Gradnja nasipa za obranu od poplava

Šestanj Perić, Manuela

Undergraduate thesis / Završni rad

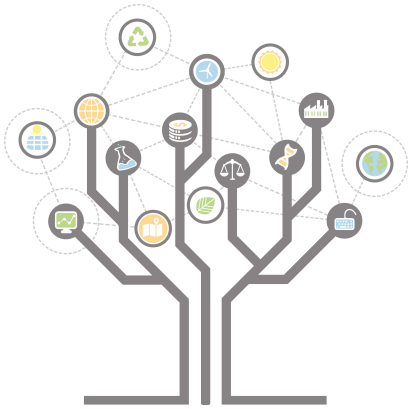
2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:102216

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations

zir.nsk.hr

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Gradnja nasipa za obranu od poplava

Šestanj Perić, Manuela

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:102216

Rights / Prava: In copyright

Download date / Datum preuzimanja: **2020-10-27**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

MANUELA ŠESTANJ PERIĆ

GRADNJA NASIPA ZA OBRANU OD POPLAVA

ZAVRŠNI RAD

VARAŽDIN, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

GRADNJA NASIPA ZA OBRANU OD POPLAVA

KANDIDAT:
MANUELA ŠESTANJ PERIĆ

MENTOR:
doc. dr. sc. BORIS KAVUR

VARAŽDIN, 2018.

Sveučilište u Zagrebu
Geotehnički fakultet

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnica: MANUELA ŠESTANJ PERIĆ

Matični broj: 2296 - 2013./2014.

NASLOV ZAVRŠNOG RADA:

GRADNJA NASIPA ZA OBRANU OD POPLAVA

Rad treba sadržati: 1. Uvod
2. Dijelovi nasipa
3. Istražni radovi
4. Gradnja nasipa
5. Zaključak
6. Popis literature
7. Popis slika
8. Popis tablica
9. Popis kratica

Pristupnica je dužna predati mentoru jedan uvezen primjerak završnog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade završnog rada je od 45 do 90 dana.

Zadatak zadan: 11.07.2018. Rok predaje: 06.09.2018.

Mentor: Predsjednik Odbora za nastavu:

Doc.dr.sc. Boris Kavur

REPUBLIKA HRVATSKA - GEOTEHNIČKI FAKULTET - VARAŽDIN - SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

Izv.prof.dr.sc. Igor Petrović

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem daje završni rad pod naslovom

GRADNJA NASIPA ZA OBRANU OD POPLAVA

(naslov završnog rada)

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom doc.dr.sc. Borisa Kavura.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 06.09.2018.

Manuela Šestanj Perić

(Ime i prezime)

Manuela Šestanj Perić

(Vlastoručni potpis)

Sveučilište u Zagrebu Završni rad

Geotehnički fakultet

GRADNJA NASIPA ZA OBRANU OD POPLAVA

Student: Manuela Šestanj Perić

SAŽETAK:

U radu je opisana problematika hidrotehničkih nasipa, način njihove gradnje te kontrolni postupci koji se poduzimaju tijekom gradnje. U uvodnom dijelu opisan je cilj rada, a udrugom poglavlju različiti dijelovi hidrotehničkih nasipa. U trećem poglavlju navode se istražni radovi koje bi trebalo obaviti duž lokacije budućeg nasipa te su opisana laboratorijska ispitivanja koja treba obaviti na uzorcima tla s pozajmišta materijala. U četvrtom poglavlju opisan je način gradnje nasipa zbijanjem tla u slojevima i provedba terenske kontrole zbijenosti. Osim toga, u istom poglavlju je prikazana i problematika dimenzioniranja visine i širine nasipa, procjeđivanja vode kroz nasip i s tim u svezi moguća oštećenja nasipa, te mjere kojima se mogu spriječiti prolomi nasipa.

Ključne riječi: gradnja nasipa, istražni radovi, zbijanje tla, kontrola zbijenosti tla.

SADRŽAJ

1. UVOD 1

2. DIJELOVI NASIPA 1

2.1. Temeljno tlo 5

2.2. Tijelo nasipa 6

2.3. Nepropusno tijelo 6

2.4. Kruna nasipa 7

2.5. Zaštita pokosa 7

2.6. Berma 8

2.7. Filtarski slojevi 9

2.8. Sustav za prikupljanje procjedne vode 10

2.9. Dijelovi za osiguranje od proloma i povratne erozije u nasipu i zaobalju 11

2.10. Vododrživi dijelovi hidrotehničkih nasipa 11

3. ISTRAŽNI RADOVI 12

3.1. Istražni radovi na lokaciji građenja nasipa 12

3.2. Ispitivanja tla s pozajmišta 12

3.2.1. Proctor-ov pokus 13

3.2.2. Ispitivanje granulometrijskog sastava nasutog materijala 15

3.2.3 Ispitivanje čvrstoće tla 19

4. GRADNJA NASIPA 22

4.1. Zbijanje tla i kontrola zbijenosti 22

4.2. Odabir kote krune nasipa 25

4.3. Odabir širine krune nasipa 26

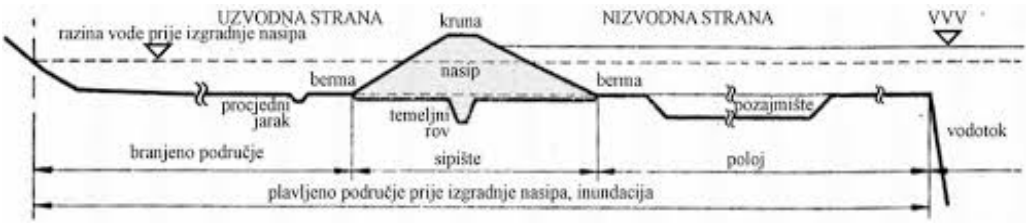
4.4. Utjecaj tečenja u vodotoku na nasipe u kruni 26

4.5. Procjeđivanje kroz nasip 28
4.6. Oštećenje nasipa prilikom procjeđivanja 29
4.7. Mjere zaštite nasipa od proloma 33
5. ZAKLJUČAK 34
6. POPIS LITERATURE 35
7. POPIS SLIKA 37
8. POPIS TABLICA 38
9. POPIS KRATICA 39

1. UVOD

Nasip predstavlja građevinu ili dio građevine koji je izgrađen od zemljanog materijala iznad prirodnog terena [1]. Nasipi mogu imati namjenu brane, nasipa za obranu od poplava, obalnih kanala, ustroja ceste ili željezničkih pruga i sl. Izgrađuje se nasipavanjem, ravnanjem i zbijanjem zemljanog materijala. Debljina sloja nasipa ovisi o vrsti i namjeni nasipa. Kod hidrotehničkih nasipa nastoji se ostvariti što manja vodopropusnost, stabilnost pokosa uz vodu i otpornost na eroziju [1].

Nasipi za obranu od poplava (slika 1) nalaze se samo povremeno pod djelovanjem vode. Namjena im je zadržati vodu unutar korita te obrana naseljenog i poljoprivrednog područja od velikih poplava.



Slika 1. Nasip za obranu od poplava [2]

Cilj ovog rada je upoznati se sa osnovnim dijelovima hidrotehničkih nasipa te sa istražnim radovima koje treba provesti prije gradnje nasipa. Također, cilj je opisati načine gradnje nasipa zbijanjem i kontrolu gradnje, ukazati na problematiku dimenzioniranja visine i širine nasipa, pojave procjeđivanja vode kroz nasip i oštećenja nasipa s tim u svezi. Takva oštećenja moguće je ukloniti provođenjem odgovarajućih mjera.

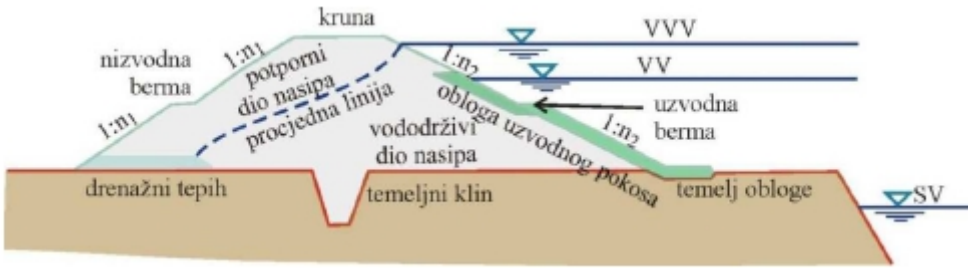
Hidrotehnički nasipi su mnogo složenije građe od cestovnih i željezničkih nasipa koji nemaju nikakvu drugu funkciju osim da budu trup prometnice ili željeznice [3].

Hidrotehnički nasipi često služe za obranu od velikih i štetnih poplava. Poplave su prirodni fenomeni čije se pojave ne mogu izbjeći, ali se poduzimanjem različitih preventivnih mjera rizici od poplavljivanja mogu sniziti na prihvatljivu razinu [4]. U Hrvatskoj su poplave među opasnijim elementarnim nepogodama i na mnogim mjestima mogu uzrokovati gubitke ljudskih života, velike materijalne štete, devastiranje kulturnih dobara i ekološke štete.

2. DIJELOVI NASIPA

U hidrotehničke nasipe se ubrajaju velike brane, brane i dolinske pregrade, nasipi za oblikovanje kanala raznih namjena, nasipi za obranu od poplava, nasipi za regulacije vodotoka, nasipi u lukama i plovnim putovima te valobrani.

Slika 2 Prikazuje hidrotehnički nasip s njegovim bitnim dijelovima.



Slika 2. Hidrotehnički nasip [3]

Hidrotehnički nasipi se grade ovisno o tlu i mjestu na koje se nasipa i ovisno o načinu na koji se nasipa. Ovisno o tlu i mjestu, nasipati se može na dobro nosivo tlo, na loše nosivo tlo te uz objekte. Prema načinu nasipavanja može biti nasipavanje bez zbijanja i nasipavanje sa zbijanjem.

Nasipi za obranu od poplava, koji služe kao trajne građevine, u pravilu se grade zbijanjem tla u slojevima. Kod nasipavanja sa zbijanjem prema gradivu za nasip predviđa se izrada nasipa od zemljanih materijala, mješanih materijala, kamenitih materijala.

Prema vrsti gradiva ugrađenog u nasipe mogu biti [3]:

1) isključivo nasuti: homogeni (trapezni) i zonirani (trapezni i razvijeni oblici).

2) složeni nasipi: s građevinom na kruni, s građevinom na uzvodnoj strani i s građevinom unutar nasipa.

Homogeni nasipi mogu imati berme, naročito ako se nalaze na lošem temeljnom tlu, pa je potrebno osigurati kosine od podnožičnog klizanja. U homogene nasipe se mogu ubrojiti i nasipi koji su građeni od drugih priklanih materijala.

Hidrotehnički nasipi ne moraju uvijek biti strogo homogeni, ali moraju sadržavati dijelove za zaštitu od mogućih šteta. Nasipi koji su građeni na višeslojnom tlu koje ima različite vodopropusnosti smatraju se složenim homogenim nasipima. Hidrotehnički nasipi su osjetljivi na pojavu povratne esrozije, a naročito su osjetljivi nasipi koji su građeni na tankoj nepropusnoj podlozi. Kod njih dolazi do pojave tankog nepropusnog sloja i do proboja nasipa.

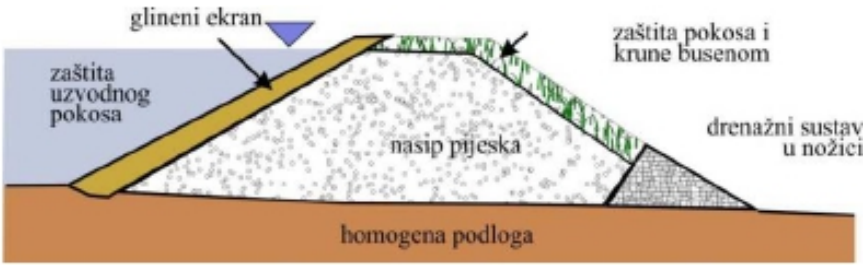
Slika 3 prikazuje homogeni nasip sa zaštitom uzvodnog pokosa na homogenoj podlozi.



Slika 3. Homogeni nasip [3]

Zonirani nasipi se grade od raznovrsnih gradiva najčešće kada nema dovoljno lokalnog gradiva (tla) za izvedbu punog tijela. Za gradnju nasipa potrebna je velika količina materijala za granju. Kao gradivni materijal nastoji se najviše koristiti lokalno tlo koje se nalazi na mjestu gradnje. Korištenjem lokalnog tla nije potrebno prevoziti materijal sa velikih udaljenosti te je sama gradnja brža i ekonomičnija. Ponekad takvo tlo ne zadovoljava odgovarajuća svojsta za gradnju, potrebno ga je tada zamijeniti i dopuniti sa gradivom odgovarajuće kakvoće i svojstva.

Slika 4 prikazuje zonirani nasip kojemu je osnova pijesak na nepropusnoj podlozi s različitim zaštitama od površinske erozije.



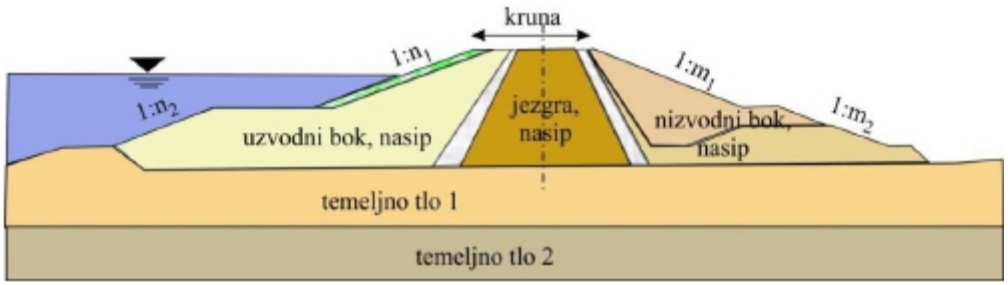
Slika 4. Zonirani nasip [3]

U području gdje se raspolaže s većom količinom kamena ili šljunka i mješavina šljunka i pijeska, potrebno je zoniranjem osigurati potrebnu vodonepropusnost. U nasipe se mogu ugraditi i viškovi raznih industrijskih ostataka koji se ugrađuju u određene dijelove nasipa [2]. Takvi nasipi također predstavljaju zonirane nasipe. Prilikom gradnje potrebno je pažnju obratiti na vodopropusnost samog tijela nasipa, ako je tijelo izgrađeno pretežito od propusnog materijala, tada treba ugraditi veći dio vodonepropusnog gradiva, kako bi se osigurala vododrživost. Takav materijal može biti ugrađen kao vodonepropusna jezgra. Zoniranje ovisi o uvjetima i svojstvima podloge, zbog različitih svojstva propusnoti podloge. Za izgradnju zoniranih nasipa potrebno je zadovoljiti složene zahtjeve korištenja kako bi se osigurala što veća stabilnost.

Složeni nasipi su nasipi koji osim dijela koji je izveden standardnim postupcima nasipavanja imaju još neke dodatke od drugih vrsta gradiva [3]. Ti dodaci mogu biti betonski zid, čelično žmurje, glinobetonska dijafragma i slični građevinski dijelovi. Dodaci se često koriste kod nadvišenja, proširenja i nadogradnje homogeni nasipa. U takve dodatke se ubrajaju i privremeni zagati. Privremeni zagati su privremene građevine koje moraju za vrijeme svog trajanja zadovoljiti visoke zahtjeve građevine koju štite. To može biti nasut zagat s betonskim zidom na kruni i injekcijskom zavjesom u tijelu nasipa, nasuti zagat s glinobetonskom jezgrom ili čeličnim žmurjem u sredini, što ovisi o vrsti tla ugrađenog u nasip, a kroz koji treba ugraditi vododrživi dio.

Nova gradiva kao što su geotekstili, geomreže i druge vrste armatura za tlo, proširuju mogućnost unošenja vlačne čvrstoće u gradivo nasipa, koje ono samo po sebi nema [3]. Armirano ili ojačano tlo može bitno ustrmiti nagib vanjskog lica nasipa čak i onda kada nema zaštite na licu, čime se bitno može uštedjeti na količini gradiva. Nasipi od ojačanog (armiranog) tla s licem mogu imati vrlo dekorativan izgled, a u kombinaciji sa zelenilom mogu utjecati na uređenje okoliša, što je pogodno za izvedbu u urbanim sredinama.

Slika 5 prikazuje složeni hidrotehnički nasip sa pojedinim dijelovima.



Slika 5. Složeni hidrotehnički nasip [3]

Svaki hidrotehnički nasip sastoji se od nekoliko osnovnih dijelova od kojih svaki ima neku zadaću. Svaka od tih sastavnica zahtjeva posebnu pažnju pri projektiranju, izvedbi i provjeri kakvoće izvedenog dijela.

2.1. Temeljno tlo

Temeljno tlo je sastavni dio nasipa [3]. Kod podloga koje zadovoljavaju tražene uvjete stabilnosti dovoljno je odstraniti raslinje i sloj humusa. Samu podlogu za temeljno tlo nasipa nije moguće birati te je u većini slučajeva treba izraditi i urediti. Metode kojima se tlo za temelje može urediti mogu biti jednostavne metode dodatnog zbijanja, ali i vrlo složeni zahvati raznim metodama za poboljšanje svojstava pod temeljnog tla u plićim ili dubljim slojevima. Ovisno o namjeni i stanju temeljnog tla, biramo način i mjere poboljšanja tla. Mjere mogu služiti za smanjenje slijeganja, ubrzanje sljeganja, smanjenje vodopropusnosti, povećanje čvrstoće na smicanje i slično [5]. Za to je potrebno poznavati sastav i svojstva temeljnog tla, što zahtjeva ozbiljne geotehničke istražne radove.

Ako teren na kojem leži nasip ima nagib veći od 20%, radi veće stabilnosti nasip je potrebno izvoditi u više stepenica. Stepenice se grade na svakih 100-300 cm visinske razlike, a ploha naginjanja se izvodi 3-5% u smjeru pada terena. Nakon skidanja humusa izvodi se zasjecanje koje se može vršiti strojno ili ručno ovisno o padu terena. Zasjecanje se mora izvršiti prije nasipavanja, kako nebi došlo do izlaganja podloge dugotrajnom vlaženju te do mogućeg odronjavanja stepenastih zasjesjeka [3].

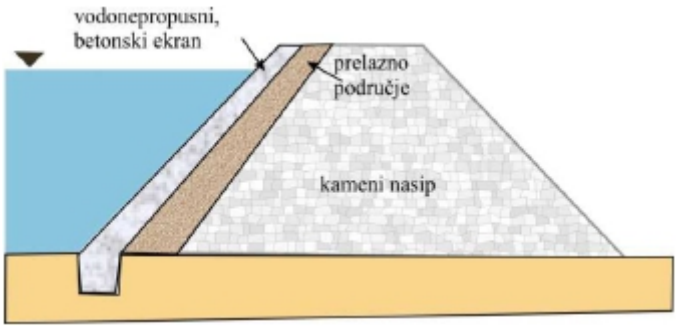
2.2. Tijelo nasipa

Tijelo nasipaje trup nasute građevine, izveden od propisanog tla kao gradiva i ugrađenog na propisani način [3]. U nasipe se mogu ugraditi i tla lošije kakvoće, ako mogu zadovoljiti uvjete predviđene projektom. Ta se gradiva u hidrotehničkim nasipima ugrađuju u potporne zone nasipa ili ako odgovaraju sastavom u prelazne, široke filtarske zone [3]. Gradivo koje se može ugraditi i ima dobra svojstva je razni industrijski otpad dobrih kakvoća. Ti materijali mogu biti uzvodna potporna zona ojačanja, nizvodna potporna zona, unutarnja jezgra i nizvodna potporna zona te može biti i drenažni sloj nasipa.

2.3. Nepropusno tijelo

Hidrotehnički nasipi imaju zadaću zadržavanja vode s jedne strane [4]. Kako bi se to ostvarilo takvi nasipi moraju biti izgrađeni od vodoodrživog gradiva ili moraju imati ugrađeni vodoodrživi dio u ili na nasipu.

Nasipi za obranu od poplava koji povremeno drže vodu, uglavnom su homogeni nasipi od slabo propusnog tla te mogu vodu zadržati dovoljno dugo da osiguraju branjeno područje od poplave. Dolinske pregrade koje vodu drže trajno, imaju ugrađen element koji je vodoodrživ [3]. Vodoodrživa jezgra mora biti ugrađena do najviše projektirane kote vode. Ta jezgra mora zadovoljavati fizikalno-mehaničke osobine, osobito glede zbijenosti i vodopropusnosti. Kod vodoodrživih ekrana moguća je pojava klizanja pokosa nasipa. Prilikom ugradnje takvih ekrana bitno je voditi brigu o pojavi klizanja, na način da se razmotri mogući utjecaj uzgona kod spuštanja razine vode te utjecaj promjene temperature vode. Kameni nasipi (slika 6) mogu imati betonski ekran, koji mora imati dobro uporište u nožici na koju se obloga oslanja [3].



Slika 6. Kameni nasip [3]

2.4. Kruna nasipa

Kruna nasipa je zadnji završni sloj nasipa. Odabir visine krune vrlo je bitan. Kruna može biti dodatno dorađena voznom površinom ili može ostati kao nezaštićena završna površina nasipa. Nasipi koji samo povremeno dolaze pod utjecaj vode, a nisu zaštićeni mogu pretrpjeti isušivanje. Ako su nasipi izgrađeni od srednje do visoko plastičnih glina, isušivanje može prouzročiti pojave pukotina na površini usljed smanjenja zapremnine zbog gubitka vlage [3]. Pukotine mogu nastati uzduž i poprijeko na pružanje nasipa. Ako sušno razdoblje potraje dugo, pukotine mogu sezati znatno u dubinu (od 1,0 m do 5,0 m). Pukotine su opasne zbog procjeđivanja vode (kiša, bujanje vodotoka) te mogu znatno smanjiti stabilnost pokosa. Takve pukotine krune mogu se popraviti iskopom i ponovnim zbijanjem prikladnog gradiva te ugradnjom čeličnog žmunja u krunu. Krune starih ili oštećenih nasipa moguće je nadvisiti i to skidanjem pokrovnog tla i nadomještanjem nove visine. Nadvišenja je moguće izvesti s uzvodne strane, s obje strane i s nizvodne strane.

2.5. Zaštita pokosa

Nasipi su vrlo osjetljiviji na površinsku eroziju, pri tome su najosjetljiviji zemljani nasipi i nasipi od miješanog gradiva. Kameni nasip je nešto manje osjetljiv na oborinske vode (ovisi o granulometijskom sastavu), a nasipi od industrijskog otpada, komunalnog otpada i slično su različito osjetljivi na površinsku eroziju.

Različiti je način zaštite nasipa koji stalno, povremeno ili privremeno dolaze u dodir s vodom. Tako HRN U.S4.064 razlikuje [6]:

-osiguranje kosina nasipa i usjeka,

-osiguranje kosine i nožice nasipa vodotoka,

-osiguranje kosine visokih kamenih nasipa.

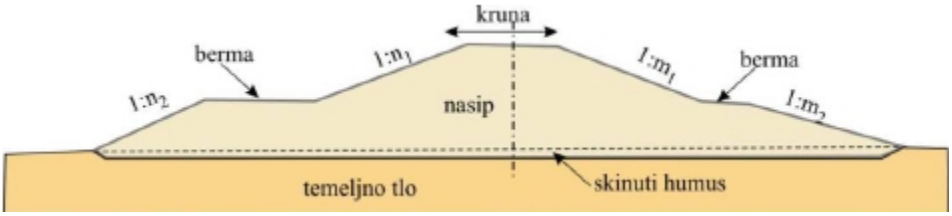
Za svaki od ovih pokosa postoji različiti niz načina zaštite. Osim namjene zaštite površine, neke od zaštita moraju imati i estetski učinak (primjer: površine u naselju i zaštićenom okolišu). Radi uspješne zaštite pokosa potrebno je izvesti nagibe da budu što stabilniji. Potrebno je izvesti i kontrolu odvodnje vanjske oborinske vode i podzemne vode. Najvažnije je zaštititi svježi pokos od štete koju čine intenzivni pljuskovi. Najčešća i najjednostavnija zaštita pokosa od takvih dijelovanja je prekrivanje pokosa humusom koji je skinut prilikom iskopa i privremeno deponiran [3]. Na takav sloj humusa se sija trava radi bolje zaštite. Humus se prekriva geopletivom za pridržavanje dok ne naraste trava i korijenjem se veže za humus. Za bolja ojačanja humusa mogu se još ugraditi geotekstili s već umetnutim sjemenom trave, travne rešetke (betonske ili od platičnih masa), sadnja grmlja između trave, ugradnja bermi, pleteri od pruća i sl. Nasipi koji su stalnom pod vodom zahtjevaju bolju zaštitu zbog djelovanja stalne vode. Kao zaštita sa vodene strane koristi se rolirani pokos ili zaštita “rip-rap” strojno slaganim krupnim kamenom. Takvi nasipi se moraju dobro osigurati u nožici, a to se može postići oblaganjem nožice gabionima, gabionskim madracima i drugim različitim kombinacijama geotekstila i kamena.

2.6. Berma

Berma je nasuti dio građevine od zemljanog, miješanog ili kamenog gradiva, ovisno o vrsti i namjeni [3]. Sastavni je dio nasipa koji ima vrlo različite svrhe i zadaće. Njome se prekida duga kosina, ojačava potporna zona kod hidrotehničkih nasipa ili stabilizira pokos koji bi mogao izazvati podnožični slom lošeg tla ispod nasipa. Služi za produljenje puta vode u zaobalje i smanjuje opasnost od povratne erozije te smanjuje utjecaj valova na eroziju nasipa tamo gdje je to značajno. Berma može biti propusna,

drenirajuća i nepropusna. Ona je sastavni dio nasipa pa ju je potrebno na površini štititi od erozije na isti način kao i nasip [3].

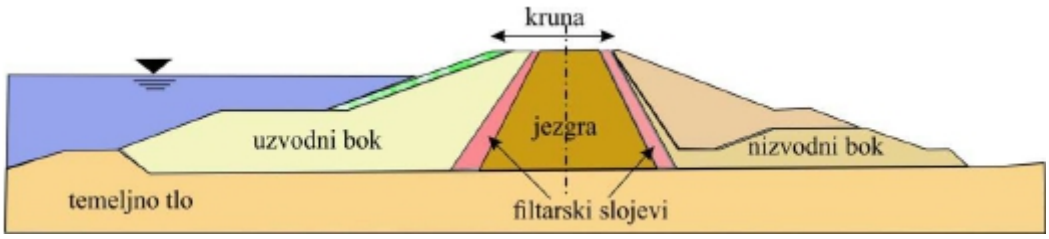
Slika 7 prikazuje nasip sa obostranim bermama.



Slika 7. Nasip sa bermama [3]

2.7. Filtarski slojevi

Filtarski slojevi (slika 8) imaju svrhu obrane od unutarnje erozije (može se pojaviti unutar nasipa, u temeljnom tlu i na dodiru ploha između nasipa i temeljnog tla). Filtarski slojevi moraju se ugraditi na svim mjestima u nasutim građevinama, gdje dolaze u dodir tla značajno različitih propusnosti [3]. Filtarski slojevi sprječavaju nepoželjne pojave kao što su iznošenje sitnih čestica iz slabo propusnih slojeva u slojeve veće propusnosti na granici dvaju takvih slojeva. Filtarski slojevi se najčešće nalaze između glinene jezgre i kamenog nasipa kod dolinskih kamenih pregrada, a kod jednostavnih nasipa i dolinskih pregrada između vododrživog tijela i potpornih zona od tla slabije kakvoće.

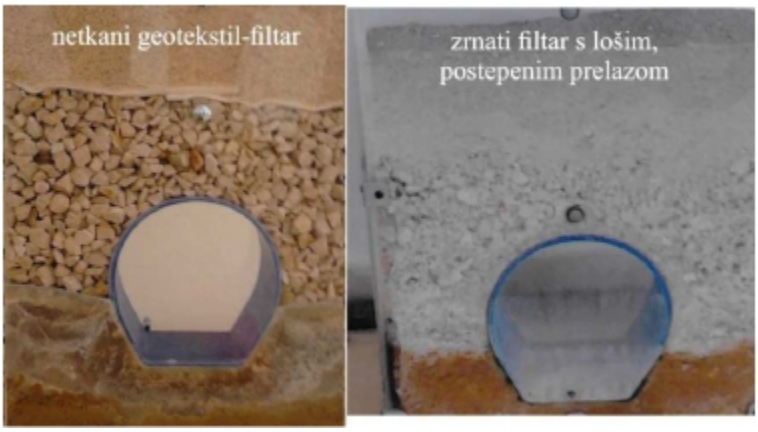


Slika 8. Filtarski slojevi [3]

Gradiva za filtre su zrnata tla određenih granulometrijskih sastava i različiti geotekstili i njihove kombinacije [3]. Zrnati filtri moraju zadovoljavati neke zahtjeve: zadržavanje

sitnih čestica, dreniranje, samo filtriranje, ne smiju se drobiti te moraju biti nekoherentni. Filtri mogu biti izvedeni tako da je dodir između dva tla različite krupnoće obloženo odgovarajućom vrstom geotekstila koji djeluje drenirajuće, filtrirajuće i odvajajuće. Geotekstili su uvelike poboljšali kakvoću izrade filtra kao i brzinu izvedbe.

Slika 9 prikazuje filtre od netkanih geotekstila i filtre s lošim postepenim prelazom.



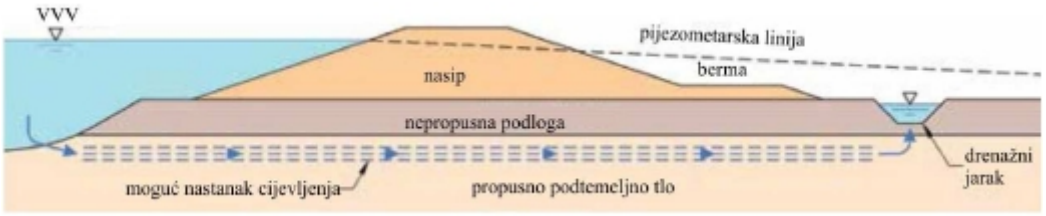
Slika 9. Filtri [3]

2.8. Sustav za prikupljanje procjedne vode

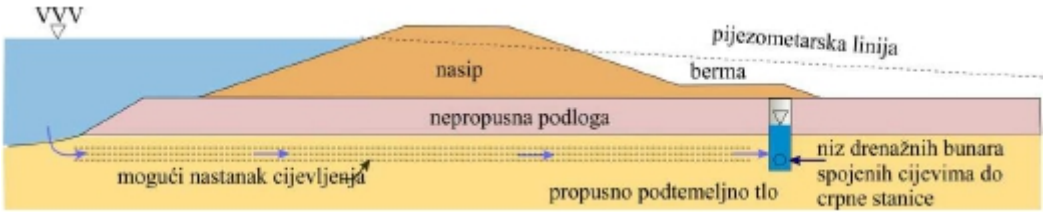
U ove sustave ubrajamo drenažne sustave. Drenažni sustavi se nalaze neposredno uz nepropusne dijelove nasipa te prikupljaju procjednu vodu iz nasipa i podloge [4]. Oni djeluju tako da utječu na raspodjelu pornih tlakova u nasipu i upravljaju izlaznim gradijentima. Kao sustavi drenaže najpoznatije su drenažne cijevi. One u nasipu mogu i ne moraju biti ugrađene. U drenažne sustave ubrajaju se i drenažni jarci ili zdenci. Oni su smješteni uz nizvodnu nožicu nasipa i odvode prikupljanu vodu uza to prikladne sabirnike, kanale i prirodne vodotoke [3]. Površinski odvodni jarak može biti zamijenjen s drenažnim jarkom s drenažnom cijevi i sa zatvorenom površinom. Posebnu pažnju treba posvetiti projektiranju drenažnih sustava, zbog njihovog djelovanja na pokose koji mogu biti stabilizirajući i destabilizirajući. Također, oni i povećavaju stabilnost nasipa jer kontroliraju sile strujnog tlaka na nizvodnom pokosu.

2.9. Dijelovi za osiguranje od proloma i povratne erozije u nasipu i zaobalju

Kada dođe to pojave velike vode i njenog zadržavanja, potrebno je zaobalje štititi od procjeđivanja i cijevljenja. U konkretnom slučaju za to služe nizvodna berma i drenažni jarak [3]. Umjesto drenažnih jaraka mogu služiti odteretni zdenci, kojima se točkasto snižava pijezometarski tlak u zaobalju. Kada odteretni zdenci ulaze u neprekinuti drenažni sloj imaju pojačano djelovanje. Postoji čitav niz mogućih kombinacija zahvata kojima se djeluje na zaštitu zaobalja od proloma nasipa uslijed procjeđivanja. Na slikama 10 i 11 prikazana je zaštita zaobalja od raznih utjecaja tijekom visokih vodostaja.



Slika 10. Zaštita zaobalja drenažnim jarkom [4]



Slika 11. Zaštita zaobalja zdencom [3]

2.10. Vododrživi dijelovi hidrotehničkih nasipa

S obzirom na osnovu hidrotehničkih nasipa, koji imaju svrhu zadržavanja vode s jedne strane, nužno je osigurati vododrživost nasipa. Zadržavanje vode unutar nasipa predstavlja veliku razliku. Nasipi koji su pod stalnim djelovanjem vode moraju imati veću vododrživost od nasipa koji povremeno drže vodu (nasipi za obranu od poplava). Nasipi koji trajno drže vodu moraju svojom vododrživošću osigurati što manje gubitke vode uslijed procjeđivanja kroz nasip, a time i stabilnost same građevine [3]. Nasipi za obranu od poplava povremeno drže vodu te moraju zadovoljiti zadržavanje velikih voda i samim time podnijeti razne vrste procjeđivanja. U takve nasipe se ugrađuju sustavi za

odvodnju, kako bi se voda mogla sakupljati i kontrolirano odvoditi. Potrebno je osigurati nizvodnu stranu nasipa i tla neposredno uz nasip od šteta koje bi mogle nastati procjeđivanjem [3]. Da bi nasip bio što stabilniji i sigurniji treba ga osigurati od bilo kakvog procjeđivanja.

3. ISTRAŽNI RADOVI

3.1. Istražni radovi na lokaciji građenja nasipa

Prije građenja nasipa, potrebno je upoznati i ispitati litološki sastav i svojstva temeljnog tla duž linije budućeg nasipa. Ovisno o tipu građevine i složenosti te uvjeta temeljnog tla te fazi projektnog rješenja, provode se istražni radovi koji mogu uključivati geološka, hidrogeološka, geofizička i geotehnička istraživanja i ispitivanja.
Geotehnička ispitivanja koja se provode za potrebe izrade projektnog rješenja obuhvaćaju istražna bušenja na terenu, terenska in situ ispitivanja te laboratorijsko određivanje svojstava tla.
Razlikuju se tri stupnja istraživanja: preliminarno, istraživanje za potrebe glavnog objekta i kontrolna ispitivanja, što je definirano odredbama Eurocode-a 7.

3.2. Ispitivanja tla s pozajmišta

Ispitivanja tla na budućem pozajmištu provode se radi utvrđivanja generalne pogodnosti tla prema vrstama i količinama koje su potrebne za građenje nasipa. Ovi radovi podrazumijevaju istražna bušenja, raskope te uzimanje uzoraka tla za laboratorijska ispitivanja.
Laboratorijskim ispitivanjima utvrđuje se pogodnost tla (dozvoljeni sadržaj organske ili topive tvari) te geotehnička svojstva koje tlo treba imati nakon ugradnje u nasip (gustoća, čvrstoća, stišljivost, propusnost). Naročito važno je utvrditi svojstva zbijanja tla Proctor-ovim pokusom.

3.2.1. Proctor-ov pokus

Jedan on najvažnijih laboratorijskih pokusa za određivanje stupnja zbijenosti. Laboratorijskim pokusom zbijanja simuliraju se uvjeti terenskog zbijanja, a rezultati se koriste za optimizaciju i kontrolu terenske ugradnje. Postoje dvije vrste ovog pokusa, a to su standardni i modificirani Proctorov pokus. Proctorov pokus je standardiziran i uzorci se zbijaju u standardiziranim kalupima sa zadanom energijom zbijanja [7]. Materijal mora potpuno ispuniti kalup, a višak materijala se uklanja nožem. Mjeri se masa materijala prije i nakon sušenja, te se tako mogu odrediti gustoće vlažnog i suhog tla koje odgovaraju različitim vlažnostima. Jedna od mjera zbijenosti je suha gustoća, ρ_d, određena kao masa čvrstih čestica u jediničnom volumenu tla. Zbijenost je to veća što je suha gustoća veća. Suha gustoća tla je ovisna isključivo o porozitetu. Na slici 12 prikazani su kalupi i ručni batovi za Proctorov pokus.



Slika 12. Uređaj za Proctor-ov pokus

a) Standardni Protor-ov pokus

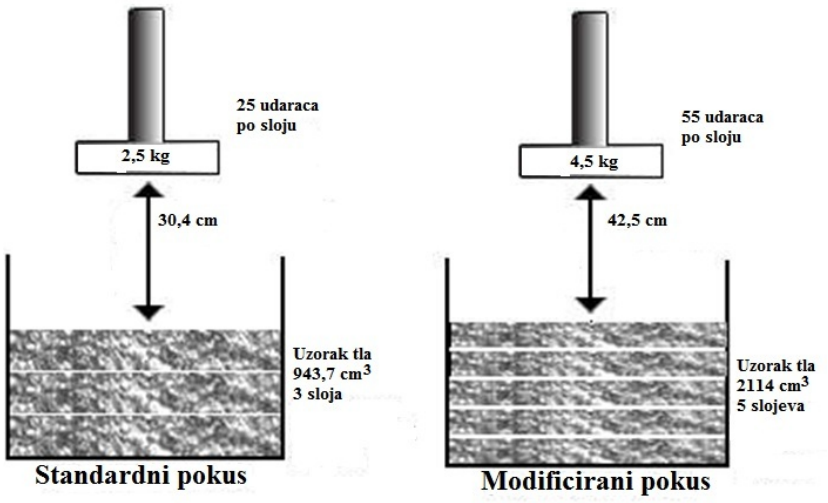
U standardnom Proctor-ovom pokusu zbijanje uzorka tla se vrši u kalupu volumena 943,7 cm^3 ili pak većem kalupu volumena 2114 cm^3. To ovisi o granulometrijskom sastavu tla. U manjem kalupu uzorak se zbija u tri sloja sa 25 udaraca na svaki sloj. Za zbijanje se koristi bat mase 2,5 kg koji pada s visine 30,4 cm. Pokus podrazumijeva

pripremu i zbijanje tla pri različitim vlažnostima kako bi se mogao ustanoviti odnos između suhe gustoće tla i vlažnosti pri konstantnoj energiji zbijanja.

b) Modificirani Proctorov pokus

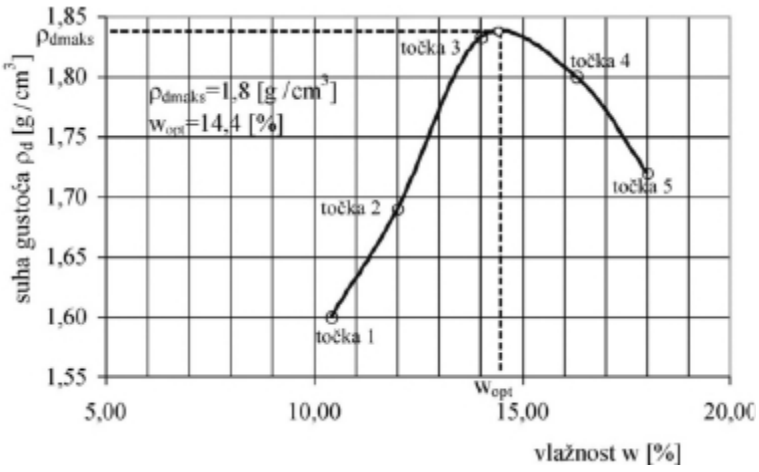
Modificirani pokus se provodi sa istim kalupima, ali podrazumijeva korištenje znatno veće energije zbijanja koja je primjerenija s obzirom da se zbijanje tla na terenu danas najčešće obavlja suvremenim, teškim strojevima. Modificirani pokus koristi bat mase 4,5 kg koji pada s visine 42,5 cm, a zbijanje uzorka se obavlja u pet slojeva sa po 55 udaraca na svaki sloj.

Slika13 prikazuje standardni i modificirani Proctorov pokus.



Slika 13. Proctorov pokus [3]

Rezultati dobiveni zbijanjem uzoraka pri različitim vlažnostima prikazuju se na grafu odnosa vlažnosti tla i postignute suhe gustoće (slika 14).



Slika 14. Proctorova krivulja zbijanja tla [3]

Na temelju dobivene krivulje zbijanja određuju se maksimalna suha gustoća tla (ρ_{dmaks}), koja odgovara korištenoj energiji zbijanja, i tzv. optimalna vlažnost (w_{opt}) pri kojoj bi trebali zbijati tlo prilikom gradnje nasipa.

3.2.2. Ispitivanje granulometrijskog sastava nasutog materijala

Granulometrijski sastav tla služi za razredbu krupnozrnog tla. Temeljem krupnoće čestica i oblika granulometrijske krivulje, krupnozrna se tla mogu svrstati u osnovne skupine i podskupine [3]. U tablici 1 prikazane su vrste materijala prema veličini čestica.

Tablica 1. Vrste materijala prema veličini čestica [9]

<table>
<tr><th colspan="2">VRSTA MATERIJALA</th><th>ISO/DIS 14688</th><th>USCS</th><th>BROJ SITA(USCS)</th></tr>
<tr><td rowspan="3">ŠLJUNAK</td><td>krupni</td><td>60 mm</td><td rowspan="3">75 mm</td><td rowspan="10">No. 4

No. 200- areometriranje sijanje -</td></tr>
<tr><td>srednji</td><td>20 mm</td></tr>
<tr><td>sitni</td><td>6 mm</td></tr>
<tr><td rowspan="3">PIJESAK</td><td>krupni</td><td>2 mm</td><td rowspan="3">4,75 mm</td></tr>
<tr><td>srednji</td><td>0,6 mm</td></tr>
<tr><td>sitni</td><td>0,2 mm</td></tr>
<tr><td rowspan="3">PRAH</td><td>krupni</td><td>0,06 mm</td><td rowspan="4">0,075 mm</td></tr>
<tr><td>srednji</td><td>0,02 mm</td></tr>
<tr><td>sitni</td><td>0,006 mm</td></tr>
<tr><td>GLINA</td><td></td><td>0,002 mm</td></tr>
</table>

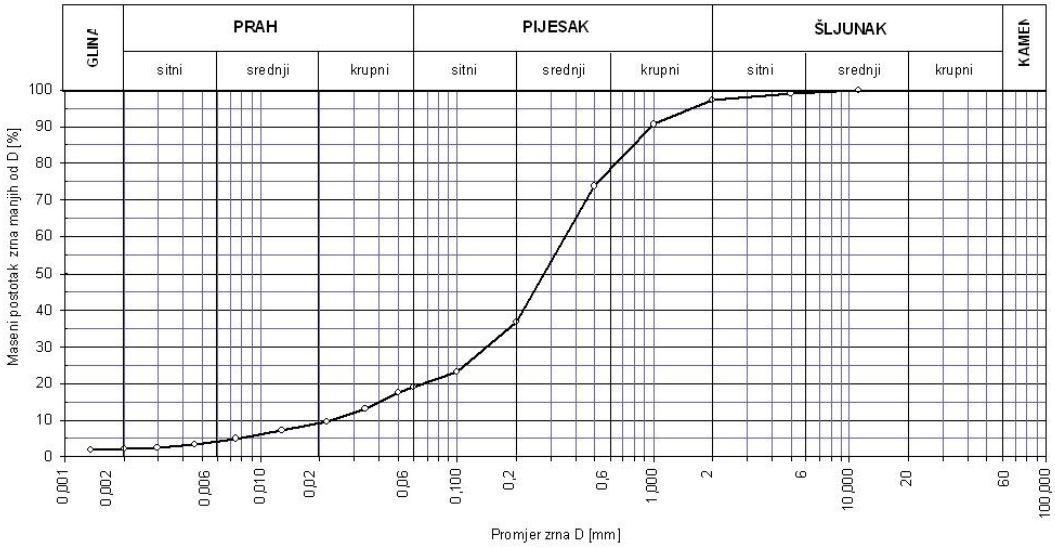
Postupci za određivanje granulometrijskog sastava su [8]:

a) sijanje – čestice veće od 0,06 mm

b) areometriranje (sedimentiranje čestica u vodi) – za čestice manje od 0,06 mm

c) kombinirana analiza – ako materijal sadrži i krupne i sitne frakcije

Granulometrijski sastav tla se prikazuje granulometrijskim dijagramom (slika 15) u kojemu se na osi ordinata nanosi odnos ili postotak N količine uzorka koji je prošao kroz sito u linearnom mjerilu, a na apscisi promjer zrna D [mm] u logaritamskom mjerilu.



Slika 15. Granulometrijski dijagram

Granulometrijski dijagram pokazuje veličine zrna te međusobni odnos pojedinih frakcija. Dobro graduirano je tlo koje ima zastupljene sve frakcije nekog tla u nizu. Slabo graduirano je tlo kojemu neke frakcije "nedostaju", što se očituje u svojevrsnom lomu u krivulji. Jednolično graduirano je tlo uskog granulometrijskog sastava.

3.2.2.1.Sijanje

Za sijanje se koristi niz sita standardnih dimenzija čiji se otvori smanjuju na svakom sljedećem situ (odozgo prema dolje).
Slika 16 prikazuje rešetke za sijanje raznih veličina.



Slika 16.Sita za sijanje

Tlo, koje je sastavljeno isključivo od krupnih čestica (šljunka i pijeska), podvrgava se postupku sijanja. Čista krupnozrna tla mogu se podvrgnuti suhom sijanju [3]. Postupak ispitivanja se vrši tako da se materijal stavi na gornje sito koje je najkrupnije i uz treskanje čestice padaju niz sita manjeg promjera. Pri tome se mjere ostaci na svakom situ i izračuna se masa uzorka koji se zadrži na pojedinom situ od ukupne mase uzorka. Na slici 17 je prikazan uređaj za sijanje.



Slika 17.Tresilica s garniturom sita

3.2.2.2. Areometriranje

Areometriranje je metoda određivanja granulometrijskog sastava tla za materijal koji sadrži zrna manja od 0,06mm (prah i glina). Tako sitne čestice nije moguće sijati pa njihov granulometrijski sastav određujemo u menzuri s otopinom u kojoj je razmućen uzorak tla s česticama manjim od promjera 1mm [9].

Slika 18 pokazuje postupak areometriranja.

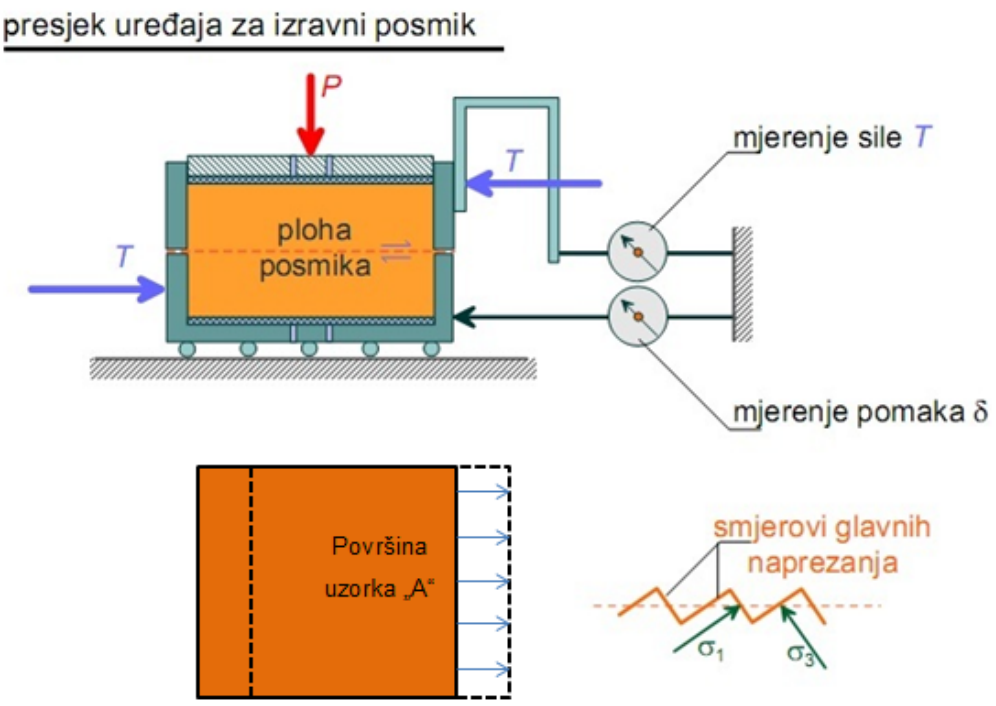


Slika 18. Postupak areometriranja

Zatim se Stockse-ovim zakonom definira brzina padanja česticau tekućini te se mjeri gustoća suspenzije [9]. Ako se u vodu uspe mala količina materijala koja se sastoji od čestica različite veličine, krupnije će čestice padati brže, a sitnije sporije, pa će se na dnu naći u različito vrijeme čestice različite veličine. Ovim pokusom dobijemo ekvivalentni promjer zrna. Aerometriranje daje približnu sliku distribucije veličine čestica tla u uzorku.

3.2.3 Ispitivanje čvrstoće tla

Čvrstoća tla ispituje se izravnim i troosnim posmikom. Na slici 19 prikazan je uređaj za izravni posmik.



Slika 19. Izravni posmik

Za troosno smicanje tla koristi se nekoliko pokusa [10]:

CU –konsolidirani, nedrenirani

CD –konsolidirani, drenirani

UU – nedrenirani, nekonsolidirani.

Ovim pokusima mjere se deformacije, porni tlakovi ili promjene volumena uzorka tijekom smicanja, te posmična naprezanja.

Uređaj za troosni pokus prikazan je na slici 20.



Slika 20. Uređaj za troosni posmik

4. GRADNJA NASIPA

4.1. Zbijanje tla i kontrola zbijenosti

Prilikom gradnje nasipa za obranu od poplava potrebno je posebnu pažnju obratiti na postupak zbijanja tla. Nasipavanje se vrši u slojevima uz zbijanje svakog pojedinog sloja.

Gradnja nasipa obavlja se ugradnjom i zbijanjem tla u slojevima čija početna debljina (nakon razastiranja i prije zbijanja) ovisi o tipu tla koje se ugrađuje i korištenoj tehnologiji zbijanja. Zbijanje se obično obavlja strojno, različitim tipovima valjaka. Za sitozrnata, slabo propusna tla koriste se ježevi-valjci, a kod šljunka i pijeska gumeni valjci i vibrovaljci [3].

Glinovito tlo koje se najčešće koristi za gradnju nasipa za obranu od poplave zbija se valjcima-ježevima (slika 21). Ježevi su najprikladniji za zbijanje jer se njima mogu dobro pregnječiti agregacije glinovitog tla u kompaktnu masu koja nema povezanih pora.



Slika 21. Zbijanje tla ježom pri gradnji nasipa

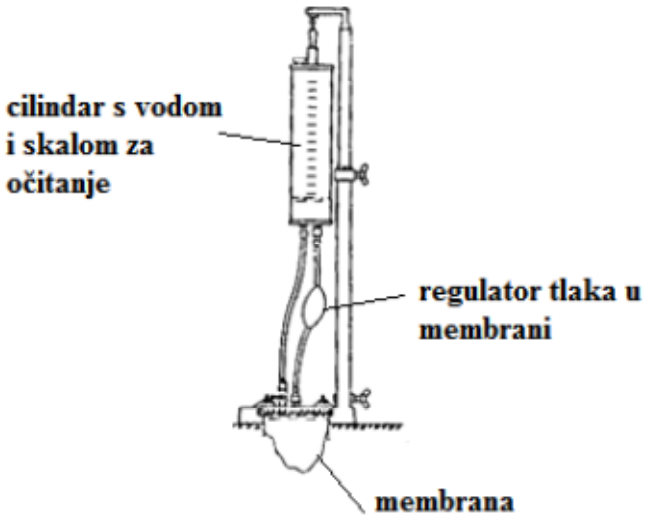
U tablici 2 prikazani su kriteriji zbijenosti koji se koriste pri gradnji nasipa od krupnozrnatog i sitnozrnatog tla.

Tablica 2. Kriteriji zbijenosti nasipa [11]

Vrsta tla		Krupnozrna tla	Sitnozrna tla
stupanj zbijenosti Sz [%] prema modificiranom Proctorovom pokusu	granično moguće zbijanje	98 % (ID~90%)	96 %-98 %
	granično moguće zbijanje bez poteškoća	95%	95%
	nasipanje suho, bez zbijanja	88 %-91 %	-
	nasipanje vlažno, bez zbijanja	80 %-85 %	-
	zadovoljava većinu nasipa (osim brana koje zahtijevaju veće vrijednosti)	90 %-92 %	93 %
	za sprječavanje likvefakcije	95 % (ID~70 %-75 %)	-
dopustivi raspon vlažnosti oko optimalne		-	±2 %(< ±1,5 % teško postići)
kontrola zbijenosti		suha gustoća	suha gustoća
utjecaj vlažnosti na mogućnost zbijanja		mali	veliki
utjecaj strukture zbijenog tla na čvrstoću, krutost i vodopropusnost		mali	veliki
strojno zbijanje		glatki vibro-valjci	valjci sa stopama i ježevi
ručno zbijanje		vibro-ploče	nabijači
tipične visine sloja u rahlom stanju (mora se odrediti pokusnom dionicom)	uobičajeno	15-30 cm	15-20 cm
	jako zbijanje teškim strojevima	do 60 cm, do 150 cm za kamen	do 30 cm
	srednje jako zbijanje	-	do 45 cm
	ručno zbijanje	15 cm	15 cm
	dozvoljeni najveći promjer zrna u sloju	1/3 visine sloja	

Zbijanjem se nastoji dobiti gustoća ugrađenog tla koja je predviđena projektom gradnje nasipa odnosno koja je određena na temelju preliminarnih ispitivanja zbijanja u laboratoriju.

Tijekom gradnje obavezno se provode ispitivanja zbijenosti ugrađenog tla. Gustoća zbijenog tla se određuje različitim terenskim metodama i uređajima te uspoređuje sa zadanom gustoćom. Za određivanje gustoće na terenu služi volumetar (slika 22). Kod korištenja volumetra potrebno je prvo izbušiti rupu u tlu iz koje se zatim izvadi uzorak za laboratorijsku analizu te se iz tog odredi gustoća. Gumena membrana se utiskuje u jamu koja pod tlakom vode prione uz stijenke iskopa i zapuni volumen tla. Tlak vode je potrebno regulirati za vrijeme utiskivanja membrane. Zatim se na skali očita promjena nivoa vode u cilindru. Uzorak tla koji je izvađen na početku se izvaže i odredi mu se vlažnost.



Slika 22.Volumetar [7]

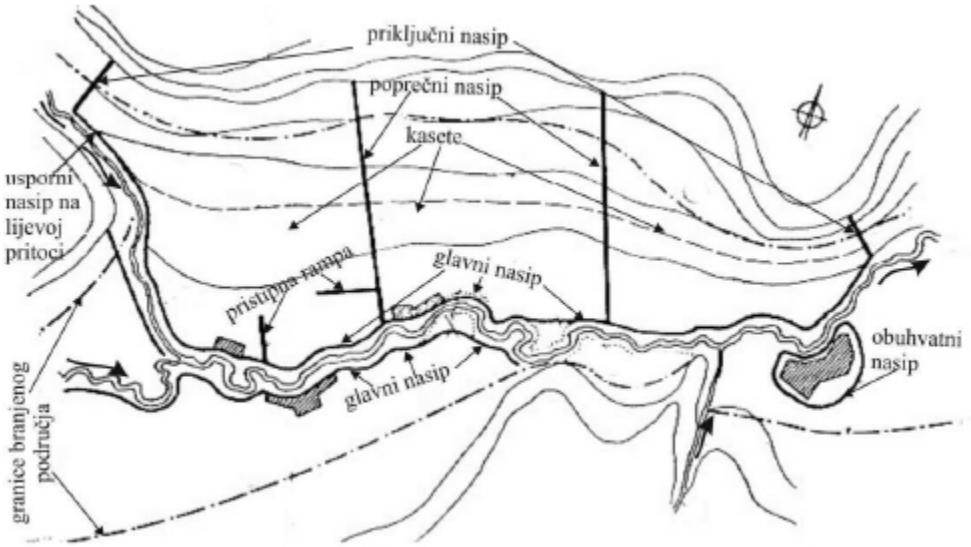
Osim određivanja gustoće potrebno je i odrediti vlažnost w_0 sitnozrnatih, koherentnih tala. Ona se određuje neposredno nakon razastiranja tla. Postoji nekoliko načina za brzo terensko određivanje vlažnosti. Ako tlo ima manju vlažnost od potrebne, onda se vlažnost povećava prskanjem ili se tlo ugradi uz veći utrošak energije (veći broj prelaza strojem za zbijanje). A ako je tlo vlažnije mora se prosušiti, ali može se i pomiješati sa suhljim tlom [3].

Suhu gustoću vlažnost tla moguće je brzo odrediti na terenu korištenjem nuklearnog denzimetra. S obzirom da taj uređaj ima radioaktivni izvor, rukovanje uređajem treba obavljati prema strogim procedurama.

Kod sitnozrnatih tala zapremnina uzorka se može odrediti uzimanjem uzorka cilindrom iz nasipa, metodom kalibriranog pijeska te metodom balona punjenog vodom. Iz ovih metoda se dobije suha masa i vlažnost nakon što se tlo osuši i ponovno izvaže.

4.2. Odabir kote krune nasipa

Odabir kote krune nasipa izuzetno je bitan. Kako je utvrđeno najčešći uzrok rušenja velikih brana je prelijevanje. Za rušenje nasipa imamo veoma malo podataka, ali vjerujemo da je i kod njih to važan čimbenik pri rušenju. Uloga hidrotehničkih nasipa je zadržati vodu sa jedne strane te je vrlo bitno osigurati nasip od prelijevanja. Kako nebi došlo do prelijevanja važno je prilikom gradnje odrediti ispravnu kotu krune. Kota krune se određuje ovisno o namjeni nasipa. Određivanje kote krune najsloženije je za nasipe koji povremeno drže vodu. To su nasipi za regulaciju vodnog toka i nasipi za obranu od poplava. Kod nasipa za regulaciju vodnog toka potrebno je utvrditi najviši mogući vodostaj, ali je potrebno uzeti u obzir i učinak poprečnog nagiba vodnog lica i valovanje. Kod nasipa za obranu od poplava prvo je potrebno odrediti branjeno područje, na odabrano povratno razdoblje.
Slika 23 prikazuje položaj i vrstu nasipa za regulaciju i obranu od poplava.



Slika 23. Nasip za regulaciju i obranu od poplava [3]

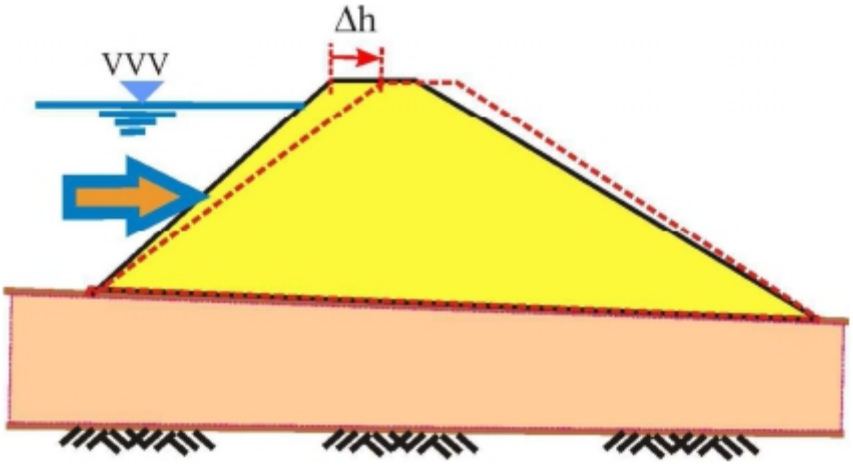
Nakon toga se određuje visina krune nasipa uzimajući u obzir nagib vodnog lica u krivinama u kombinaciji s mogućim valovanjem [3]. Ako se moguće prelijevanje na vrijeme uoči, ono se može spriječiti gradnjom nadvišenja na samoj kruni nasipa u obliku zečjih nasipa (vreće sa pijeskom). Kao dodatna nadvišenja, umjesto vreća sa pijeskom, mogu se koristiti i gabionske košare obložene s unutarnje strane geotekstilom i punjene pijeskom.

4.3. Odabir širine krune nasipa

Nasipi za obranu od poplava, širinu krune moraju imati toliku, da ukupna širina nasipa zadovolji zadržavanje vodnog vala za sve vrijeme trajanja velike vode i da pri tom ne dođe do procjeđivanja kroz i ispod nasipa. To ovisi o obliku, rasporedu i vrsti gradiva ugrađenog u poprečni presjek nasipa i trajanju poplave [3].

4.4. Utjecaj tečenja u vodotoku na nasipe u kruni

U nasipima za obranu od poplava voda može teći velikom brzinom te mogu biti pod utjecajem dinamičkog učinka strujanja slile u vodotoku. Oni su najosjetljiviji na takva djelovanja vode. Kako su samo povremeno pod djelovanjem vode odnosno onda kad se pojavi visoki vodostaj, tako su praktično svaki put „prvi put“ pod djelovanjem vode. Nasipi nisu krute, nedeformabilne građevine [3]. Uslijed visokog hidrostatskog tlaka i prilikom prvog dodira nasipa sa većom vodom, nasip doživi pomak (slika 24).



Slika 24. Pomak nasipa [3]

Prilikom takvih pomaka dolazi do pojave pukotina koje su okomite na os nasipa. Ove pukotine, okomite na os nasipa mogu se objasniti hidrodinamičkim tlakovima mase vode na zemljanu 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. Kod nasipa za obranu od poplava, nije moguće izvesti nasipe koji neće doći u vlačno stanje naprezanja uslijed djelovanja visokog vodostaja [3]. Neovisno koliko su mali vodoravni pomaci nasipa opterećenog visokim vodostajom na bočnim stranama nasipa dolazi do aktivacije posmične čvrstoće. Na najmanjim površinama i na mjestu najmanjeg otpora nasipa dolazi do popuštanja nasipa. Na slici 25 prikazano je propuštanje nasipa u Rajevom Selu (2014.).



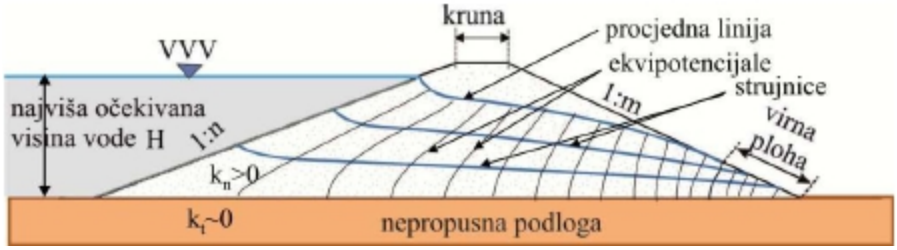
Slika 25. Propuštanje nasipa u Rajevom Selu, 2014.

Na zračnoj strani nasipa dolazi do rastezanja što aktivira vlačnu čvrstoću tla okomito na smjer ugradnje [3]. Vlačna čvrstoća nije velika te lako dolazi do popuštanja i stvaranja mikropukotina. Mikropukotine olakšavaju put vodi, koja stvara ispiranje zemljanog materijala kroz nasip i uvelike pridonosi popuštanju nasipa. Do popuštanja nasipa će doći i ako su premašene vrijednosti čvrstoća na smicanje. Ni jedna od ovih pojava se ne dešava sama, a njihov rezultat je sljeganje nasipa, koji nastaje ispiranjem podloge ili najnižih slojeva nasipa uslijed klizanja. Nasip tada izgubi na visini i na bočnim stranama djeluje odsječeno.

4.5. Procjeđivanje kroz nasip

Tlo nije apsolutno nepropusno te je prilikom gradnje nasipa potrebno proračunati procjeđivanje kroz nasip i kroz temeljno tlo. Može se i odrediti količina koju je potrebno crpiti, kada nasip osigurava određeni prostor od vode kao npr. nasuti zagati koji štite građevne jame ili obuhvatni nasipi, kojima se štiti naselje od poplave [3]. Za proračun procjeđivanja može se koristiti više metoda. Kod procjeđivanja potrebno je poznavati strujno polje u nasipu za određenu razinu vodostaja. Razlikuju se nasipi na nepropusnoj i na propusnoj podlozi. U nepropusno tlo ubrajaju se podloge kojima je

koeficijent hidrauličke provodljivosti sto puta manji od onog u nasipu. Proračun procjeđivanja kroz nasip na propusnoj podlozi, uključuje i procjeđivanje kroz podlogu, a ti proračuni su nešto složeniji, kao i oni za procjeđivanje kroz nasipe s nizvodnim drenom te drenažni tepihom [3]. Na slici 26 prikazano je potencijalno strujno polje pri procjeđivanju kroz nasip na nepropusnoj podlozi.

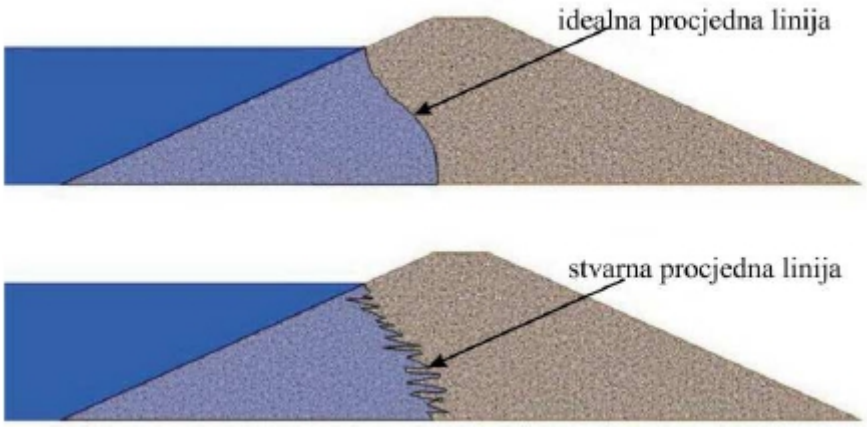


Slika 26. Procjeđivanje kroz nasip [3]

Potrebno je poznavati strujnu mrežu, odnosno izlazni gradijent i veličinu površine kroz koju se procjeđivanje događa. Kod homogenog nasipa na nepropusnoj podlozi izlazna površina je virna ploha. Tečenje vode kroz tlo izaziva pojavu dinamičke sile strujnog tlaka. Voda djeluje na čestice tla u smjeru svojeg toka i mijenja polje efektivnog naprezanja u kosini. Između vode i čestica tla javlja se trenje. Kada trenje djeluje niz kosinu, povećava se opterećenje na kritičnoj kliznoj plohi, što može uzrokovati slom.

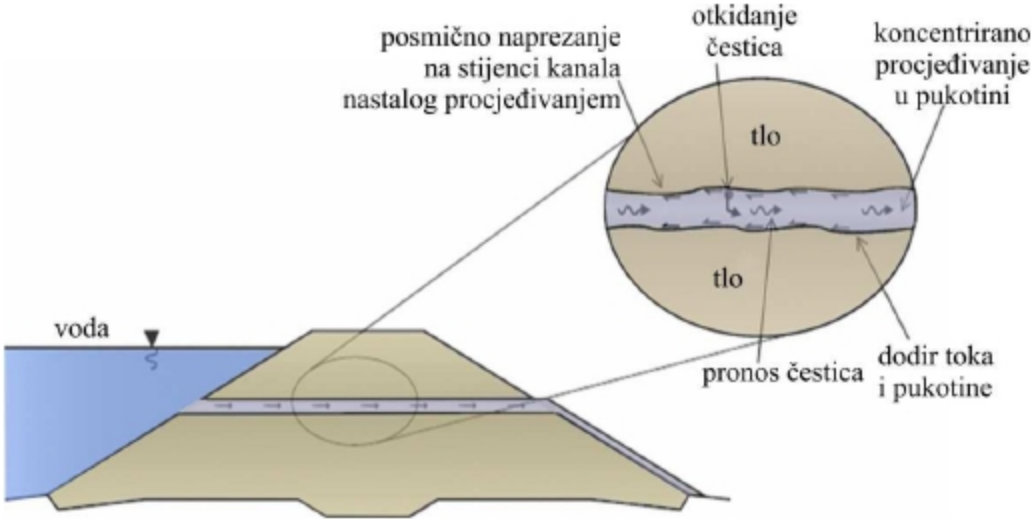
4.6. Oštećenje nasipa prilikom procjeđivanja

To su oštećenja nastala uslijed unutarnje erozije i pojave tzv. cijevljenja kroz nasip i temeljno tlo. Nasipi za obranu od poplava i po nekoliko godina ne dolaze u dodir s vodom. Pri tom se svaki put, kada nastupi velika voda, ponašaju kao da su prvi put pod djelovanjem vode. Vodeni val dolazi naglo, a slabo propusno tlo ne može trenutno propustiti vodu i oblikovati procjednu liniju. Procjedna linija kada se kreće prema zračnoj strani nasipa je na toj strani glatka, ali u stvarnosti je ona vrlo nepravilna (slika 27) [3]. U nasipu mogu nastati porni tlakovi koji mogu biti veći od bočnih tlakova, što dovodi nasip do hidrauličkog sloma. Takva povećanja mogu biti uzrok početka proloma nasipa.



Slika 27.Procjedne linije [3]

Cijevljenje je pojava koncentriranog toka procjeđivanja, kroz nasip na mjestu veće propusnosti, koje se može pojaviti iz raznih razloga [3]. Razlozi pojave koncentriranog procjeđivanja mogu biti pukotine nastale uslijed diferencijalnog slijeganja temeljnog tla ispod nasipa, hidrauličko raspucavanje, sušenje te urušavanje slabo zbijenog sloja.
Slika 28 prikazuje cijevljenje kroz nasip, odnosno procjeđivanje prioritetnim putem kroz nasip.



Slika 28.Cijevljenje kroz nasip [3]

Moguća je i pojava unutarnje erozije, a da bi se ostvarila moraju postojati neki od uvjeta, mora postojati pukotina, sila toka vode kroz pukotine mora biti tolika da potakne eroziju i sila toka vode mora biti dovoljna da potakne kretanje čestica tla. Pukotine za nastanak erozije mogu nastati iz raznih razloga. Jedan od razloga je diferencijalno slijeganje. Ono može nastati jednolikim slijeganjem podloge ili nasipa nejednolike

visine. Tada u kruni dolazi do vlačnih naprezanja, rastezanja i pucanja krune. Pukotine i mogu nastati na dodiru između tla i betonskih građevina. Takvi spojevi su vrlo osjetljivi te je potrebno provesti dobro zbijanje nasipa uz betonske stjenke.

Pukotine mogu nastati još i uslijed [3]:

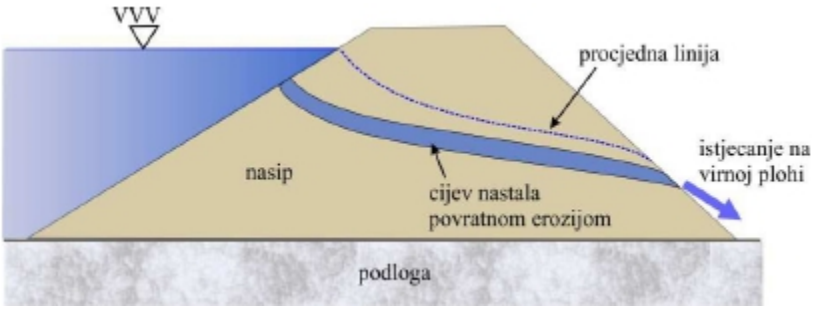
-stezanja na površini, u klimatski nepovoljnim okolnostima, kada sitnozrno tlo u nasipu nije zaštićeno od isušivanja,

-utjecaja mraza, nakon otapanja, ako postoje uvjeti za to,

-djelovanja potresa,

-djelovanja vegetacije i životinja koje kopaju nastambe u nasipu.

Povratna erozija nastaje uslijed pojave pukotine ili hidrauličkog sloma na zračnoj strani nasipa. Hidraulički slom se može pojaviti u nožici nasipa, ali i u točkama nešto udaljenijim od nožice nasipau podlozi [3].Kada se hidraulički slom pojavi na virnoj plohi u nožici nasipa može nastati koncentrirano cijevljenje kroz nasip. Duljim trajanjem koncentriranog tečenja kroz nasip dolazi do potpunog rušenja nasipa. Na slikama 29 i 30 prikazana je povratna erozija kroz nasip uslijed hidrauličkog sloma na virnoj plohi i povratna erozija kroz nasip uslijed ispiranja temeljnog tla.



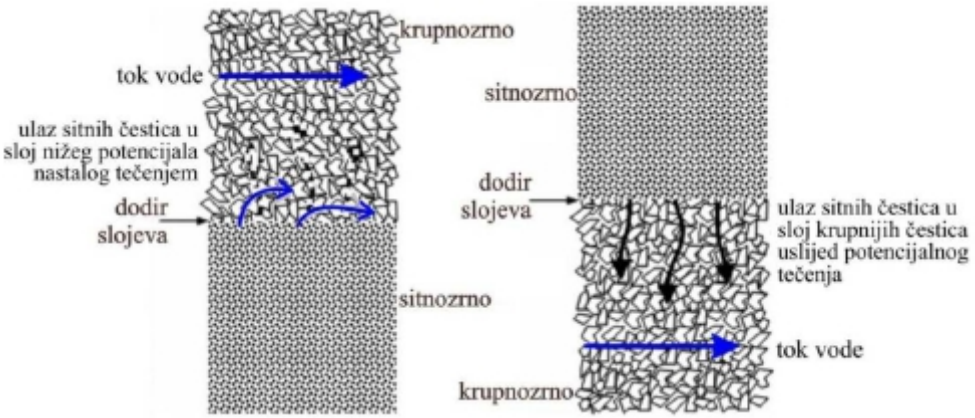
Slika 29. Povratna erozija kroz nasip uslijed hidrauličkog sloma na virnoj plohi [3]



Slika 30. Povratna erozija kroz nasip uslijed ispiranja temeljnog tla [3]

Također može doći do pojave sufozije. Sufozija je još jedna pojava koja može uzrokovati oštećenje i rušenje nasipa. Sufozija se može dogoditi u nekoherentnim, slabo graduiranim (GP, SP) tlima kao i tlima širokog granulometrijskog sastava [3]. Da bi se pojavila sufozija potrebno je nekoliko uvjeta, sitne čestice moraju biti manje od najmanjeg razmaka među krupnim česticama, prostori između krupnih čestica moraju biti „poluprazni“ te brzina toka vode mora biti dovoljno velika da pokrene kretanje čestica. Sufozija uzrokuje povećanje koeficijenta filtracije i povećava brzinu tečenja kroz tlo te na taj način omogućuje vodi odnošenje čestica. Ona može uzrokovati slijeganje podloge i cijelog nasipa.

Moguća je i pojava erozije na spoju slojeva (slika 31) različitog granulometrijskog sastava. Ova se erozija događa na dodiru dvaju slojeva različitih krupnoća, a njihov odnos granulometrijskih sastava ne odgovara filtarskom pravilu [3]. Ispiranjem dolazi do razdvajanja pri kojem sitne frakcije nestaju, povećava se porozitet te se povećava vodopropusnost i dolazi do urušavanja rahlog sloja. Da bi se ovakva erozija mogla dogoditi trebaju biti ispunjena dva uvjeta, razlika u krupnoći čestica mora biti takva da sitnije čestice mogu ulaziti u prostore između krupnih čestica te brzina vode mora biti dovoljno velika da otkine čestice na dodiru dvaju različitih slojeva.



Slika 31. Erozija na granici dvaju slojeva [3]

4.7. Mjere zaštite nasipa od proloma

Više je načina moguće zaštite nasipa od proloma, a većina njih se primjenjuje kod nasipa koji stalno drže vodu. Ispravna zaštita zahtijeva dobro poznavanje uvjeta u podtemeljnom tlu i primjenu nekih od poznatih načina projektiranja i izvedbe nasipa. Kako nasipi za obranu od poplava voda 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, ali kada bi bili opsežniji, moguće je da bi se otkrile i najugroženije točke. Zaštita ide u dva smjera [12]:

1. zaštita pokosa od hidrauličkog sloma na virnoj plohi,
2. zaštita podtemeljnog tla od hidrauličkog sloma ili sloma uslijed dugotrajnog djelovanja uzgona na suviše tanki nepropusni sloj.

Mjera zaštite nizvodnih pokosa nasipa su poznate i kod nasipa koji stalno drže vodu obavezno se primjenjuju. Potrebno je osigurati da ne dođe do hidrauličkog sloma ni na virnoj plohi ni u temeljnom tlu neposredno uz nožicu. Raznim oblicima drenaža moguće je osigurati nasip od hidrauličkog sloma. Načini osiguranja ovise o propusnoati temeljnog tla nasipa. Da bi se pokos dodatno osigurao moguće je postići ugradnjom berme u nožicu nasipa. Virnu plogu moguće je osigurati raznim vrstama drenaža unutar tijela i u noživci nasipa. Kada je nasip izgrađen na tlu velike propusnosti potrebno ga je osigurati na način da se izvede drenažni sustavi u temeljnom tlu koji će osigurati da ne dođe do iznošenja čestica. Put vode ispod nasipa moguće je produžiti različitim zahvatima kao što je temeljni rov ili razni tipovi protufiltracijskih zavjesa [12].

5. ZAKLJUČAK

Nasipi za obranu od poplava su hidrotehnički nasipi koji su povremeno pod djelovanjem vode. Svrha im je zaštita naseljenih i poljoprivrednih područja od poplava. Grade se na tlu koje se nalazi na mjestu gradnje bez dodatnih temelja. Njihova namjena je izuzetno važna. Stoga se moraju dobro projektirati i izgraditi.

Prilikom njihove gradnje potrebno je provesti istražne radove tla na mjestu gradnje i sa tlom kojim se gradi te je potrebno provesti i laboratorijska ispitivanja uzorkovanog materijala. Istražnim se radovima određuje gustoća, čvrstoća, stišljivost te stabilnost tla. Nakon provedenih istražnih radova i dobivenih laboratorijskih rezultata započinje proces gradnje nasipa. Gradnja nasipa provodi se procesom zbijanja. Nasipavanje sa zbijanjem je osnovni način gradnje nasipa za obranu od poplava. Gradnja započinje temeljnjim tlom zatim tijelom nasipa i krunom nasipa. Visinu nasipa je potrebno dobro projektirati jer ona zadržava veliki val vode i projektiranje njezine kote mora se izvesti na način da može zadržati najviši vodostaj vode, kako nebi došlo do prelijevanja nasipa.

U procesu projektiranja potrebno je razmotriti mogućnosti probijanja nasipa i njegovog rušenja. Kako bi smanjili rizik od propuštanja nasipa bitno je u samoj izgradnji predvidjeti načine uklanjanja negativnih utjecaja koji mogu razoriti nasip. Tokom izgradnje uzimaju se svi negativni utjecaji u obzir te se nasip unaprijed ojačava i stabilizira kako nebi došlo do propuštanja.

6. POPIS LITERATURE

[1] Nasipi. Dostupno na:https://hr.wikipedia.org/wiki/Nasip. Datum pristupa 25.07.2018.

[2] M. Mulabdić: Mehanika tla i temeljenje, interna skripta, Građevinski fakultet u Osijeku, 2009.

[3] Salaj J., Obrana od poplava, 2016., str. 24. Dostupno na: file:///C:/Users/Manuela/Downloads/VUP_1_2016_Silaj_J_Obrana_od_poplava_str_23_42%20(4).pdf . Datum pristupa 30.07.2018.

[4] Roje-Bonacci, T., Nasute građevine, Split, 2015., pogl. 2., str 29.-32., str 46., str. 52.-55., str. 62.-73., str. 75.-78., pogl. 8., pogl 9.

[5] FHWA (2002) - Subsurface investigations- Geotehnical site characterization. NHI Course No. 132031, Publication No. FHWA NHI-01-031, May 2002, US Department of transporation

[6] HRN U.S4.064 - Tipovi osiguranja kosina nasipa i usjeka i nožice nasipa

[7] Dostupno na: http://www.gfv.unizg.hr/modules/m_gfv/zavrsni_diplomski_radovi/Tomislav_Hodic_zavrsni.docx . Datum pristupa 16.08.2018.

[8] E.Nonveiller: Mehanika tla i temeljenje građevina, Školska knjiga, Zagreb, 1979.

[9] P.Kvasnička, D.Domitrović: Mehanika tla, interna skripta, Rudarsko geološko naftni fakultet u Zagrebu, 2007.

[10] M. Mulabdić: Mehanika tla i temeljenje, interna skripta, Građevinski fakultet u Osijeku, 2009.

[8] E.Nonveiller: Mehanika tla i temeljenje građevina, Školska knjiga, Zagreb, 1979.

[9] P.Kvasnička, D.Domitrović: Mehanika tla, interna skripta, Rudarsko geološko naftni fakultet u Zagrebu, 2007.

[11] Szavitz, 2007. Nastavni materijal Građevinskog fakulteta Zagreb.

[12] Dostupno na:
http://www.voda.hr/sites/default/files/pdf_clanka/hv_91_2015_35_rojebonacci.pdf.
Datum pristupa 14.08.2018.

7. POPIS SLIKA

Slika 1. Nasip za obranu od poplava [2]
Slika 2. Hidrotehnički nasip [3]
Slika 3. Homogeni nasip [3]
Slika 4. Zonirani nasip [3]
Slika 5. Složeni hidrotehnički nasip [3]
Slika 6. Kameni nasip [3]
Slika 7. Nasip sa bermama [3]
Slika 8. Filtarski slojevi [3]
Slika 9. Filtri [3]
Slika 10. Zaštita zaobalja drenažnim jarkom [3]
Slika 11. Zaštita zaobalja zdencem [3]
Slika 12. Uređaj za Proctor-ov pokus
Slika 13. Proctorov pokus [3]
Slika 14. Proctorova krivulja [3]
Slika 15. Granulometrijska krivulja
Slika 16. Sita za sijanje
Slika 17. Tresilica s garniturom sita
Slika18. Postupak areometriranja
Slika 19. Izravni posmik
Slika 20. Uređaj za troosni posmik
Slika 21. Zbijanje tla ježom pri gradnji nasipa
Slika 22.Volumetar [7]
Slika 23. Nasip za regulaciju i obranu od poplava
Slika 24. Pomak nasipa [3]
Slika 25. Propuštanje nasipa u Rajevom Selu, 2014.
Slika 26. Procjeđivanje kroz nasip [3]
Slika 27. Procjedne linije [3]
Slika 28. Cijevljenje kroz nasip [3]
Slika 29. Povratna erozija kroz nasip usljed hidrauličkog sloma na virnoj plohi [3]
Slika 30. Povratna erozija kroz nasip usljed ispiranja temeljnog tla [3]
Slika 31. Erozija na granici dvaju slojeva [3]

8. POPIS TABLICA

Tablica 1. Vrste materijala prema veličini čestica [3]
Talica 2. Kriteriji zbijenosti nasipa (Szavits, 2002.) [11]

9. POPIS KRATICA

GP - slabo graduirani šljunak

SP - slabo graduirani pijesak