

Temadag jordskjelv – Dimensjonering av peler og fundamenter

Martin Dons, 01.11.2022

Agenda

- Regelverk
- Stivheter til SSI - peler
- Dimensjonering av peler
- Dimensjonering fundamenter



Regelverk

- EC8 Del 5 – Kapittel 5: Fundamentsystemer
 - 5.4 – Verifikasjon og dimensjoneringskriterier
 - Fundamenter: 5.4.1
 - Peler 5.4.2
 - Annex C (Formler statiske pelestivheter)
 - Annex F (Bæreevne grunne fundamenter)
- Andre hjelpemidler:
 - SVV V220 kapittel 15: Jordskjelv
 - SVV Rapport 604 – Jordskjelvdesign i Statens vegvesen
 - RIF-veileder til EC8 – Dimensjonering for jordskjelv
 - Peleveiledningen 2019 Kapittel 6: Dimensjonering av peler for seismiske laster

Pelestivheter - forenklet

- Forenklete pelestivheter gitt i EC 8-5 Annex C.
 - Fast innspent peletopp og peler med sirkulært og uniformt tverrsnitt.
 - For hybride tverrsnitt må man beregne ekvivalent d og E_p ut fra pelens EI.
- Generelt anbefales det å ikke benytte disse stivhetene, men å gjøre en vurdering av ikke-lineære stivheter.

Annex C (Informative)

Pile-head static stiffnesses

C.1 The pile stiffness is defined as the force (moment) to be applied to the pile head to produce a unit displacement (rotation) along the same direction (the displacements/rotations along the other directions being zero), and is denoted by K_{HH} (horizontal stiffness), K_{MM} (flexural stiffness) and $K_{HM} = K_{MH}$ (cross stiffness).

The following notations are used in Table C.1 below:

E is Young's modulus of the soil model, equal to $3G$;

E_p is Young's modulus of the pile material;

E_s is Young's modulus of the soil at a depth equal to the pile diameter;

d is the pile diameter;

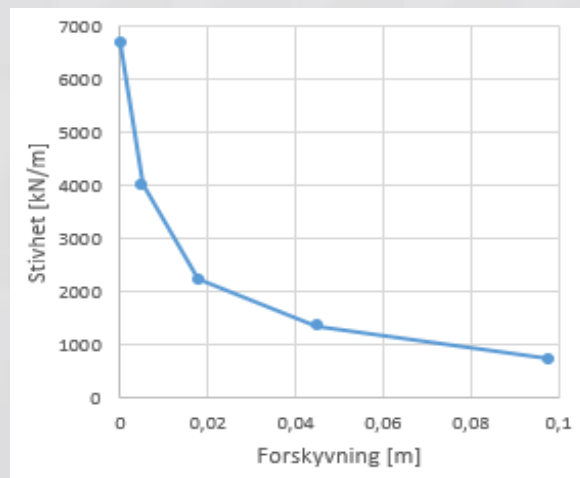
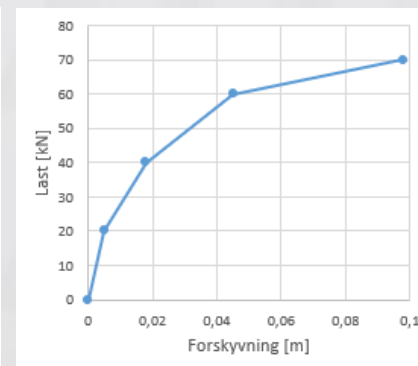
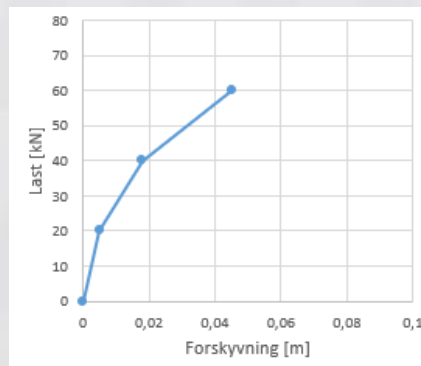
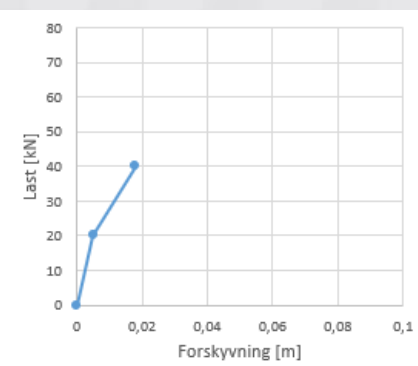
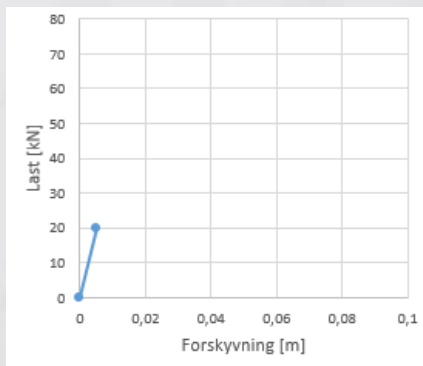
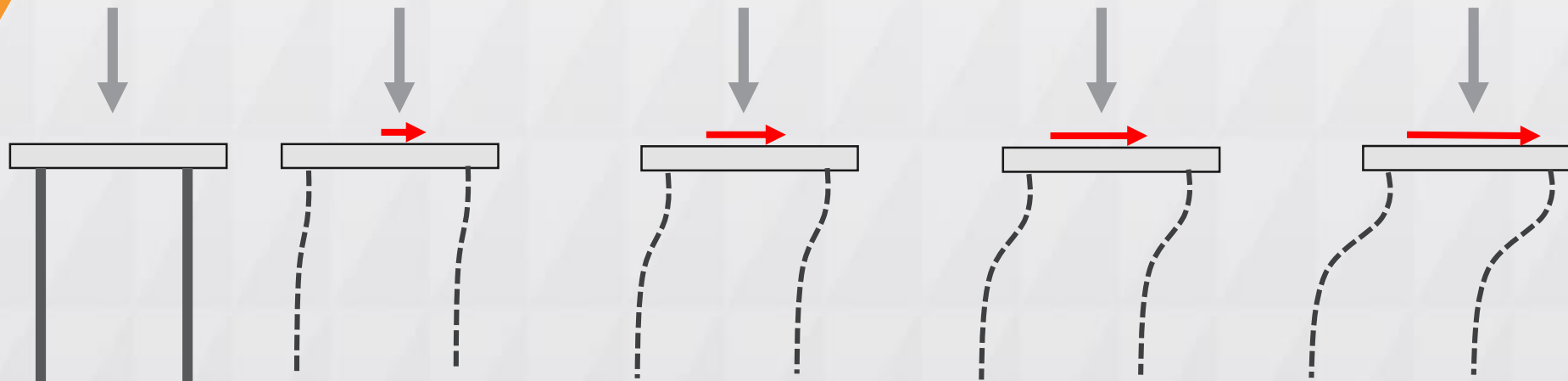
z is the pile depth.

Table C.1 — Expressions for static stiffness of flexible piles embedded in three soil models

| Soil model | $\frac{K_{HH}}{dE_s}$ | $\frac{K_{MM}}{d^3E_s}$ | $\frac{K_{HM}}{d^2E_s}$ |
|----------------------|--|--|---|
| $E = E_s z/d$ | $0,60 \left(\frac{E_p}{E_s}\right)^{0,35}$ | $0,14 \left(\frac{E_p}{E_s}\right)^{0,80}$ | $-0,17 \left(\frac{E_p}{E_s}\right)^{0,60}$ |
| $E = E_s \sqrt{z/d}$ | $0,79 \left(\frac{E_p}{E_s}\right)^{0,28}$ | $0,15 \left(\frac{E_p}{E_s}\right)^{0,77}$ | $-0,24 \left(\frac{E_p}{E_s}\right)^{0,53}$ |
| $E = E_s$ | $1,08 \left(\frac{E_p}{E_s}\right)^{0,21}$ | $0,16 \left(\frac{E_p}{E_s}\right)^{0,75}$ | $-0,22 \left(\frac{E_p}{E_s}\right)^{0,50}$ |

Pelestivheter ikke-lineære

- Ikke-lineære pelestivheter ved bruk av programvare (f.eks. GeoSuite Piles)
 - Pelene modelleres med mest mulig realistiske dimensjoner og innspenningsforhold.
 - Stålkjernepeler: Trykkpeler – leddet. Strekkepeler – fast innspent.
 - Diskuter med RIB!
 - Jord modelleres med «jordskjelvparametere»
 - Gjør en vurdering av vertikallast
 - Påføres for å ta hensyn til andreordenseffekter
 - Skal representere last i jordskjelvsituasjon. Typisk rundt 50-70% av pelekapasitet. Valgt last bør diskuteres med RIB.
 - Horisontallast påføres pelen/pelesystemet i lasttrinn og det etableres en last-forskyvningskurve.



Pelestivheter i GeoSuite Piles

The screenshot displays the software interface for GeoSuite Piles. The 'Soil' menu is highlighted with a red box. Below the menu, there are tabs for 'Soil', 'Piles', 'Loads', 'Advanced loads', 'Settings', and 'Calculation'. The 'Soil Layer' tab is active, showing a table with the following data:


| Placement | Depth [m] | Soil weight, γ [kN/m ³] | Undrained shear strength [kN/m ²] | Strain, ϵ_{50} [-] | API-J [-] | Factor, t_{res} / t_{max} [-] |
|--------------------|-----------|--|---|-----------------------------|-----------|---------------------------------|
| Name: Leire | | | | | | |
| Top of layer | 0,00 | 19,00 | 35,00 | 0,0100 | 0,250 | 0,700 |
| Bottom of layer | 12,00 | 19,00 | 35,00 | 0,0100 | 0,250 | 0,700 |

Pelestivheter i GeoSuite Piles

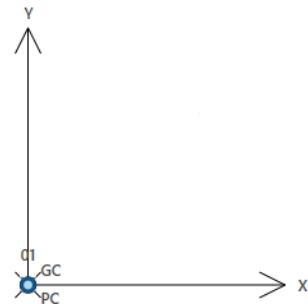
Soil **Piles** Loads Advanced loads Settings Calculation

| Piles | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|-------|--------------------------|----------|---------------|----------------|----------|-------|-------|-------|-------------------------------------|----------|-------------------|-------------------------------------|------------|
| Pile no | Label | Connected to soil pro... | Type | Wall material | Head condition | Toe code | x [m] | y [m] | z [m] | Vertical | Slope, n | Azimuth [degrees] | Tip at soil profile bott... | Length [m] |
| 1 | 01 | Soil profile 1 | Circular | Steel | Free | Fixed | 0,000 | 0,000 | 0,000 | <input checked="" type="checkbox"/> | N/A | N/A | <input checked="" type="checkbox"/> | 12,00 |

| Pile segments - Pile 1 "01" | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|---------------|------------|----------|--------------------|----------------|----------------|---------------|------------------|--------------------------|--------------------------|------------|-----------|-------------|
| Segmen... | Cross section | Length [m] | Type | Cross section t... | Weight [kN/m3] | Diameter [m] | Thickness [m] | Yield str. [kPa] | Override EI and EA | E [kPa] | EI [kNm2] | EA [kN] | |
| 1 | | 12,00 | Constant | Composite | | | | | <input type="checkbox"/> | N/A | | | |
| | | | | Sub cross se... | Color | Weight [kN/m3] | Diameter [m] | Thickness [m] | Yield str. [kPa] | Override EI and EA | E [kPa] | EI [kNm2] | EA [kN] |
| | | | | 1 | DarkGray | 78,00 | 0,1940 | 0,0050 | 2,700E+005 | <input type="checkbox"/> | 2,100E+008 | 2 785,7 | 623 449,1 |
| | | | | 2 | Gray | 25,00 | 0,1840 | 0,0320 | 3,000E+004 | <input type="checkbox"/> | 3,000E+007 | 1 382,6 | 458 421,2 |
| | | | | 3 | LightGray | 78,00 | 0,1200 | 0,0600 | 2,700E+005 | <input type="checkbox"/> | 2,100E+008 | 2 137,5 | 2 375 044,0 |



Plan



Pelestivheter i GeoSuite Piles

File **Loads** Results Graph

New Read from file Delete New Delete Other coordinate system Loads

Loads Load steps Coordinate system Help

Soil Piles Loads Advanced loads Settings Calculation

| Id | Label | GeoSuite Coordinate System | | | | | | Load steps - Load 1 | |
|----|-------|----------------------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------------|------------|
| | | Fx [kN] | Fy [kN] | Fz [kN] | Mox [kNm] | Myy [kNm] | Mzz [kNm] | Load step no | % of total |
| 1 | | 2,00 | 0,00 | -1 680,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1 | 100,00 |
| 2 | | 4,00 | 0,00 | -1 680,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| 3 | | 6,00 | 0,00 | -1 680,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| 4 | | 8,00 | 0,00 | -1 680,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| 5 | | 10,00 | 0,00 | -1 680,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| 6 | | 12,00 | 0,00 | -1 680,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| 7 | | 14,00 | 0,00 | -1 680,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| 8 | | 16,00 | 0,00 | -1 680,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| 9 | | 18,00 | 0,00 | -1 680,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| 10 | | 20,00 | 0,00 | -1 680,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |

Pelestivheter i GeoSuite Piles

File **Advanced loads** Results Graph

Add Delete Add Delete Add Delete Vertical stress [kPa]: 0,00 ? Advanced loads Help

Pile forces Pile springs and deflections Soil deflections Set depth Vertical stress at ground surface

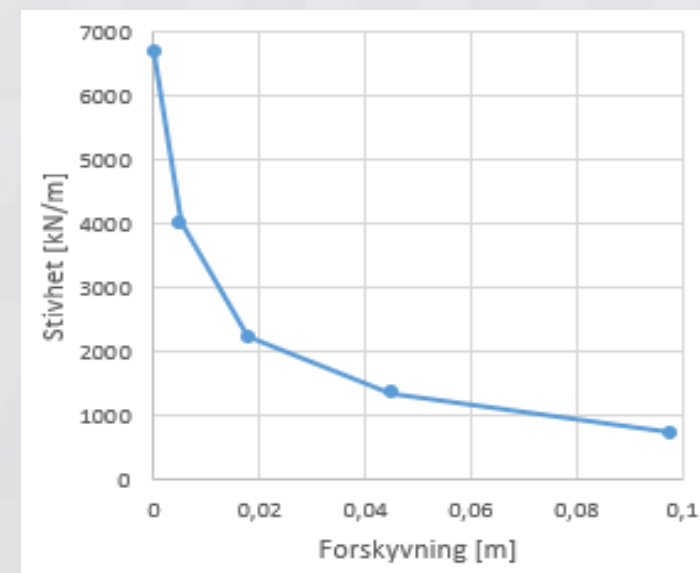
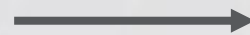
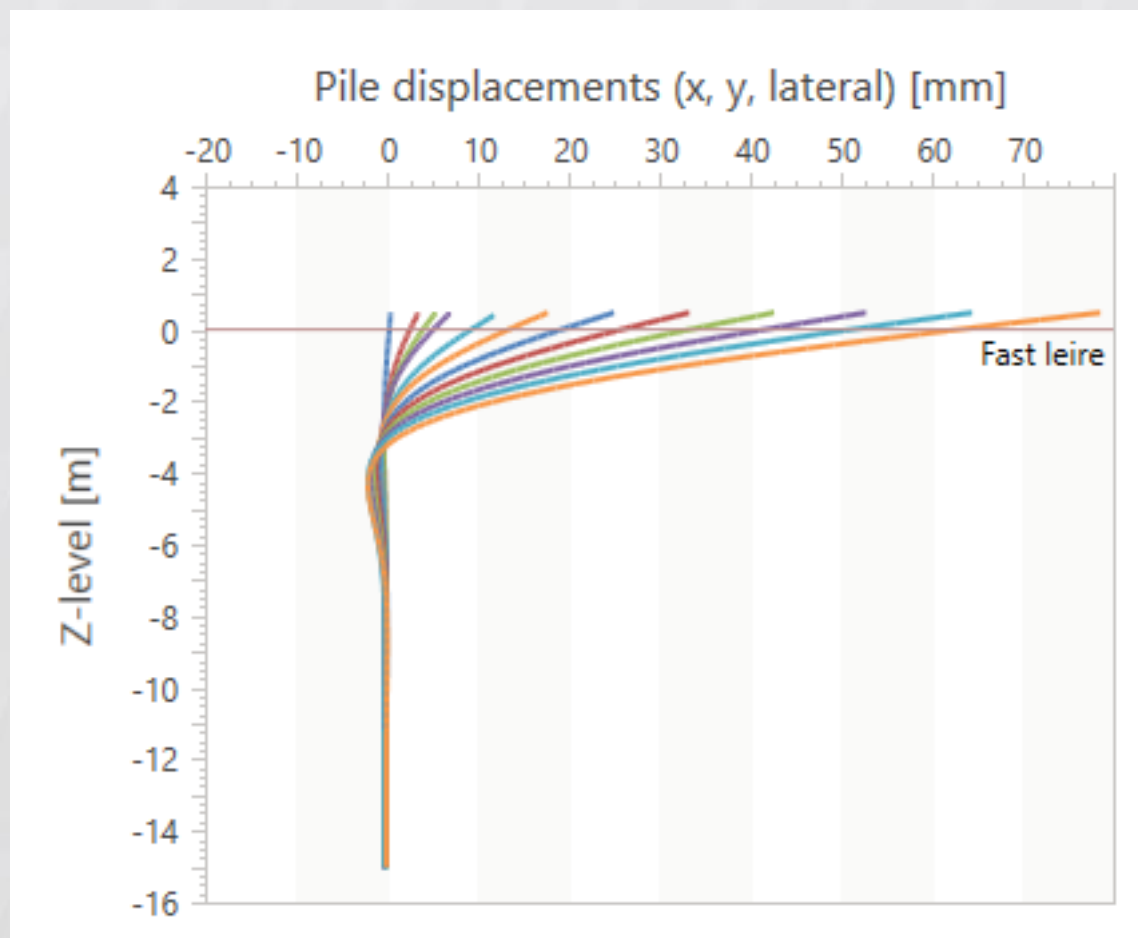
Soil Piles Loads **Advanced loads** Settings Calculation

| Pile forces | | | | | | | |
|-------------|-------------|---------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|
| Pile | Z-level [m] | Fx [kN] | Fy [kN] | Fz [kN] | Mox [kNm] | Myy [kNm] | Mzz [kNm] |
| | | | | | | | |

| Pile springs and deflections | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|---------------|---------------|---------------|--------|--------|--------|-----------|-----------|-----------|
| Springs | | | | | | | Deflections | | | | | | |
| Pile | Z-level [m] | kx [kN/m] | ky [kN/m] | kz [kN/m] | kox [kNm/rad] | kyy [kNm/rad] | kzz [kNm/rad] | dx [m] | dy [m] | dz [m] | dxx [rad] | dyy [rad] | dzz [rad] |
| Eventuelle Stivheter/Innspenning | | | | | | | | | | | | | |

| Soil deflections | | | |
|------------------|-------------|--------|--------|
| Soil profile | Z-level [m] | dx [m] | dz [m] |
| | | | |

Pelestivheter i GeoSuite Piles



Pelestivheter – tips og triks

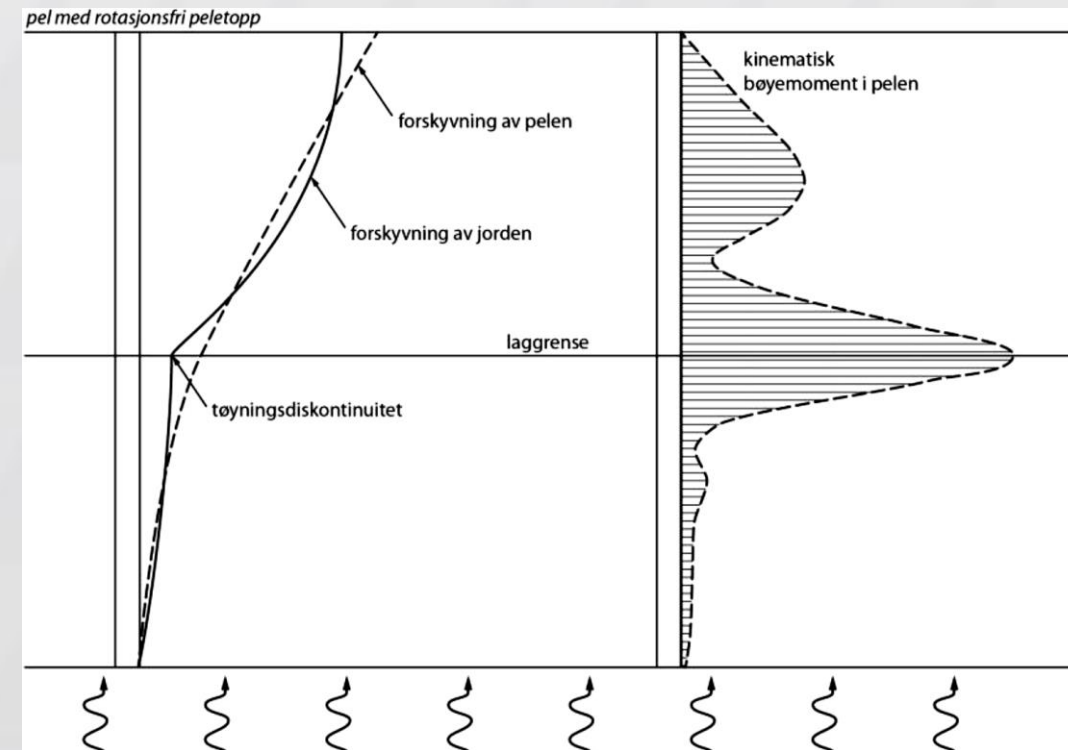
- Prat med RIB – valg av peler, innspenning og forutsetninger
- Bruk tid på det som er viktig – vurder hvordan pelestivhetene er opp mot resterende elementer i SSI-analysen
- Lag gode regneark for prosessering av data fra programvare

Dimensjonering av peler

- Peler skal dimensjoneres for følgende påvirkninger under jordskjelv:
 1. **Treghetskrefter** fra konstruksjonen (krefter fra SSI analyse med RIB)
 2. **Kinematiske krefter** (deformasjonskrefter) som oppstår på grunn av deformasjoner i jorden rundt pelene som følge av seismiske bølger.

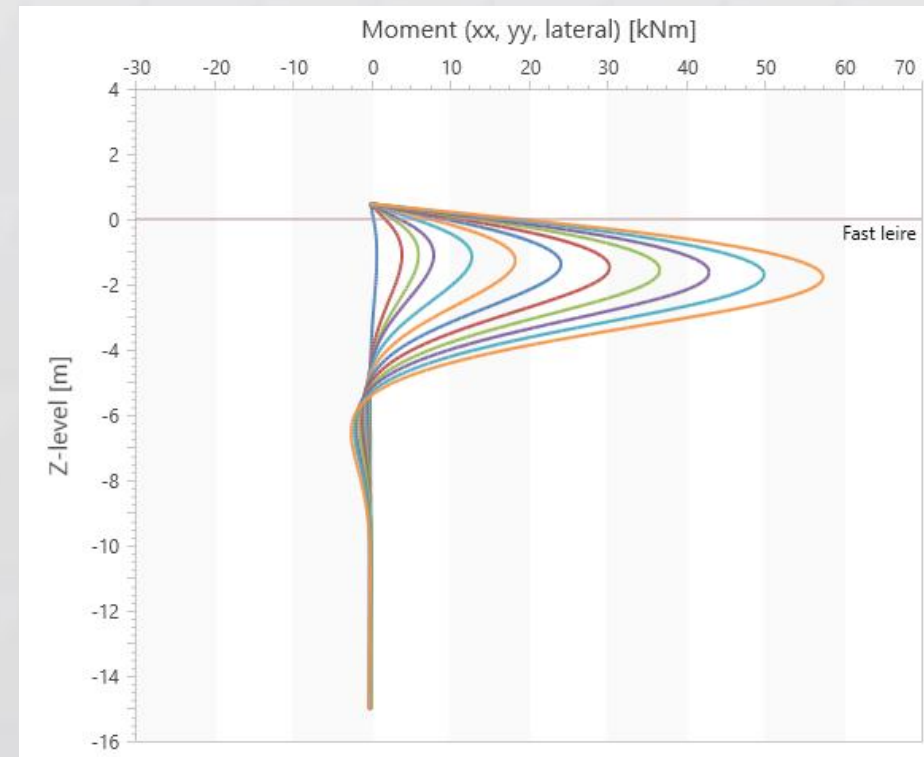
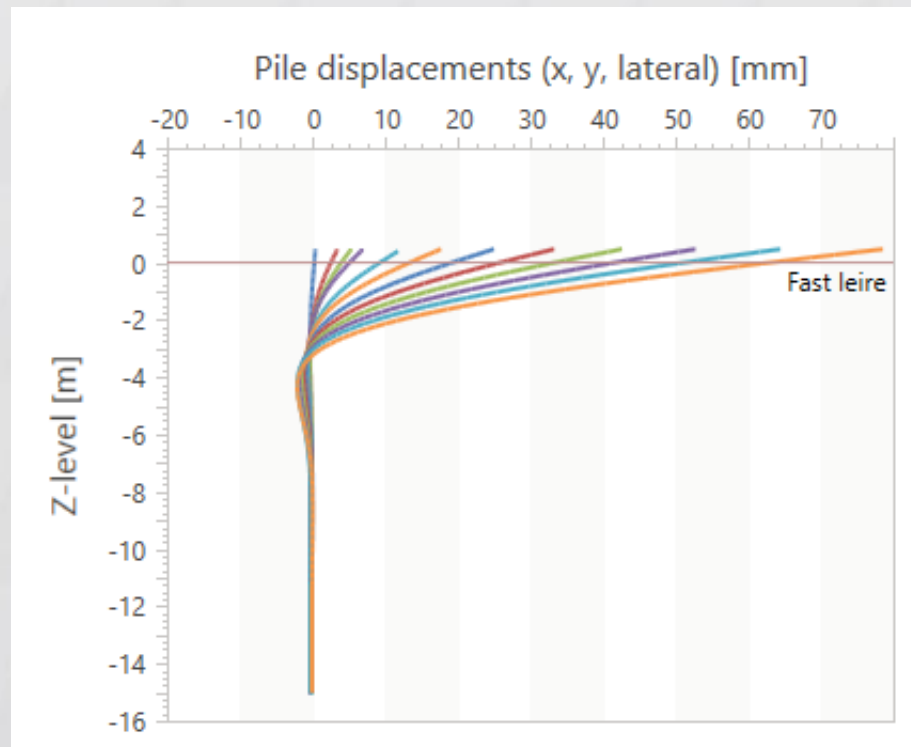
Dimensjonering av peler – Kinematiske krefter

- Iht. 5.4.2(6)P skal bøyemoment på grunn av kinematisk interaksjon mellom jord og pel kun beregnes dersom begge følgende punkter er gjeldene:
 - a) Grunnforhold Type C eller D (eller E med samme type jord), meget sensitiv leire eller sand som kan gå over i flytefase, og har sammenhengende lagdeling med skarp stivhetsforskjell mellom lagene (Typisk ved en faktor større enn 3 i skjærbølgehastighet v_s)
 - b) Produktet av $a_g S$ overstiger 1,0m/s og konstruksjonen er i seimisk klasse III eller IV.
- Peleveiledningen 2019 gir en forenklet beregningsmetode.



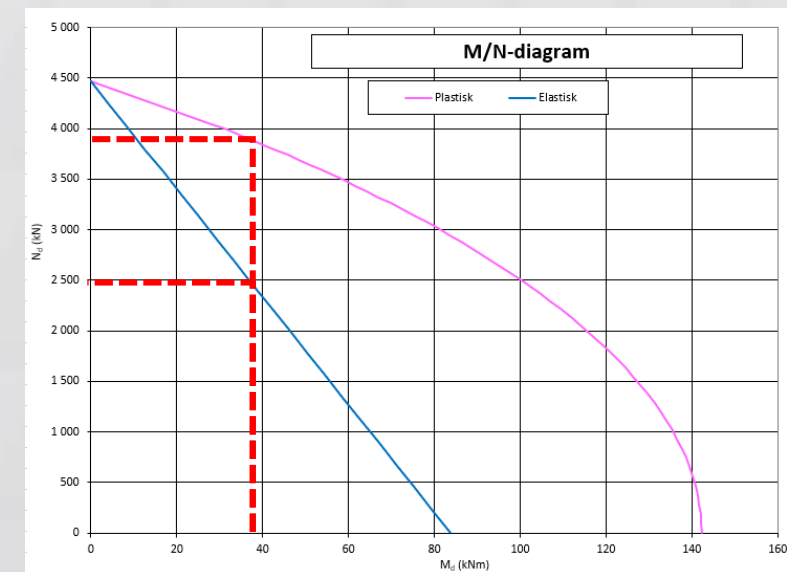
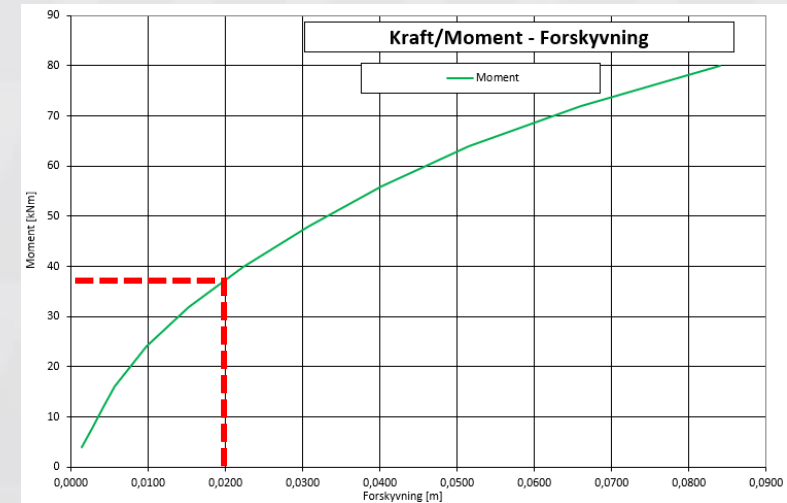
Dimensjonering av peler – Tregghetskrefter

- SSI analysen i samarbeid med RIB ender opp i en resulterende deformasjon. Pelenes kapasitet må beregnes for denne deformasjon.
- Opptredende moment kan hentes fra beregningene i GeoSuite



Dimensjonering av peler – Tregghetskrefter

- Noe ulik praksis. Regelverket åpner for bruk av plastisk momentkapasitet for tradisjonelle pelefundamenterte bygg. Bli enig med RIB hva som er vurdert.
- Vil bli gitt mer spesifikke føringer i ny EC.
- Seismisk klasse IV og evt. andre spesielle konstruksjoner bør vurderes spesielt.
- Samsvar i forutsetninger. Samme peletverrsnitt i beregning av opptredende moment og kapasitetsberegningene. «Sammenligne epler med epler og pærer med pærer».
- Valg av Fa-faktor – moment i topp av pel

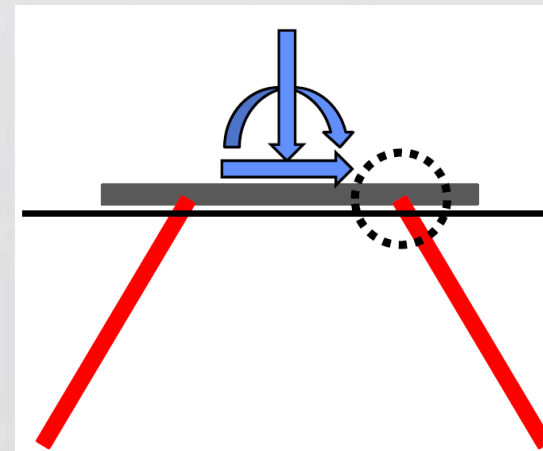


Skråpeler

- Anbefales generelt ikke grunnet:
 - a) Mulig tilleggsmoment grunnet setninger i jorda
 - b) Uforholdsmessig store aksialkrefter i pelene
- Bruk kun dersom det ikke er mulig å ta opp horisontalkrefter på andre måter.
- Om det allikevel benyttes:
 - Stivheter og treghetskrefter (SSI) kan beregnes med samme programvare (f.eks. GeoSuite).
 - Skråpeler anbefales plassert symmetrisk.
 - Innfestingen utføres i henhold til duktilitetskravene i resten av konstruksjonen eller designes for konstruksjonsfaktor $q=1$ (RIB).
 - Beregning av kinematiske krefter mot skråpeler krever spesielle verktøy. Bør utføres av personer med god kompetanse innen jordskjelv.

(5) If inclined piles are used, they should be designed to safely carry axial loads as well as bending loads.

NOTE Inclined piles are not recommended for transmitting lateral loads to the soil.



Figur 10-2 Kritisk sone i skråpel

Dimensjonering fundamenter

- Ofte glemt bort at sålefundamenter også skal sjekkes for jordskjelvkrefter.
- Friksjon sjelden et problem – men må kontrolleres.
- Bæreevne kan bli utfordrende med større horisontallaster og momenter.

- Vurderingene skal ta hensyn til mulig oppbygging av poretrykk og degradering.

Dimensjonering fundamenter

- Angitt i 5.4.1 i EC8.
 - Tilsvarende kontroller som for statiske laster

Kontroll av glidning:

$$\text{Krav: } V_{Ed} \leq F_{Rd} + E_{pd}$$

Ved er dimensjonerende horitontallast

F_{rd} er friksjonsmotstanden for et fundament

E_{pd} er lateral motstand fra passivt jordtrykk

Drenerte forhold:

$$F_{Rd} = N_{Ed} \frac{\tan \delta}{\gamma_M}$$

N_{ed} er normalkraften på fundamentet

δ er friksjonsvinkelen mellom fundament og grunnen

γ er materialfaktor

Udrenerte forhold:

Beregnes på Su-basis som beskrevet i EC 7-1 6.5.3.

Kontroll av bæreevne:

Angitt i Annex F i EC8 Del 5.

$$\frac{(1 - e\bar{F})^{c_T} (\beta \bar{V})^{c_T}}{(\bar{N})^a \left[(1 - m\bar{F}^k)^{k'} - \bar{N} \right]^b} + \frac{(1 - f\bar{F})^{c_M} (\gamma \bar{M})^{c_M}}{(\bar{N})^c \left[(1 - m\bar{F}^k)^{k'} - \bar{N} \right]^d} - 1 \leq 0 \quad (\text{F.1})$$

Takk for meg!

