne može razviti. Rješenje je iznimno skupo.

LITERATURA

- [1] Roje-Bonacci T. (2015): *Nasute građevine*. Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije
- [2] Roje-Bonacci T. (2014): *Velike prirodne brane s osvrtom na one nastale klizanjem*. Hrvatske vode , 22, 2014., 39-48
- [3] Gjurović M., (1967): *Regulacija rijeka*. Tehnička knjiga, Zagreb
- [4] CIRIA C731, (2013): *The International levee Handbook*. CIRIA, London
- [5] Narita K., (2000): *Design and Construction of Embankment Dams*. Aichi Institute of Technology, Dept. Of Civil Eng.
- [6] //Danas.net.hr/
- [7] Kuspilić N., (?) (2009): *Hidrotehničke građevine – 3 dio (3.3-2 Nasute brane)*, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet

- [8] Morris M.W., M. Hassan, A. Kortenhaus, P. Geisenhainer, P.J. Visser, Y. Zhu, (2008): *Modelling breach initiation and growth.* In Samuels et all. (edt.), Flood Risk Management-Research and

Practice, Proceedings of FLOODrisk 2008 Keble Colege Oxford, UK, 30 Sep. To 2 Oct. 2008

- [9] <http://www.mlit.go.jp/>

- [10]facebook.com/savskinasip

FLOOD DEFENCE EMBANKMENTS AND THEIR SENSITIVITY IN CRITICAL HYDROLOGICAL CONDITIONS (CASE STUDY: THE 2014 SAVA FLOOD)

by

Professor emerita DSc. Tanja ROJE - BONACCI

Summary

Embankments are geotechnical structures constructed of loose excavated materials. Ancient civilizations used these hydraulic structures for water management. They provided these communities with enough food to survive and prosper. Already then, there were embankments of considerable heights and lengths, and dams which served to store water in rainy seasons and use it in dry seasons. Some of these extremely old structures are still in function today [1].

Embankments were built according to experience over a long period. Some were formed by landslides and mudslides closing the river channels (natural dams), which were not pushed downstream by water, forming a lake behind them. Natural dams contain completely uncontrolled material and, as such, can be extremely dangerous for downstream areas. (Usoj dam in Tajikistan from 1911 [2])

It was not until much later that regulations for the construction of embankments were developed in regulated countries. Eurocode 7 (EC7) Geotechnical Design has been adopted in the countries of the European Union. Section 5 deals with fill in general and Section 12 with embankments as structures

(embankments for small dams and for infrastructure). It is interesting that EC 7 deals specifically with the occurrence of hydraulic failure, which indicates the importance of this phenomenon in geotechnical calculations related to structures that are significantly affected by water in any way.

Embankments, including flood defences, are not impressive structures and there are no opening ceremonies. They are inconspicuous and nameless until they come into operation, and then, very often, they do not endure, i.e. they break.

The case of embankment breach in eastern Slavonia during the flood of the Sava River in 2014 revealed some issues regarding the design of flood defence embankment. Some of these embankments were built a long time ago, with much simpler tools than those available today, and therefore they are weaker than believed. There is much to be learned from the events that followed this flood.

Keywords: Flood defence embankments, floods, hydrodynamic forces, seepage, embankment breach, embankment rehabilitation

Redigovano 25.10.2019.