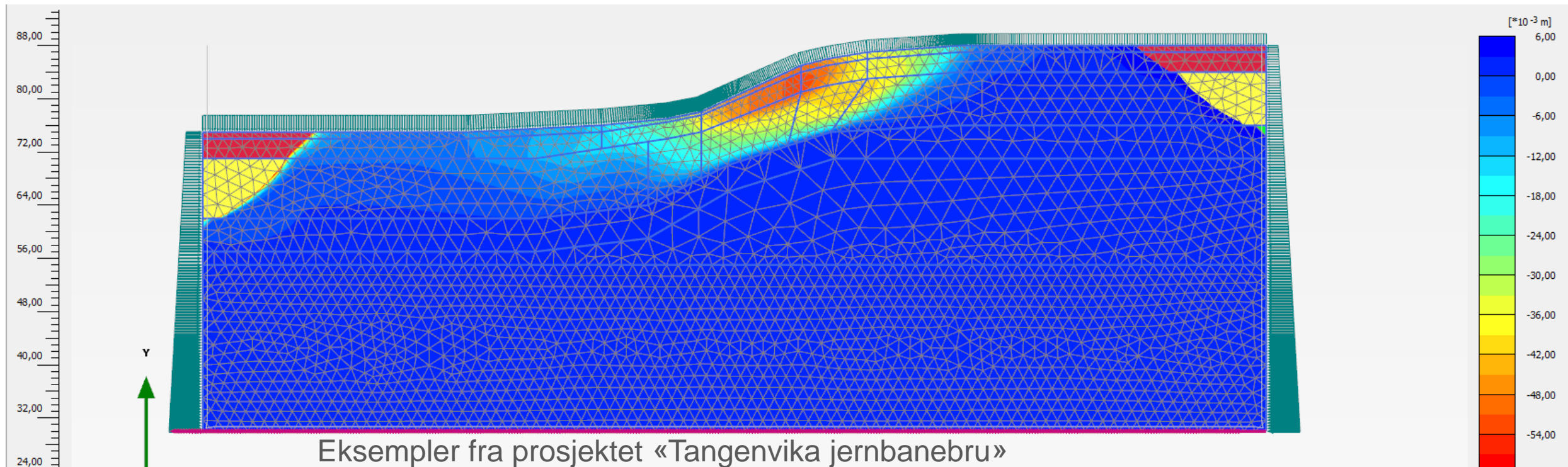


# Stabilitet ved jordskjelv i sand og silt

Yngres dag, 2022-11-09



# Regelverk

- ▶ Eurokode 8 er gjeldende for dimensjonering av byggverk under jordskjelvlast
- ▶ Statens vegvesens rapport nr. 604
  - ▶ Hjelpemiddel og supplement til EC8
- ▶ EC8-5: «Skråningsstabiliteten skal undersøkes når et byggverk oppføres på, eller ligger i nærheten av en skrånning»
  - ▶ Pseudo-statisk/dynamisk
- ▶ Utelatelseskriterier:
  - ▶ Konstruksjoner i seismisk klasse I



Vegdirektoratet  
Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen  
Geoteknikk og skred  
Mai 2017



## Jordskjelvdesign i Statens vegvesen

Anbefalinger for geoteknisk prosjektering av vegger og samvirke jord-konstruksjoner

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 604



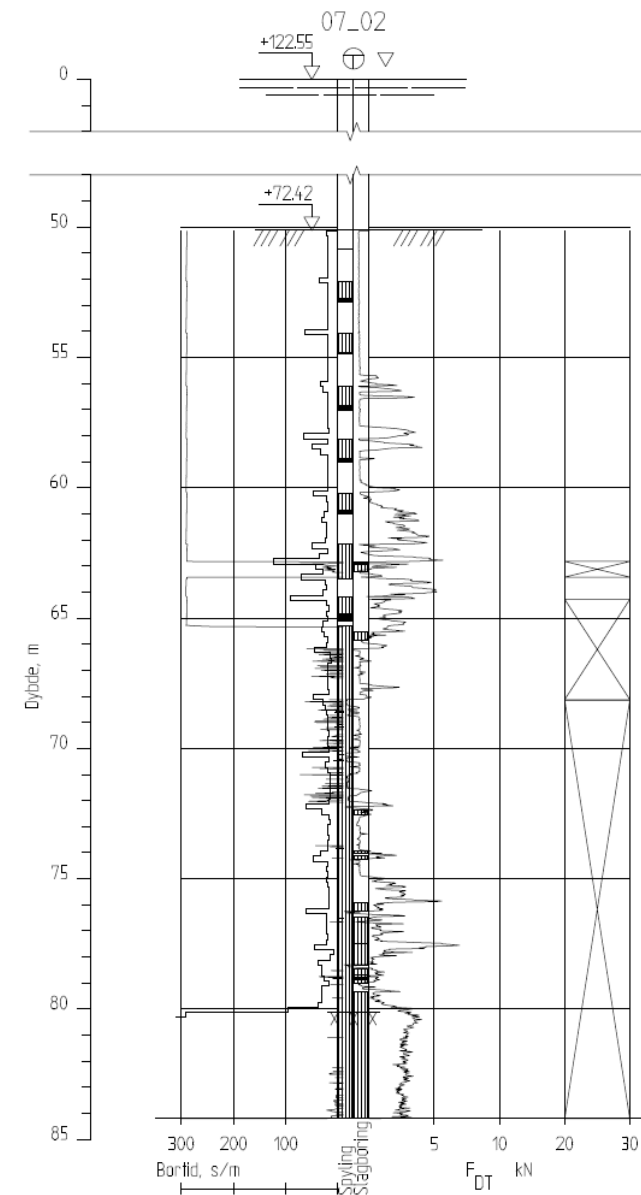
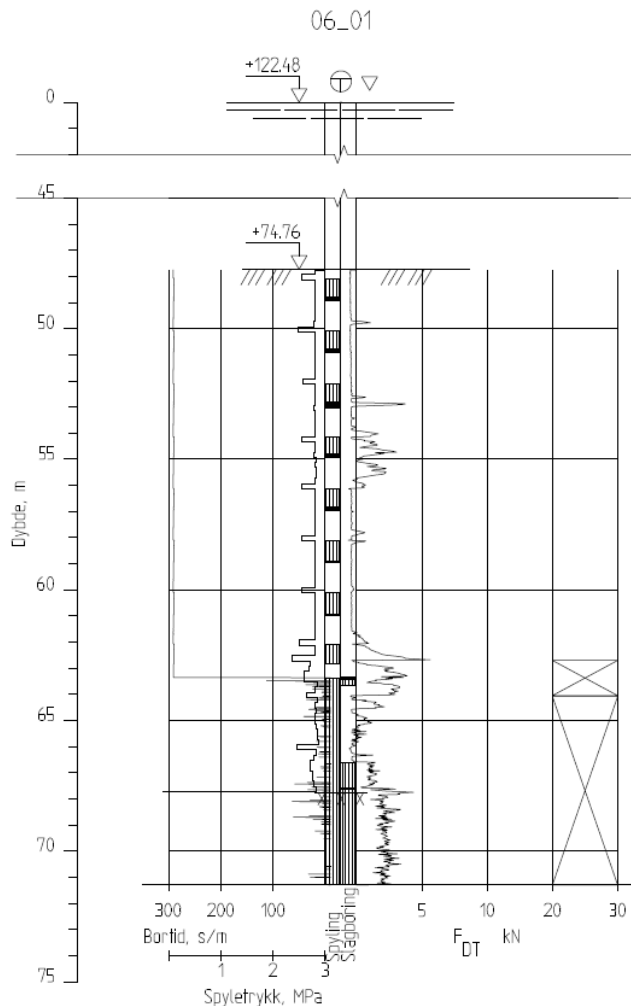
# Grunnforhold

- ▶ Sand og silt
- ▶ Lagdelte avsetninger
- ▶ Lav (ingen) boremotstand i løsmasser fra sjøbunn

Tabell 4-1: Forslag på sannsynlighetsklasser for styrkedegradering som følge av jordskjelv, sprengning og eller vibrokomprimering for norske forhold. (For detaljer - se vedlegg B)

Type avsetning	Alder <sup>1</sup>	Sannsynlighet for styrke degradering	Type terreng (fra kvartærkart)
Delta- og elv	Y-H	Høy	Fluviale avsetninger fra overflate, eller under tynt dekke med myr / fyllmasser, eller undervann f. eks. i strandsonen.
Innsjø, bresjø	Y	Høy	Innsjøavsetninger ved eller under vann
	H	Middels	Innsjøavsetninger på overflate eller under tynt dekke med myr / fyllmasse osv.
Vindavsetning	Y-H	H	Vindavsetning fra overflate eller under tynt dekke med myr / fyllmasser
Marin strandavsetning	Y	Høy	Marin strandavsetninger fra overflate i strandsonen eller undervann
	H	Middels	Eldre marin strandavsetninger fra overflate på land, og eller under tynt dekke med fyllmasser
Hav- og fjord	Y	Høy	Hav-avsetninger fra overflate i strandsonen, i en dal eller undervann
	H	Middels til lav	Eldre hav-avsetninger nært marin grense
Morene	Y-H	Lav	Morene fra overflate eller under tynt dekke med
Skredmateriale	Y-H	Lav	Skredmateriale fra overflate eller under et tynt dekke med fyllmasser eller torv
Torv og myr	Y	Høy – lav	Myrområder med uspesifisert underliggende material
Forvittringsmateriale	Y-H	Lav	Tynt dekke med forvittringsmateriale over fjell
Fyllmasser	Y	Høy – lav	Menneskeskapt
Fjell	–	Ingen	Fjellgrunn eller tynt torv/myr dekke over fjell

1- Y= Yngre eller moderne avsetninger (<8,000 år), H= Eldre Holosen avsetning (8,000 – 12,000 år).



# Stabilitetsanalyser ved jordskjelvsituasjon

## Pseudo-statisk vs. Dynamisk analyse

- ▶ Seismisk påvirkning:

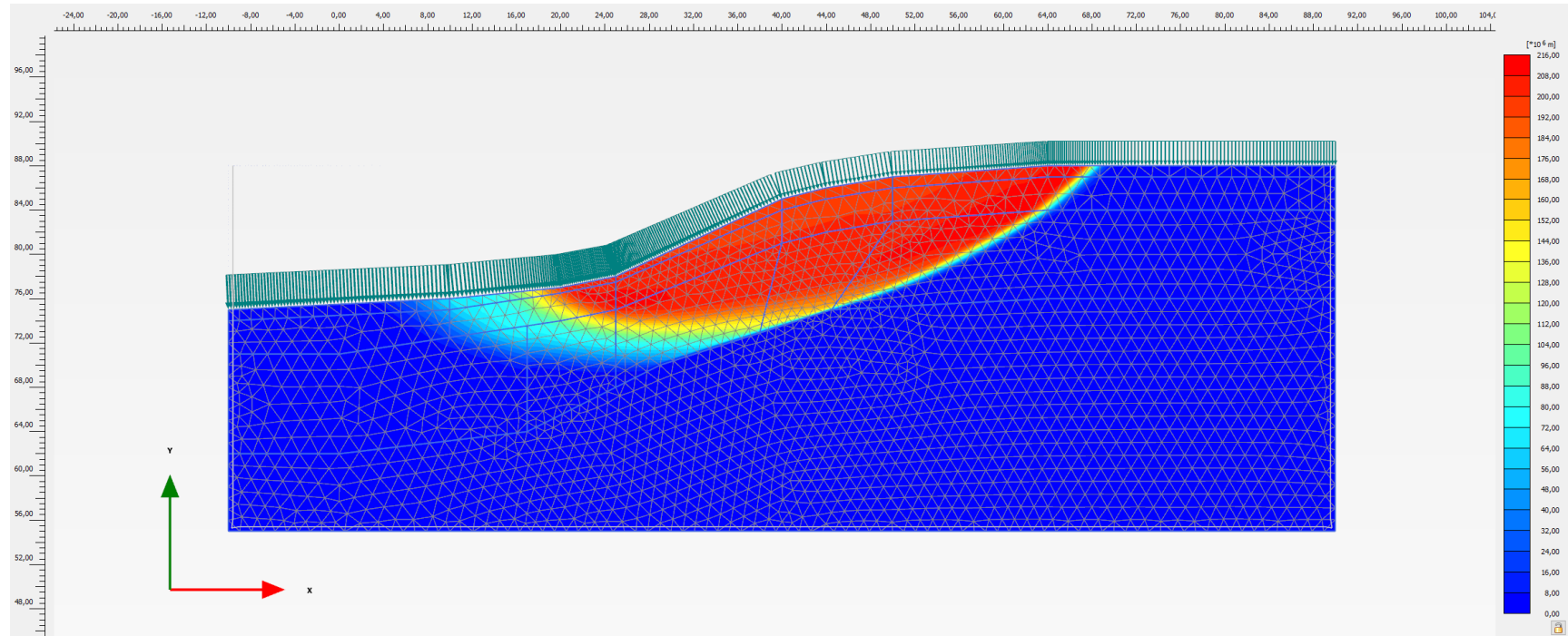
$$F_H = 0,5 * \alpha * S * W$$

$$F_V = \pm 0,33 * F_H$$

- ▶ Sikkerhetsfaktor < 1,1

→ Dynamisk analyse

- ▶ Grensetilstand basert på forskyvninger og tøyninger



Bruddfigur fra pseudo-statisk analyse fra prosjektet Tangenvika jernbanebru.

# Modell og materialmodell

## ► Plaxis Dynamics

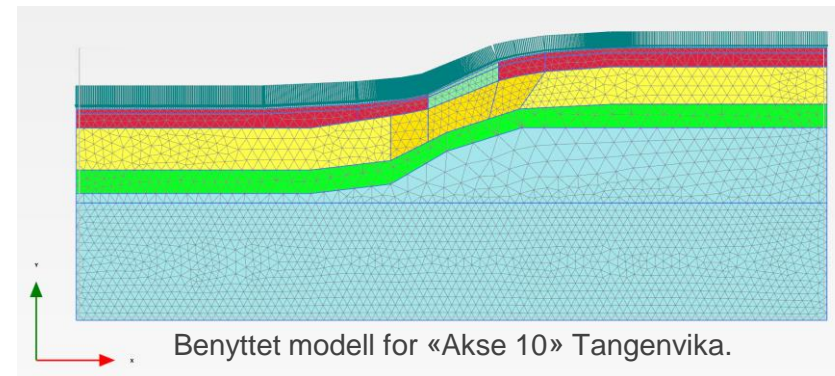
### ► MC Shansep

► Basert på Mohr-Coulomb

► Muliggjør bytte mellom drenert og udrenert beregning

► User Defined Soil Model (UDSM)

► Udrenert analyse når «Speical option» er aktivert i «Phases»-vindu



Parameter	Symbol	Description	Unit
Mohr-Coulomb model parameters	$G$	Shear modulus	kPa
	$\nu'$	Poisson's ratio	-
	$c'$	Cohesion	kPa
	$\phi'$	Friction angle	deg
	$\psi$	Dilatancy angle	deg
	$Tens$	Tensile strength	kPa
SHANSEP parameters	$\alpha$	Coefficient	-
	$m$	Power	-
	$G/S_v$	$G$ over $S_v$ ratio	-
	$S_{v,min}$	Minimum shear strength	kPa
	$OCR_{min}$	Minimum OCR	-

Name	Value
<b>General</b>	
ID	Phase_2
Start from phase	Initial phase ▼
Calculation type	Dynamic ▼
Loading type	Staged construction ▼
Pore pressure calculation type	Use pressures from p ▼
Dynamic time interval	40,00 s
First step	100
Last step	2099
Design approach	(None) ▼
Special option	1

# Syklisk skjærfasthet

- ▶  $\alpha = \frac{\tau_{f,cy}}{\sigma'_v}$
- ▶  $\tau_{f,cy} = (\tau_a + \tau_{cy})_f$
- ▶ Syklisk udrenert skjærfasthet avhengig av relativ lagringstetthet
- ▶ CPTu ga lav  $D_r \sim 10-20\%$
- ▶ Naturlig avsatte materialer: minst 40%
  - ▶ Bør underbygges av sykliske laboratorieforsøk
- ▶ Interaksjonsdiagram benyttes til å finne de to bidragene til total skjærfasthet

Parameter	Symbol	Description	Unit
Mohr-Coulomb model parameters	$G$	Shear modulus	kPa
	$\nu'$	Poisson's ratio	-
	$c'$	Cohesion	kPa
	$\phi'$	Friction angle	deg
	$\psi$	Dilatancy angle	deg
	$T_{ens}$	Tensile strength	kPa
SHANSEP parameters	$\alpha$	Coefficient	-
	$m$	Power	-
	$G/S_u$	$G$ over $S_u$ ratio	-
	$S_{u,min}$ $OCR_{min}$	Minimum shear strength Minimum OCR	kPa -

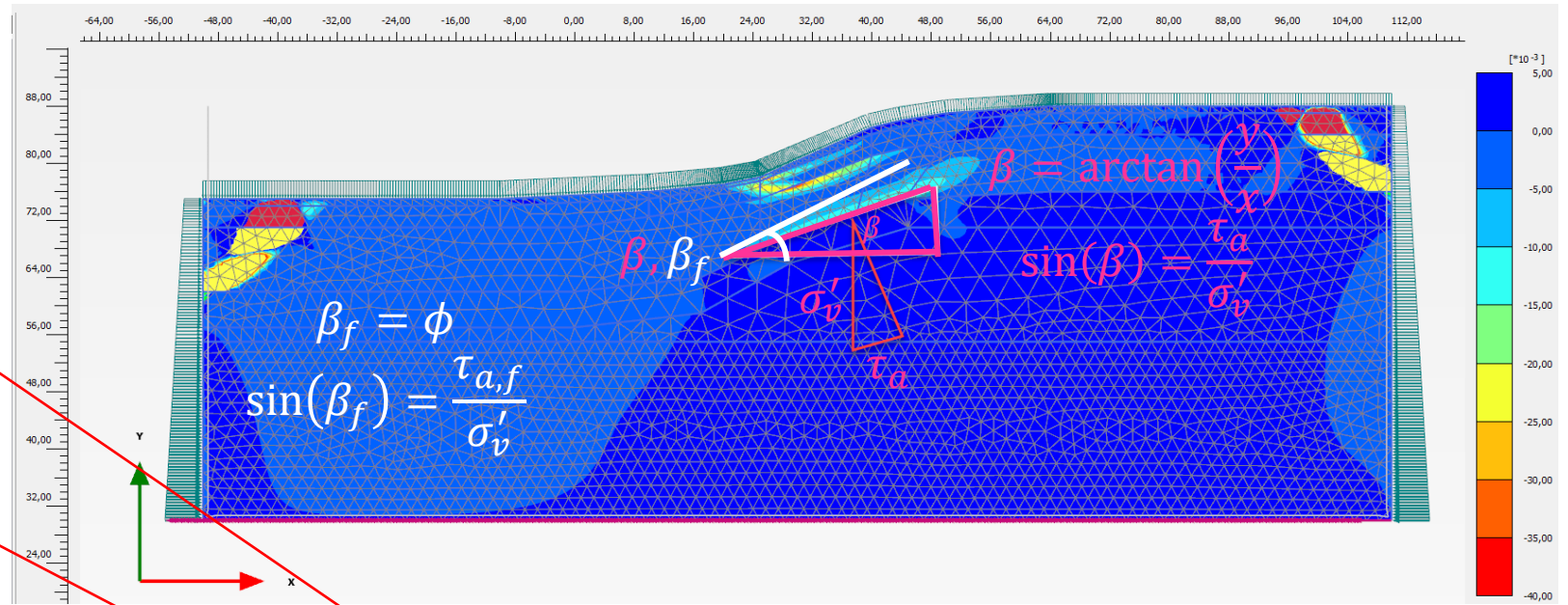
$D_r$	$\tau_{cy,u} / \sigma'_v$
40 %	0,16
50 %	0,19
60 %	0,23
70 %	0,30
80 %	0,50

[1] K. H. Andersen, Bearing capacity under cyclic loading offshore, along the coast, and on land, Can. Geotech, 2009.

▶ Materialparametere gir interaksjonsdiagram:

▶ Dr antatt 40%  $\rightarrow \frac{\tau_{cy,u,f}}{\sigma'_v} = 0,16$

▶  $\phi(sand) = 34^\circ \rightarrow$   
 $\frac{\tau_{a,f}}{\sigma'_v} = \sin(34^\circ) = 0,56$



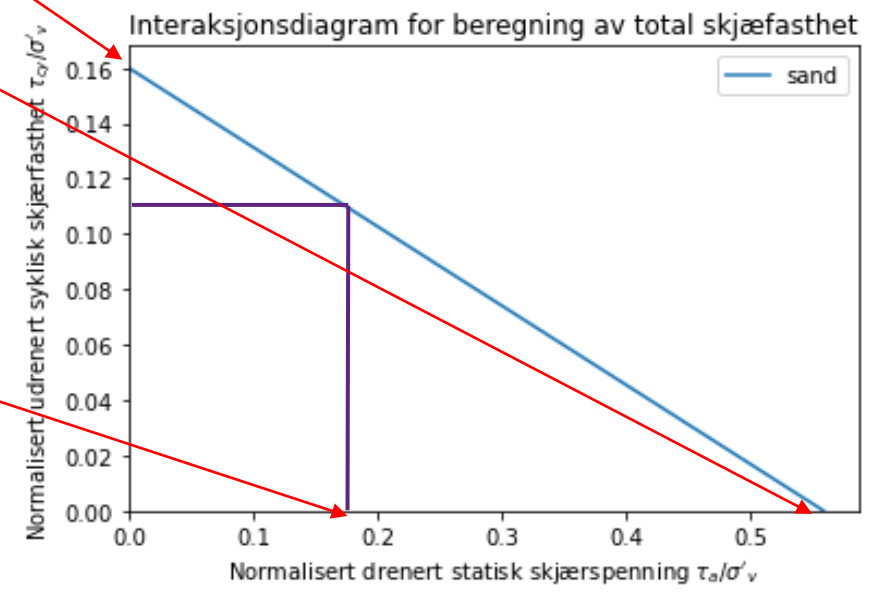
▶ Ser på skråningens helning:

▶  $\beta = \arctan\left(\frac{9}{50}\right) = 0,18$

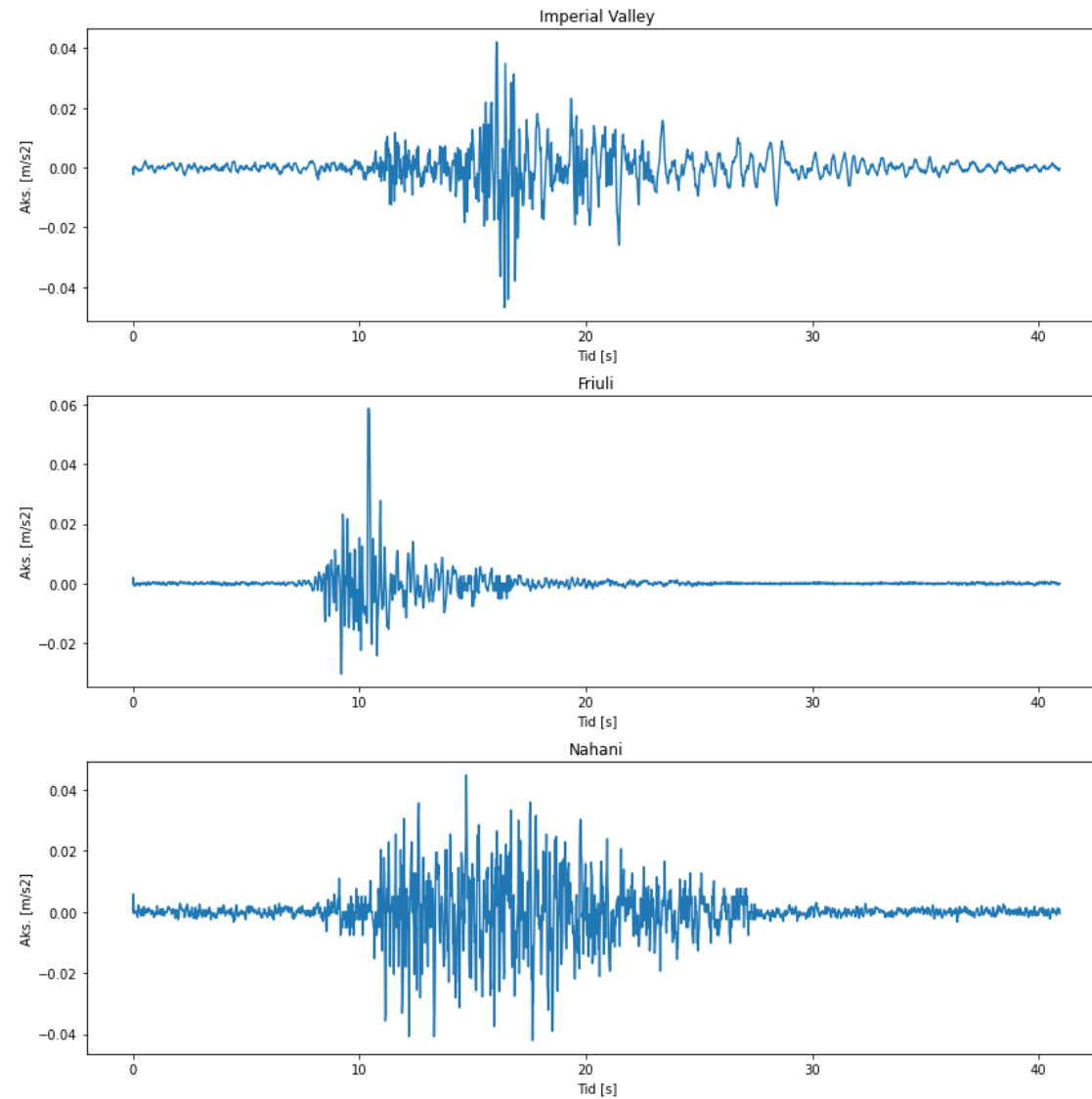
▶  $\frac{\tau_a}{\sigma'_v} = \sin(\beta) = \sin(0,18) = 0,18$

▶ Summerer de to bidragene:

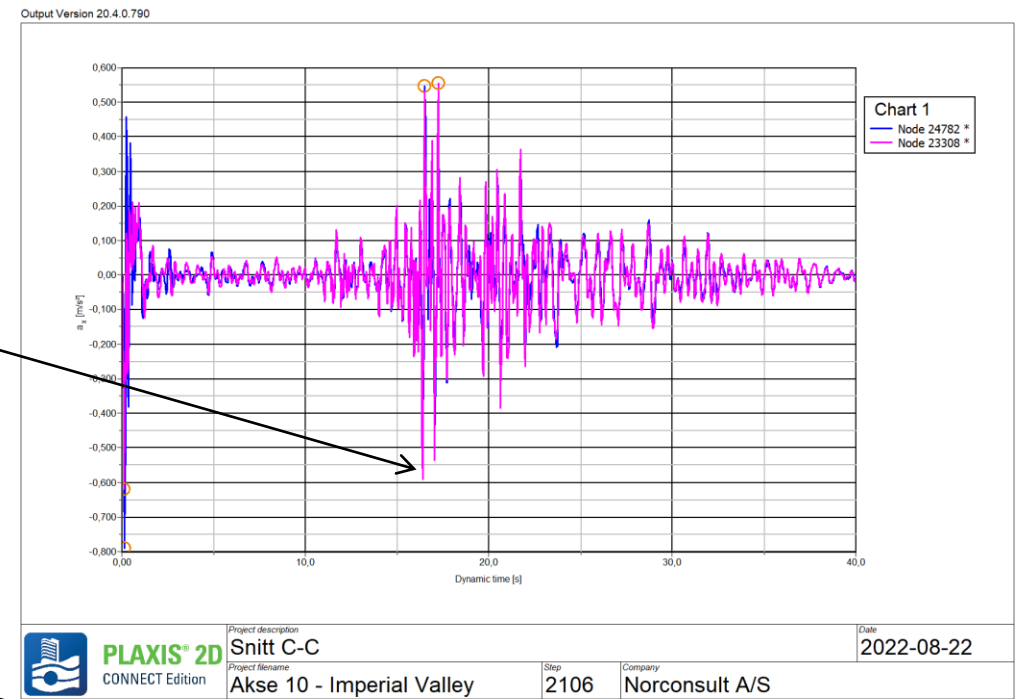
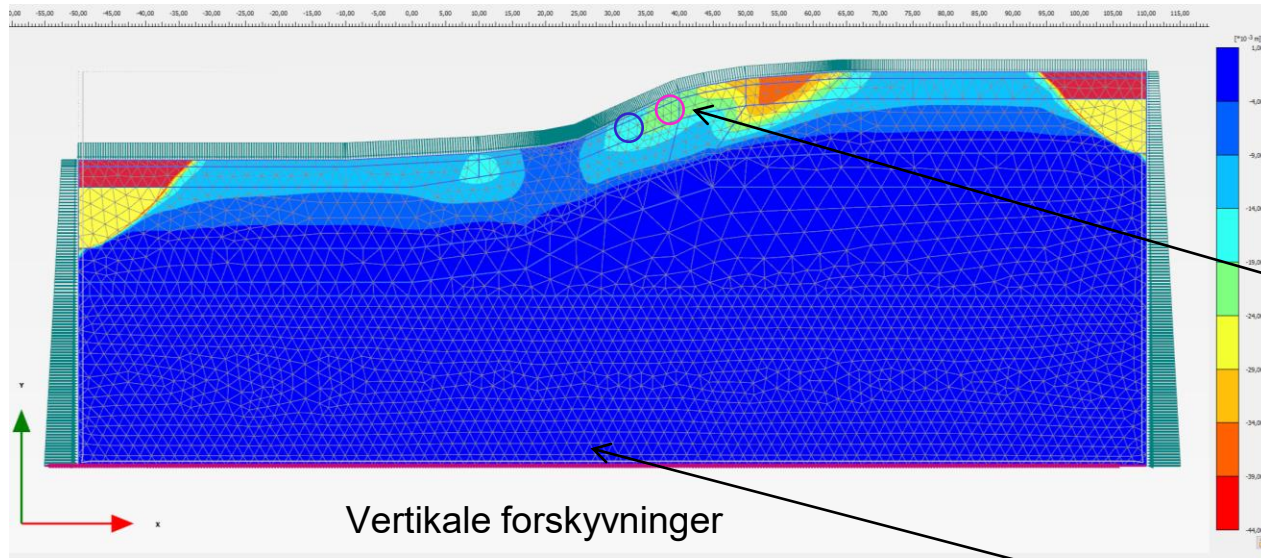
$\alpha = \tau_{f,cy} = (\tau_a + \tau_{cy})_f = 0,18 + 0,11 = 0,29$



# Jordskjelvtidsserier

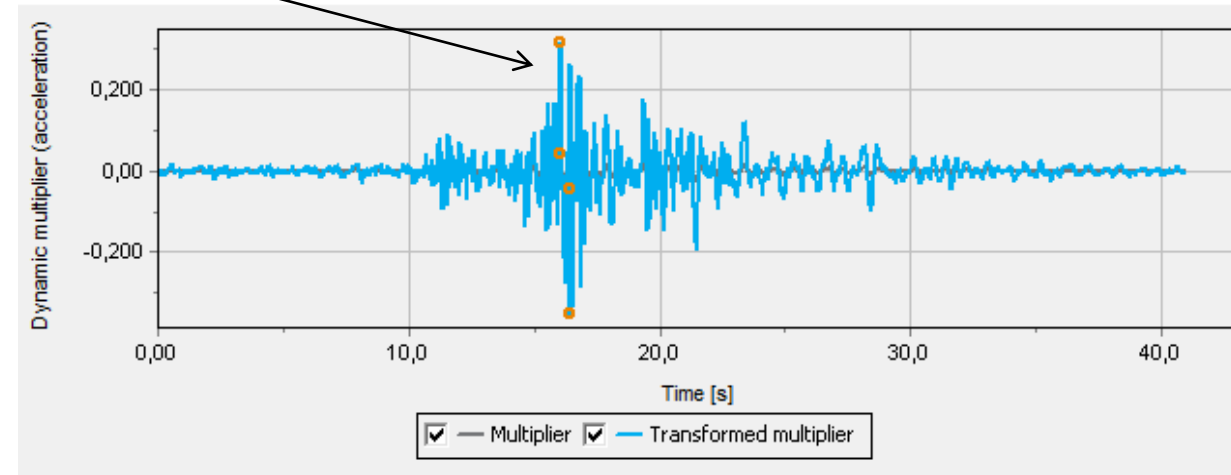






Forsterkningsfaktor,  $S = \frac{a}{a_g} = \frac{0,60}{0,34} = 1,74 \approx 1,8$

Grunntype	S	$T_B$ (s)	$T_C$ (s)	$T_D$ (s)
A	1,0	0,05	0,25	1,2
B	1,35	0,05	0,25	1,2
C	1,5	0,10	0,25	1,2
D	1,8	0,10	0,30	1,2
E	1,6	0,05	0,25	1,2

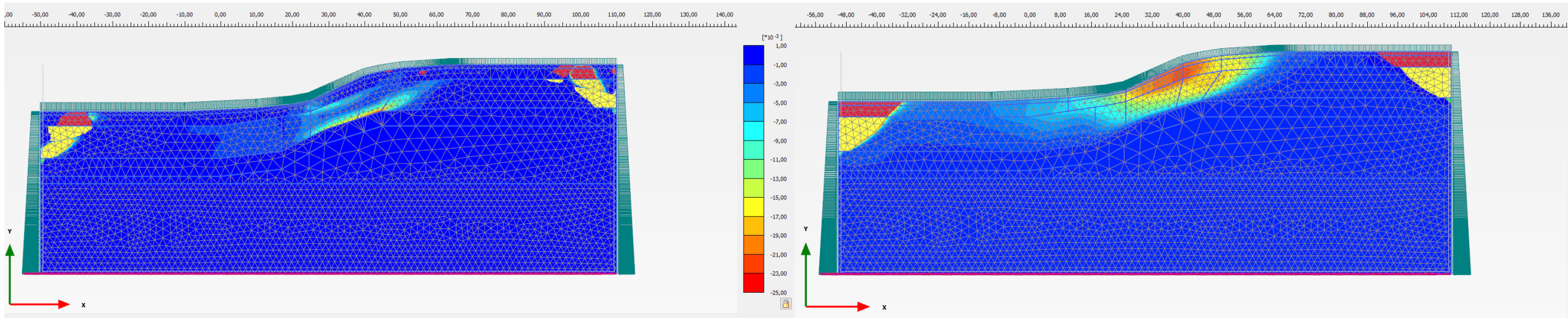


# Resultater

- ▶ Sammenligne forskyvninger og tøyninger og finne mest kritiske skjelv
- ▶ Post-jordskjelv stabilitet i SVV rapport 604:
  - ▶ Kvikkleire:  $\gamma_P = 1\%$
  - ▶ Leire  $\gamma_P = 3\%$

Typiske verdier langs skråningen for tre ulike jordskjelvhistorier.

	Imperial Valley	Nahani	Friuli
Vertikal forskyvning, $u_y$ [mm]	42 mm	40 mm	40 mm
Horizontal forskyvning, $u_x$ [mm]	86 mm	83 mm	67 mm
Tøyning, $\gamma_{xy}$ [%]	2%	1,8%	1,6%



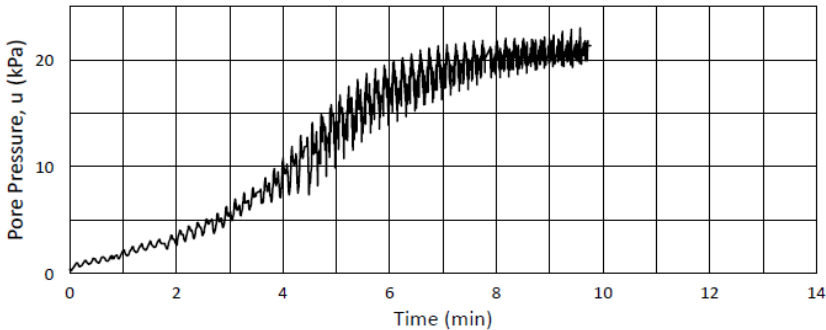
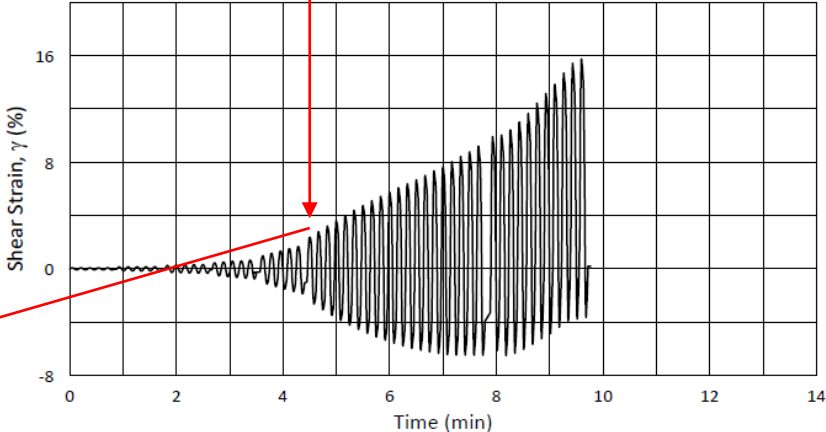
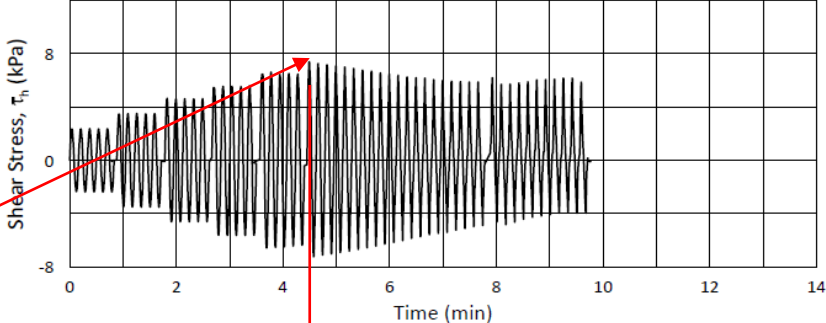
Tøyninger (venstre) og horisontale forskyvninger (høyre) fra dynamisk analyse.

# Laboratorieforsøk for bestemmelse av syklisk skjærfasthet

Her: styrkedegradering ved

$$\alpha = \frac{\tau_{f,cy}}{\sigma'_v} \approx \frac{7}{24} = 0,3$$

Brudd når  
gjennomsnittlig  
skjærtøyning  $\neq 0$



Norconsult 

**Hver dag forbedrer vi hverdagen**