

# Støttekonstruksjoner og seismiske laster

Banafshe Heidar

2022-11-01



# Støttekonstruksjoner

Eurokode 8 - del 5 setter krav til prosjektering av støttevegger for påkjenninger fra jordskjelv.

**Støttevegger menes både støttemurer i betong og naturstein, permanent spunt, slissevegger og annen type støttevegger.**

# Permanente støttekonstruksjoner

## **Generelle krav iht. Eurokode 8 - del 5 for en støttekonstruksjon under og etter et jordskjelv er:**

- Støttekonstruksjonen skal fortsatt oppfylle sin funksjon uten signifikante strukturelle skader
- Permanente deformasjoner i form av glidning (bak og under støttekonstruksjon) og velting (på grunn av irreversible deformasjoner) skal være akseptable slik at funksjonelle og estetiske krav fortsatt er oppfylt

# Midlertidige støttekonstruksjoner

- I henhold til følgende standarder kan det sees bort fra seismiske krefter for midlertidige støttekonstruksjoner dersom de ikke berører eksisterende konstruksjoner eller områdestabilitet. (**NS-EN1991-1-6:2005/NA:2008 under punkt "NA.4.13 og i NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016 på tabell 2.1)**
- Støttekonstruksjoner der grunntype er A-E med en dimensjonerende brukstid mindre eller lik 2 år oppfyller utelateskriteria
- **NS-EN1998-1** Midlertidige konstruksjoner med dimensjonerende brukstid mindre eller lik 10 år kan normalt settes en klasse lavere enn anbefalingen i tabell NA.4 (902).
- Midlertidig spunt behøver ikke sjekkes mot seismisk påvirkning forutsatt at kollaps av midlertidig spunt ikke påvirker eksisterende permanente konstruksjoner jf. NA.4.13 i Eurokode 1 - del 1- 6.

Tabell NA.4 (902) — Veiledende valg av seismisk klasse



Byggverk	I	II	IIIa	IIIb	IV
Byggverk der konsekvensene av sammenbrudd er særlig store					x
Viktig infrastruktur: sykehus, brannstasjoner, redningssentraler, kraftforsyning og lignende			(x)	x	
Industrianlegg <sup>a)</sup>		x	x		
Tårn, skorsteiner, siloer	(x)	x			
Kaier og havneanlegg <sup>b)</sup>	x	(x)			
Støttemurer, nedgravde konstruksjoner, geotekniske konstruksjoner <sup>c)</sup>	x	(x)			
Byggverk med store, og vedvarende, ansamlinger av mennesker og som ofte er i bruk: kjøpesentre, konferanselokaler, kinosaler, kulturelle institusjoner			x		
Byggverk med store, men sjeldne, ansamlinger av mennesker: tribuner, sportshaller		x			
Byggverk med små, men vedvarende, ansamlinger av mennesker og som ofte er i bruk: idrettsbygg		x			
Skoler og institusjonsbygg		(x)	x		
Kontorer, forretningsbygg, hotell og boligbygg		x			
Småhus, rekkehus, mindre lagerhus	x				
Landbruksbygg <sup>d)</sup>	x				
Kaier og fortøyningsanlegg for sport og fritid	x				
<p>MERKNAD Kryss uten parentes angir normalt valg av seismisk klasse.</p> <p>a Der det er fare for stor skade på miljø og/eller biomangfold bør klasse IIIa velges.</p> <p>b Der havneanlegg er en del av industrianlegg må disse vurderes også som industrianlegg</p> <p>c Der bortfall av konstruksjoner påvirker stabiliteten til en konstruksjon med høyere konsekvensklasse må tilsvarende høyere konsekvensklasse vurderes. Konstruksjoner som bidrar til stabilitet langs vei og spor bør vurderes tilsvarende som bruer, se NS-EN 1998-2/NA.</p> <p>d Landbruksbygg med fare for stor skade på miljø bør vurderes som industribygg</p>					

I henhold til NS-EN 1998-1 tilsvares seismisk klasser for bygninger omtrent konsekvensklasser/ pålidelighetsklasse defineret i eurokode 0

- Vegnormal N400:2022-01-01 i **krav** 5.13-1

For konstruksjoner som er lokalisert over veg, som er av større samfunnsmessig betydning enn selve konstruksjonen, skal underliggende veg bestemme valg av seismisk klasse for konstruksjonen. Seismisk klasse for bruer bestemmes i henhold til Eurokode 8 - del 2

Konstruksjon som skal prosjekteres og bygges som bru, blant annet støttevegger med konstruksjonshøyde  $\geq 5,0$  m, kulverter, løsmassetunneler, veglokk/ vegoverbygg. Med støttevegger menes både støttemurer i betong og naturstein, permanent spunt, slissevegg og annen type støttevegg. For seismisk klasse for bruer vises det til N400 Bruprosjektering og NS-EN 1998-2

- Vegnormal N200 vegbygging: KRAV 1.3 **SKAL** GJELDENE FRA 22.06.2021

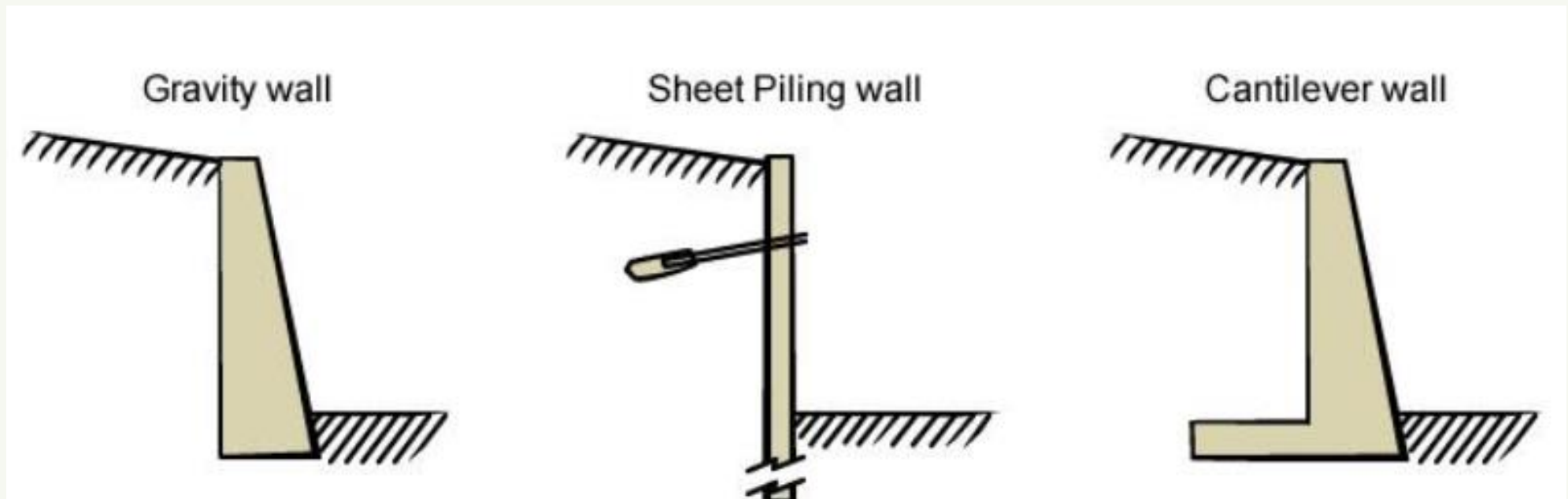
I områder med kvikkleire (sprøbruddmaterialer) skal vegprosjekter plasseres i geoteknisk kategori 3.

KRAV 1.74 **SKAL** GJELDENE FRA 22.06.2021

Geotekniske konstruksjoner skal ha samme seismisk klasse som konstruksjonen de støtter.

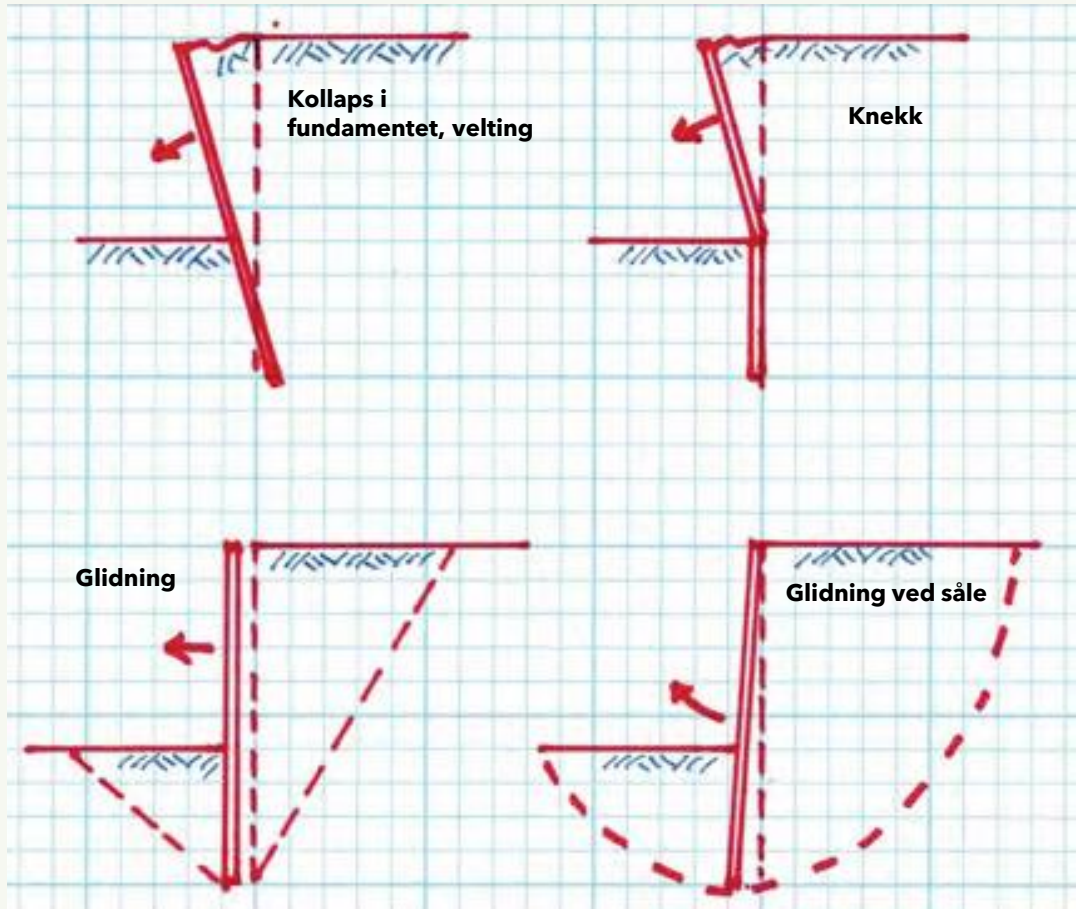
I Norge bruker vi forskjellige støttekonstruksjoner:

- Gravitasjonsmur
- Forankrede eller ikke forankrede spunt
- Murer både vinkelmur og tørrmur og andre type mur



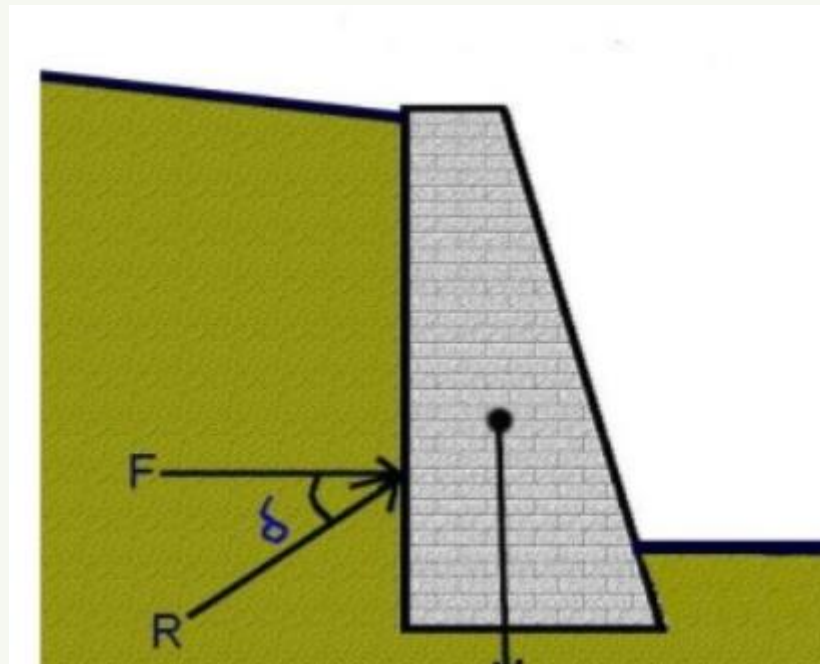


# Mulig årsak til kollaps mens og etter jordskjelv



## Gravitasjonsmurer

- Enkleste støttekonstruksjoner
- Stor tykkelse og høy stivhet
- De kan ikke bøyes/ de er lik som stiv vegg
- Brudd vil skje ved glidning av såle/ velting av muren/ bæreevnebrudd i jorden under såle



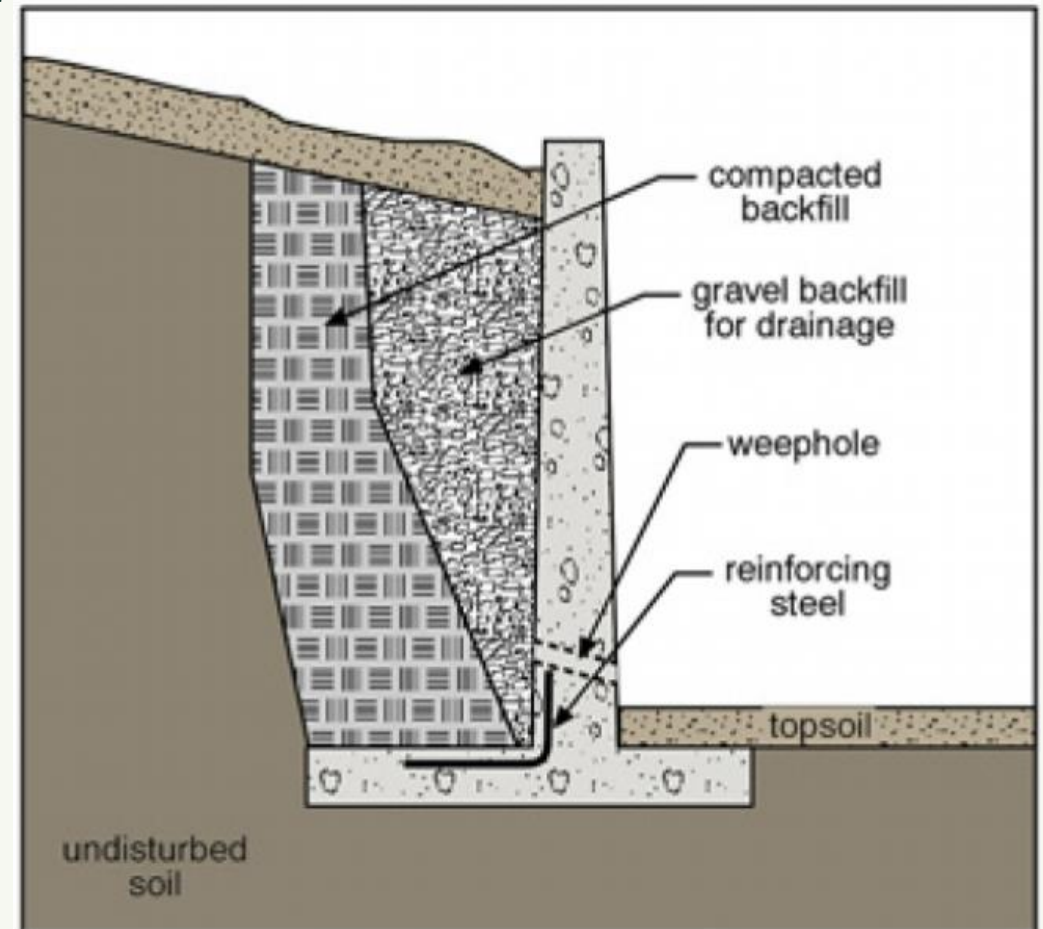
# Tørrmurer

I Norge er det vanlig å benytte seg av tørrmurer. Seismisk dimensjonering av disse kan utføres med metodene beskrives senere. Relativ bevegelse og friksjon mellom murblokkene bør tas hensyn til i beregningsmodellene.



# Vinkelmur

- Samme brudmekanisme som gravitasjonsmurer
- Men muren (betongen) kan gå til brudd



# Står vi her?

Støttemur må dimensjoners for seismiske laster i tillegg til statiske laster

Vi skal dimensjonere for en seismisk påvirkning og standarden åpner for flere måter å modellere denne påvirkningen:

1. Pseudostatistiske håndberegningsmetoder som gitt i EC8-5 Annex E:

- Metode for stive støttemurer / kjeller
- Mononobe-Okabe metode

2. Pseudostatisk FEA i Plaxis

3. Tidsdomene FEA (omtales ikke her- tidskrevende- det kan utføres ved spesielle tilfeller)

# Laster på stive støttekonstruksjoner som landkar

Kontroll av dynamisk tilleggslast på en mur i Kristiansand, 4 m høy, jorda under og bak muren defineres som grunntype E

Tilleggslast påføres i midtpunkt av muren

$$\Delta P_d = \alpha \cdot S \cdot \gamma \cdot H^2$$

$$\alpha = a_g/g = a_{gR} \cdot \gamma_I/g = 0,35 \cdot 1,0 / 9,81 = 0,036$$

$$\Delta P_d = 0,036 \cdot 1,6 \cdot 19 \cdot 4^2 = 14,7 \text{ kN/m}^2$$

**Kristiansand  $a_{gR} = 0,35$**

**Tyngdetetthet  $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$**

**Murhøyde  $H = 4 \text{ m}$**

**Grunntype E  $S = 1,6$**

# Mononobe-Okabe metode

Pseudo-statisk seismisk koeffisient

$$k_h = (a_g/g) \cdot S/r$$

$$k_v = \pm 0,33 k_h$$

**Table 7.1 — Values of factor  $r$  for the calculation of the horizontal seismic coefficient**

Type of retaining structure	$r$
Free gravity walls that can accept a displacement up to $d_r = 300 \alpha \cdot S$ (mm)	2
Free gravity walls that can accept a displacement up to $d_r = 200 \alpha \cdot S$ (mm)	1,5
Flexural reinforced concrete walls, anchored or braced walls, reinforced concrete walls founded on vertical piles, restrained basement walls and bridge abutments	1



## Beregning av seismiske koeffisienter for en vinkelmur i grunntype B i Kristiansand og seismisk klasse II (Jordskjelvdesign SVV rap.604)

$$\alpha = a_g/g = \gamma_I \cdot a_{gR}/g = 1,0 \cdot 0,35 / 9,81 = 0,036$$

$$k_h = 0,036 \cdot 1,35 / 1,0 = 0,049 \text{ Horizontal seismisk koeffisient}$$

$$k_v = \pm 0,33 \cdot 0,049 = \pm 0,016 \text{ Vertikal seismisk koeffisient}$$

**Kristiansand**       **$a_{gR} = 0,35$**

**Grunntype B**       **$S = 1,35$**

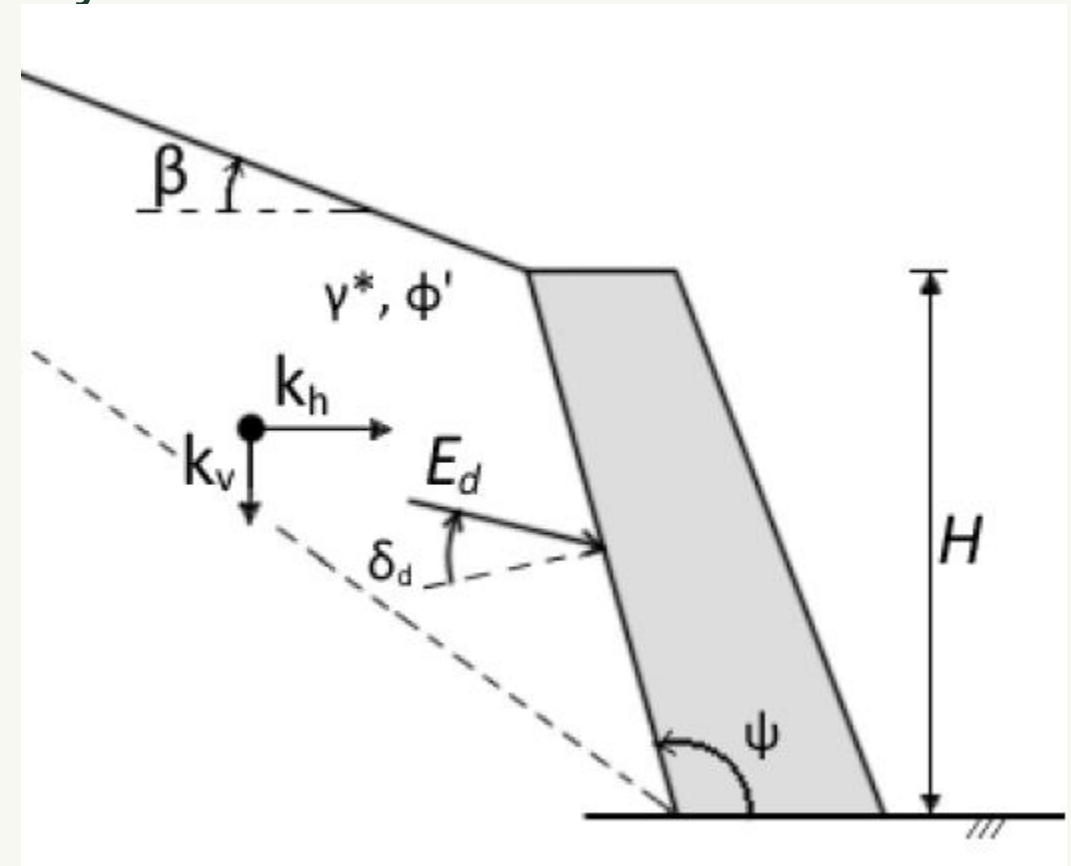
**seismisk klasse II**       **$\gamma_I = 1$**

## Total kraft som virker på støttekonstruksjonen

$$E_d = \frac{1}{2} \gamma' (1 \pm kv) K \cdot H^2 + E_{ws} + E_{wd}$$

- H Høyden av mur
- $E_{ws}$  Statisk porevanntrykk i løsmassene bak støttemur
- $E_{wd}$  Dynamisk porevanntrykk i løsmassene bak støttemur
- $\gamma'$  Jordas tyngdetetthet
- K Jordtrykk koeffisient (Statisk og dynamisk)
- $K_v$  Vertikal seismisk koeffisient

$$\Delta E_d = E_d - E$$



**Angrepspunktet til det dynamiske tillegg av jordtrykket ( $\Delta E_d$ ) kan plasseres  $0,6 \cdot H$  fra foten av støttekonstruksjonen**

Hvor jordtrykkskoeffisient  $K$  er beregnet ved hjelp av følgende

$$K = \frac{\sin^2(\psi + \varphi'_d - \theta)}{\cos\theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \theta - \delta_d) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi'_d + \delta_d) \sin(\varphi'_d - \beta - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta_d) \sin(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

$\delta_d$  er ruhet mellom jorda bak mur og muren (NS-EN 1997-1)

$$\delta_d = \tan^{-1}(\tan \delta / \gamma \varphi')$$

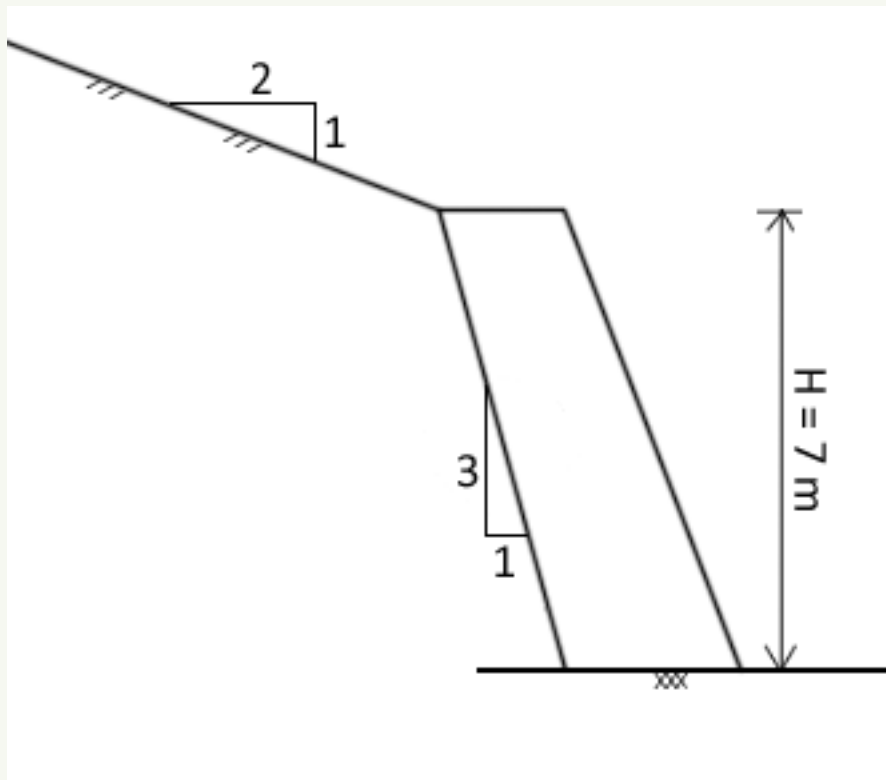
Dersom grunnvannstand ligger lavere enn støttemuren (drenert bakfylling) er  $\gamma' = \gamma$  og  $E_{ws}, E_{wd} = 0$

$$\tan \theta = \frac{k_h}{1 \pm k_v}$$

Ligningen kan brukes hvis følgende forutsetning er oppfylt

$$\beta \leq \varphi'_d - \theta$$

# Eksempel



Ved å sette  $k_h = k_v = 0$ , kan man beregne jordtrykk uten jordskjelv med de samme formlene som er presentert i slide 19.

Parameter	
Friksjonsvinkel	$\Phi' = 42^\circ, \Phi'_d = 36,9^\circ$
Tyngdetetthet jord	$\gamma' = 19 \text{ kN/m}^3$
Seismisk koeffisient horisontalt	$K_h = 0,058$
Seismisk koeffisient vertikalt	$K_v = 0,019$
Materialfaktor	$\gamma_{\Phi'} = 1,2$
Terrenghelning bak mur	$\beta = 26,5^\circ$
Vinkel bak mur	$\psi = 108,5^\circ$
Ruhet mellom jord-vegg, dim	$\delta_d = 24,6^\circ$
$\tan \theta = k_h / (1 - k_v)$	$4,11^\circ$

Med tallene i tabellen i forrige slide får man

$$K=0,236$$

$$E_d= 111,94 \text{ kN/m}$$

Man skal beregne  $E_d$  med motsatt fortegn for  $k_v$

Med  $k_h = k_v = 0$   $K= 0,166$  og  $E=77,4 \text{ kN/m}$

$$\Delta E_d = E_d - E = 111,94 - 77,4 = 34,54 \text{ kN/m} \quad \text{Det dynamiske tillegget fra jordskjelvet}$$

Den statiske delen av kraften  $E_d$  settes på  $H/3$  og den dynamiske på  $0,6H$ .

Angrepspunktet  $h$  for  $E_d$  kan dermed regnes ut på følgende måte:

$$\begin{aligned} h &= (EH/3 + E_d * 0,6 * H) / E_d \\ &= (77,4 * 7/3 + 34,54 * 0,6 * 7) / 111,94 = 2,9 \text{ m} \end{aligned}$$

# Stag

Stag er omtalt i EC8-5, kapittel 7.4.2. og skal dimensjoneres i henhold til likevekt av den kritiske jordmassen under et jordskjelv. (Dette gjelder for permanent spunt)

Dette betyr at dersom en støttekonstruksjon er stagforankret i løsmasser skal stagene ha innfestingssone utenfor bruddsonen. Stagene skal også ha tilstrekkelig kapasitet til å tilpasse seg de seismiske deformasjonene i grunnen.

Staglengde skal bestemmes til å være lenger enn for ikke-seismiske laster.

EC8-5, kap. 7.4.2 (5) oppgir at staglengden  $L_e$  kan estimeres med ligning under:

$$L_e = L_s (1 + 1,5 \alpha S)$$

Hvor  $L_s$  er staglengde for statiske laster.

## Pseudostatisk FEA i Plaxis (støttemur / spunt)

Pseudo-statistiske metoder betyr at man bruker ekvivalente statiske laster for å representere jordskjelvpåvirkning.

Grunnens akselarsjonsratio, $\alpha \cdot S$	Damping ratio	$V_s/V_{smax}$	$G_{max}/G_{max}$
0,1	0,03	0,9 ( $\pm 0,07$ )	0,80 ( $\pm 0,10$ )
0,2	0,06	0,70 ( $\pm 0,15$ )	0,5 ( $\pm 0,2$ )
0,3	0,1	0,6 ( $\pm 0,15$ )	0,36 ( $\pm 0,2$ )

Husk å redusere  $V_{smax}$  og  $G_{max}$  i materialboksen i Plaxis.

# Pseudostatisk FEA i Plaxis

Samme modell som i den statiske beregningen benyttes- Plaxis må støtte *Dynamisk* versjon

Endre  $V_s$  og  $G_{max}$  til dynamiske verdier basert på tabellen på forrige side

Rayleigh damping ( $\alpha$  og  $\beta$ ) for jorda brukes for riktig dempingsforhold og tilsvarende frekvensene basert på forrige slide . Den første target frekvensen er  $f_1 = \frac{V_s}{4H}$

Veggen er modellert som elastisk plate med riktig EA og EI

Det velges dynamiske randbetingelser, viskøse dempere ved de vertikale rendene

I tillegg benyttes randbetingelse som heter *tied degrees of freedom* for de vertikale rendene  $x_{min}$  og  $x_{max}$  (Denne funksjonen binder nodene på den høyre og venstre side av rendene sammen slik at de får lik forskyvning når svingningene inntreffer)

*Dynamisk* fase i beregningsfase etter sikkerhetsfase benyttes



Soil - Hardening soil - Sand

General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial

Property	Unit	Value
<b>Material set</b>		
Identification		Sand
Material model		Hardening soil
Drainage type		Drained
Colour		RGB 134, 234, 162
Comments		
<b>General properties</b>		
$V_{unsat}$	kN/m <sup>2</sup>	17.00
$V_{set}$	kN/m <sup>2</sup>	20.00
<b>Advanced</b>		
<b>Void ratio</b>		
Dilatancy cut-off		<input type="checkbox"/>
$e_{int}$		0.5000
$e_{min}$		0.000
$e_{max}$		999.0
<b>Damping</b>		
Rayleigh $\alpha$		0.5712
Rayleigh $\beta$		1.447E-3

Single DOF equivalence

Target 1		Target 2	
$\zeta$	5.000 %	$\zeta$	5.000 %
$f$	1.000 Hz	$f$	10.00 Hz
$\omega$	5.283 rad/s	$\omega$	62.83 rad/s

Log scale

Next OK Cancel

Model explorer (Phase\_1)

- Attributes library
- Geometry
- Groups
- Soils
- Plates
- Interfaces
- Line loads
- Node-to-node anchors
- Groundwater flow BCs
- Embedded pile rows
- Model conditions
  - Deformations
  - Dynamics
    - BoundaryXMin: Viscous
    - BoundaryXMax: Viscous
    - BoundaryYMin: None
    - BoundaryYMax: None
    - Normal relax coeff C1: 1.000
    - Tangential relax coeff C2: 1.000
- GroundwaterFlow
- Precipitation
- PseudoStatic
- Water

Soil - Linear elastic - <NoName>

General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial

Property	Unit	Value
<b>Stiffness</b>		
$E'$	kN/m <sup>2</sup>	0.000
$\nu'$ (nu)		0.000
<b>Alternatives</b>		
$G$	kN/m <sup>2</sup>	0.000
$E_{oed}$	kN/m <sup>2</sup>	0.000
<b>Velocities</b>		
$V_s$	m/s	0.000
$V_p$	m/s	0.000
<b>Advanced</b>		

Next OK Cancel

Phases

- Initial phase [InitialPhase]
- Spurt [Phase\_1]
- Utgraving til innvendig avstivning [Phase\_2]
- Innvendig avstivning [Phase\_3]
- CFI [Phase\_4]
- 2. utgraving [Phase\_5]
- CFI [Phase\_6]
- Meger [Phase\_7]
- CFI [Phase\_8]
- Phase\_9**

Name	Value
<b>General</b>	
ID	Phase_9
Start from phase	Meger
Calculation type	Dynamic
Loading type	Staged construction
Pore pressure calculation type	Use pressures from previous phase
Dynamic time interval	4.000 s
Estimated end time	0.04630E-3 day
First step	
Last step	
Design approach	(None)
<b>Deformation control parameters</b>	
Ignore undr. behaviour (A,B)	<input type="checkbox"/>
Reset displacements to zero	<input checked="" type="checkbox"/>
Reset small strain	<input checked="" type="checkbox"/>
Reset state variables	<input type="checkbox"/>
Reset time	<input type="checkbox"/>
Ignore suction	<input checked="" type="checkbox"/>
Cavitation cut-off	<input type="checkbox"/>
Cavitation stress	100.0 kN/m <sup>2</sup>
<b>Numerical control parameters</b>	
Max cores to use	256
Max number of steps stored	1
Use default iter parameters	<input checked="" type="checkbox"/>
Max steps	100
Time step determination	Automatic
Number of sub steps	Automatic
Tolerated error	0.01000
Max unloading steps	5
Max load fraction per step	0.5000
Over-relaxation factor	1.200
Max number of iterations	60
Desired min number of iterations	6
Desired max number of iterations	15
Use line search	<input type="checkbox"/>

**Takk for oppmerksomheten!**