

Dan Geotehnike – Sarajevo 2019

Geotehnički aspekti hidrotehničkih nasipa

Prof. dr. sc. Tomislav Ivšić
Građevinski fakultet Zagreb

Hidrotehnički nasipi

- **Umjetne zemljane građevine** koje se već tisućama godina grade radi obrane od poplava od velikih voda u rijekama ili za usporavanje vode
- **Nasipi - niske brane** velike duljine koji omeđuju i određuju vodene tokove rijeka i kanala razne namjene
- **Brane – obično:** visoki nasipi koji pregrađuju doline vodotoka i omogućuju zadržavanje vode u njoj (retencije ili akumulacije)



Hidrotehnički nasipi

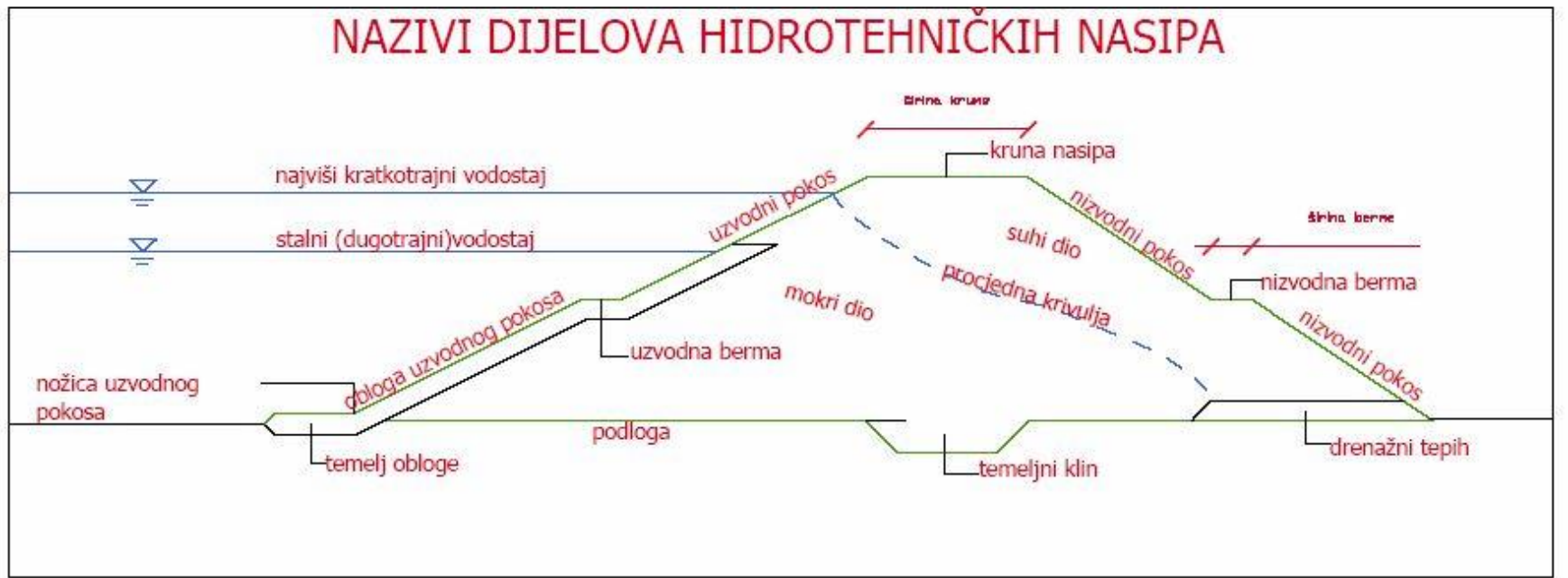


Opća načela prilikom projektiranja

- razmjerno jednostavne građevine - dominantni izvedbeni i troškovni aspekti
- **najvažniji radovi:** iskop - transport - ugradnja - oblikovanje i zaštita pokosa
- grade se iz zemljanih materijala koji se nalaze najbliže trasi nasipa ili iz viškova iskopa ukoliko nisu previše udaljeni
- materijali koje treba dovoziti iz većih udaljenosti koriste se u minimalnim količinama voditi brigu o maksimalnoj zaštiti i očuvanju okoliša
- iskapanja radi dobivanja materijala za gradnju (nalazišta materijala) nacerlo provesti u zaplavnom ili potopljenom području. U otvorenim područjima treba ih estetski oblikovati i, po mogućnosti, dati korisnu namjenu (šljunčare, ribnjaci, rekreacija ..) tamo gdje je prikladno nasipe je poželjno koristiti za promet kako bi im se proširila namjena i izvori financiranja
- hidrotehnički nasipi su regionalne građevine **dugog vijeka korištenja** - treba pažljivo isplanirati zahvate

Hidrotehnički nasipi

NAZIVI DIJELOVA HIDROTEHNIČKIH NASIPA



Hidrotehnički nasipi - projektiranje

PROJEKTNI ZAHTJEVI

Racionalizacija projektnog poprečnog profila - ušteda u kvadraturi poprečnog presjeka na velikoj duljini daje znatne volumene

Sigurnost građevine:

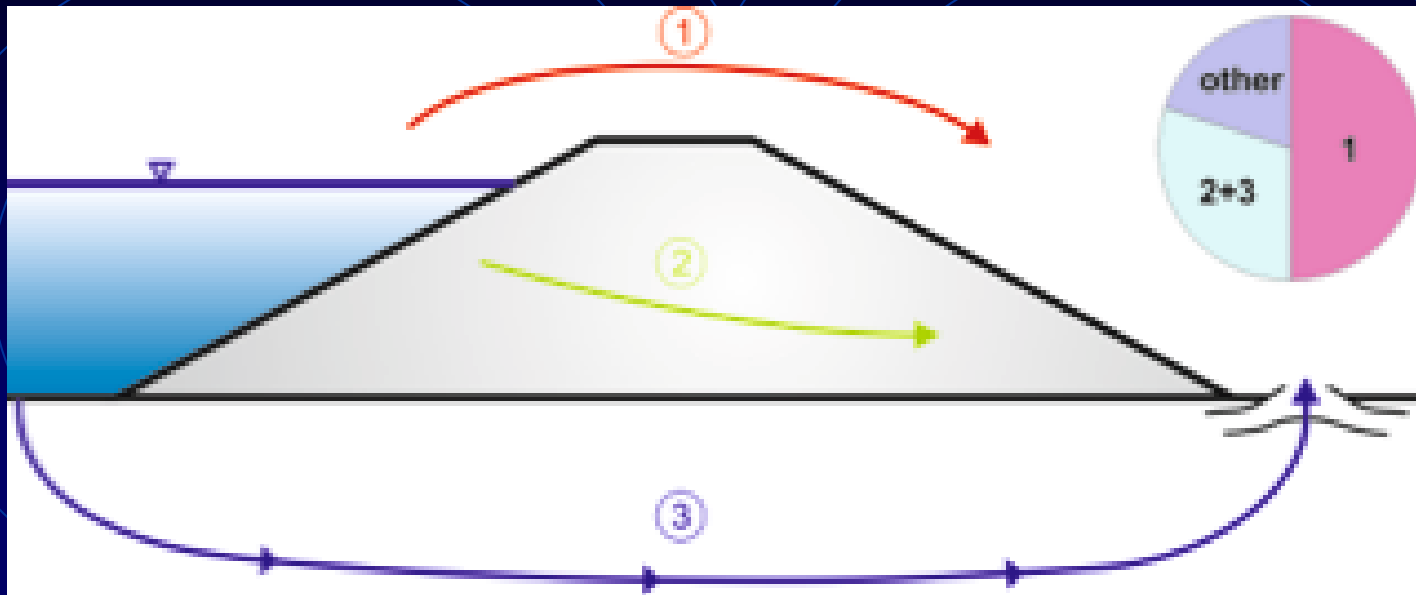
- Opća stabilnost u statičkim i seizmičkim uvjetima
- Hidraulička stabilnost
- Kontrola procjeđivanja
- Održavanje pokosa (sušni periodi i potapanja)

Širina krune nasipa - predvidjeti dovoljno široku za eventualna naknadna nadvišenja i za izvedbu prometnica

Estetsko oblikovanje nasipa, te uzvodnog i nizvodnog okoliša (“pejzažna” arhitektura)



Uzroci rušenja nasipa i brana



Osnovni uzroci oštećenja i rušenja nasipa i brana:

(prema Brandl, 2016)

1. Prelijevanje krune nasipa - slom erozijom nizvodne kosine
2. Procjeđivanje kroz tijelo nasipa – unutrašnja erozija, klizanje (slom) kosine nasipa
3. Procjeđivanje ispod nasipa – unutrašnja erozija, hidraulički slom, slom temeljnog tla

Uzroci rušenja nasipa i brana



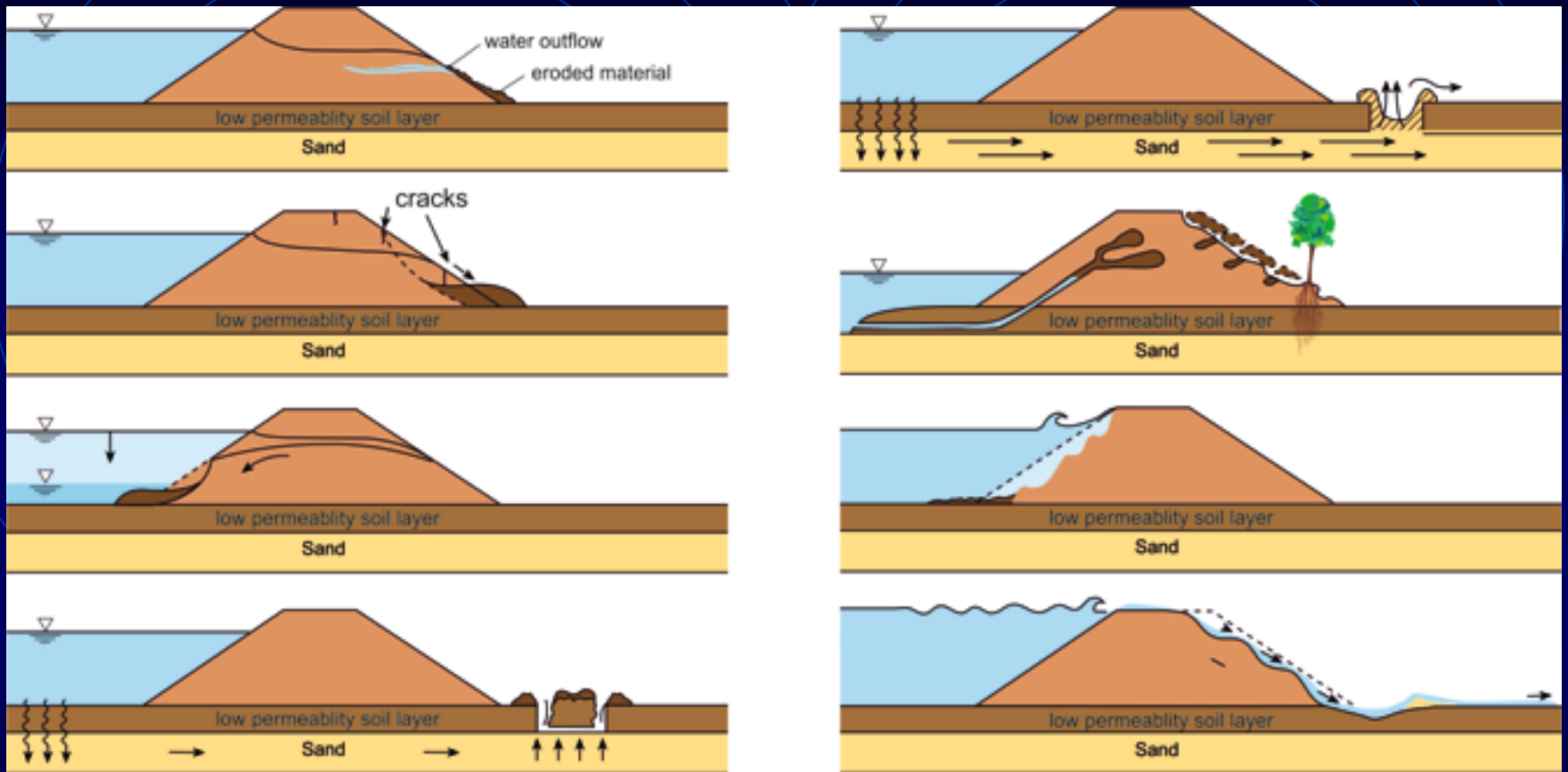
Procjeđivanje kroz tijelo željezničkog nasipa (piping)

(prema Brandl, 2016 – primjeri iz srednje Europe)



Procjeđivanje daleko izvan tijela nasipa i mjere za stabilizaciju - podizanje 'zidova' i izrada 'bunara'

Uzroci rušenja nasipa i brana



Uzroci sloma nasipa ili brana – površinski sloj slabe propusnosti
(prema Brandl, 2016)

Hidrološki podaci – proljeće 2014

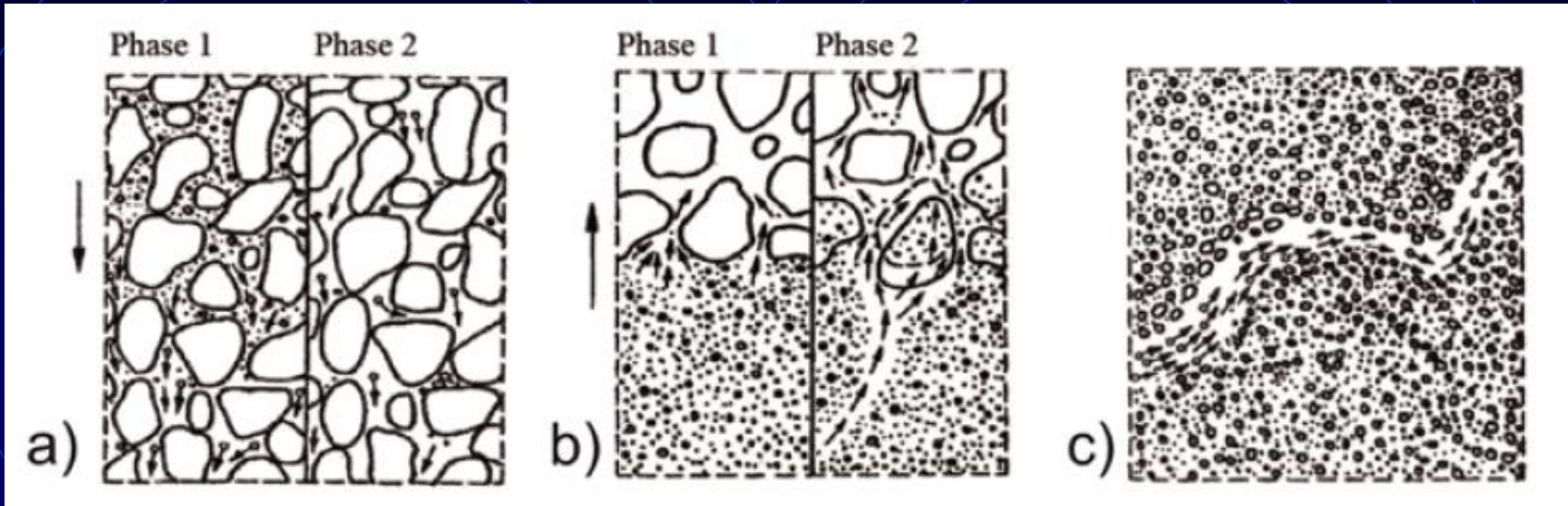


Tablica 2. Povijesni maksimumi vodostaja na hidrološkim postajama [1]

Hidološka postaja	Vodostaj [cm]	Datum mjerenja	Komentar
Slavonski Brod	939	18. svibnja 2014.	Dosadašnji maksimum H = 882 cm, Q = 3476 m ³ /s, 30.10.1974.; mjerenja vodostaja od 1900.
Slavonski Šamac	891	17. svibnja 2014.	Dosadašnji maksimum H = 726 cm, 21.3.1981.; mjerenja vodostaja od 1900.
Županja	1168	17. svibnja 2014.	Dosadašnji maksimum H = 1064 cm, 19.1.1970.; Q = 4161 m ³ /s; mjerenja vodostaja od 1900. godine
Gunja	1173	17. svibnja 2014.	Dosadašnji H _{max} = 690 cm, 31.12.2012.; mjerenja vodostaja od 2011.
Una – Dubica	539	18. svibnja 2014.	Dosadašnji H _{max} = 540 cm, 16.11.1946.

- Na područje Bosne i Hercegovine, Srbije te istočne Hrvatske palo je više od 200 litara u nekoliko dana, što je rezultiralo najvećim poplavama u zabilježenoj povijesti
- Savom je u tri dana protekao volumen vode koji bi površinu grada Zagreba potopio s dubinom od 2 metra i bio je dvostruko veći od kapaciteta akumulacije Peruča (prema Kuspilić i dr, 2014)

Interna erozija



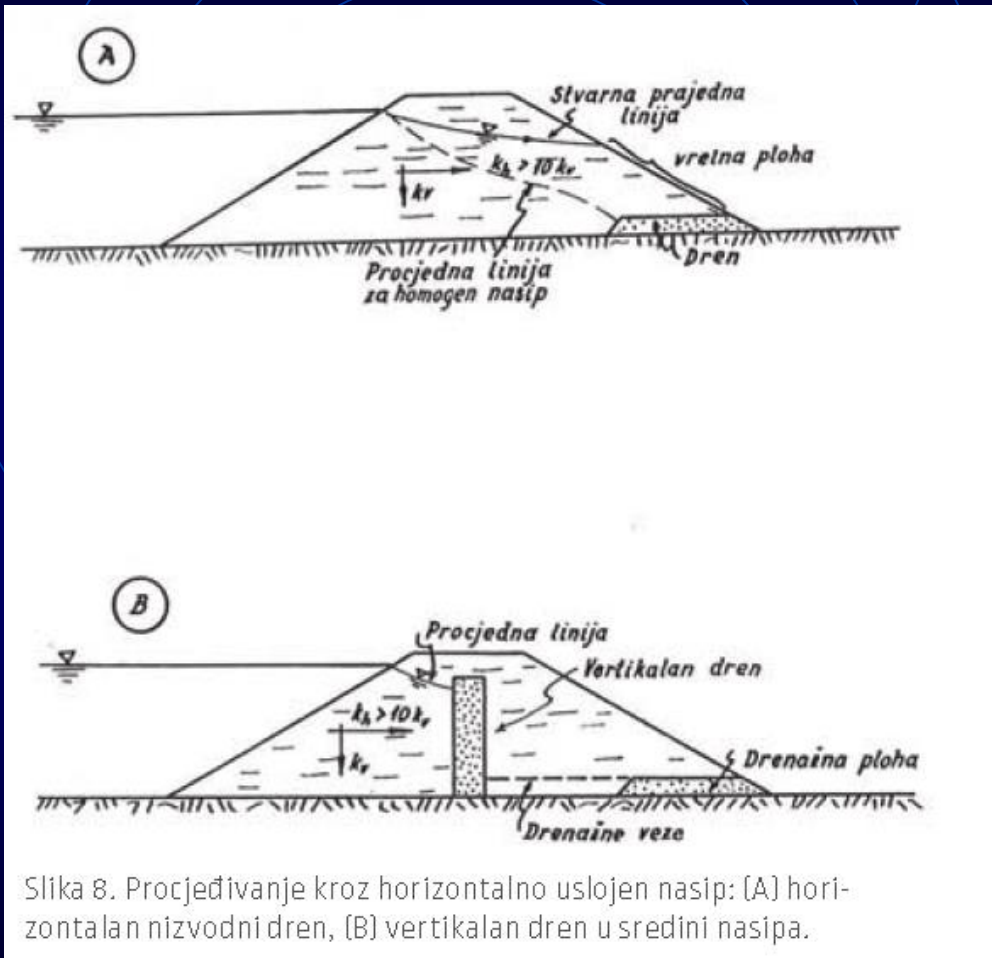
Slom nasipa ili brana zbog procjeđivanja kroz branu ili ispod nje – erozija

a) Sufozija – sitne čestice ulaze u pore krupnozrne frakcije

b) Kontaktna erozija na sučelju slojeva

c) Interna erozija u uvjetima stacionarnog tečenja (piping) – Brandl, prema Ziems, 1967

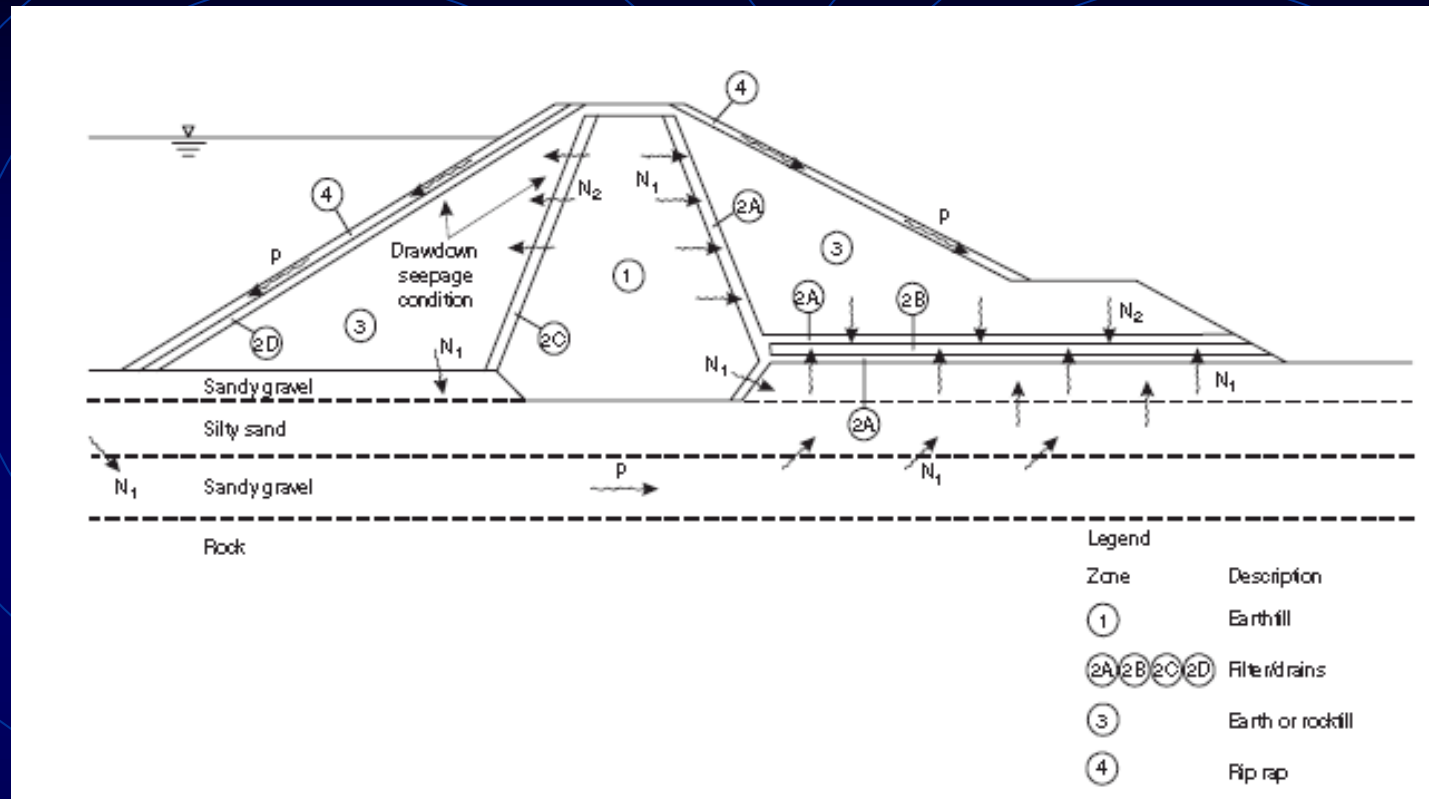
Procjeđivanje kroz horizontalno uslojen nasip



Anizotropija propusnosti
(prema Nonveiller, 1971)

Slika 8. Procjeđivanje kroz horizontalno uslojen nasip: [A] horizontalan nizvodni dren, [B] vertikalni dren u sredini nasipa.

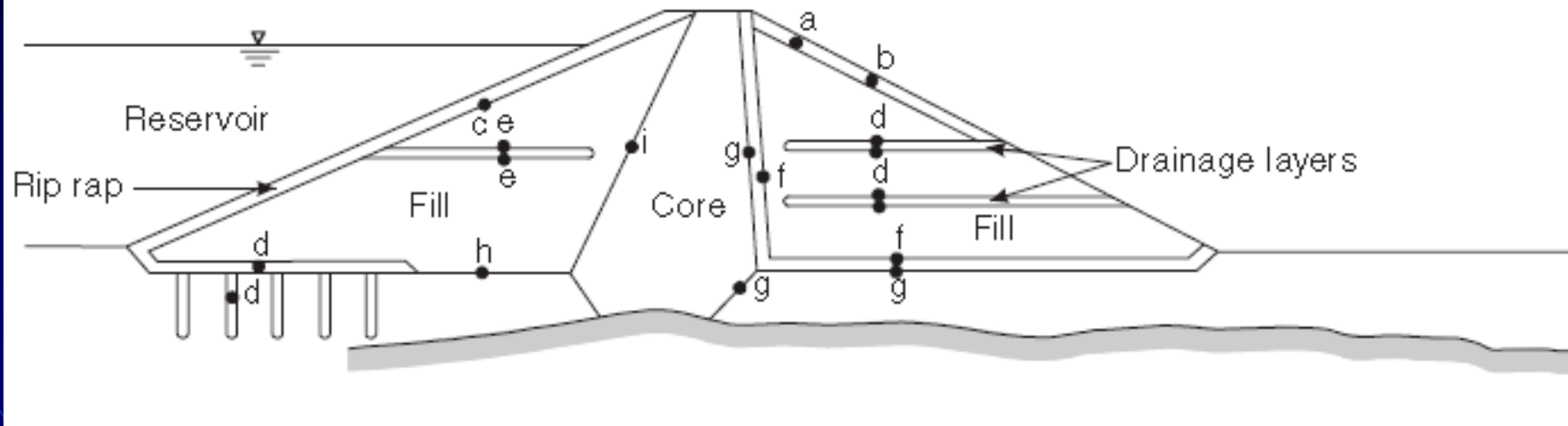
Projektni kriteriji za filtere



Uvjeti tečenja vode u odnosu na filtere:

- N_1 – tečenje okomito na sučelje tlo – filter, visoki gradijenti, velika erozivna naprezanja
- N_2 – tečenje okomito na sučelje tlo – filter – niski gradijenti, manja erozivna naprezanja
- P – tečenje paralelno sa sučeljem osnovnog tla i filtera, kontaktna erozija

Projektni kriteriji za filtere



- Kritični filteri – zakazivanje dovodi do interne erozije (iznošenja sitnijih čestica materijala, stvaranja cjevčica (piping) i potencijalnog proloma brane – tečenje N1 , oznaka 'g' . **NAJSTROŽI KRITERIJI ZA IZBOR MATERIJALA**
- Nekritični filteri - manje vjerojatna erozija, mogući popravci ('a', 'b', 'c') ili važni samo tijekom izgradnje ('d', 'e') – tečenje N2 ili P
- Filteri 'f' , 'i' - kritični za ponašanje brane, ali u N2 režimu tečenja
- Filteri 'd' i 'h' – mogu biti kritični ako se može pojaviti erozija nasipa u temeljno tlo

Projektni kriterij za filtere

Filtri i filterska pravila

Svrha filtra je da spriječi pronos sitnih čestica kroz pore krupnozrnog tla.

- prema potrebi višeslojni filtri

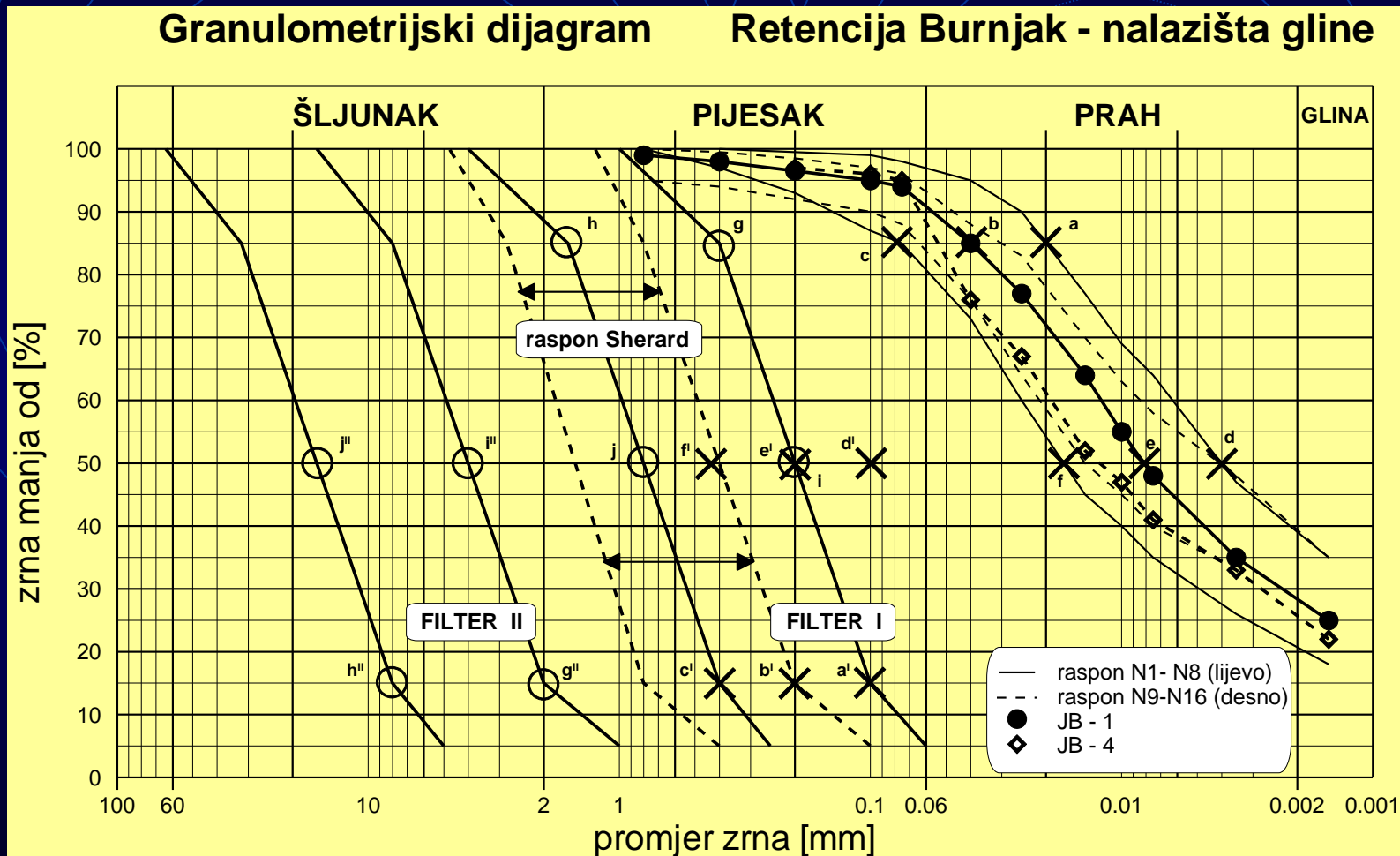
Tablica 7-6 Projektni kriteriji za filtere (Sherard i dr. 1984a, 1984b, 1985, 1989; SCS, 1986; vidi i Coduto, 1999)

Grupa tla	Opis tla	Projektni kriterij
1	Fine prašine i gline s više od 85% čestica manjih od 0.075 mm	$D_{15} \leq 9 d_{85}$ ali ne manje od 0.2 mm
2	Prašnasti i glinoviti pijesci i pjeskovite prašine i gline s 40-85% manjih od 0.075 mm	$D_{15} \leq 0.7 \text{ mm}$
3	Prašnasti glinoviti pijesci i šljunci s 15-39 % čestica manjih od 0.075 mm	$D_{15} \leq \frac{40-A}{25} (4d_{85} - 0.7 \text{ mm}) + 0.7 \text{ mm}$
4	Prašnasti i glinoviti pijesci i šljunci s manje od 15% čestica manjih od 0.075 mm	$D_{15} \leq 4d_{85}$

Legenda: D = promjer zrna filtra, d = promjer zrna tla koje se štiti od erozije, A = težinski postotak frakcije zrna promjera manjeg od 0.075 mm koju treba štiti

Kriteriji izbora zemljanih materijala za branu - filteri

Primjer – retencija Burnjak



Projektni kriteriji za filtere

Norma JUS – Projektiranje hidrotehničkih nasipa...

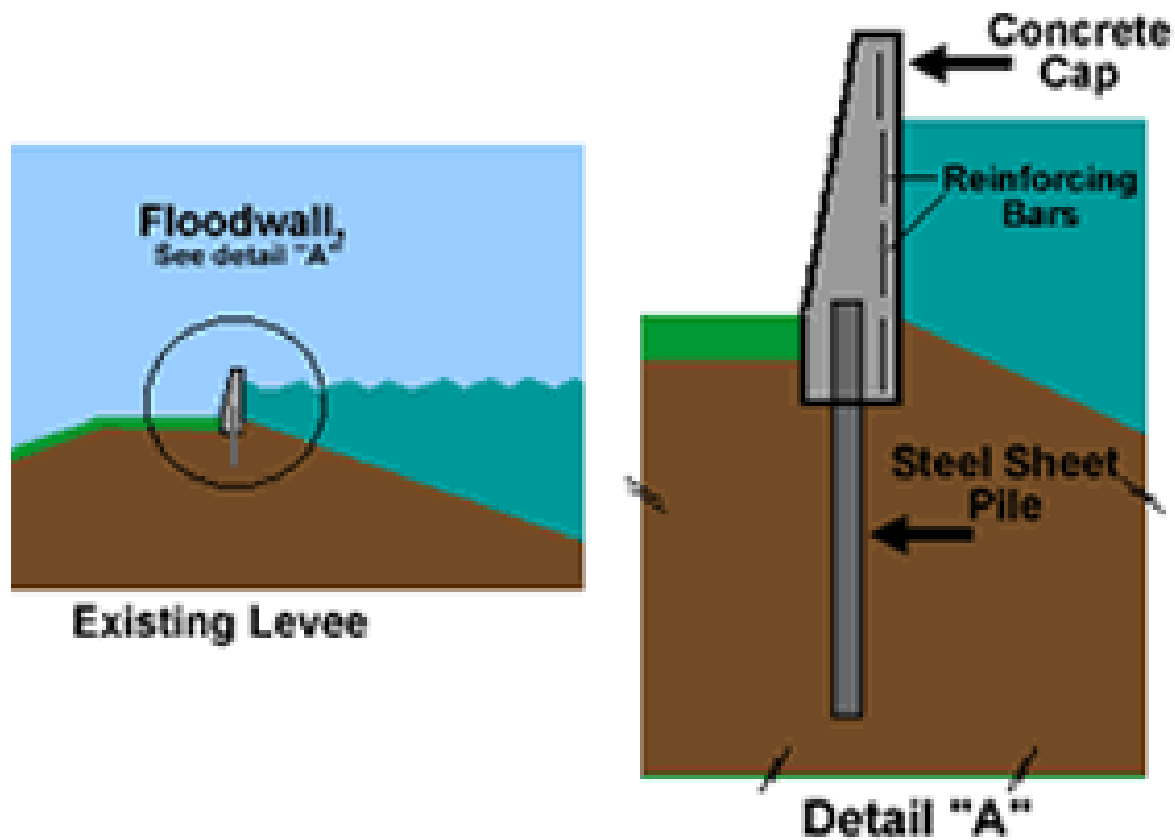
$$i_{cr} = \gamma' / \gamma_w$$

$$i_{cr} \sim 0.9-1.2$$

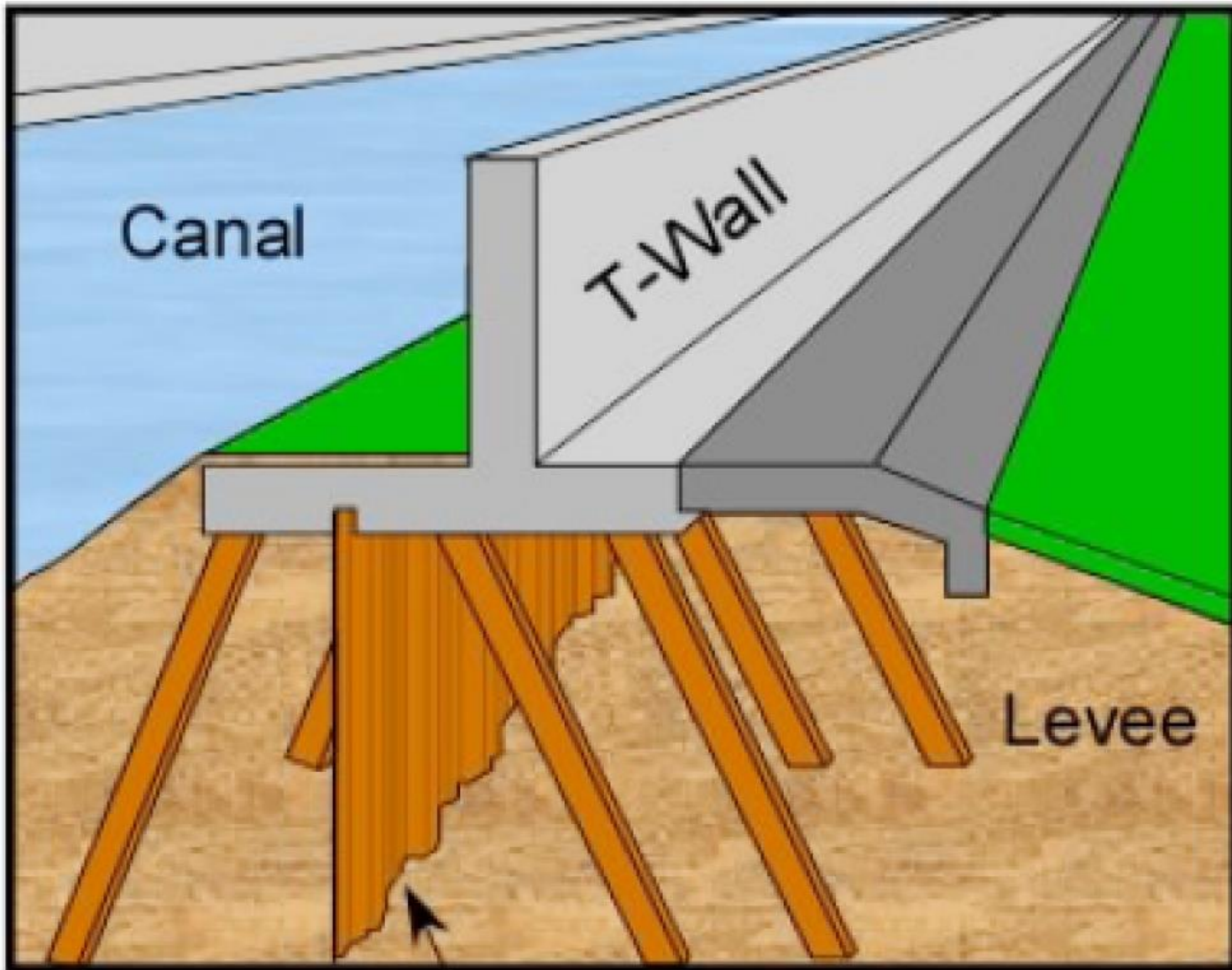
Tabela 1 – Kriterijum za filtarski nezaštićen materijal

J_{sr}	Materijal
0,12	Finozrni prašinst pesak
0,14	Finozrni pesak $0,063 < d < 0,50$ mm
0,17	Srednjezrni pesak $0,50 < d < 2,00$ mm
0,20	Krupnozrni pesak $2,00 < d < 5,00$ mm
0,30	Srednjezrni šljunak $10,0 < d < 20,00$ mm
0,40	Krupnozrni šljunak $20,0 < d < 100$ mm
0,50	Zbijena glina $0,50 < I_c < 1,00$
0,65	Čvrsta glina $I_c < 1,00$

Nadvišenja nasipa



I-Wall on Levee - Detail



Canal

T-Wall

Levee

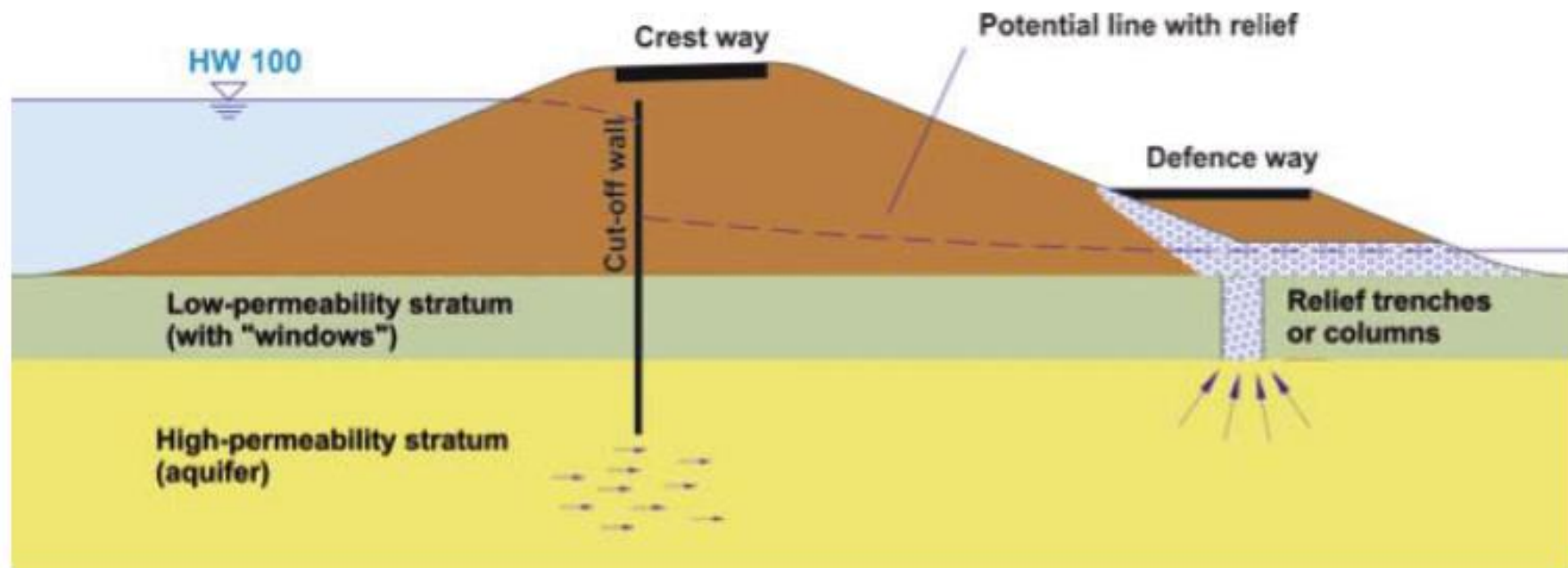
Sheet Piling

all

et Pile

(no

Rekonstrukcije nasipa



Novi , rekonstruirani nasip u Austriji, Brandl, 2016

Zaključak

Načelno, sigurnost nasipa za obranu od poplave postiže se u sljedećim etapama projektiranja i izvedbe:

1. u dovoljnom istraživanju terena i ispitivanju osobina materijala ispod nasipa i za građenje nasipa;
2. u projektu kod izbora elemenata presjeka nasipa, i to širine i visine krune, nagiba kosina, njihove zaštite od erozije, izbora i rasporeda materijala za nasip; fi lterskih i drenažnih dispozicija;
3. u fazi izvođenja radova s naročitim obzirom na ispunjenje zahtjeva i uvjeta predviđenih u projektu, kvalitetnim ugrađivanjem i zbijanjem materijala,;
4. u toku iskorištenja, stalnim nadzorom i pravovremenim intervencijama na mjestima jačih slijeganja, započete erozije krune i kosine, započelih procjeđivanja kroz kosine ili ispod temelja.