

# 4. TEMELJENJE HIDROTEHNIČKIH GRAĐEVINA

- Najsloženiji i najosjetljiviji problem
- Nijedna hidr. građevina ne prenosi na temelje sile takvog reda veličine kao velike brane, niti prijanja na temelje tako blisko tako da brana i stijena u osloncima čini konstruktivnu cjelinu
- Stijena=dio zemljine kore podložan fizičkim, kemijskim i tektonskim utjecajima

- Pogodnost podloge za temeljenje ovisi o tipu brane

## OSNOVNE KARAKTERISTIKE TEMELJA:

- NOSIVOST
- DEFORMABILNOST
- VODOPROPUSNOST
- STABILNOST

- Poseban problem- temeljenje u kršu gdje se javlja:
- SUFOZIJA
- RASTVARANJE ( cca 0,5 mm/god)
- KOLMIRANJE

# 3.1. NOSIVOST

Određuje se:

- DETERMINISTIČKIM PRISTUPOM

opterećenje → propisi, standardi, formule,  
rutina → nema rizika ako se poštuju propisi

- PROBABILISTIČKIM PRISTUPOM

Zbog neizvjesnosti realnih karakteristika i  
njihovog stohastičkog karaktera

# DETERMINISTIČKI PRIISTUP

1. KRITERIJ  
DOPUŠTENIH  
NAPREZANJA  
(Galilejeva teorija  
loma)-koeficijent  
sigurnosti kao  
globalni faktor u  
odnosu na čvrstoću  
materijala

$$\sigma_{dop} = \frac{\beta}{k} \quad \sigma \leq \sigma_{dop}$$

$k$  = koeficijent sigurnosti

$\beta$  = čvrstoća

# PROBABILISTIČKI PRISTUP

## 1. SEMIPROBABILISTIČKA METODA

$$R \geq U$$

R = pror.otpornost; U = pror. utjecaj

$$\Phi R_n \geq \sum_{i=1}^n \gamma_i Q_i$$

$\Phi, \gamma_i$  = faktori određeni na osnovu vjerojatnosti

$\Phi$  = faktori redukcije čvrstoće

$R_n$  = normativna nosivost

$Q_i$  = opterećenja ( dinamičin i statičtat

$\gamma_i$  = parcijalni faktori sigurnosti

## 2. PROBABILISTIČKA METODA- statistički parametri i teorija vjerojatnosti

- Aritmetička sredina i standardna devijacija
- Zakon razdiobe ( distribucija) koji postoji za svaki statistički skup – **Normalna distribucija ( simetrična, slučajna varijabla može poprimiti bilo koju vrijednost)**

- $U$  = utjecaji
- $R$  = otpornost konstrukcije ili njenih dijelova
- $\sigma_F$  = st. devijacija
- $\beta$  = koliko standardnih devijacija od srednje vrijednosti  $F$  može nastati prije nego što dođe do loma ( $y < 1$ )

$\bar{F} = \bar{R} - \bar{U}$  srednja rezerva sigurnosti

$\beta = \frac{\bar{F}}{\sigma_F}$  indeks pouzdanosti

- Prirodno stanje naprezanja=primarno naprezanje
- Nastalo pod utjecajem tektonskih sila, gravitacije, morfoloških pojava
- Na površini prate morfološke strukture, a s porastom dubine dominiraju horizontalna i vertikalna naprezanja

- Hidrotehnička građevina=novo opterećenje na prirodnu stijensku masu

- Kod pojave rasjedanaprežanja su heterogena
- $\lambda$ =koeficijent bočnog suženja

$$\lambda = \frac{\sigma_h}{\sigma_v}$$

$$\lambda \leq 1$$

$$\lambda \geq 1$$

$\sigma_v = \rho gh$  ( prema zakonitosti  
promjene hidrostatskog  
tlaka

gdje je:

$\rho$ =gustoća stijenske mase

$h$ =visina nadsloja stijenske  
mase

$\sigma_h$ =složeniji problem

$\nu$ = Poissonov koeficijent  
(0,25-0,25) za stijensku  
masu

$$\sigma_h = \frac{\nu}{1 - \nu} \sigma_v$$

$$\sigma_h = 0,33 - 0,54 \sigma_v$$

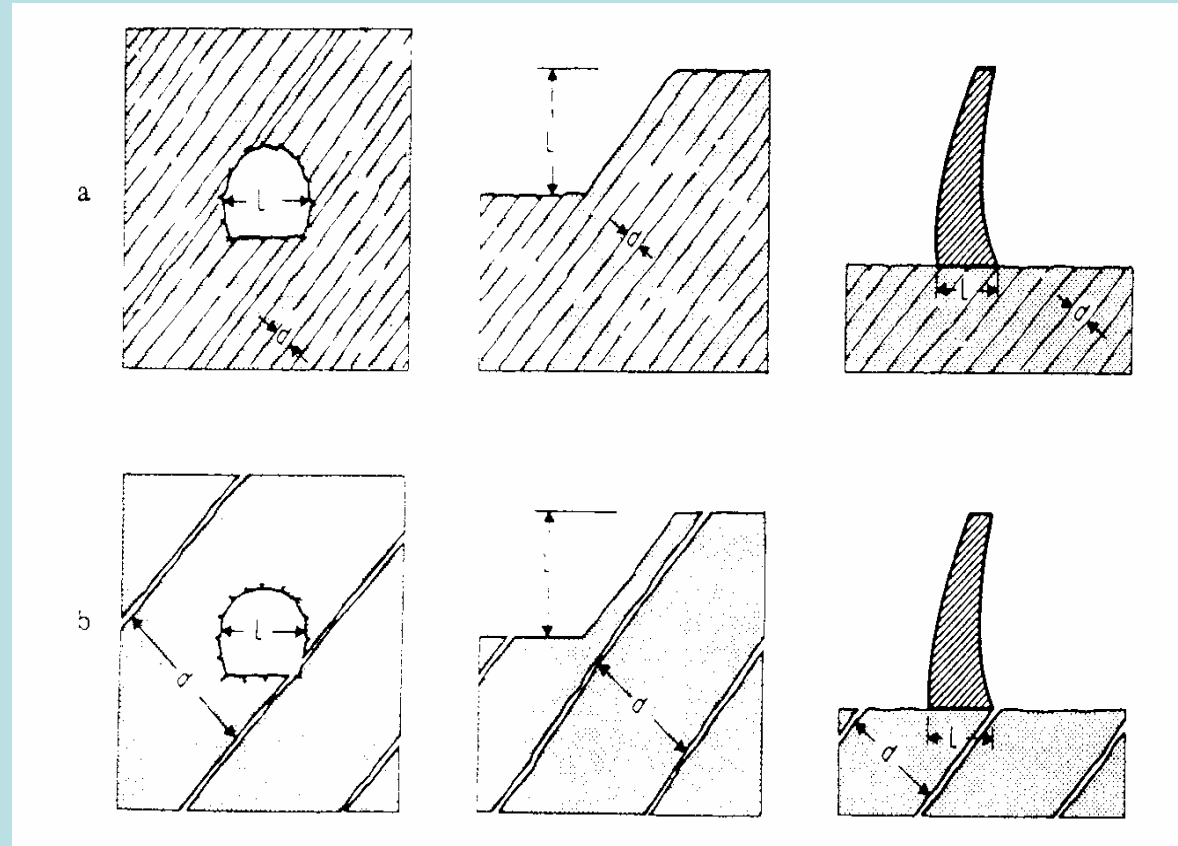
- Kod morfoloških promjena ( erozije) smanjuje se  $\sigma_v$ , a time i  $\sigma_h$
- $\sigma_h$  se smanjuje sporije i postaje veći od  $\sigma_v$

$$-\Delta\sigma_h = -\frac{\nu}{1-\nu}\Delta\sigma_v$$

## 3.2.DEFORMABILNOST

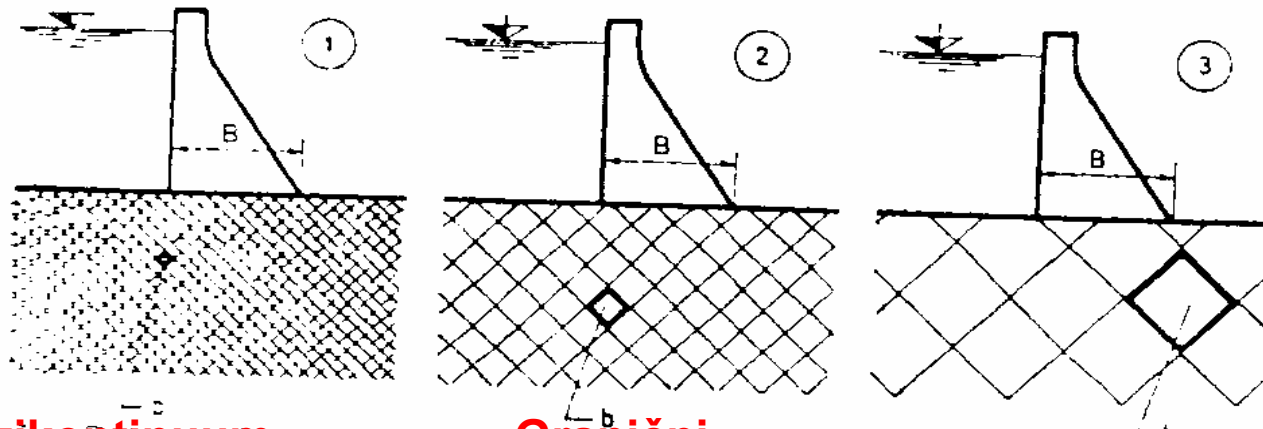
- Fizičko mehaničke karakteristike (  $E, D, \beta, c, \varphi$  ) karakteriziraju stijenski masiv i u funkciji su veličine promatranog prostora i strukturnih formi- rasjeda, pukotina, diskontinuiteta općenito
- Presudan je odnos veličine građevine (temelja) i veličine diskontinuiteta

$d \ll L$   
Gotovo homogena  
sredina



$d \sim L$

- Različite diskontinuirane sredine



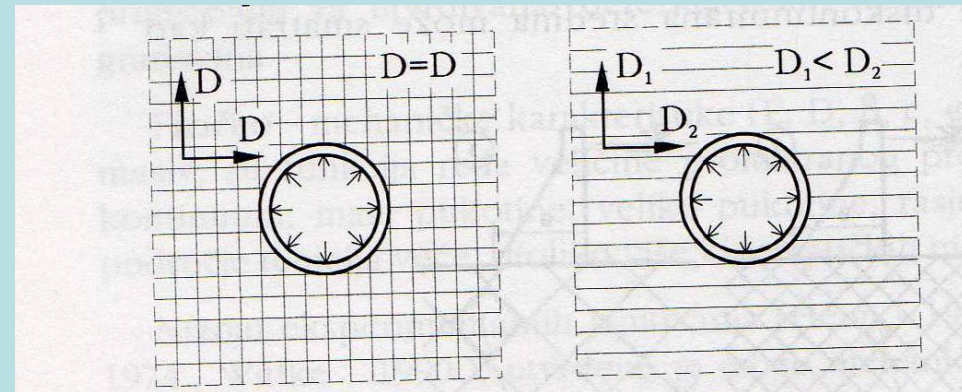
**kvazikontinuum**

**Granični slučaj**

**diskontinuum**

- Gravitacijska betonska brana na ispucaloj stijeni
- Odnos veličine diskontinuiteta i veličine temelja

- E i D pokazuju svojstva anizotropnosti
- Deformabilnost temelja ovisi o karakteristikama ispucalosti i slojevitosti



**Hidroteh.tunel pod tlakom**

# Kriterij ugroženosti bet. brane

- Empirijski odnos:
- $E_b$  = modul elast. betona
- $D_s$  = modul deformacije stijene
- Deformacijske karakteristike se mogu poboljšati:

$$E_b \geq 20 D_s$$

- **INJEKTIRANJE**- postupak ispunjavanja pukotina smjesom na bazi cementa
- Konsolidacijsko injektiranje
- Injektiranje za povećanje posmične čvrstoće
- Injekcijske zavjese- za sprječavanje procjeđivanja vode
- Kontaktno ili vezno – povezivanje građevine i stijene

- Tlak injektiranja
- $p=2\rho gh$  do  $4\rho gh$
- $\rho$ = gustoća stijenske mase
- $h$ = dubina injektiranja

# 3.3.VODOPROPUSNOST

- INTERGRANULARNA
- PUKOTINSKA
- PUKOTINSKO-KAVEROZNA( krš)
- Tlo se obično predstavlja kao medij s konstantnom vodopropusnošću
  
- Heterogenost i anizotropnost

Darcyjev zakon-brzina strujanja  
proporcionalna hidrauličkom gradijentu i  
koef.hidrauličke provodljivosti

- $K$ = hidraulička  
provodljivost
- $I$ =hidraulički gradijent

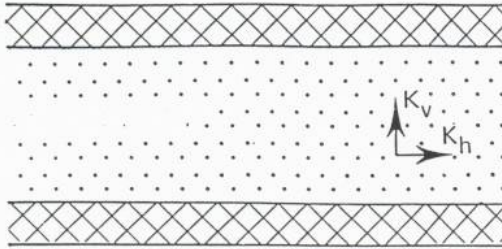
$$v = k \frac{\Delta H}{L} = kI$$

- **VRIJEDNOSTI KOEF. PROCJEDIVANJA  
(cm/s)-eksperimentalni**

- Glina  $(1-6) \times 10^{-6}$
- Glinovito tlo  $(1-6) \times 10^{-5}$
- Pješčano rahlo tlo  $(1-6) \times 10^{-3}$
- Sitnozrnati pijesak  $(1-6) \times 10^{-3}$
- Krupnozrnati pijesak  $(1-6) \times 10^{-2}$
- Šljunak  $(1-6) \times 10^{-1}$
- **Mješavina šljunka i pijeska**  
 **$10^{-1}$**   **$6 \times 10^{-3}$  do  $1 \times$**

- **k** ovisi o:
  - veličini i obliku čestica tla kroz koje protječe voda ( teksturi)
  - porozitetu (n)
  - o strukturi tla ( rasporedu čestica)
  - o temperaturi vode

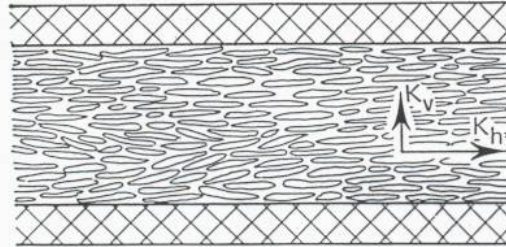
**A**



HOMOGENO I IZOTROPNO  
TLO

- vrijednost  $k$  ne ovisi o lokaciji unutar sloja

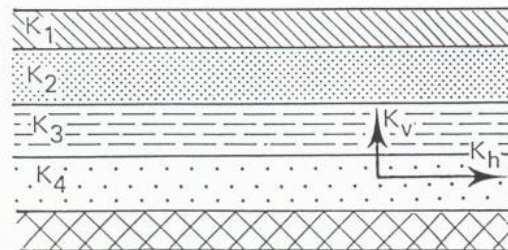
**B**



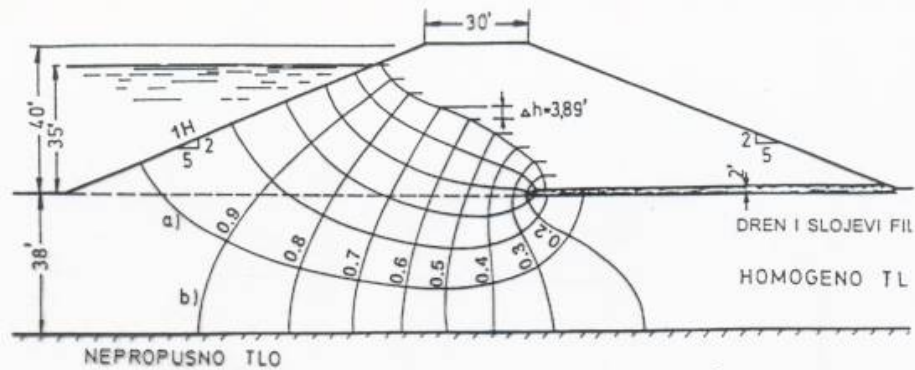
HOMOGENO I ANIZOTROPNO  
TLO

- horizontalna provodljivost je veća od vertikalne ( i obrnuto)

**C**



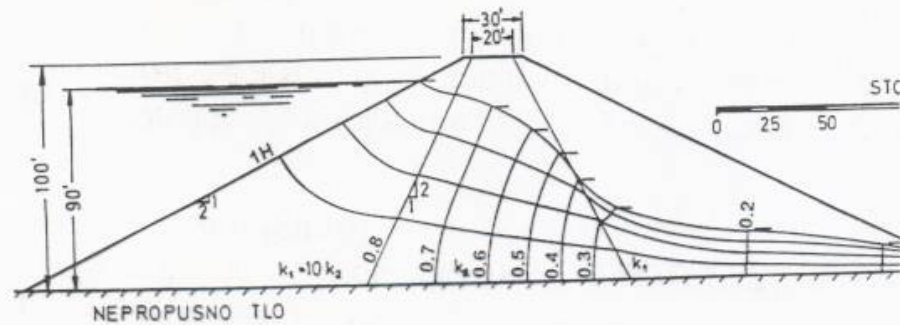
HETEROGENO I  
IZOTROPNO/ANIZOTROPNO  
TLO



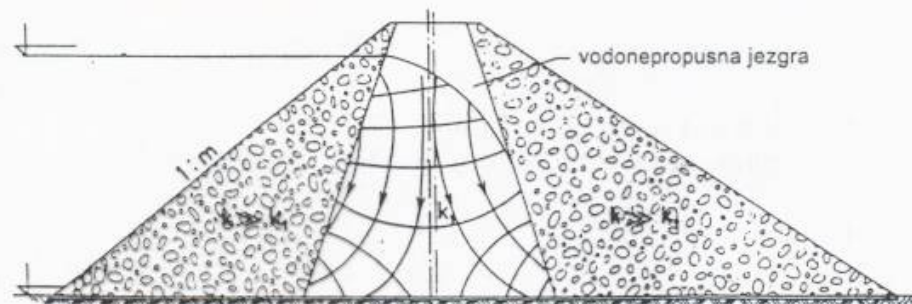
Slika 2.2.5. Strujna mreža - mreža procjeđivanja

Homogeni nasip s nizvodnim plošnim filtarskim i drenažnim slojem

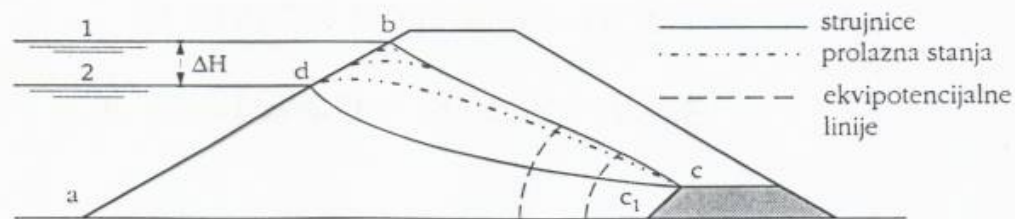
a) strujnice - procjedne linije, b) ekvipotencijalne linije



Slika 2.2.6 Heterogeni nasip, široka centralna jezgra, drenaža  
nizvodne kosine u stopi



Slika 2.2.21. Strujna mreža kod naglog spuštanja razine vode do dna



Slika 2.2.20. Nestacionarno procjeđivanje u homogenom nasipu kod spuštanja razine vode

*a - b: ekvipotencijalna linija za razine vode 1*

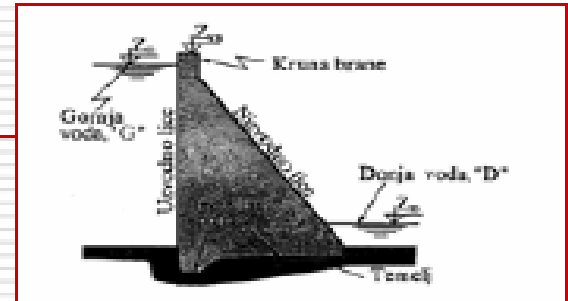
*a - d: ekvipotencijalna linija za razine vode 2*

*b - c: procjedna - strujna linija za razine vode 1, stacionarno stanje*

*d - c: procjedna - strujna linija za razine vode 2, stacionarno stanje*

# 5. SILE

## Sile koje djeluju na branu:



### □ VANJSKE:

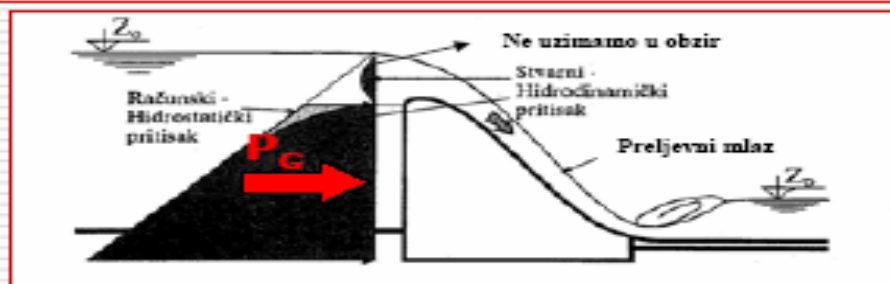
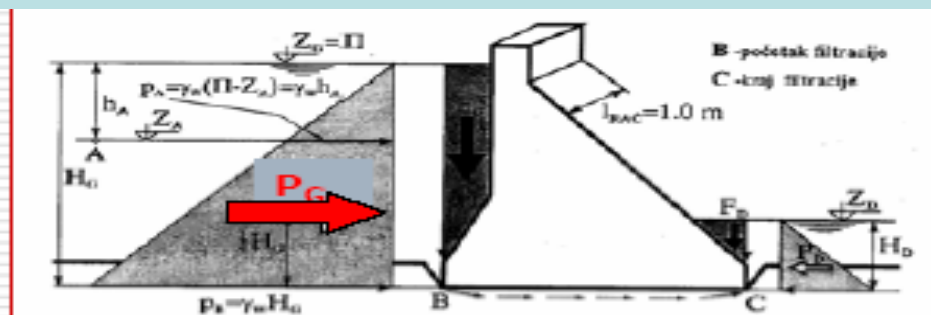
- **Aktivne** – tlak vode, uzgon, opterećenje ledom, tlo, potres, valovi, stalna i povremena/pokretna opterećenja (kranovi, strojevi)
- **Pasivne** – reakcija tla, sile trenja, sile prionljivosti temeljnog tla i brane

### □ UNUTARNJE:

- **Aktivne** – vlastita težina brane, tlak vode u porama, sile uslijed: temperaturnih promjena, stezanja betona, smrzavanja vode u betonu
- **Pasivne** – uslijed djelovanja naprezanja u brani

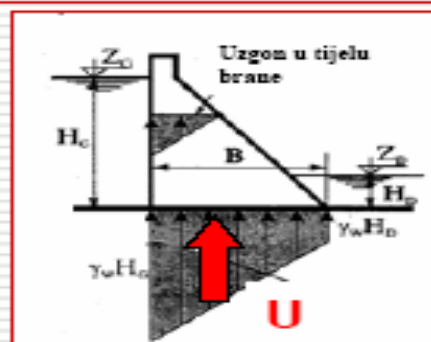
□ TLAK VODE

$$P_G = \gamma_w \frac{H_G^2}{2}$$



□ UZGON

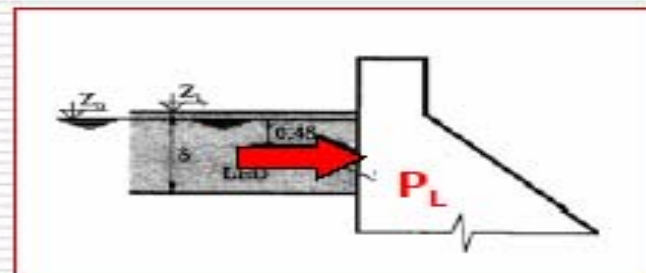
$$U = \gamma_w \frac{H_G + H_D}{2} B$$



## □ LED

- Opterećenje na uzvodno lice brane u razini krune.
- Pritisak (KN/m') nastaje uslijed termičke ekspanzije leda i djelovanja vjetra.
- Pritisak je u funkciji promjene temperature.

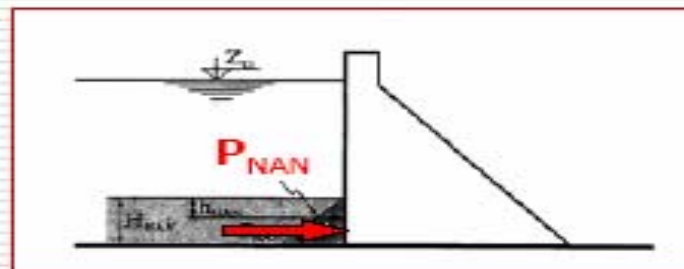
Debljina leda (m)	$\Delta t=3^{\circ}\text{C/sat}$ bez sunčevog zračenja (KN/m')	$\Delta t=8^{\circ}\text{C/sat}$ sa sunčevim zračenjem (KN/m')
1,0	100	200
0,3	30	120



## □ NANOS

$$P_{\text{NAN}} = (\gamma_{\text{NAN}} - \gamma_{\text{W}}) h_{\text{NAN}} * \text{tg}^2(45 - \frac{\varphi}{2})$$

$\varphi$  - kut unutrašnjeg trenja nanosa  
(20-30°)



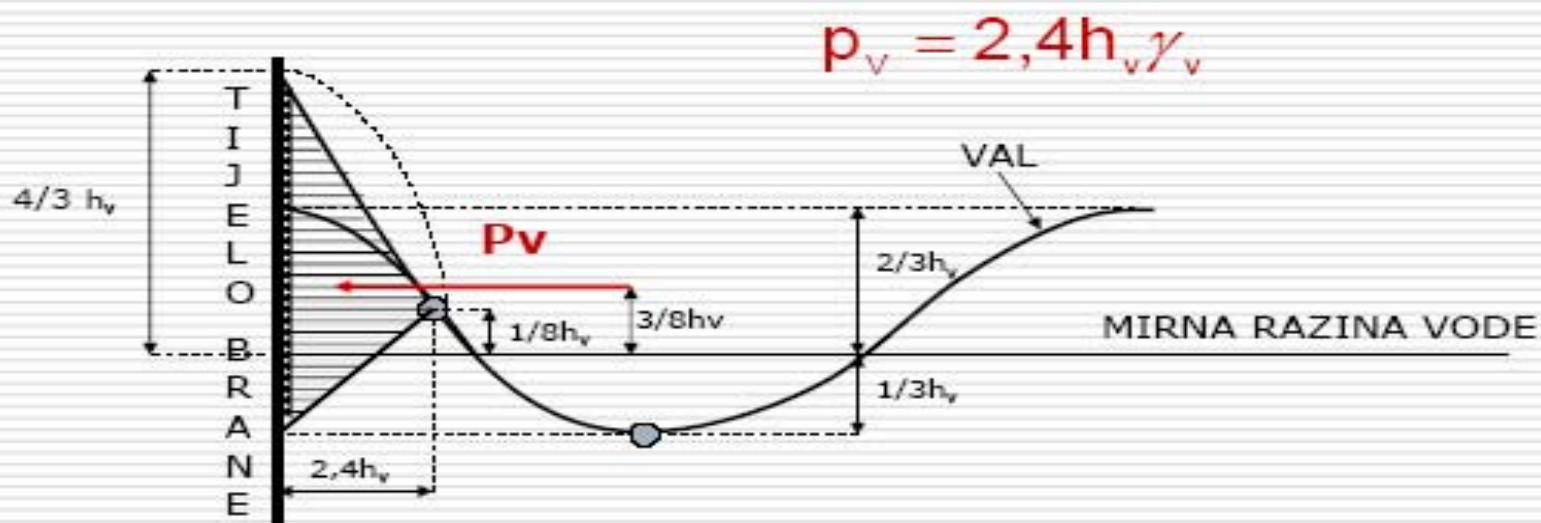
## □ VALOVI

### ■ Valovi uslijed vjetra

■ **Stojni valovi** (nastaju uslijed povremene periodičke oscilacije uvjetovanje barometarskim tlakom, utjecajem mjeseca i sunca na efekte plime i oseke)

### ■ Valovi izazvani potresom

## □ VALOVI USLIJED VJETRA



**POTRES**

- Usljed potresa dolazi do dodatnih sila (dinamičkih - oscilatorno kretanje)
- Velike brane i  $HE_{\Sigma} > 40$  MW spadaju u OBJEKTE IZVAN KATEGORIJE, potrebna DINAMIČKA ANALIZA
- Male brane i  $HE < 20$ , potrebna SPEKTRALNA ANALIZA
  
- Projektni potresi Z1 i Z2:
  - Z1: vjerojatnost pojave 1 u 200 godina –nisu dozvoljena oštećenja
  - Z2: vjerojatnost pojave 1 u 1000 godina ili 1 u 10 000 godina – može doći do oštećenja, ali ne i rušenja
- EUROCODE 8

PRORAČUNI SE OBIČNO RADE ZA RAZLIČITE KOMBINACIJE OPTEREĆENJA:

- **OSNOVNA opterećenja:**
  - Vlastita težina
  - Hidrostatski pritisak
  - Uzgon
  - Valovi
  - Nanos
- **DOPUNSKA opterećenja**
  - Seizmičke inercijalne sile (spektralna analiza)
  - Hidrodinamički pritisak (uslijed potresa)
  - Utjecaj potresa Z1
  - Utjecaj potresa Z2