

ODRŽAVANJE I REKONSTRUKCIJA HIDROTEHNIČKIH NASIPA

Prof. emerita, dr. sc. Tanja ROJE-BONACCI, dipl. inž. građ.
Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

REZIME

Nasipi su vrlo osjetljivi hidrotehnički objekti, koji zahtijevaju uredno održavanje i povremene rekonstrukcije, ojačanja, a često i nadvišenja, kako bi se osigurala njihova konstruktivna, geotehnička i hidraulička pouzdanost. Rekonstrukcije, nadvišenja nasipa i njihova ojačanja često su neophodne da bi se postojeci nasipi pripremili za nove, pogoršane hidrološke događaje u periodima velikih voda. Članak se bavi principima održavanja i rekonstrukcije postojecih nasipa. Sistematisirani su brojni tipovi nasipa, jednostavnii kao i oni vrlo složenih geotehničkih konstrukcija. Nabrojena su moguća oštećenja i načini njihovog saniranja. Podrobno se razmatraju brojne mјere tekućeg održavanja nasipa kao i mјere održavanja u raznim interventnim uvjetima (npr. slučaj preljevanja krune nasipa, nestabilnosti kosina).

Ključne riječi: nasipi, oštećenje nasipa, tekuće održavanje, rekonstrukcija nasipa.

1. UVOD

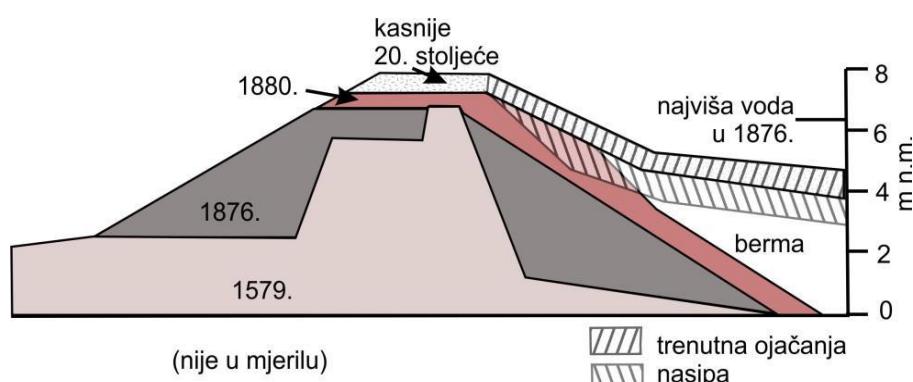
Nasip je umjetna tvorevina koju čovjek gradi od prapovijesti. Raspon kvalitete tih građevina seže od onih

najstarijih, izvedenih jednostavnim nasipavanjem na djelomično uređenu podlogu do onih, građenih po najnovijim propisima, poštujući sve građevinske standarde i koristeći dostupnu mehanizaciju.

Postoji više namjena nasipa, ali najčešće riječ podsjeća na hidrotehničke nasipe. Ovi nasipi imaju temeljnu zadaću zadržavanja vode. Mnogi, davno građeni nasipi, su tokom vremena nadograđivani (slika 2); nadvišeni i prošireni, kako bi štitili prostore koji su nekad bili šume ili obradive površine, a postepeno postaju naseljene i urbanizirane.



Slika 1. Izgradnja nasipa bez pomoći mehanizacije [1]



Slika 2. Nasipi na rijeci Rajni kroz stoljeća [2]

Zadržavanje vode može biti privremeno, na pr. zaštita građevnih jama u dubokoj i/ili tekućoj vodi. Takvi nasipi zadržavaju vodu za cijelog svog vijeka trajanja. Mogu biti odstranjeni ili potopljeni, ali dok služe stalno su pod utjecajem vode i moraju biti u funkciji. Mogu biti vrlo zahtjevnog poprečnog presjeka. O njima dalje neće biti govora. Nasip velikom većinom stalno zadržavaju vodu s jedne svoje strane. Razina vode može biti gotovo nepromjenjiva, kao kod kanala raznih namjena ili promjenjiva, kao kod prirodnih vodotoka.

Najveće poteškoće stvaraju nasipi za obranu od poplava. Oni su samo povremeno močeni s vodene strane, ali tada moraju biti u punoj funkciji. Ovi nasipi dugi niz godina mogu biti potpuno bez kontakta s vodom, ali kada dođu u funkciju moraju je i obaviti, tj. obraniti zaobalje od poplavnog vala. Vremenski se ovi događaji vežu uz analizu poplava. Danas se takve analize svode na analize rizika.

Iz prethodno navedenih razloga potrebno je nasipe kontrolirati za cijelo vrijeme njihovog funkcionalnog trajanja. Da bi nasipi mogli obaviti svoju funkciju bez oštećenja, potrebno ih je trajno pratiti i provjeravati. Kada se uoče problemi potrebno ih je hitno riješiti. Tu odgovlačenje može biti kobno.

2. PODACI

Za potrebe održavanja i rekonstrukcije postojećih nasipa temeljno je razumijevanje njegovih svojstava i pouzdanosti. Za to je potrebno raspolagati s nizom podataka kako bi se razumio unutarnji sastav i

geotehnička svojstva pojedinog nasipa. Podaci nisu isti za svaki nasip. Generalno je potrebno poznavati:

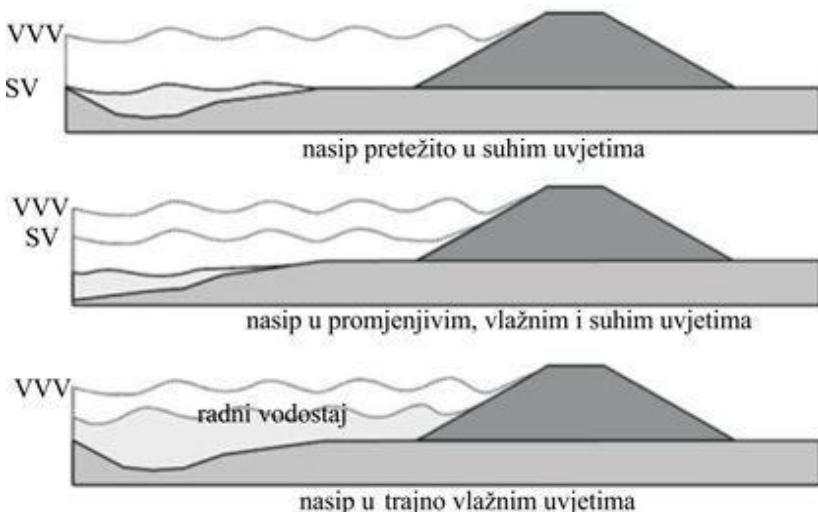
- povijest građenja;
- geološke i geomorfološke podatke lokacije;
- podatke o istraživanjima temeljnog tla (bušenje ako je moguće);
- inženjerska svojstva nasipa i uvjete temeljenja;
- podatke o prethodnim zahvatima i održavanju;
- učestalost poplave i ostala opterećenja;
- povijest eventualnih popravaka;
- prethodne učinke.

Osim geotehničkih podataka bitno je poznavati odnos nasipa i vode. Razlozi postojanja hidrotehničkih nasipa su vrlo različiti. Ta njihova zadaća nije jednoobrazna. Opterećeni su različitim vrstama (dinamičkog) hidrauličkog opterećenja, koji nastaju zbog različitih položaja nasipa u odnosu na vodu i trenutnih vremenskih prilika.

Nasip je podložan utjecaju:

- razine vode, što stvara hidrauličko opterećenje na nasip i utječe na hidrauličke uvjete unutar tijela nasipa;
- strujanja, koje izaziva površinsku eroziju omoćene kosine nasipa te ju na taj način destabilizira;
- valova, koji mogu naglo erodirati omoćenu kosinu odnosno preliti nasip i uzrokovati eroziju krune i zračne kosine nasipa.

Hidrotehnički nasipi, građeni za obranu od poplava, zahtijevaju poznавање prirode poplava. To je područje kojim se bavi niz struka. Ovaj se rad time neće baviti.



Slika 3. Mogući uvjeti močenja nasipa uz vodotok u prostoru i vremenu [1]

3. SASTAVNICE I OBLICI NASIPA

U tabeli 1 prikazani su dijelovi koji se javljaju u svim vrstama nasipa neovisno o njihovoј funkciji. Neki od njih su neizostavni, dok se neki javljaju samo u određenim situacijama.

Koji će se od elemenata iz tabele 1 naći u sastavu nasipa ovisi o povijesti nasipa, vrsti nasipa, svrsi kojoj nasip služi i nizu drugih faktora. Temeljno se nasipi mogu podjeliti na *homogene* i *zonirane* nasipe. Međutim iz funkcionalnih razloga homogeni nasipi i pored takvog naziva, gotovo nikad nisu potpuno homogeni. U nastavku će se prikazati nekoliko poprečnih profila nasipa da bi se uočila njihova raznolikost. Većina crteža prenesena je iz literature [1].

Tabela 1. Sastavnice nasipa i njihova namjena unutar njega [1]

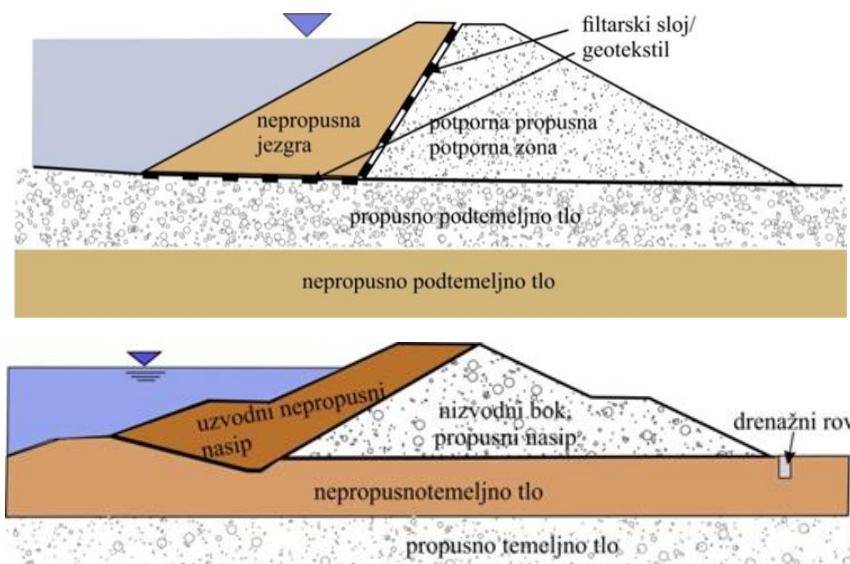
Sastavnica nasipa	Potreba za sastavnicom	Djelovanje sastavnice				
		vanjska zaštita	stabilnost	nepropusnost	odvodnja	filtracija
temeljno tlo	uvijek	ne	uvijek	ponekad	ne	ponekad
nasip	uvijek	ne	uvijek	ponekad	ponekad	ponekad
nepropusna jezgra	ponekad	ne	ne	uvijek	ne	ne
nepropusni ekran	ponekad	ponekad	ponekad	uvijek	ne	ponekad
kruna	uvijek	uvijek	ne	ne	ponekad	ne
obloga (uzvodno)	ponekad	uvijek	ponekad	ponekad	ne	ponekad
obloga (nizvodno)	ponekad	uvijek	ponekad	ne	ponekad	ponekad
(uzvodna) berma	ponekad	ponekad	uvijek	ponekad	ne	ponekad
(nizvodna) berma	ponekad	ponekad	uvijek	ne	ponekad	ponekad
filtarski slojevi	ponekad	ne	ne	ne	ponekad	uvijek
sustav odvodnje	ponekad	ne	ne	ne	uvijek	ne
odteretni bunari	ponekad	ne	uvijek	ne	ne	ne
zaštita od procjeđivanja žmurjem i slično	ponekad	ne	ne	uvijek	ne	ne
zidovi	ponekad	ponekad	ponekad	ponekad	ne	ponekad



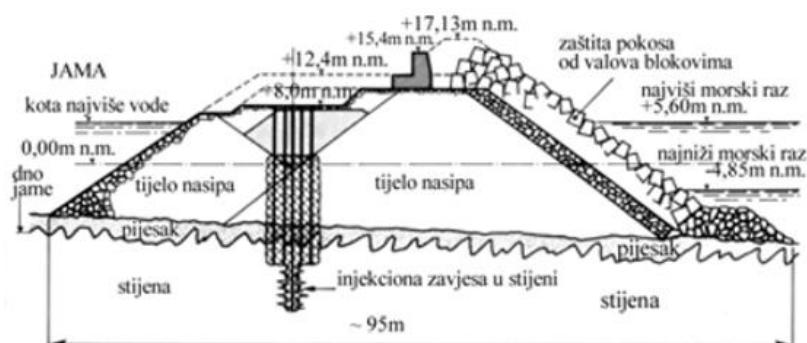
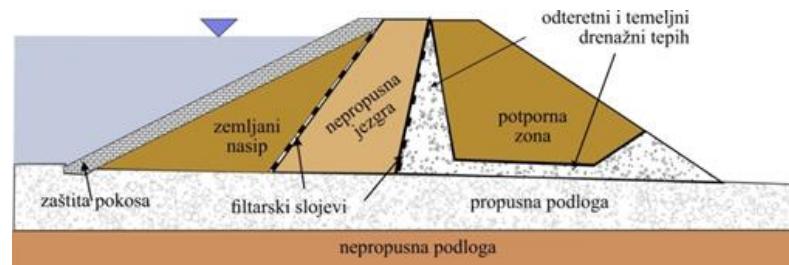
Slika 4. Primjeri homogenih nasipa na homogenom, slabo propusnom, temeljnem tlu



Slika 5. Primjeri homogenih nasipa na propusnom temeljnom tlu



Slika 6. Primjeri jednostavnih zoniranih nasipa na različitim temeljnim tlima



Slika 7. Zonirani nasipi složenih poprečnih presjeka (dolje zagat građevne jame [3])

Na slici 7 prikazana su dva vrlo složena poprečna presjeka zoniranih nasipa potpuno različite namjene. Prikazani nasip koristi se pri trajnoj potrebi zadržavanja vode u prostorima s visokim zahtjevima za osiguranje vododrživosti.

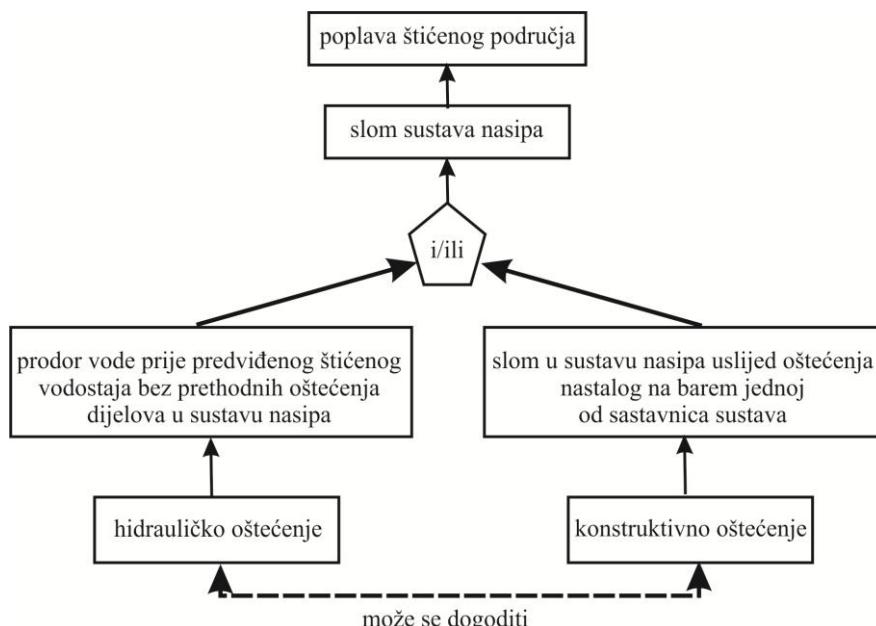
4. MOGUĆA OŠTEĆENJA NASIPA

Da bi se mogli osvrnuti na potrebna održavanja i rekonstrukciju nasipa, potrebno je poznavati moguća oštećenja koja nastaju na njima kao i uzroke ovih

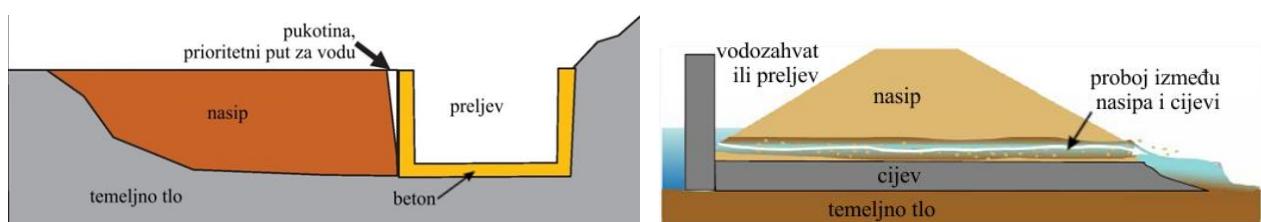
pojava. Oštećenja nasipa mogu biti uzrokovana hidrauličkim učincima i/ili konstruktivnim slomom građevine.

Jedan tip oštećenja može utjecati na drugi i obratno. Djelovanje je moguće prikazati dijagramom na slici 8.

Osjetljiva mjesta u smislu hidrauličkih učinaka su kontakti nasute, fleksibilne građevine i krutih, uglavnom betonskih građevina na mjestima međusobnih dodira odnosno prijelaza s jednog na drugi tip građevine.



Slika 8. Moguće oštećenje sustava nasipa (prema [1])



Slika 9. Spoj nasipa i krutih, betonskih građevina [1]

4.1. Hidraulička oštećenja

Hidraulička oštećenja očituju se kao vanjska erozija i unutarnja erozija.

4.1.1. Vanjska erozija

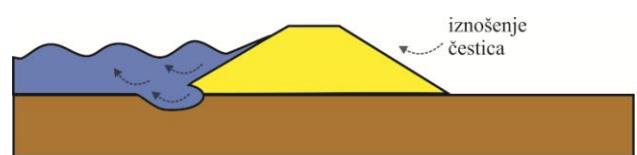
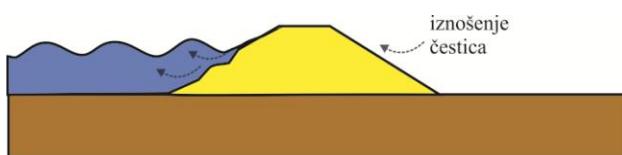
Vanjska erozija očituje se u oštećenjima vidljive površine nasipa. Nastaje uslijed kretanja vode duž

nasipa ili prema nasipu. Važnu ulogu kod ove erozije igraju vjetar, visoka vegetacija, životinjske i ljudske aktivnosti koje razaraju strukturu površine koja nije dobro ili dovoljno zaštićena. Oštećenja se manifestiraju kao globalna ili lokalna nestabilnost pokosa, nestabilnost temeljnog tla ispod nasipa, isušivanje, pojava pukotina, udarci i vibracije koje odnose materijal nasipa i sl.

Ova erozija je prvenstveno uzrokovana valovima, strujama i turbulencijama u koritu. Oni mogu biti uzrokovani vjetrom, povećanom brzinom toka vode u vanjskom dijelu krivine korita i slično. Kada ove pojave uzrokuju povećanu brzinu tečenja, nastaje površinska erozija uslijed povećanog trenja između vode i obale. Kad povećano trenje nadmaši mogućnosti zadržavanja materijala nasipa na pokusu, dolazi do odnošenja

materijala s njegove omoćene površine. Na slikama koje slijede prikazani su neki slučajevi ovakve erozije.

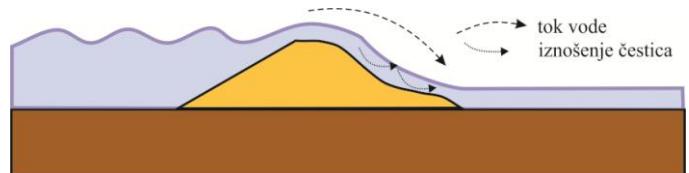
Vanjska erozija nastaje i u slučaju preljevanja preko krune nasipa. U tom slučaju može doći do odnošenja čestica na zaobalnoj strani. To dovodi do destabilizacije zračne kosine i proloma nasipa.



Slika 10. Utjecaj vanjske erozije na uzvodni pokos i tlo ispod njega [1]



Slika 11. Obrušavanje uzvodnog pokosa uslijed vanjske erozije [1]

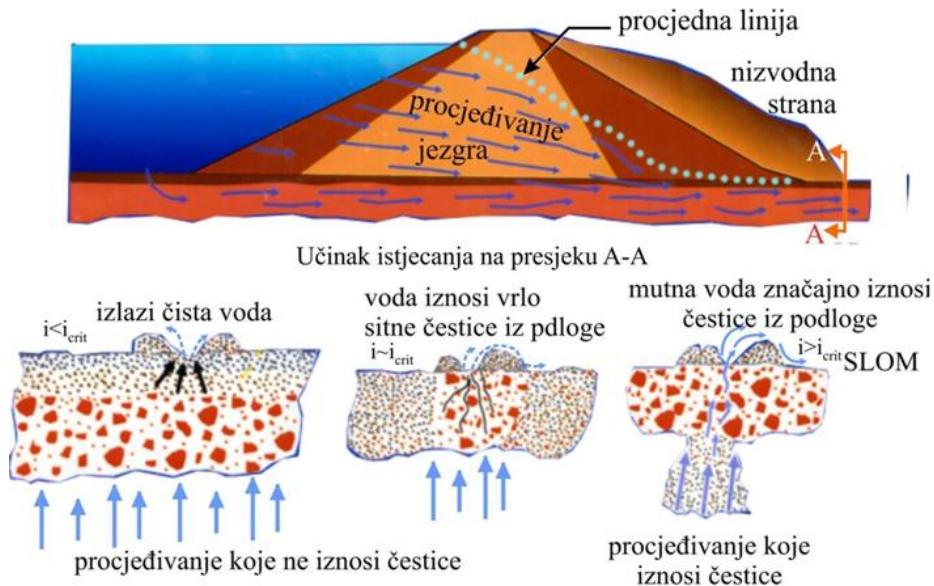


Slika 12. Moguće oštećenje preljevanjem krune [1]

4.1.2. Unutarnja erozija

Unutarnja erozija nastaje prilikom tečenja vode kroz nasip i/ili kroz temeljno tlo ispod nasipa. Obje situacije mogu dovesti do značajnih oštećenja odnosno rušenja nasipa. Na slici 13 prikazan je nasip, procjedna linija i kritični presjek nasipa, kroz koji se voda procjeđuje na

površinu. Do oštećenja će doći ako izlazni gradijent „i“, u tom presjeku, bude veći od kritičnog. Slika 13 daje samo primjer hidrauličkog sloma. Ovo oštećenje može na nasipima nastati na raznim mjestima i u različitim uvjetima.



Slika 13. Kritični presjek i učinak procjeđivanja na pojavu hidrauličkog sloma

Kako su sva oštećenja nastala unutarnjom erozijom posljedica pojave izlaznog gradijenta većeg od kritičnog to je ovoga potrebno detaljnije objasniti.

Izlazni gradijent se definira kao:

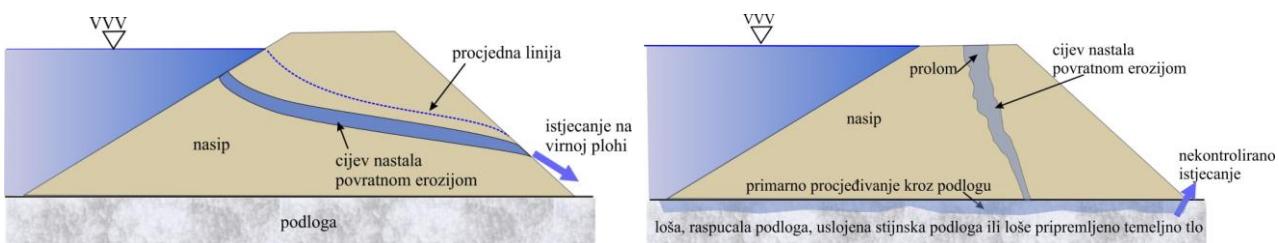
$$i_{izl} = \frac{H}{L_{min}}$$

gdje je H visinska razlika između gornje i donje vode, a L_{min} , dužina procjedne linije kao najkraćeg puta čestice vode kroz nasip ili podlogu. Kritična točka na kojoj započinje hidraulički slom je u nožici nasipa, ali može biti i u nekoj geotehnički nepovoljnoj točki u zaobalju, na nizvodnoj strani nasipa.

Dobiveni izlazni gradijent se uspoređuje s kritičnim izlaznim gradijentom pri kojem dolazi do iznošenja čestica. Pri tom mora biti zadovoljena nejednakost: $i_{izl} < i_{krit}$. Izraz za kritični izlazni gradijent ovisi o zasićenoj, prostornoj težini tla „ γ_{zas} “ i težini vode „ γ_v “:

$$i_{krit} = \frac{\gamma_{zas} - \gamma_v}{\gamma_v}$$

Istjecanje na kosini ili na kontaktu temeljnog tla i nožice na zračnoj strani nasipa može dovesti do pojave tzv. cijevljenja, odnosno povratne erozije. Pojave su prikazane na slici 14.



Slika 14. Primjeri povratne erozije uslijed hidrauličkog sloma na zračnoj strani nasipa



Slika 15. Procjeđivanje na zračnoj strani nasipa [5]

4.2. Nestabilnost građevine

Nestabilnost nasipa obično se manifestira klizanjem pokosa s vodene kao i sa zračne strane. Uzroci su razni:

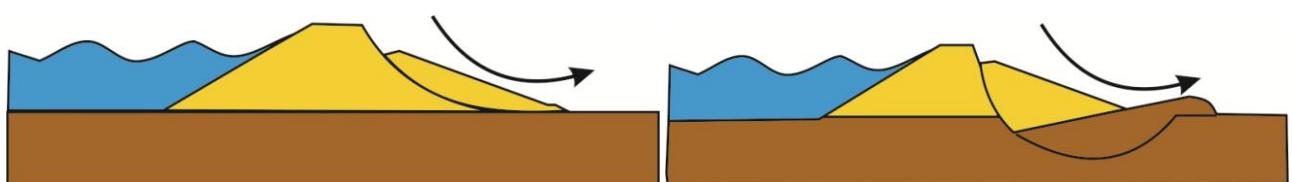
- nepredviđeno opterećenje ili rasterećenje; opterećenje na kruni ili rasterećenje u nožici;
- pritisak vode; može imati učinak smanjene čvrstoće na smicanje, povećanje vlažne težine tijela nasipa i sl.;
- slabljenje svojstava materijala nasipa i/ili temeljnog tla, što dovodi do smanjenja čvrstoće na smicanje i klizanja kosine nasipa;
- ljudska aktivnost kao što je na pr. izvedba raznih građevina u blizini ili na samom nasipu kao i vibracije uzrokovane prometom ili nekim građevinskim zahvatom i sl.;
- aktivnosti životinja koje ruju u tijelu nasipa;
- rast visoke vegetacije na nasipu;
- seizmičke aktivnosti.

Ovi uzroci mogu izazvati:

- plitka klizanja;
- duboka klizanja;
- translatorna klizanja po vrlo slabom ili oslabljenom sloju;
- konsolidaciono slijeganje i/ili naginjanje;
- likvefakcija i izdizanje

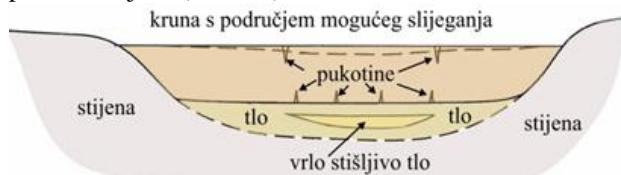


Slika 16. Učinak životinja na nasip za obranu od poplave [1]



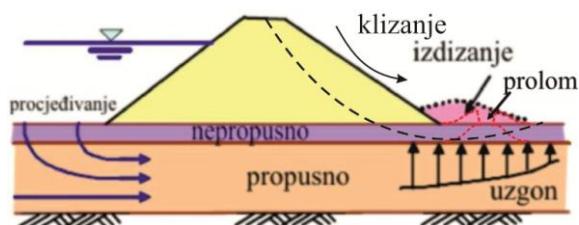
Slika 17. Plitko i duboko klizanje zračne strane nasipa

Konsolidaciono slijeganje nasipa može dovesti do otvaranja pukotina u kruni nasipa kao i na dodirnoj plohi temelj-tlo (slika 18).



Slika 18. Oštećenja krune uslijed slijeganja podtemeljnog tla [3]

Hidrauličko djelovanje uzgonom na nepropusnu temeljnu podlogu može izazvati klizanje kosine na zračnoj strani (slika 19).



Slika 19. Izdizanje tla u nožici zračne strane nasipa uslijed uzgona na nepropusni sloj

4.3. Namjerna oštećenja

Rijetko, ali ipak se dešavaju i namjerna oštećenja nasipa, ma kako oni bili strogo zaštićeni i čuvani, slika 20 (http://www.ains.rs/ains_dokumenta/stavovi/AINS_o_savskom_nasipu_3459.pdf). To može bitno ugroziti njihov integritet, monolitnost i pouzdanost. Može se naići na samovoljno raskopavanje nasipa iz različitih razloga. Najčešće razlog je priklučak nekog objekta na instalaciju. Za ovakva oštećenja nisu odgovorni samo neodgovorni pojedinci, već i oni koji su zaduženi da vode brigu o nasipima. Ovakva oštećenja su vrlo opasna za područja štićena od poplava.

Sanaciji ovakvih oštećenja treba pristupiti na način koji se primjenjuje kod sanacije oštećenja koja nastaju na dodiru nasipa i krutih građevina. Ove su sanacije vrlo ozbiljne i skupa ali nažalost neizbjježne

5. ODRŽAVANJE

Kako bi se osiguralo učinkovito djelovanje nasipa, prilikom projektiranja se predviđa potrebno održavanje. Predviđa se instrumentacija nasipa ako je potrebno. U projekt se uključuje priručnik o održavanju, kojim se



Slika 20. Tragovi namjernih teških oštećenja nasipa

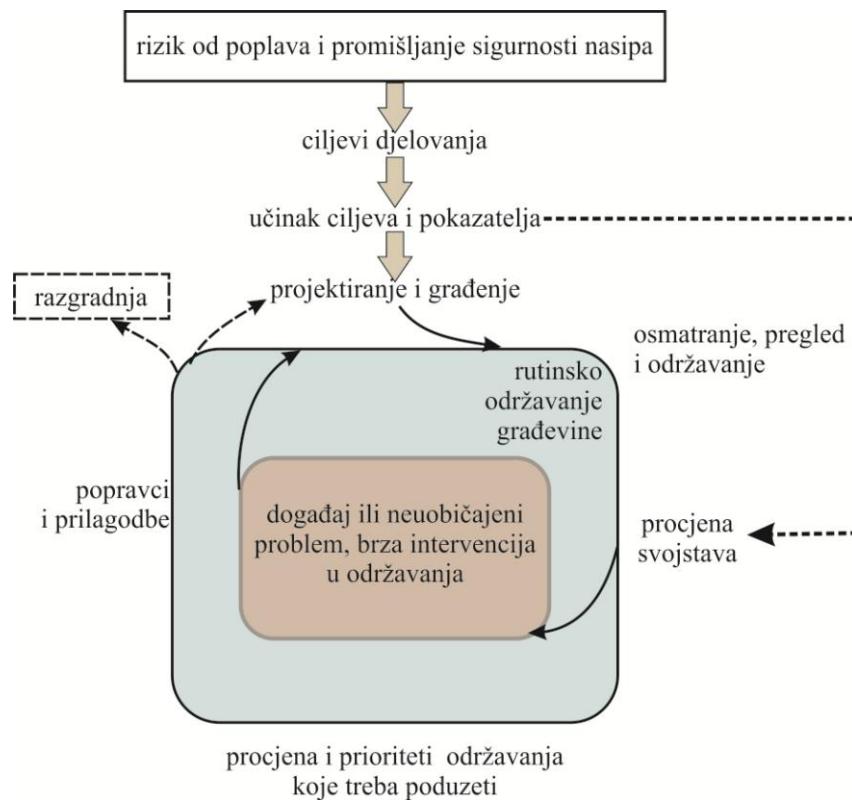
predviđaju potrebne mjere i osoblje koje treba zadužiti za vođenje ove službe. Za postojeće nasipe je potrebno izraditi priručnih o održavanju u koliko se radi o nasipima za koje takav priručnik ne postoji.

Način organizacije održavanja ovisi o odabranom pristupu koji može biti:

- pristup koristeći analizu rizika (risk-based);
- pristup koristeći princip održivog razvoja;
- sprječavanje negativnih učinaka na dugovječnosti nasipa.

Za održavanje je zadužen vlasnik. To može biti država, preko specijaliziranih poduzeća, pokrajine, uže društvene zajednice, regionalna vodoprivredna poduzeća (dionička društva) i pojedinci. Oni su dužni organizirati službe koje će vršiti obilaska, osmatranja i provjere nasipa u njihovom vlasništvu. Temeljem tako prikupljenih podataka (koje je potrebno arhivirati) donose se odluke o održavanju nasipa.

Razumljivo je da se intenzivno održavaju prostori koji često dolaze u dodir s vodom, kao što su pokosi raznih kanala i regulacionih građevina. Na dijagramu koji slijedi prikazan je životni ciklus nasipa.

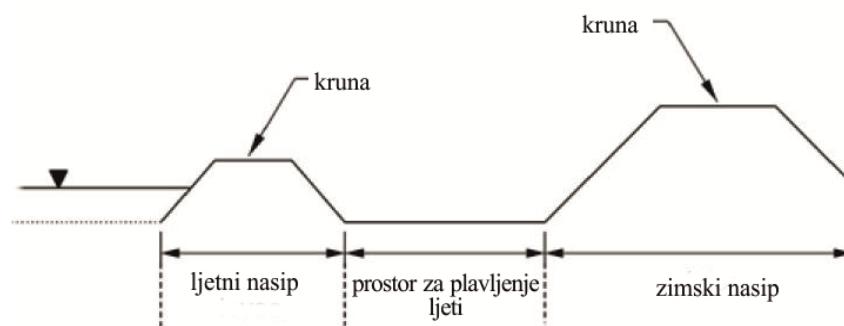


Slika 21. Dijagram životnog ciklusa nasipa

Postoje dva potpuno različita područja održavanja. Jedno je tekuće održavanje vezano za tekuće osmatranje i pregled nasipa, a drugo je interventno održavanje u slučaju iznenadnih oštećenja uzrokovanih neočekivanim događajima. Ovaj drugi slučaj može se dogoditi u trenutku kada ima dovoljno vremena za intervenciju u smislu popravaka oštećenja, ali nažalost i u trenucima ekstremnih događanja kao što je na pr. poplava.

Smisao nasipa je da zadrži vodu. Smisao nasipa za obranu od poplave je da brani moguće plavljenje područje od poplave. U sustavu obrane od poplave postoje prostori koji su predviđeni za određenu razinu obrane od poplave. U takve se prostore uklapaju sustavi dvostrukih nasipa.

Ovakvi prostori mogu niz godine biti neiskorišteni međutim upravo zato podliježu pažljivom održavanju.

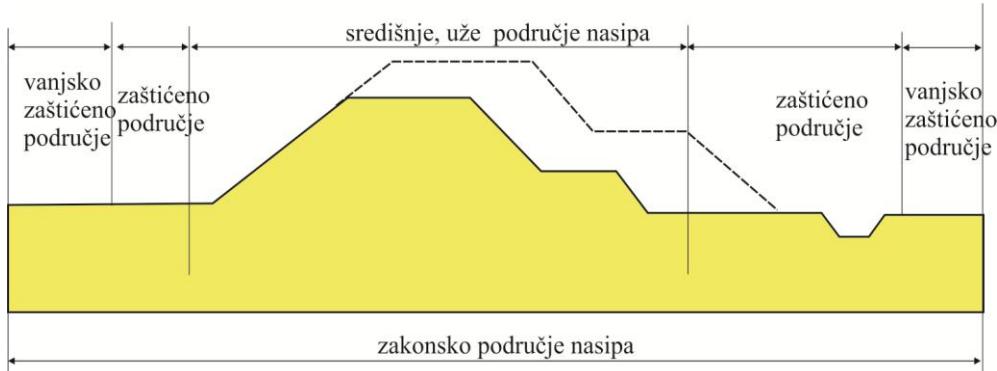


Slika 22. Parcijalni, dozvoljeni prostor za plavljenje

Prilikom izgradnje novih nasipa, valja voditi računa i o tome da može doći do potrebe njihovog proširenja i nadvišenja. Zato kod takvih slučajeva postoji i prostor u zaobalu, koji spada u područje o kojem se također vodi računa prilikom tekućeg održavanja. Na slici 23 prikazan je prostor koji s pravnog aspekta zauzima

nasip. To je prostor na koji se odnosi obaveza održavanja (primjer je iz Holandije).

Kod postojećih nasipa ovaj prostor se mora naknadno osigurati iako to može biti vrlo složeno. Problem može nastati kada postojeći objekt zadire u prostor nasipa (slika 24).



Slika 23. Pravno određeno područje nasipa na koje se odnosi obaveza održavanja [1]



Slika 24. Povjesna građevina na trasi nasipa zaštićena potpornim zidom

5.1. Tekuće održavanje

Pod tekuća održavanja spada briga o sljedećim pojavama na nasipima:

- održavanje vegetacije;
- uređenje rupa i kanala koje naprave životinje;
- erozija i šupljine u obali;
- udubine i učinak korijenja;
- slijeganje i usijedanje;
- procjeđivanje;
- nestabilnosti;

- pojava pukotina;
- zaštita pokosa nasipa i obala;
- kontakti s krutim objektima u sklopu nasipa i oma koji prolaze kroz nasip.

5.1.1. Vegetacija

Vegetacija ima izravan utjecaj na protok vode uz nasipa. Vegetacija štiti nasipe od vanjske erozije. Na vanjsku eroziju nasipa utječu: oborine, vjetar, promet (vozila, ljudi i životinja), ispiranje, valovi, prelijevanje. Vegetacija može biti niska, trava ili visoka, grmlje i

drveće. Svaka od ovih vrsta zahtijeva određenu vrstu održavanja.

Trava je vrlo dobra zaštita površine nasipa ali ju je potrebno stalno održavati na određenoj visini ili obnavljati na određeni način. Najčešće se trava mehanički kosi. Naročito na prostorima koji su češće pod vodom pri čemu se koriste niski vodostaji. Prostori koji su rjeđe ili rijetko pod vodom prikladno je koristiti kao pašnjake za sitnu stoku, ovce i koze. Za potpuno uništavanje ili potpunu obnovu travnatih pokrivača može se koristiti prskanje otrovima ili paljenje suhe trave na kraju sezone.

Vegetacija jednako tako može biti uzrok oštećenja i nedostataka. To se naročito odnosi na visoku vegetaciju. Moguće štete prikazane su u tabeli 2.

Visoka vegetacija može imati i pozitivne učinke na stabilnosti pokosa nasipa. Stoga nije uvijek nužno uklanjati visoko drveće. Potrebno je procijeniti odnos štete i koristi i pravilno održavati stabla i općenito sustave visoke vegetacije. Visoka vegetacija korijenjem može učvrstiti nasip i doprinjeti stabilnosti pokosa. Korisna je u smanjenju evapotranspiracije stvaranjem zasjenjenih prostora .

Tabela 2. Mogući štetni učinci visoke vegetacije na nasipe prema [1]

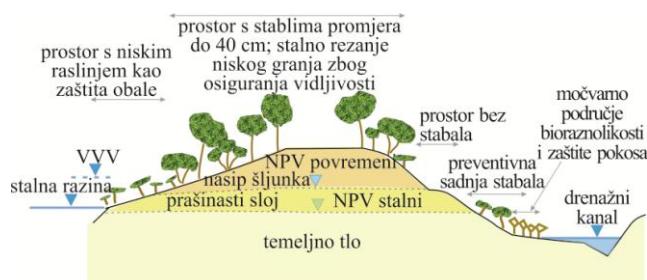
Oštećenje	Uloga drveća	Moguće izazvani mehanizam oštećenje
Prevrtanje ili obaranje	Prevrtanje ili obaranje visokog drveća za trajanja poplave može odnijeti veliki dio nasipa i tla uz njega. To je naročito opasno za vodenu stranu, gdje nastaje velika rupa koja ugrožava djelotvornost nasipa.	Vanjska erozija, destabilizacija pokosa, unutarnja erozija uslijed procjeđivanja, podlokavanja i cijevljenja.
Prodor korijenja	Istrunulo korijenje ostavlja cjevaste struktura kroz koje se javlja koncentrirani tok i povećava vodopropusnost	Vanjska i unutarnja erozija uslijed procjeđivanja, podlokavanja i cijevljenja.
Povećana težina i opterećenje vjetrom	Nepovoljan utjecaj težine stabala i opterećenje vjetrom koje se prenosi na kosine nasipa.	Nestabilnost pokosa, klizna ploha dublja od očekivane uslijed učinka korijenja.
Vrtložno tečenje	Stabla mogu uzrokovati koncentracije i vrtložno tečenje na vodenoj strani nasipa kao i prelivanje.	Vanjska erozija
Rovanje	Korijenje može privući životinje u nasipa.	Unutarnja erozija
Sprečavanja rasta trave i busenja	Stabla sprječavaju rast trave praveći sjenu, oduzimajući hranjivo i vlagu, pa nastaju ogoljeli dijelovi nasipa .	Vanjska erozija
Oštećenja obloge	Korijenje može izdirati razne vrste obloga na nasipima koji nisu koji projektirani s biljnim pokrovom kao zaštitom.	Vanjska erozija



Slika 25. Ispaša stoke i paljenje suhe trave [1]

O postupanju s visokim drvećem danas se vode rasprave vezano za njihov ekološki učinak na vodotok. Generalno se smatra da ne treba dozvoliti rast visokog drveća na nasipima za obranu od poplave. Ako već takvo raslinje postoji i vrijedno ga je sačuvati, treba ga trajno održavati na način da ne ometa slobodni protok

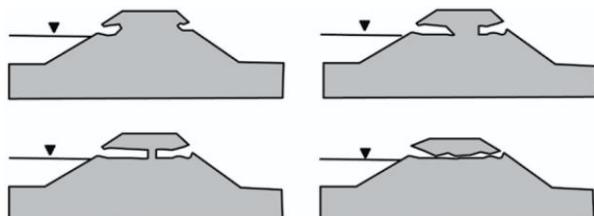
vode. To se postiže odstranjivanjem niskih grana i održavanjem određene visine krošnje. Sve opet ovisi o vrsti drveća. Francuzi smatraju da je moguće održavati visoku vegetaciju na vrlo širokim nasipima blagih pokosa. Na slikama koje slijede prikazani su neki principi održavanja visoke vegetacije [1].



Slika 26. Moguće zadržavanje visoke vegetacije, lijevo francuski model, desno Kalifornija (USA)

5.1.2. Životinjske jazbine

Životinje kopaju svoje nastambe u nasipima iz različitih razloga. Kako su ove šupljine vrlo opasne, potrebno je vršiti stalni nadzor nasipa vezano za ova oštećenja. Uočene rupe nužno je provjeravati vezano za njihovu dubinu i rasprostranjenost. Nužno ih je zatrpati.



Slika 27. Progresivno oštećenje nasipa životinjskim jazbinama i gnijezdima

Nasipe najčešće oštećuju: jazavci, divlji zečevi, lisice, dabrovi, kune i slični glodavci. Ova se oštećenja mogu držati pod kontrolom procjenom rizika, utvrđivanje vrste životinje i veličine štete koje mogu učiniti. Mogu se poduzeti preventivne radnje kako bi se spriječilo nastajanje ovih oštećenja. To su na pr. skidanjem vegetacije i ispunjavanje rupa, postavljanje nepropusnih mreža, izgradnja alternativnih prostora za uočene životinje bitno udaljenih od nasipa, upotrebom kavezazamki, odstrelom ako je dozvoljeno, kemijskom kontrolom (trovanje, ako je dozvoljeno).

Pri zaštiti nasipa od učinka životinja bitno je voditi računa i o dobropititi životinja.



Slika 28. Rupe nastale djelovanjem životinja, lijevo i zaštitna mreža na kosini nasipa, desno

Popravci šteta svode se na iskope u nasipima oko oštećenja, uočenih prilikom obilaska i rekonstrukciju tih dijelova nasipa uz ponovno zbijanje. Rupe se mogu ispuniti i postupkom niskotlačnog injektiranja prostora odgovarajućim injekcionim smjesama. Pri injektiranju treba voditi računa da se ne naprave veće štete na postojećem nasipu. U slučaju velikih oštećenja potrebna je potpuna rekonstrukcija oštećenih dijelova nasipa.

5.1.3. Zaštita od vanjske erozije

Prilikom obilaska nasipa potrebno je obratiti pažnju na neke elemente koji bi u trenutku nailaska velike vode mogli biti veoma štetni za stabilnost i sigurnost nasipa. Pažnju treba obratiti na:

- oštećenja dijelova nasipa nakon prolaska velike vode, erozijom;
- slijeganje i usijedanje;
- pojavu pukotina na kruni i pokosima.

Osnovna zaštita svodi se na pravilno održavanje zaštite krune, pokosa i prostora neposredno uz nožicu nasipa, koji još spada u prostor nasipa. Najčešća zaštita ovih prostora je vegetacija o kojoj je bilo govora prethodno. Osim vegetacije zaštita može biti izvedena različitim tipovima propusnih i nepropusnih obloga. Ove je obloge potrebno provjeriti, i ako su oštećene, izvršiti popravke.

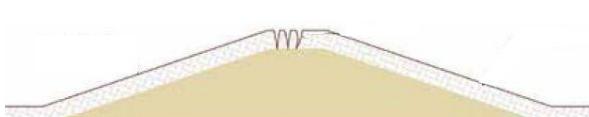
Vanjska je erozija uzrokovanja djelovanjem vode i oborina. Međutim kod nasipa koji dugo nisu pod

utjecajem vode, a izloženi insolaciji, može doći do isušivanja i stvaranja pukotina na kruni koja nije na neki način zaštićena. Kruna može služiti kao vozna površina pa je tada zaštićena kolničkom konstrukcijom. Kruna može biti i namjenski zaštićena slojem tla koje nije podložno skupljanju pri isušivanju i ono štiti nepropusni sloj u nasipu od stvaranja pukotina. Pukotine mogu nastati uzduž i poprijeko na pružanje nasipa. Tada na kruni nastaje tzv. „krokodilska koža“.



Slika 29. Krokodilska koža na kruni nasipa

Pukotine mogu sezati znatno u dubinu, i do 1,0 m, odnosno u izrazito sušnim krajevima i do 5,0m. Negativni učinak ovakvih pukotina opisan je u literaturi [2].



Slika 30. Pukotine u kruni i popravak zamjenom površinskog sloja na kruni uz zbijanje



pokrov tlom prikladne granulacije u dva sloja

klin dubine 0,3 m
i širine 1,0 m

Slika 31. Zaštita krune slojem koji nije podložan skupljanju

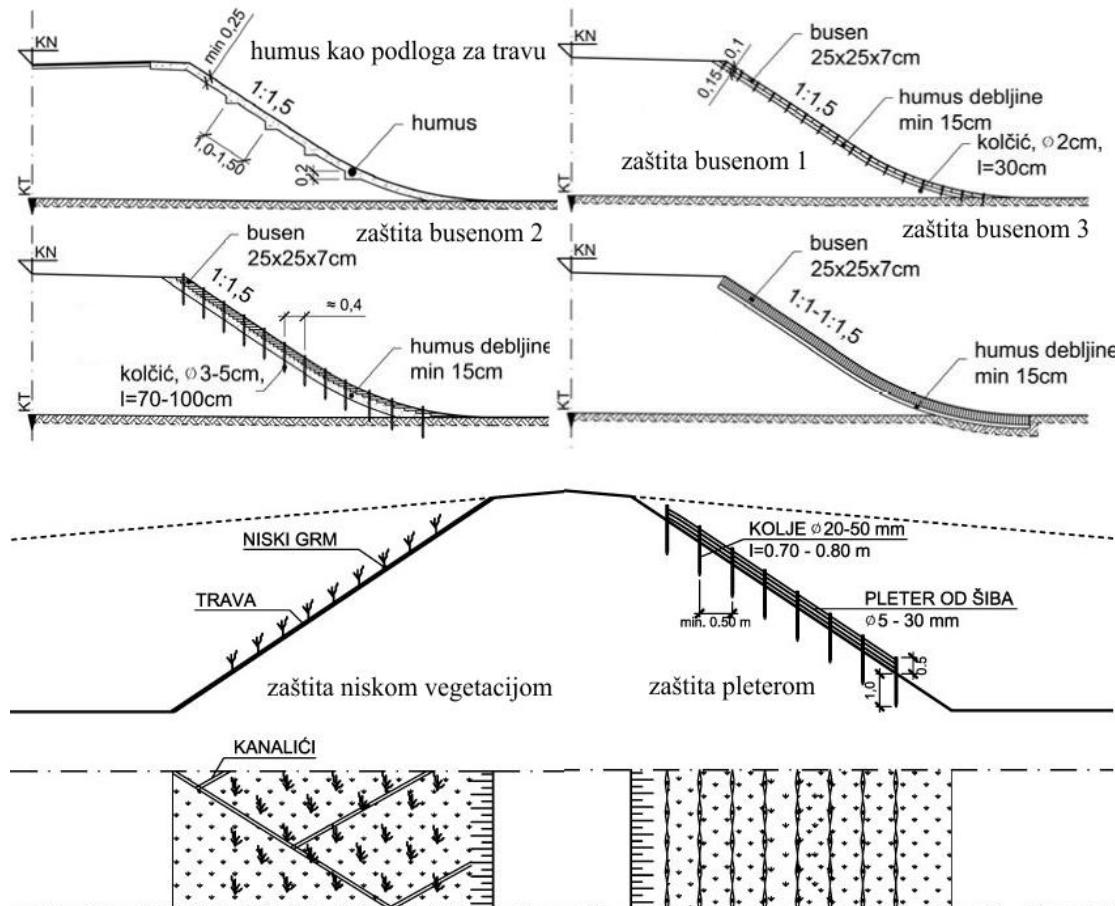
Prilikom kontrole stanja krune nasipa, treba provjeriti da li se u kruni pojavljuju kakve udubine. One mogu nastati uslijed slijeganja nasipa zbog lokalno lože zbijenosti, zbog slijeganja jako stišljive podloge na dijelu trase nasipa, ili zbog neovlaštenog kretanja teških vozila po kruni, a što ostavlja kolotrage. Sve udubine u

kruni treba hitno popraviti i dovesti površinu u stane da s nje što brže otjeće voda (uglavnom oborinska).

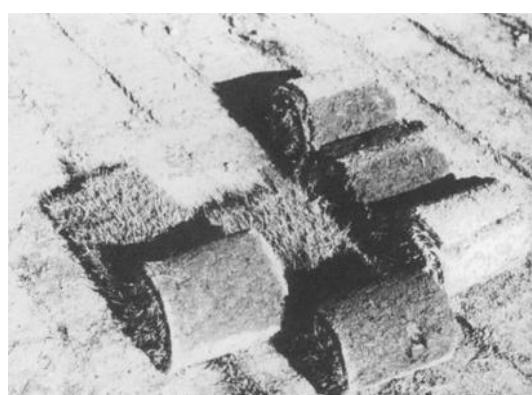
Najčešća zaštita pokosa od vanjske erozije je travnatim pokrovom.

Ozelenjavanje kao i popravak zelenih površina vrši se raznim postupcima. Polažu se gotovi buseni koji dolaze u rolama. Oni trenutno štite nasip jer ne treba čekati da trava naraste. Tamo gdje sušno razdoblje traje duže

koristi se hidrosjetva. Površina se može pripremiti tako da kiša koja padne ne odnese humus i sjeme. U tu se svrhu koriste travne rešetke.



Slika 32. Zaštita pokosa nasipa u Hrvatskoj prema Općim tehničkim uvjetima za radove u vodnom gospodarstvu



Slika 33. Buseni u rolama i travna rešetka

Zaštita pokosa naročito na vodenoj strani često se izvodi raznim oblogama. To naročito vrijedi za one nasipe koji su stalno ili vrlo često u dodiru s tekućom vodom.

Obloge s prethodne slike treba stalno održavati na način da ne budu pretjerano obrasle vegetacijom. Posebna se pažnja posvećuje zaštiti nožice kako za zaštitu od vanjske tako i za zaštitu od unutarnje erozije.



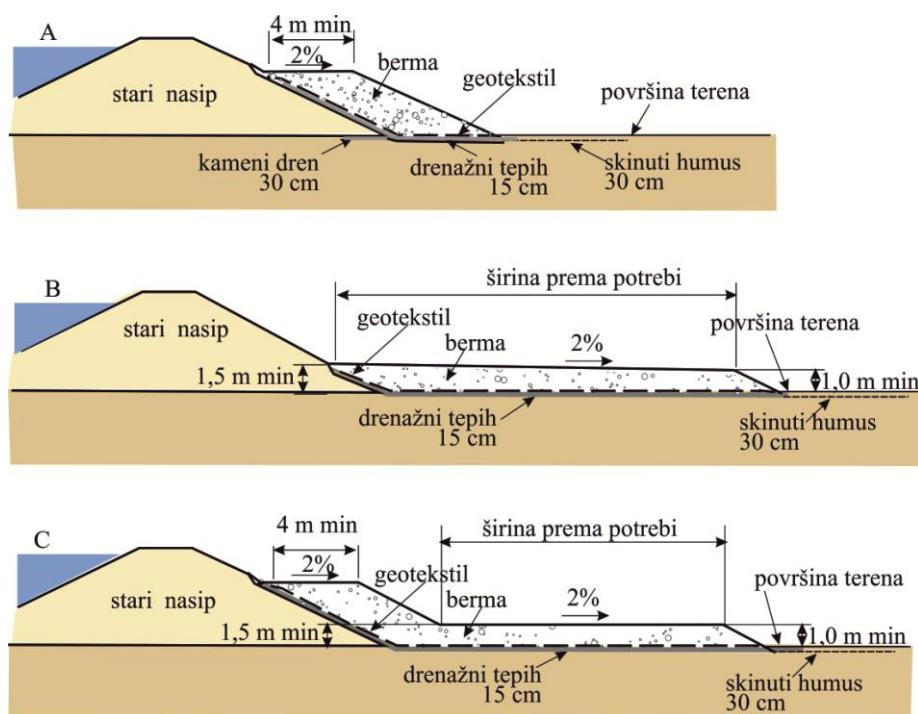
Slika 34. Rip-rap, lijevo i gabioni, desno na uzvodnim kosinama nasipa

5.1.4. Zaštita od unutarnje erozije

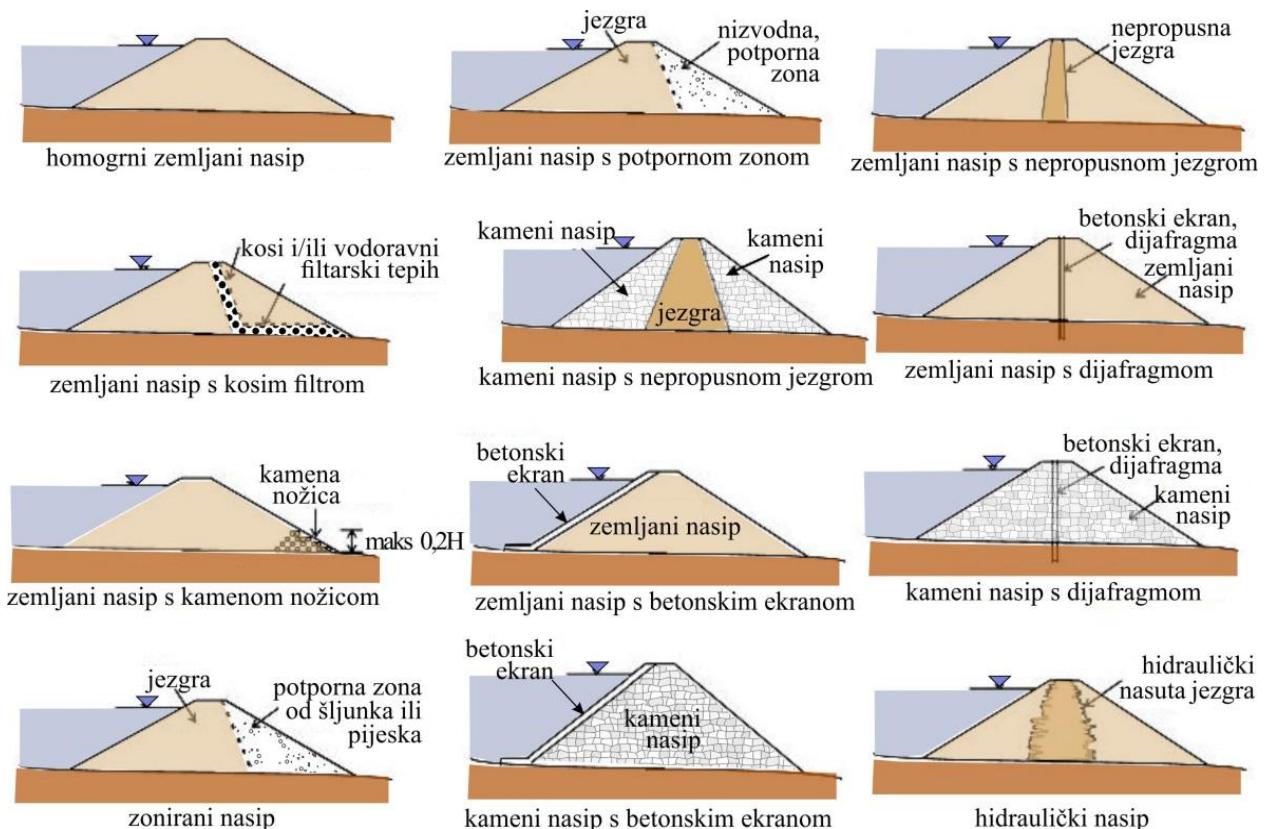
Unutarnja erozija vrlo je opasna za trajna oštećenja nasipa. Stoga joj je potrebno posvetiti posebno pažnju. Kako ona nastaje pojavom kritičnog hidrauličkog gradijenta to se mјere zaštite svode na zahvate koji sprječavaju njegovu pojavu. Jedan od načina je

produženje puta vode. To se može postići izradom raznih tipova bermi, prikazanih na slici 35.

Najčešće se zaštita od unutarnje erozije osigurava ugradnjom različitih vrsta filtera i/ili vododrživih barijera. Niz takvih elemenata je prikazan na slici 36.



Slika 35. Izrada bermi za zračnoj strani nasipa sa svrhom osiguranja od hidrauličkog sloma u nožici nasipa



Slika 36. Vododrživost i zaštita od unutarnje erozije filtarskim slojevima

5.1.5. Nestabilnost pokosa

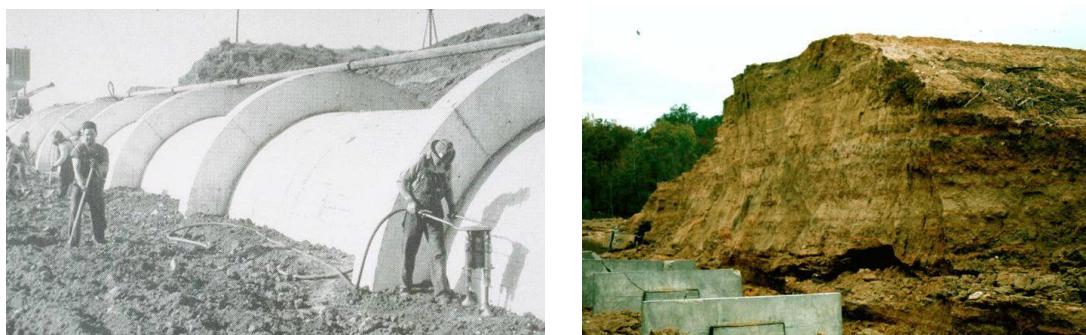
Nestabilnost pokosa je najopasnija pojava na nasipima. Nestabilan može biti uzvodni kao i nizvodni pokos. Uzroci mogu biti najrazličitiji. Jedan od pokazatelja moguće pojave nestabilnosti je pukotina duž krune. Ona nastaje iz različitih prethodno opisanih razloga ali sigurno predstavlja mjesto potencijalne pojave klizne plohe. Ovakva mjesta je potrebno trenutno učvrstiti i osigurati od klizanja. Nezgoda je ako se ovakve pojave javi pri prolazu velike vode. U tom slučaju može doći do teških oštećenja nasipa.

5.1.6. Spojevi s krutim objektima

Prethodno je navedeno kako su ova mjesta posebno osjetljiva na oštećenja. Njih naročito treba stalno kontrolirati. Sigurnost od procjeđivanja na kontaktu dvaju tijela različitih svojstava, može se može povećati raznim projektantskim detaljima, što opet ne znači potpunu sigurnost.



Slika 37. Pukotina u kruni nasipa koja ukazuje na moguće klizanje nizvodnog, zračnog pokosa



Slika 38. Ugradnja cijevi i spojnica i prolom nasi pa pri prvom punjenju uz betonsku građevinu [6]

5.2 Održavanje u interventnim uvjetima

Interventni uvjeti nastaju kod pojave velikih voda. Organizacije zadužene za brigu o ovakvim situacijama za to imaju posebne službe. Ove službe su dužne imati u pripremi operativne planove za ovakve situacije. Nažalost bez obzira na sve analize i proračune, velike vode mogu iznenaditi količinom, a naročito trajanjem. Trajanje u nekom slučaju može biti ključan faktor u izdržljivosti nasipa za obranu od poplava koji su do tada duže vrijeme bili van funkcije.

Takvi događaji pred službe održavanja stavljuju hitne mјere koje treba poduzeti u dva slučaja.

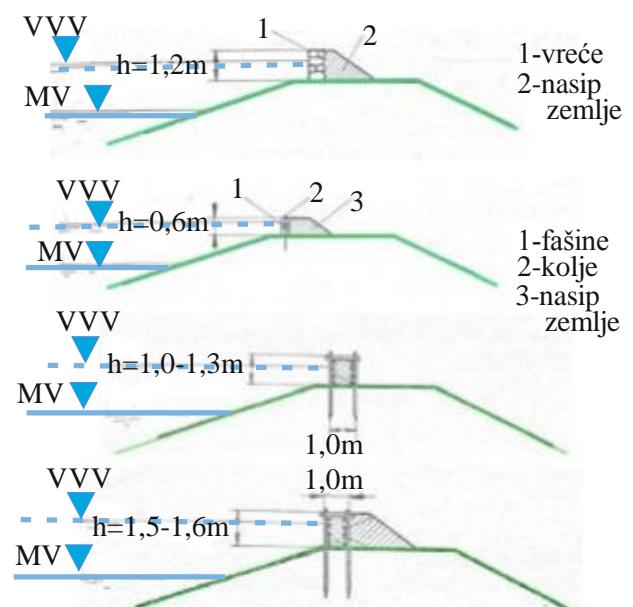
5.2.1 Preljevanje krune

Prvi je slučaj prelijevanje. Ono se ne smije dozvoliti ako je to ikako moguće. U tu svrhu koriste se razni načini nadvišenja krune nasipa. Pri tom je „zečji nasip“ izrađeni od naslaganih vreća punjenih pijeskom najčešće korištena mјera.



Slika 39. Zečji nasip [5]

Osim zečjih nasipa postoji još niz načina osiguranja krune od prelijevanja. Na slici koja slijedi prikazani su neki od njih.



Slika 40. Nekoliko mogućih (povijesnih) nadvišenja krune za obranu od poplava [3]

Novi materijali i nove tehnologije omogućili su bržu izvedbu zaštitnih barijera od onih prikazanih na slici 40. Naročito su se učinkoviti pokazali gabioni presvučeni geotekstilom. Ovakav se sustav može puniti raznim vrstama sitnozrnog materijala kojeg geotekstil zadržava unutar gabiona.



Slika 41. Napuhane cijevi (lokalni.večernji.hr)



Slika 42. Obrana od poplave, svibanj 2011. Luisiana USA, i gabioni u pripremi [3]

5.2.2 Nestabilnost kosina

Drugi je slučaj oštećenje, klizanje, proboj i slično, samog nasipa koji također zahtjeva hitnu intervenciju. Klizanje je uglavnom izazvano procjeđivanjem kroz nasip, utjecajem strujnog tlaka na promjenu stanja naprezanje na potencijalnoj kliznoj plohi i ili hidrauličkim slomom i nožici nasipa. Na sljedećim slikama prikazane su interventne mjere u slučaju pojave procjeđivanja u nožici, koje bi moglo izazvati klizanje, kao i neke druge mjere za interventnu stabilizaciju pokosa na zračnoj strani nasipa.

U slučaju proboga nasipa često i hitne mjere nemaju značajan učinak.



Slika 43. Klizište na nizvodnoj (zračnoj) strani nasipa uslijed djelovanja procjeđivanja kroz nasip pri ekstremno visokom vodostaju. Zaštita od hidrauličkog sloma (prekomjernog procjeđivanja) i dodatno opterećenje nožice [5]



Slika 44. Zaštita kosine od klizanja nizom drvenih pilota [5]

6. RAZGRADNJA

U krajnjim slučajevima, kada dođe do velikih oštećenja nasipa ili su oni izgubili svoju funkciju, može se pokazati ekonomski isplatljivija njihova razgradnja. To je rijedak slučaj s nasipima za obranu od poplava, ali nije rijedak u slučaju malih brana. Male brane su često u privatnom vlasništvu pa vlasnik odlučuje o njihovom trajanju. U koliko su toliko oštećene da je rekonstrukcija skupljala od razgradnje, odlučuju se na ovo drugo. Dio malih brana u SAD-u razgrađen je na zahtjev stanovništva s obrazloženjem da su ekološki vrlo štetne. Više o razgradnji brana vidi u literaturi [7].

LITERATURA

- [1] CIRIA C731, (2013) The International levee Handbook. CIRIA, London.
- [2] Roje-Bonacci, T. (2019) Utjecaj eurokoda na proračun nasipa za obranu od poplava. Vodoprivreda 0350-0519, Vol. 51, No. 300-302, p. 187-196
- [3] ROJE-BONACCI, T. (2015) Nasute građevine. Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta, Split
- [4] Fell, R., MacGregor, P., Stapledon, D., Bell, G., Foster, M. (2015.), *Geotechnical Engineering of Dams, 2nd edition*. CRC Press, Taylor & Francis Group, London, UK/Balkema book
- [5] Roje-Bonacci, T. (2015). *Što se može naučiti o nasipima nakon katastrofalnih poplava u istočnoj Slavoniji* // Hrvatske vode: časopis za vodno gospodarstvo, 23, 9; 35-42
- [6] FEMA (2005.), *Conduits through Embankment Dams*. L-266/september 2005. US Department of Homeland Security
- [7] Roje-Bonacci, T.; Bonacci, O. (2016), *Uklanjanje (razgradnja) brana i ili pregrada na otvorenim vodotocima* // Hrvatske vode: časopis za vodno gospodarstvo, 24 97; 223-232

MAINTENANCE AND RECONSTRUCTION OF HYDROTECHNICAL EMBANKMENT

by

Prof. emerita, Phc. Tanja ROJE-BONACCI
University of Split

Summary

Embankments are very sensitive hydraulic structures, which require proper maintenance and occasional reconstructions and reinforcements. It is often necessary to increase height and the size of the embankment, in order to ensure their structural, geotechnical and hydraulic reliability. In the conditions of increasing waves of high waters due to climate change, reconstruction, increase in height and strengthening of embankments will be more and more necessary. The article deals with the principles of maintenance and reconstruction of existing embankments. Numerous

types of embankments have been systematized, as simple as those of very complex geotechnical structures. Possible damages and ways of repairing them were analyzed. Numerous measures of current maintenance of the embankment are considered in detail, as well as maintenance measures in various intervention conditions (eg case of overflow of the embankment crown, slope instability).

Keywords: embankments, embankment damage, regular maintenance, embankment reconstruction.

Redigovano 27.10.2020.