

2D-modellering av bergforankrede vindturbinfundamenter

Magnus Sørensen

18.11.2020



Oppdrag

- Opprinnelig for å bistå kunden med kontroll av design
- Vår avtalte leveranse:
 - Beregningsmodell i RS2.
 - Vurdere forankringsdesign, inkludert forankringslengde
 - Vurdering av fundamentets stivhet (skal være iht. leverandørkrav)
 - Modelleringen skulle basere seg på eksisterende ekstern kartlegging.

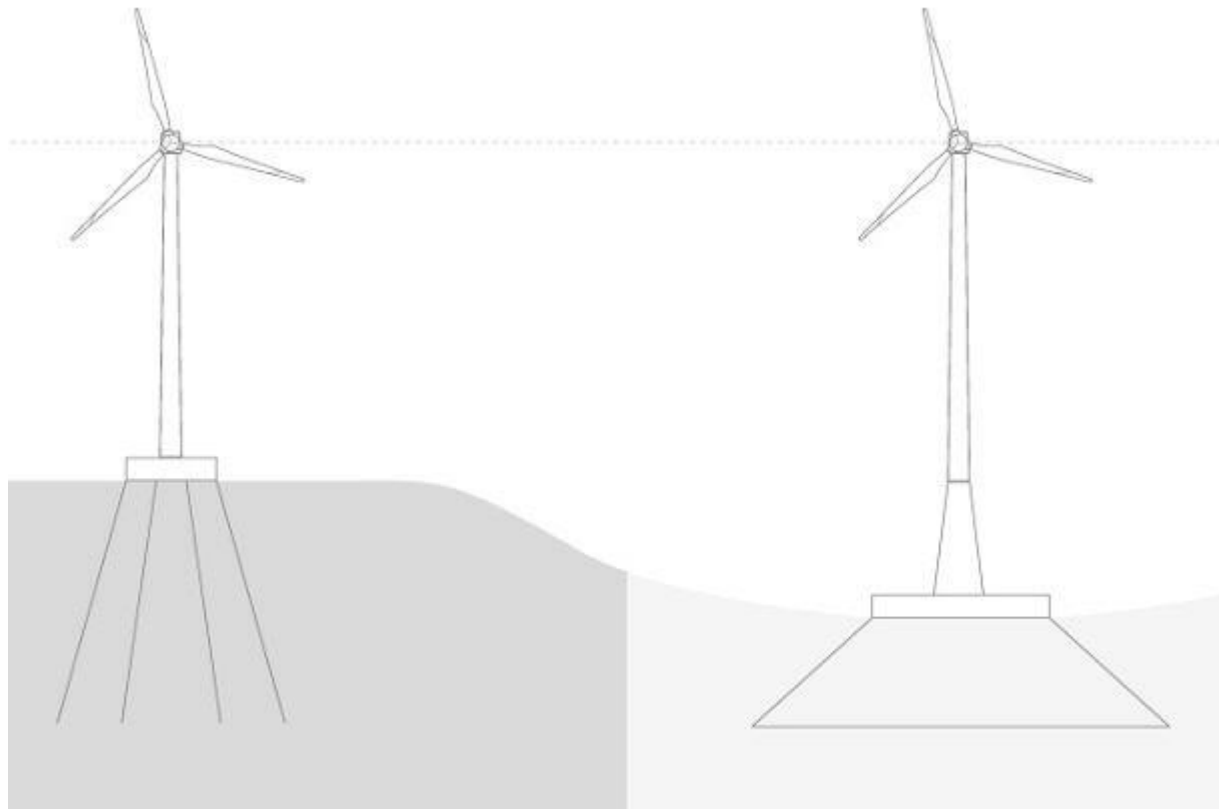


Hensikten med modelleringen

- Skape en konservativ modell for å kontrollere designet:
 - Ta utgangspunkt i konservative befarringsobservasjoner
 - Benytte gjennomsettende sprekker i modellen
 - Benytte berg-mørtel heftfasthet iht. V220 «Geoteknikk i vegbygging»
(Trykkfasthet til gysemassen i prosjektet var 65 MPa)



Sammenligning forankret og gravitasjonsfundament



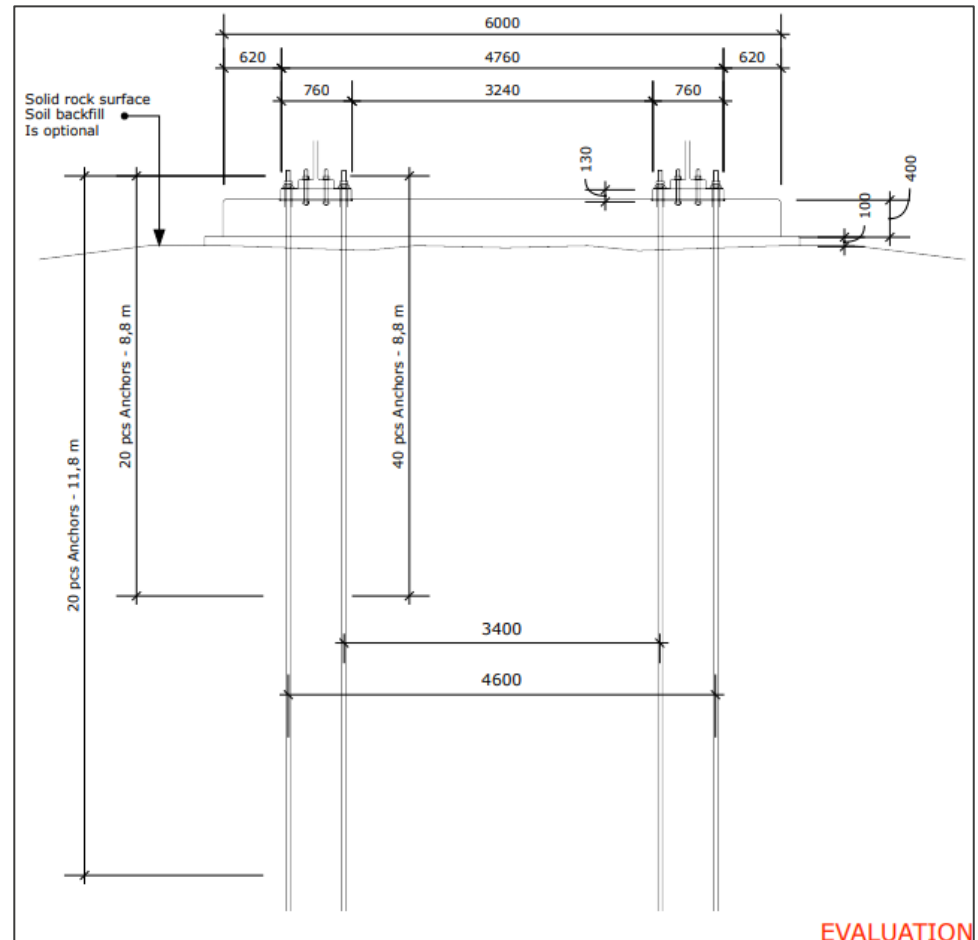
Forankring på berg



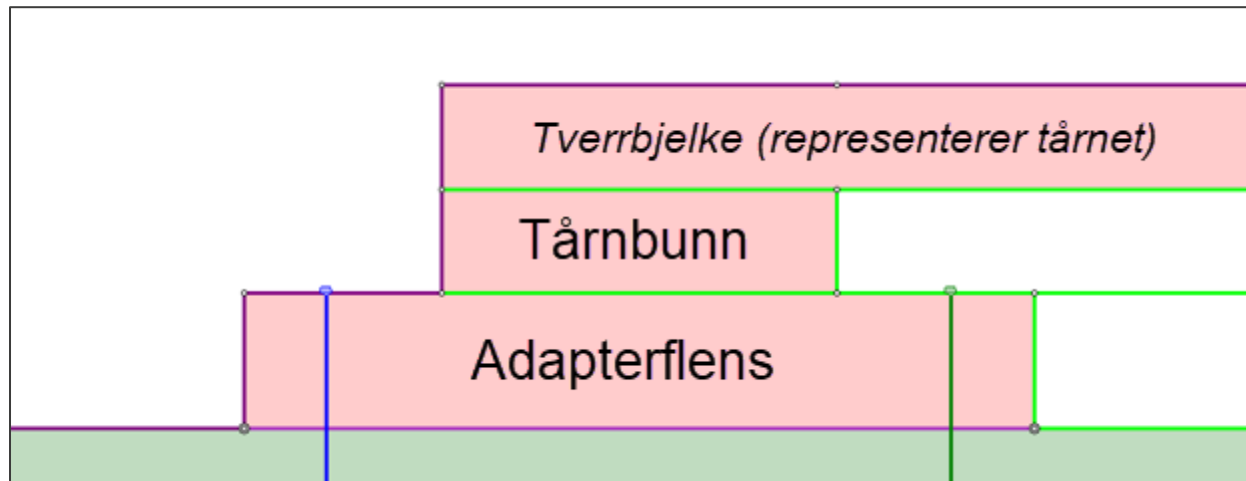
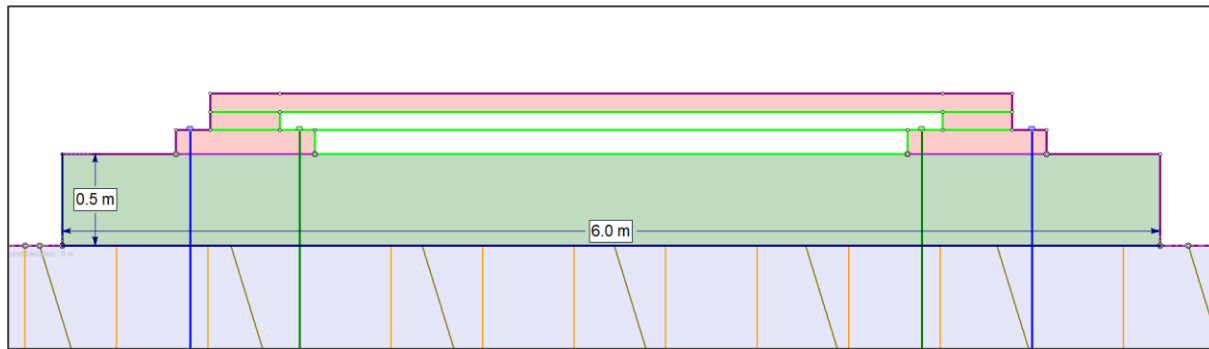
Eksempelprosjekt

80 stag fordelt på i to ringer

- Diameter: $\varnothing 52\text{mm}$
 - Forspenning 0,966 MN
 - 60 stk. er 8,8 m lang
 - 20 stk. er 11,8 m lang
- Strekkfasthet, bolt: 1,47 MN
 - Forankringslengde: 5,6 m

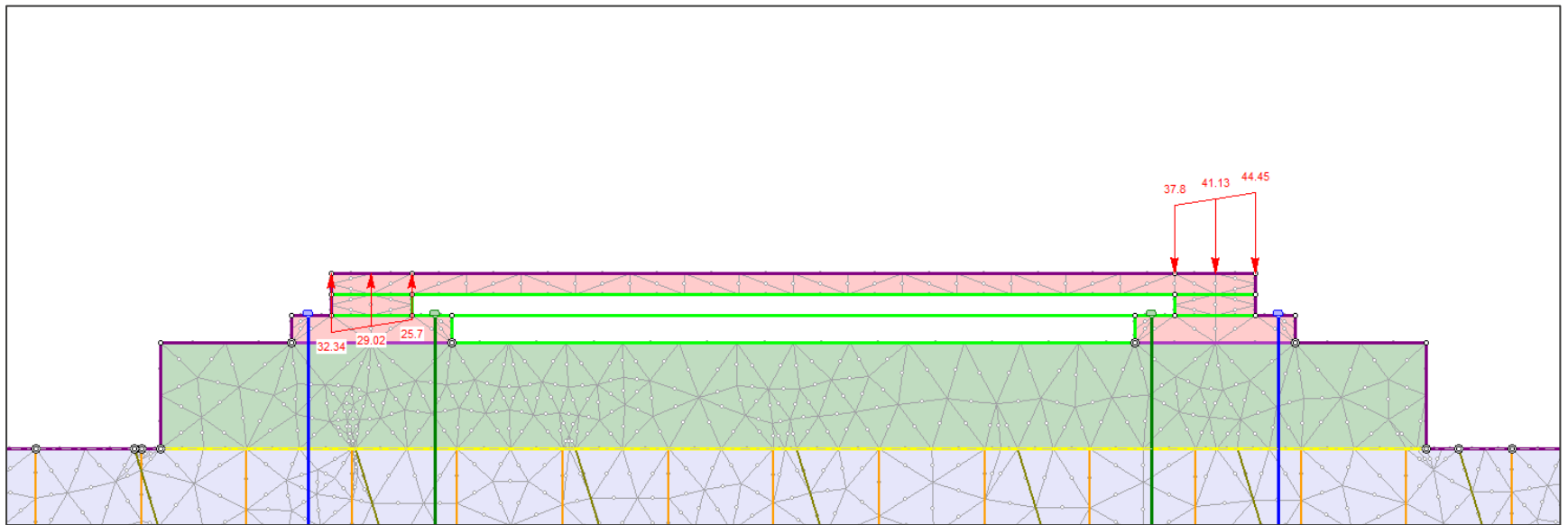


Prinsippskisser



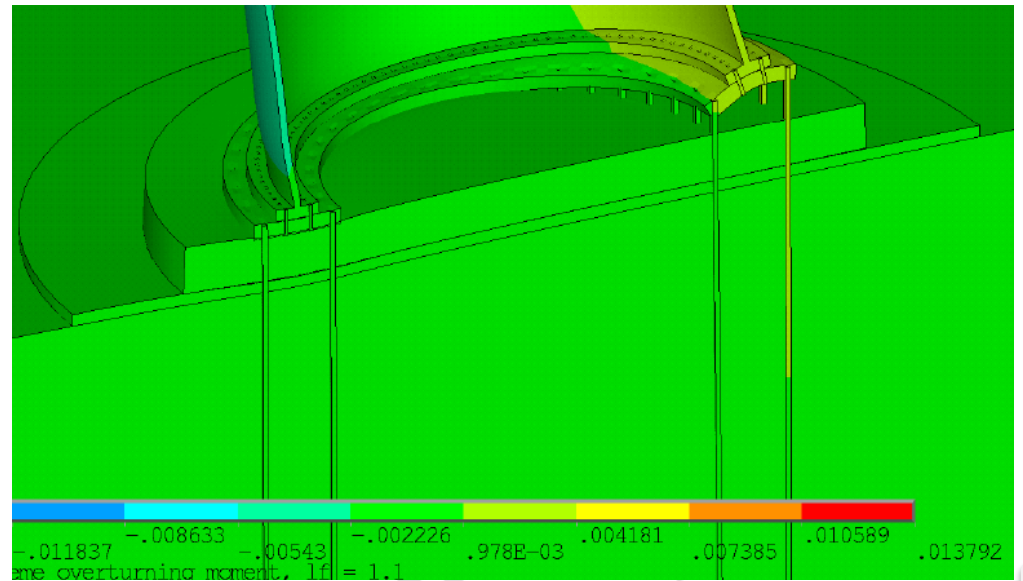
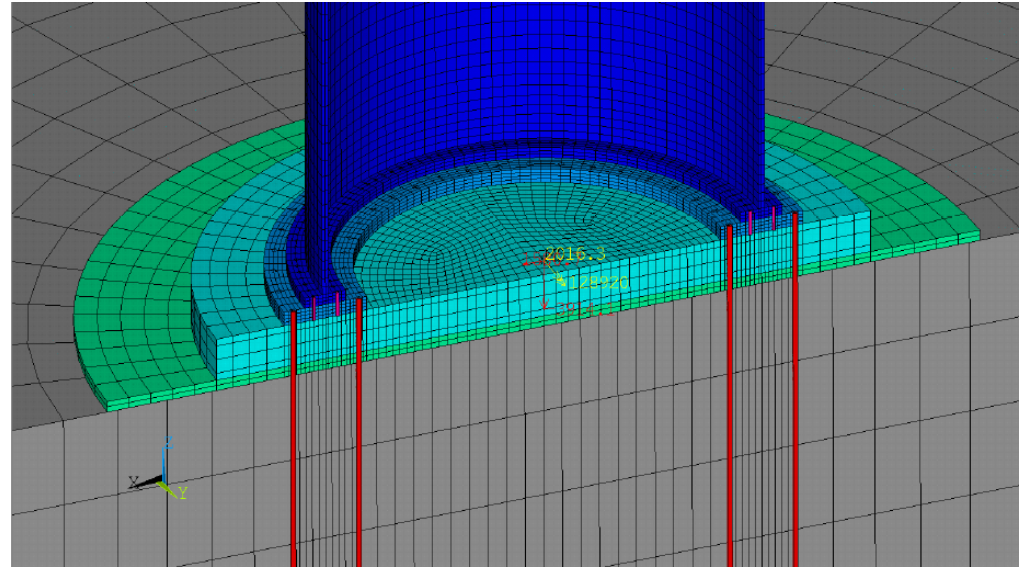
Laster

- Moment på ca. 129 000 kNm
- Ser på lastene for en 1 m bredt stripe i senter av fundamentet.



Laster

- Lastinput er utfordrende i 2D.
- Lastinput er også kontrollert opp mot 3D-modell



Bergmassen i eksempelprosjekt

- Bergmassen består av granittisk gneis.
- Foliasjonen stedvis tydelig mens andre steder er bergmassen foldet og migmatitt.
- Neglisjerbar forvitring



Bergmassen

Parameter	Verdi
Egenvekt	27 kN/m ³
E_i	30 GPa
E_{rm}	28,7 Ga
ν	0,15



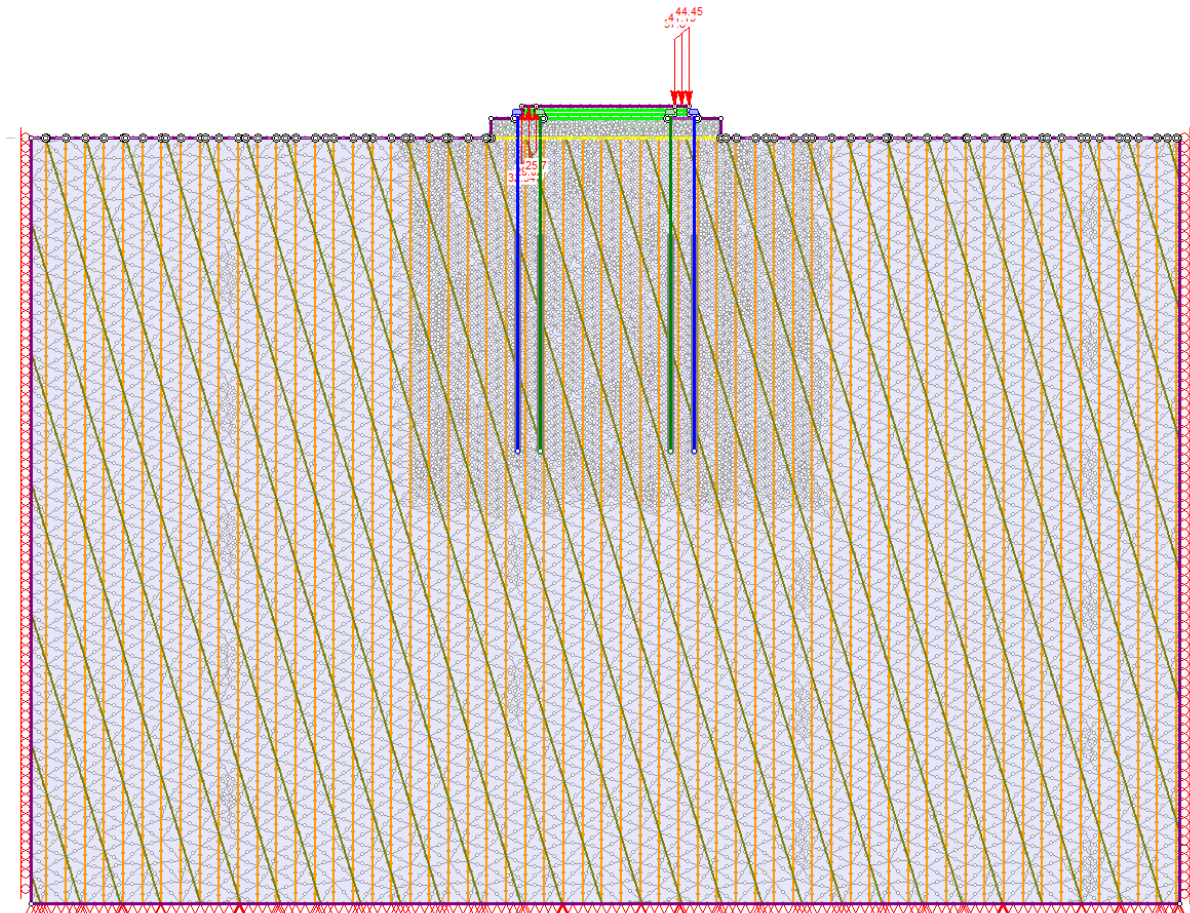
Inngangsparametere for bergmasse

Sprekkesett	Fall	Fallretning	Sprekkeavstand (m)	Antatt JRC	Antatt JCS (MPa)	Antatt residual friksjonsvinkel
S1	90°	205°	0,5	7	100	25°
S2	80°	125°	1	7	100	25°



Modellerer en berggrunnen med tette gjennomsettende sprekker

- Modellerer en elastisk bergmasse med sprekker
- Antar at forskyvninger og oppløft skjer langs sprekkeplan
- Ser bergmassen slik ut i virkeligheten?
-> definitivt ikke



Andre inngangsparemetere

Skjærstivhet mørtel (K):

$$K = \frac{2\pi G}{\ln\left(1 + \frac{2t}{D}\right)} = 190\,000 \text{ MN/m/m}$$

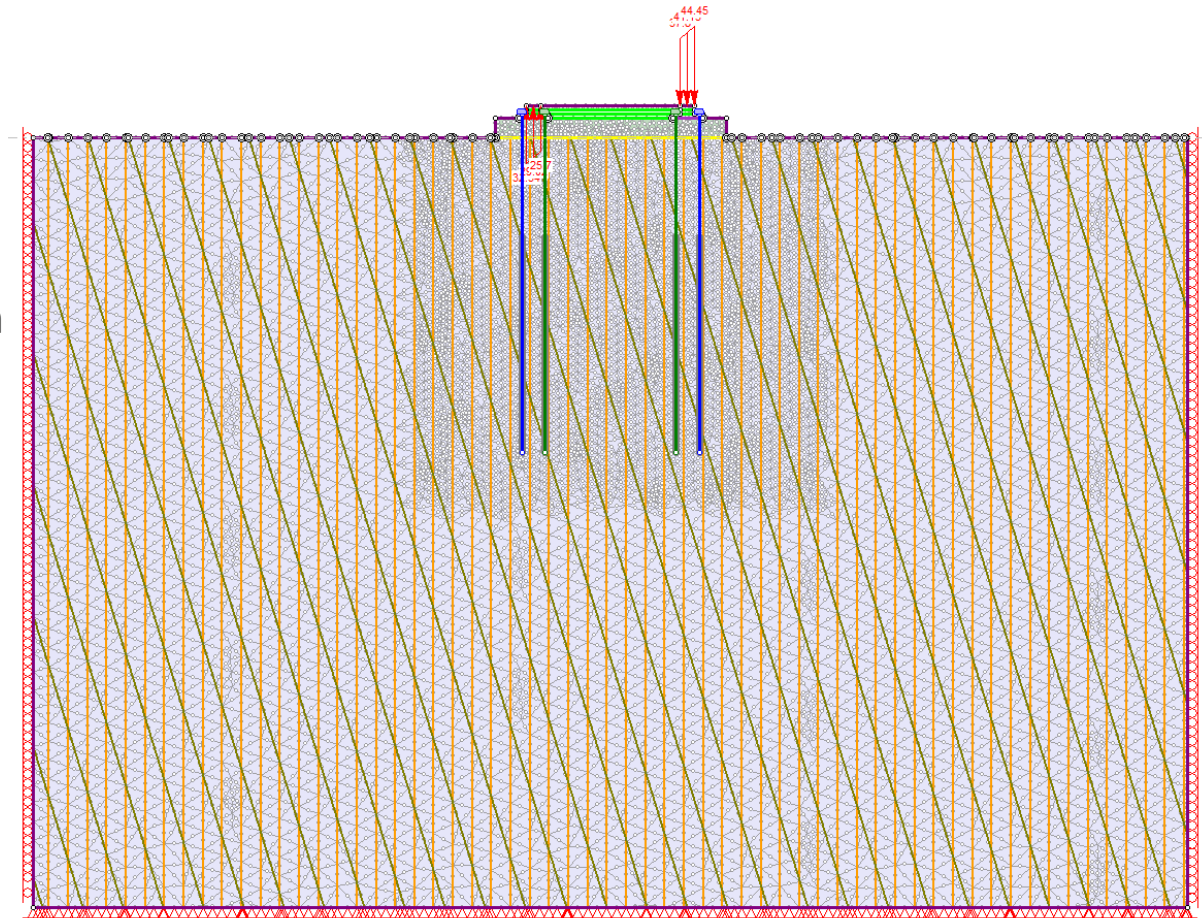
Dimensjonerende skjærfasthet (mørtel-berg)

$$S_{berg-mørtel} = \pi D_{borehull} \times \tau_{berg-mørtel} = 0,260 \text{ MN/m}$$

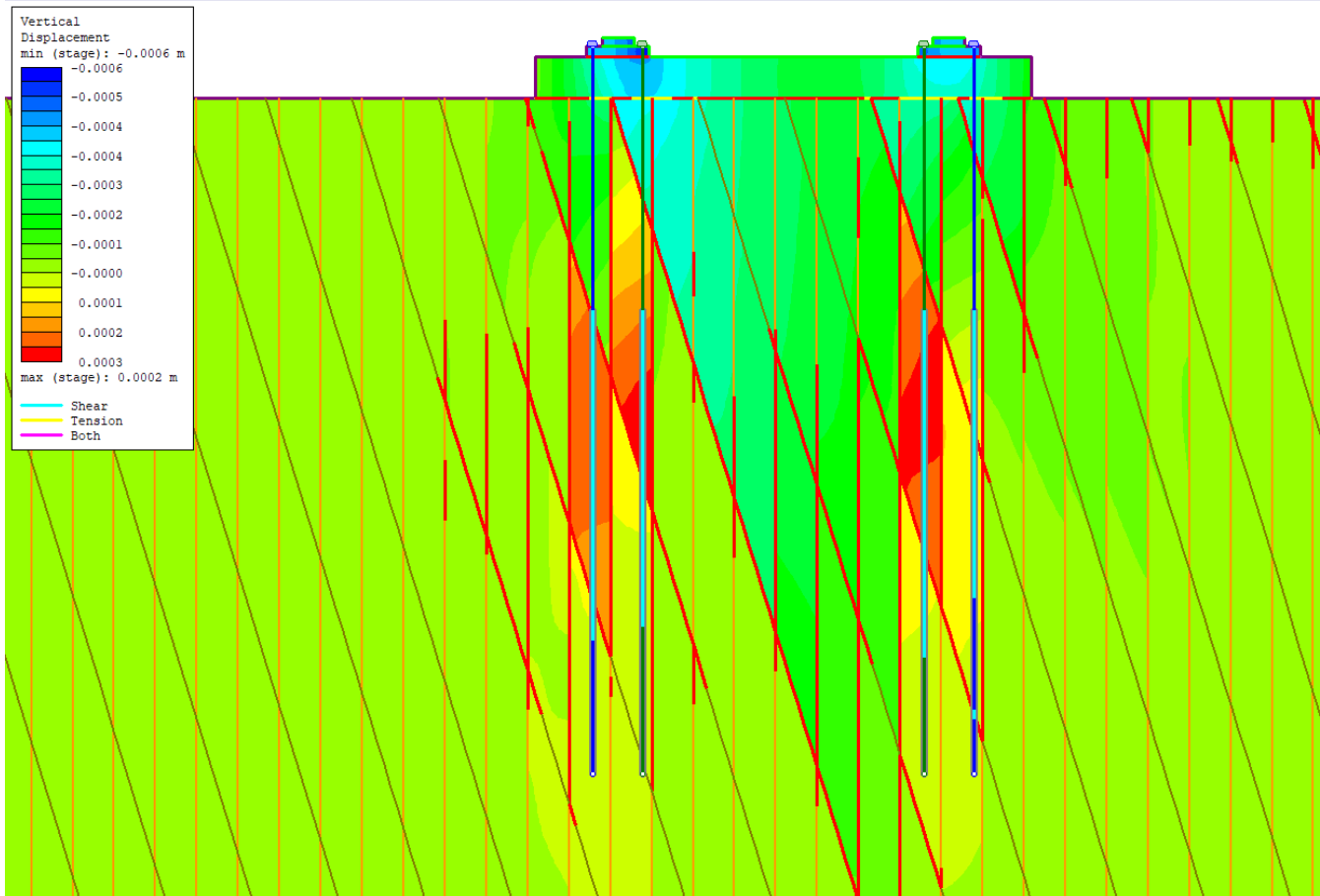
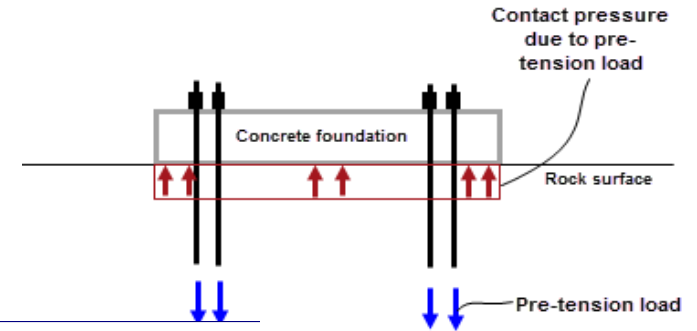


Modellering av berggrunnen

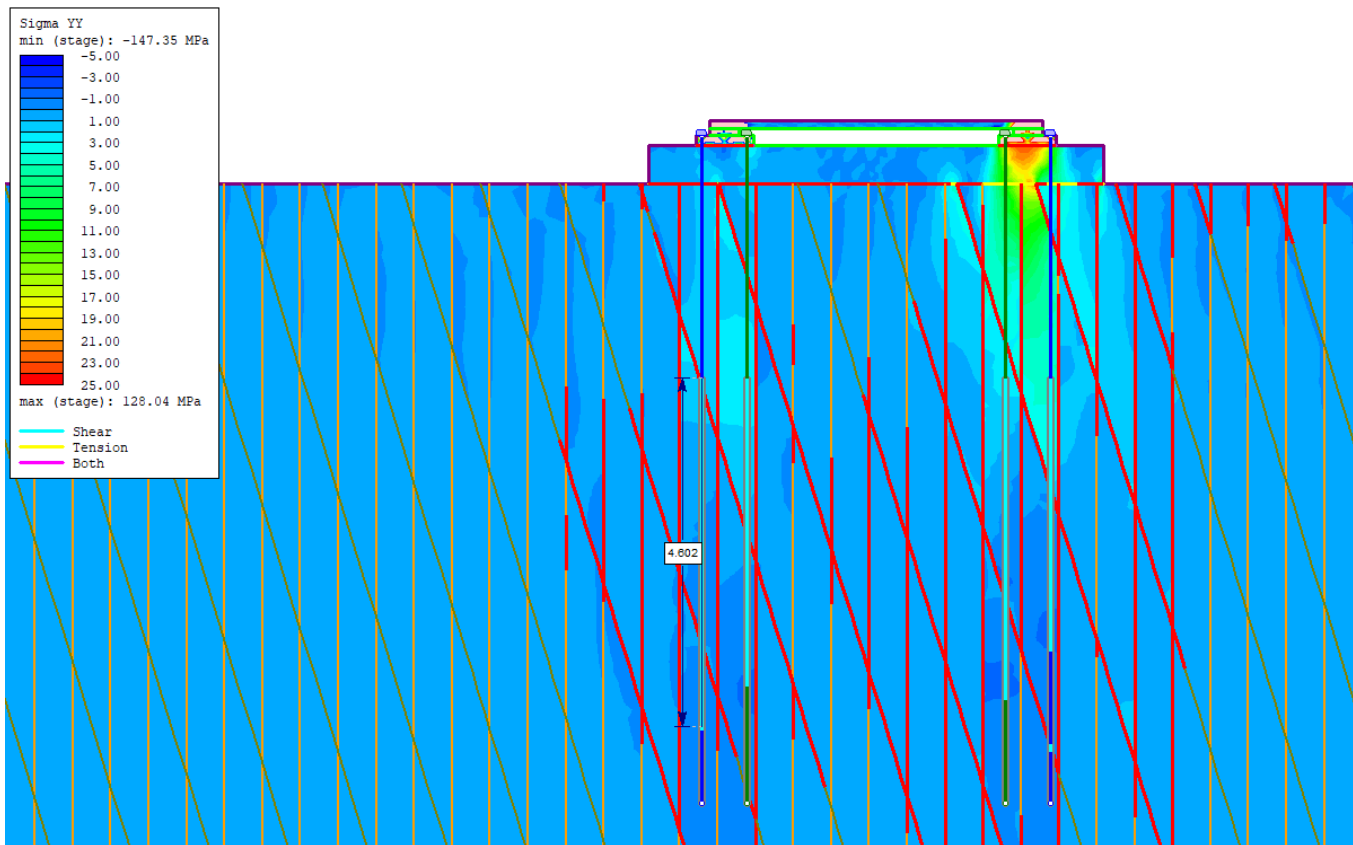
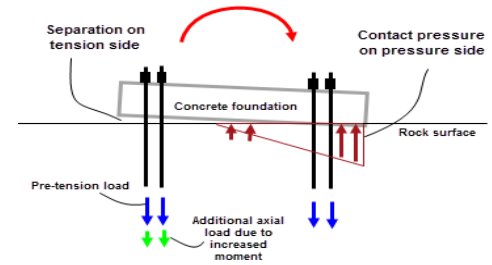
- Steg 1: Modellering berggrunn
- Steg 2: Installere stag
- Steg 3: Påføre laster



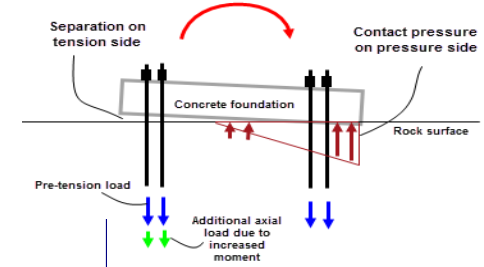
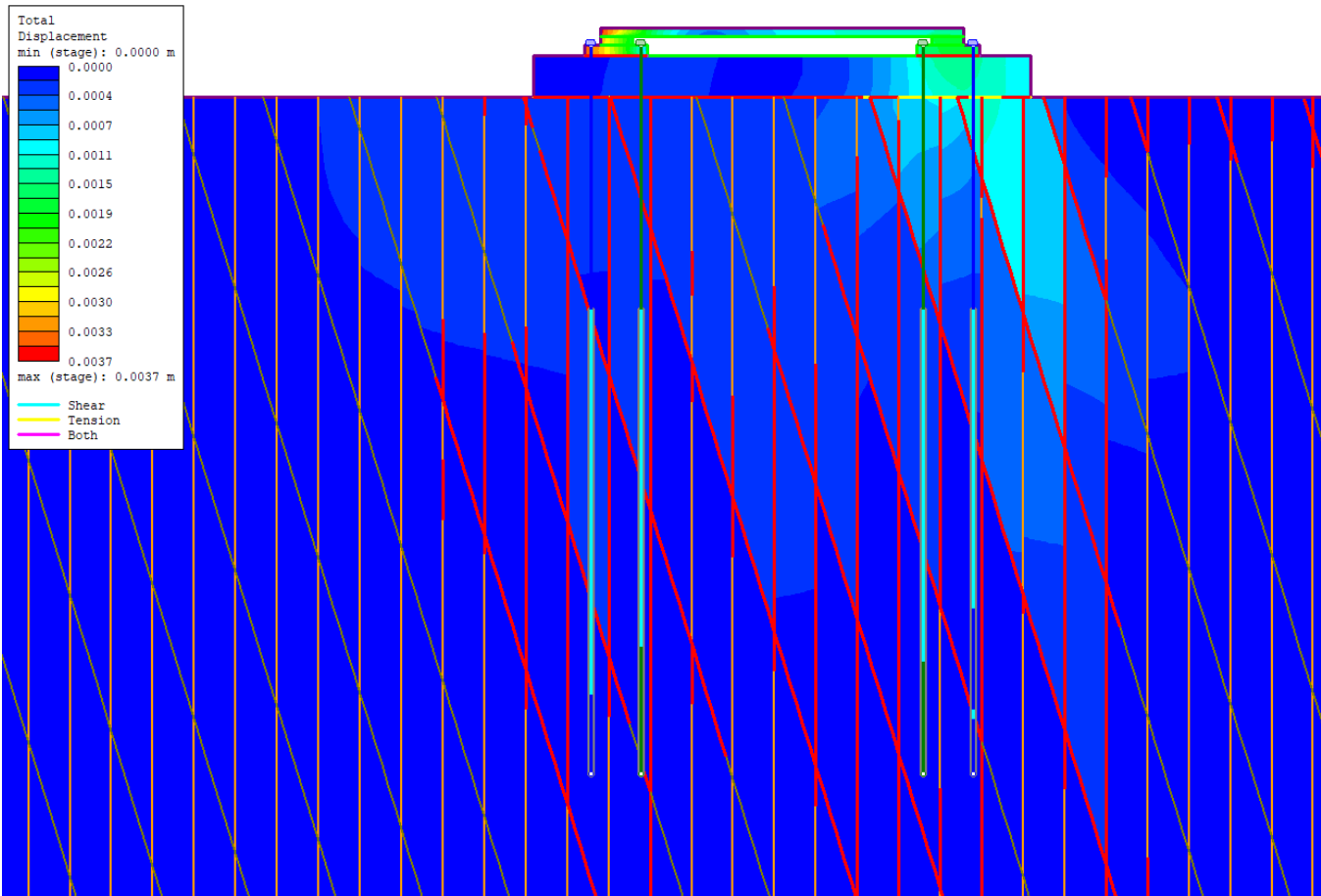
Forspenning



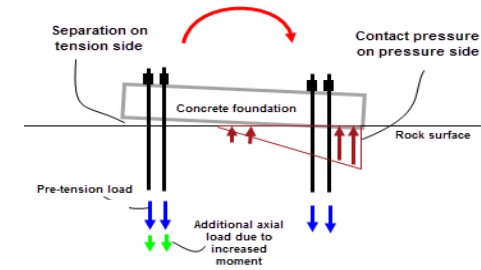
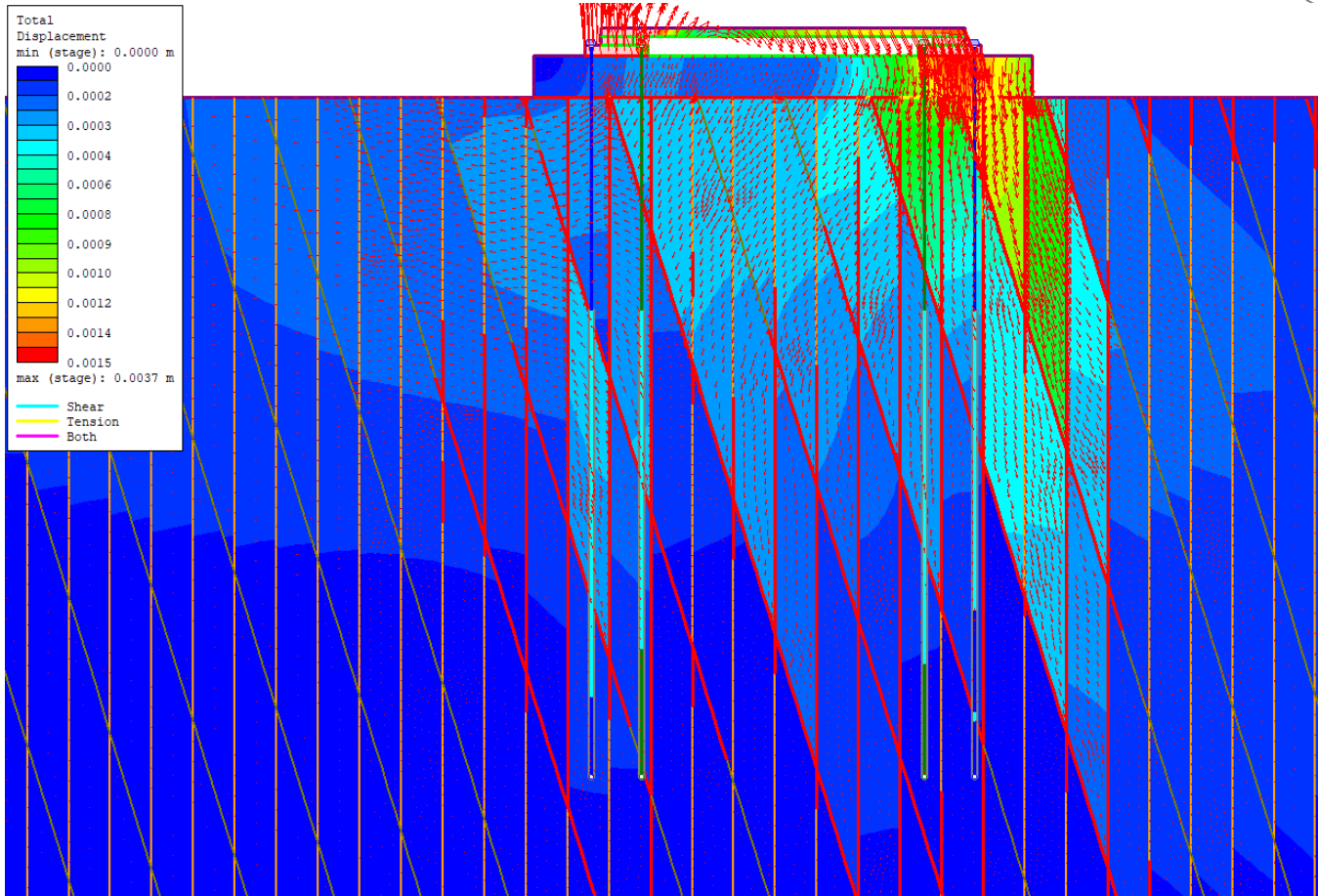
Med laster – Sigma V



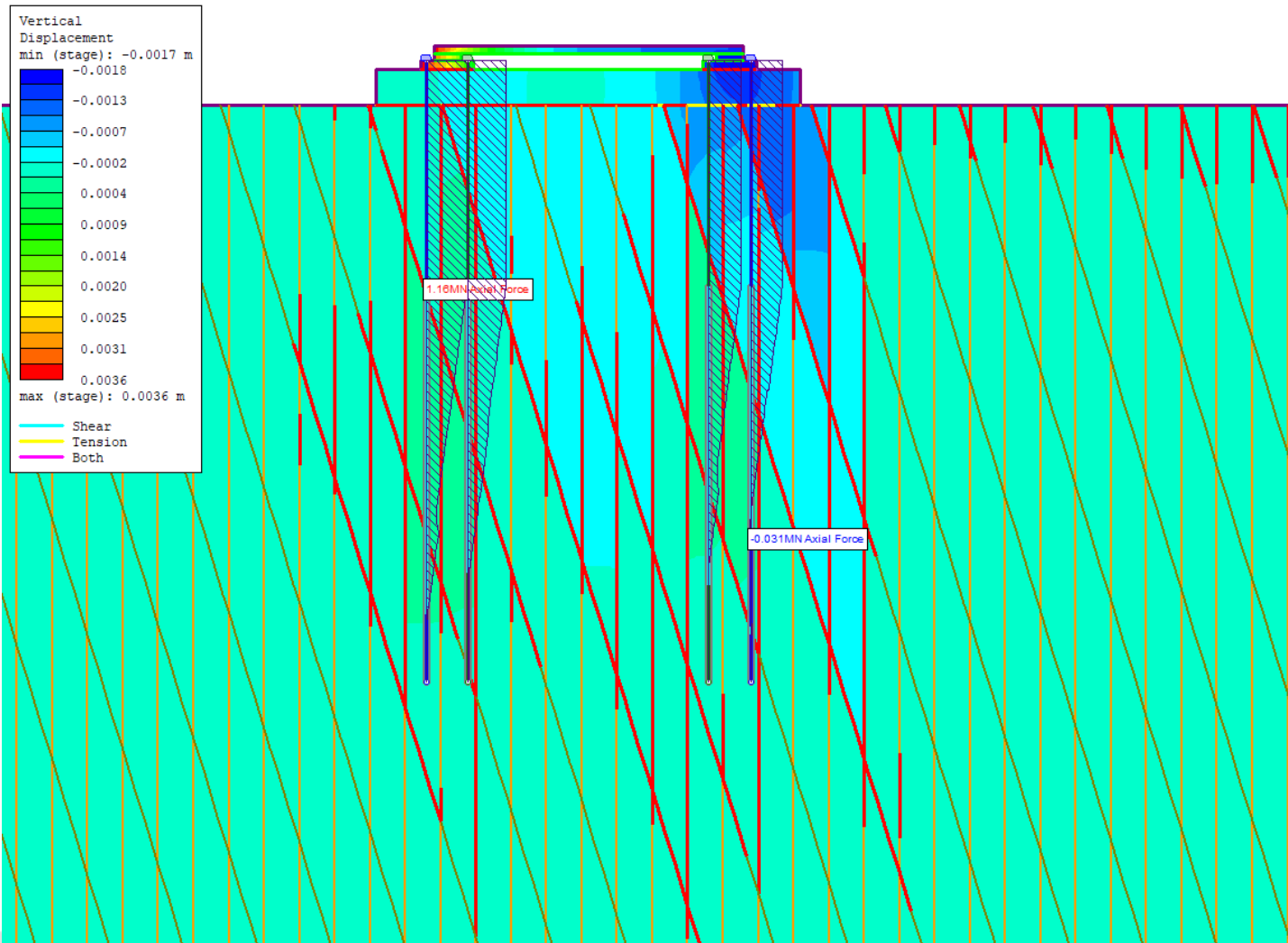
Resultater, forskyvninger



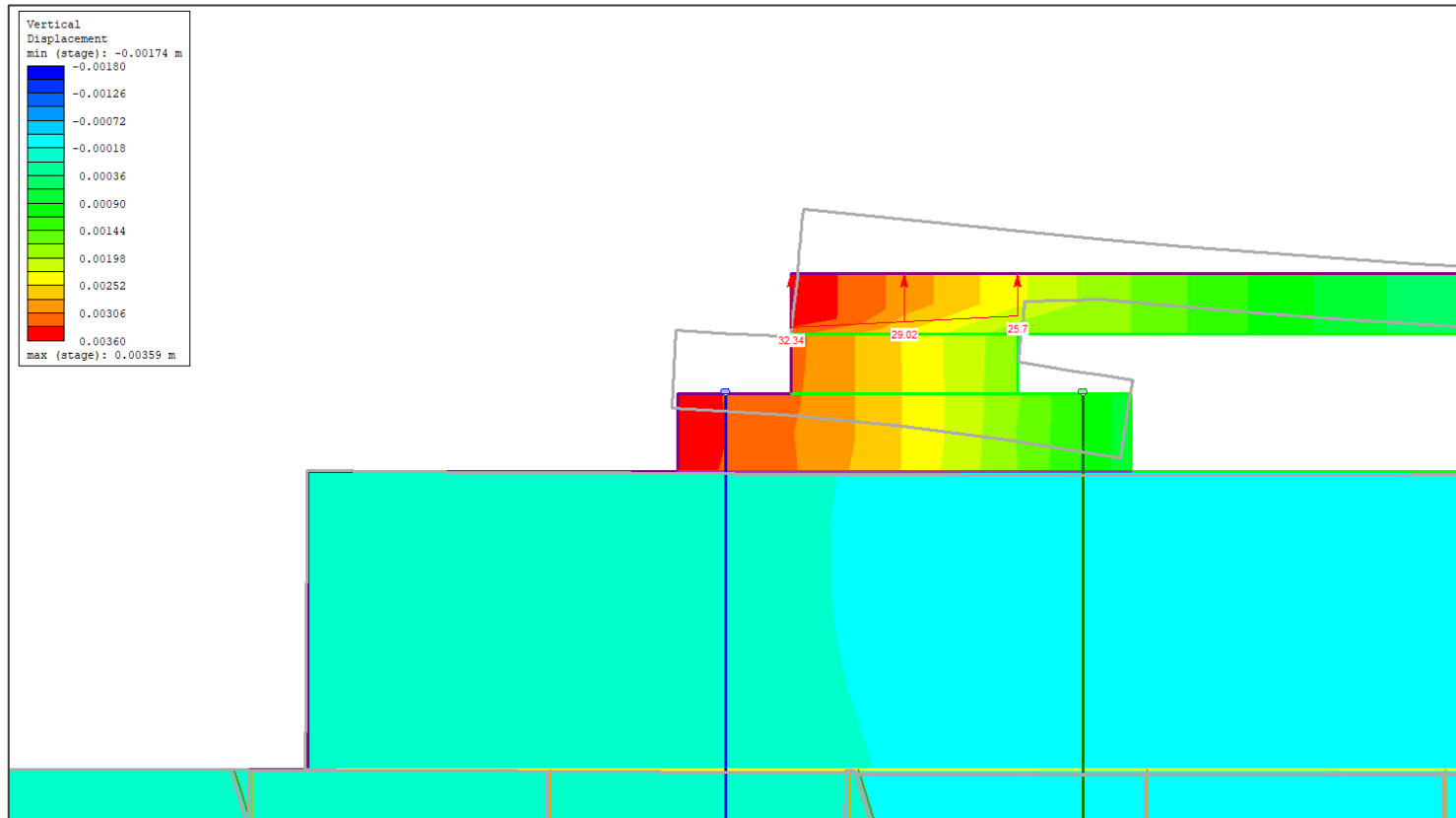
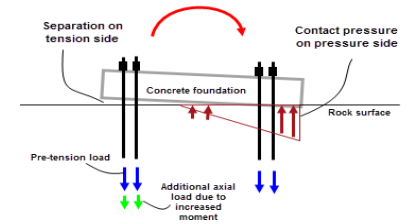
Resultater, forskyvninger



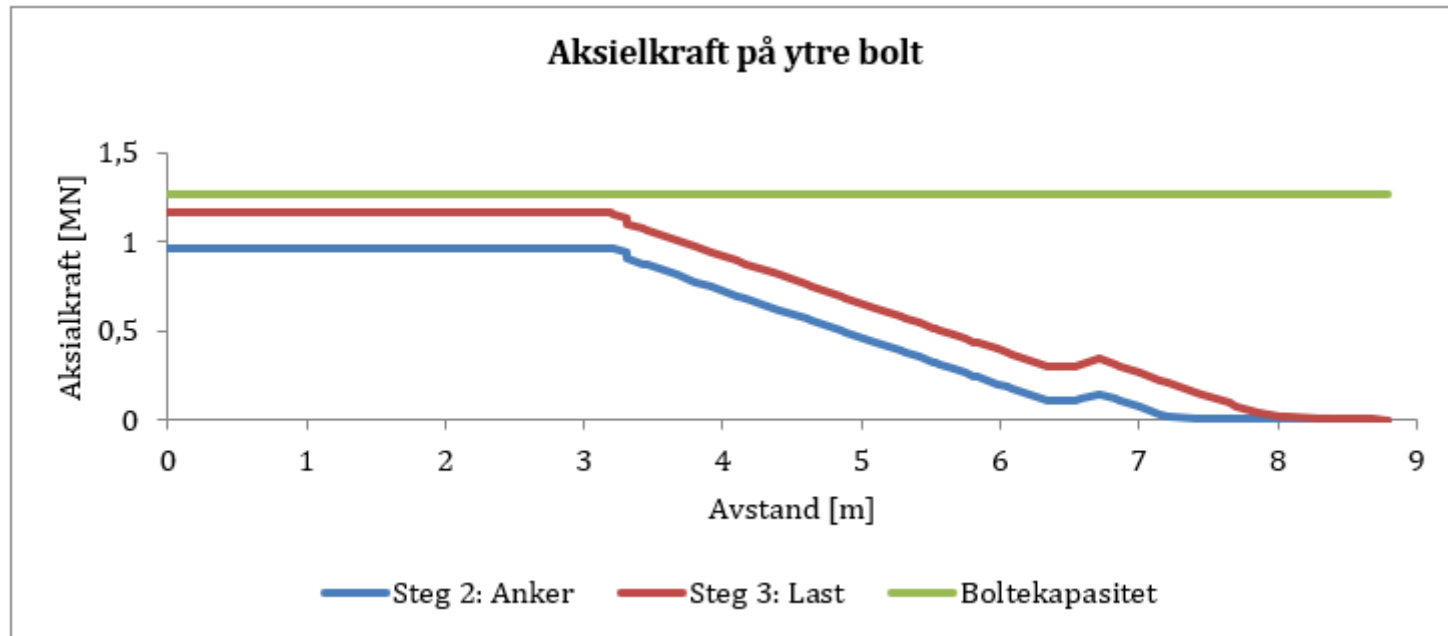
Resultater, vertikale forskyvninger



Resultater, flens

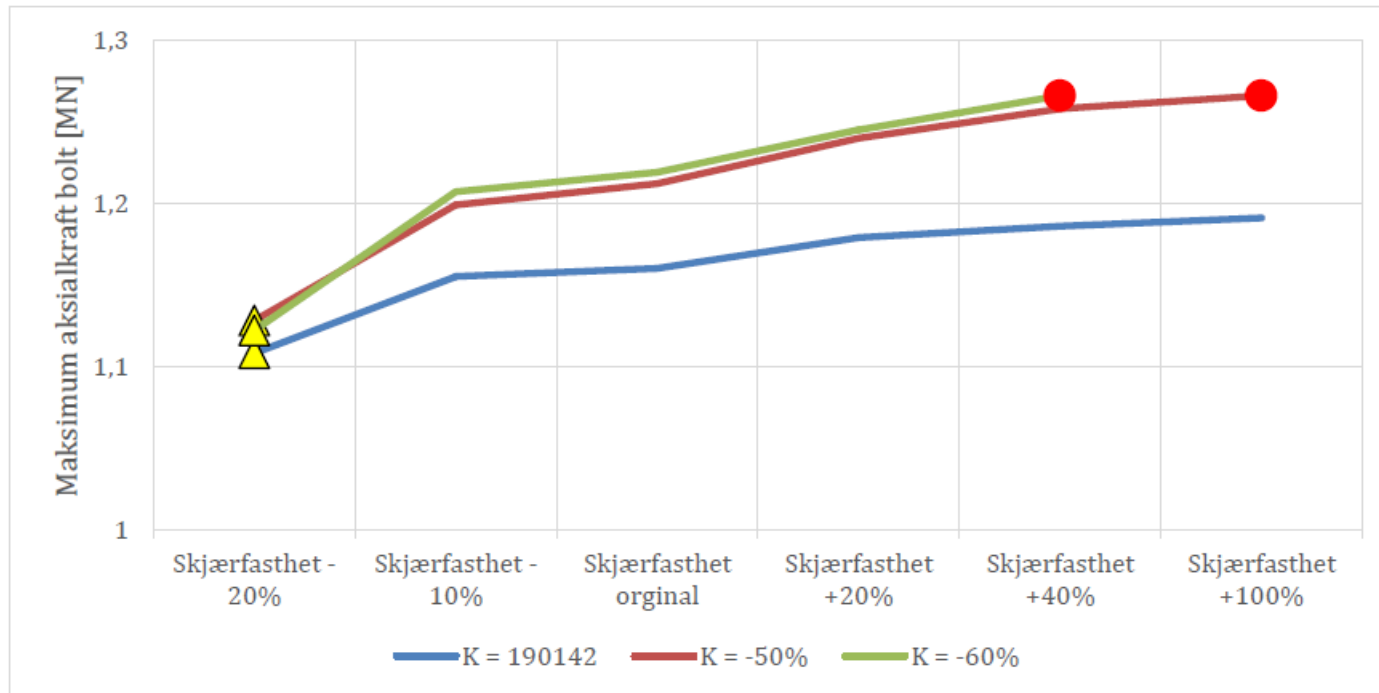


Ankerlast



Sensitivitetsanalyser

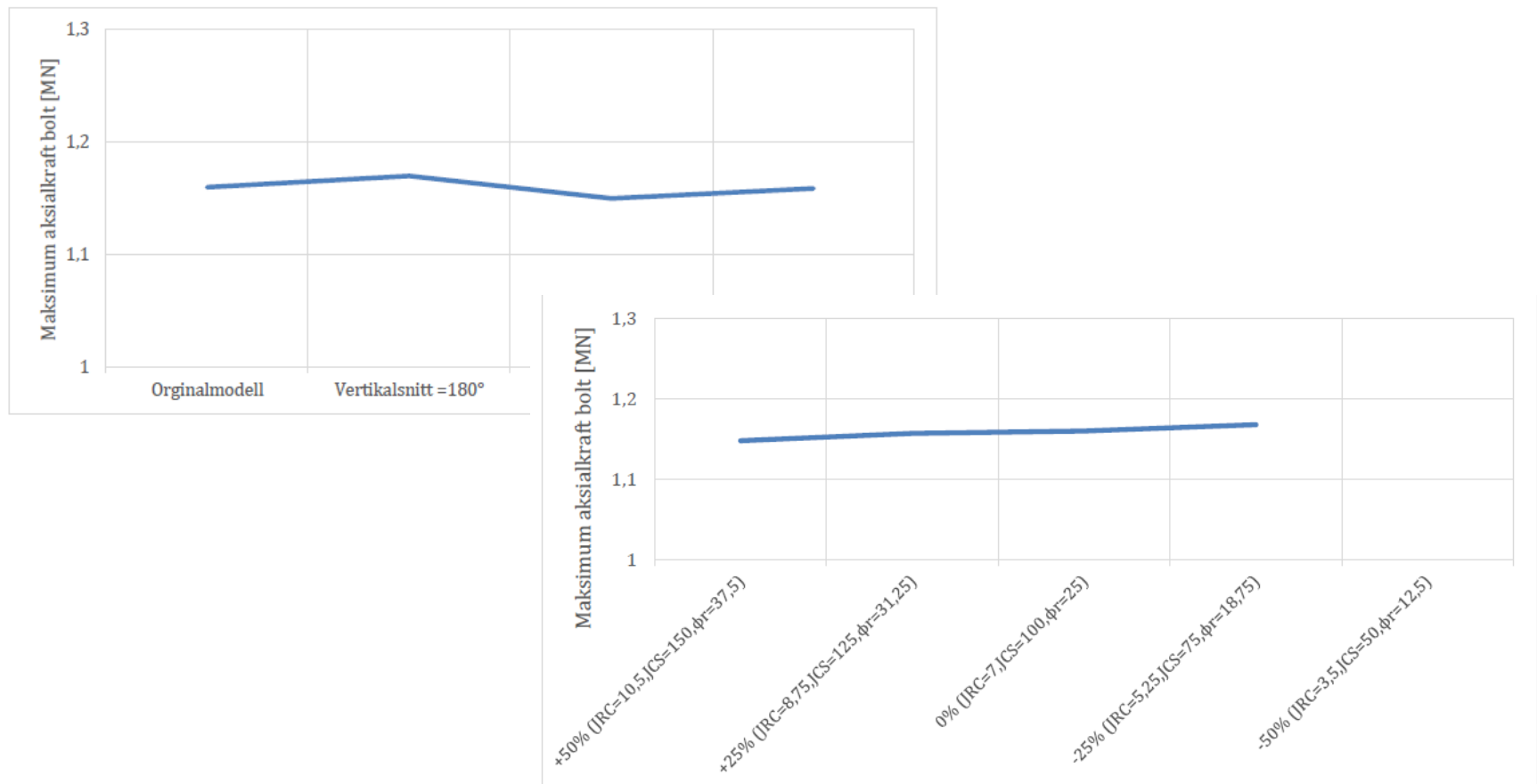
- Skjærstivhet og skjærfasthet mørtel er parameterne som modellen er mest sensitiv ovenfor



Figur 25: Maksimal aksiallast i boltene ved ulike skjærstivheter og skjærfastheter. Gule triangler indikerer at all boltemørtel går i brudd, og røde sirkler at flytegrensen overstiges.

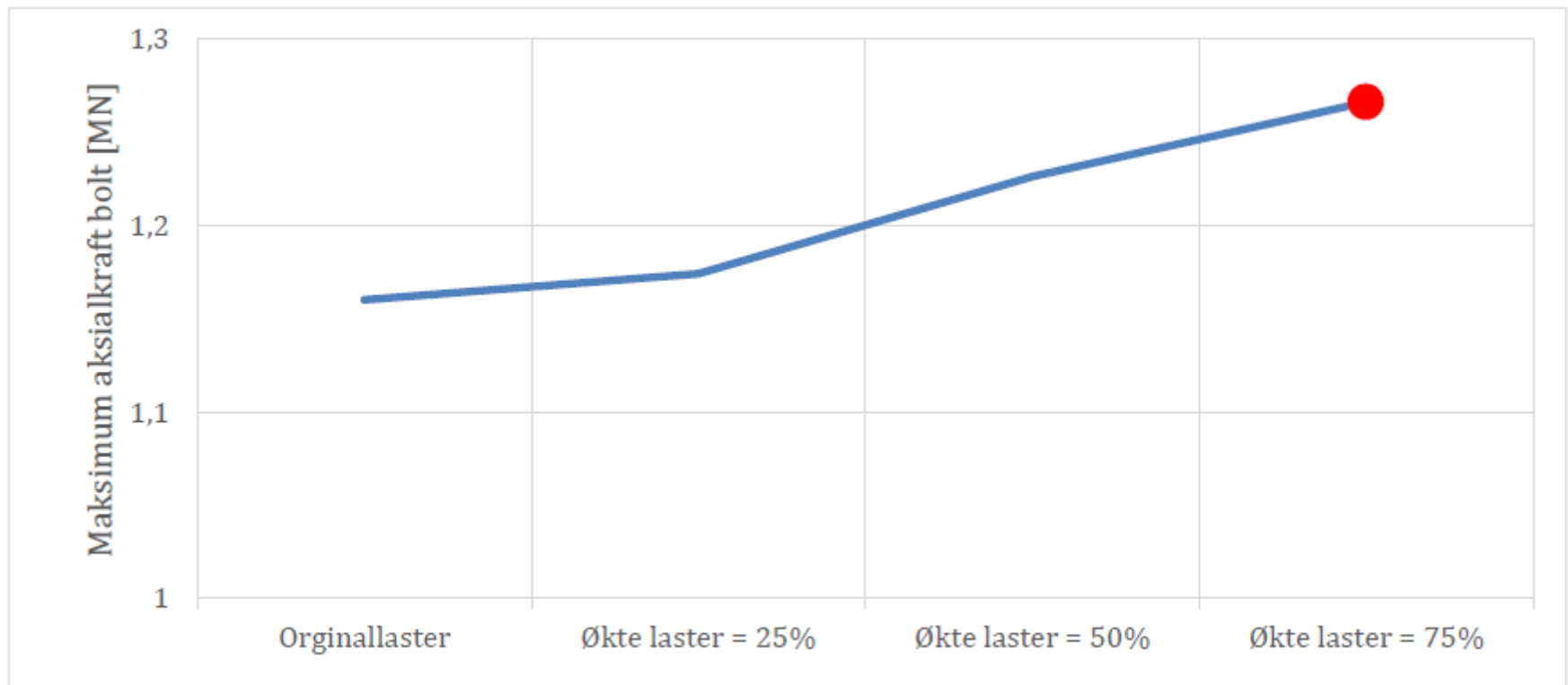
Sensitivitetsanalyser

- Andre parametere mer eller mindre neglisjerbar



Sensitivitetsanalyser

- Modellen i brudd dersom lastene økes tilstrekkelig



Erfaringer

- Ser ikke kjeglebrudd i modellene
- Fri lengde på boltene er essensiell
- Parameterne modellen er mest sensitiv for er mørtelens skjærstivhet og -fasthet
 - Særlig skjærstivhet er en parameter vi har lite erfaringstall på
- Gjentakende spørsmål mht. modellen
 - Klarer en 2D- modell å representere virkeligheten tilstrekkelig?

