

Norconsult 

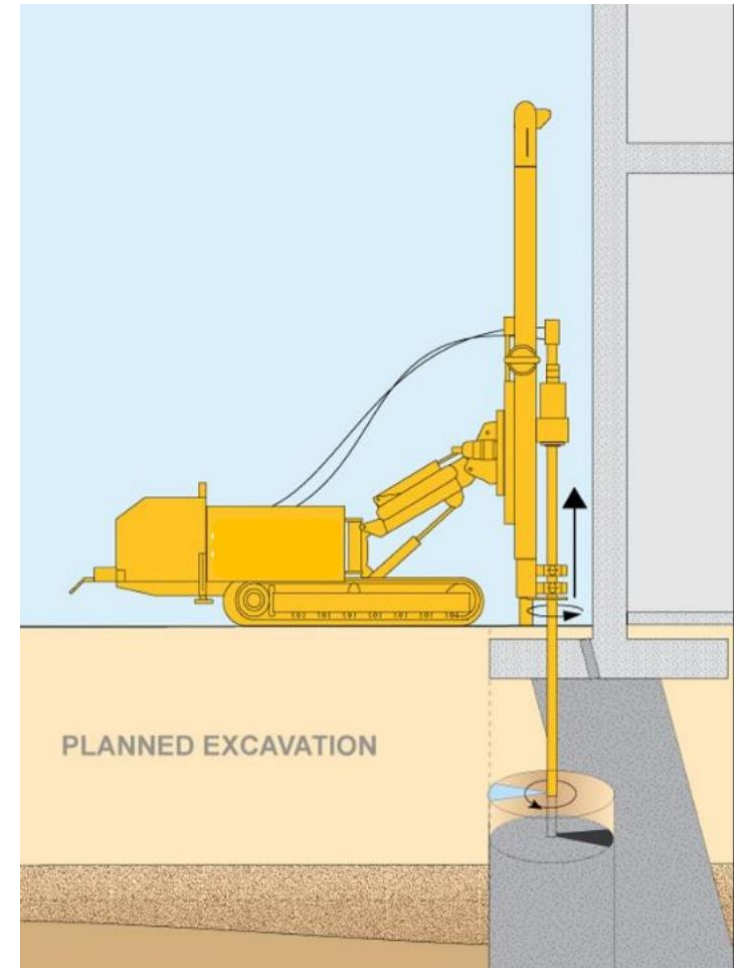
# Temadag grunnforsterkning - Jetpeler

Sammy Ziedoy, Norconsult



# Jetpeler – generelt

- ▶ En jetpel er en betongsylinder støpt ut i bakken
- ▶ Etableres ved boring og en høytrykksroterende væskestråle som eroderer ut et volum.
- ▶ Jetpeler kan etableres i alle jordarter, fra bløt sensitiv leire til sprengstein.
- ▶ «Normal» diameter 0,5-2,2 m
- ▶ To hovedtyper:
  - ▶ **J2 – jetpeler - geobetong**
    - Væskestråle med grout (sement og vann) eroderer ut et volum. Grout blandes med stedlige masser og danner en jetpel av geobetong.
    - Mest benyttede metode, og denne jeg snakke fortelle om
    - Trykkfasthet 1-35 MPa (svært avh. grunnforhold og utførelse)
  - ▶ **EC1 – jetpeler**
    - Vann eroderer ut en sylinder som fylles med fabrikkbetong. Altså ikke stedlige masser i jetpelen.
    - Kan benyttes der man har behov for høy styrke/fasthet
    - Kan oppnå trykkfastheter på over 60 MPa



# Regelverk

- ▶ Dagens regelverk gir generelt lite føringer for hvordan jetpeler skal dimensjoneres
- ▶ Byggegrupsveiledningen og peleveiledningen
  - ▶ Beskrivelse av metode (typer, utstyr, materialer, typiske parametre), anvendelsesområde, toleranser og krav til kontroll
  - ▶ Jetpeler betraktes som et konstruksjonselement med effektivt tv.sn 100 mm mindre enn diameteren.
  - ▶ **Jetpelkonstruksjoner av geobetong dimensjoneres etter vanlige jordmekaniske modeller basert på dimensjonerende verdier for trykkfasthet, skjærfasthet og deformasjonsmoduler**
  - ▶ Henvisning til regelverk:
    - ▶ NS-EN 1992-1 Betong, del som omhandler uarmerte konstruksjoner
    - ▶ NS-EN 12716:2001 Utførelse av spesielle geotekniske arbeider. Jetinjisering
    - ▶ NS-EN 206 Betong – Del 1. Betong, spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar
  - ▶ **NS-EN 1992: Kan benyttes uarmerte konstruksjoner hvis de hovedsakelig belastes i trykk, og ikke er utsatt for dynamiske virkninger. Strekkbelastning må kontrolleres**
  - ▶ Jetpeler har lav frostmotstand → dersom jetpeler skal være permanent, er det behov for tiltak mot frost:
    - ▶ Isolasjon
    - ▶ Tilføring av lutfinnførende stoffer

# Dimensjonerende trykk- og strekkfasthet

- ▶ Trykkfastheten måles ved feltforsøk
  - ▶ Utstøping av kloss fra returmaterialiet eller kjerne fra jetpelen.
  - ▶ Returmaterialiet vil ha en lavere fasthet enn jetpelen siden returmaterialiet inneholder mer finstoff
- ▶ Eurokode betong: NS-EN 1992-1-1:2004+A1:2014+NA:2018 kan benyttes for å vurdere dimensjonerende fastheter:

Materialfaktor bruddgrensetilstand	$\gamma_C =$	1,5
Materialfaktor ulykkestilstand	$\gamma_C =$	1,2
Materialfaktor bruksgrensetilstand	$\gamma_C =$	1,0
Lastpåvirkningskoeffisient	$\alpha_{cc} =$	0,85
Lastpåvirkningskoeffisient	$\alpha_{ct} =$	0,85
<b>Karakteristisk sylindetrykkfasthet</b>	$f_{ck} =$	<b>5,0 MPa</b>
Middelverdi aksialtrekkfasthet	$f_{ctm} = 0,3 \cdot f_{ck}^{(2/3)}$	
	$f_{ctm} =$	0,88 MPa
Karakteristisk aksialtrekkfasthet, 5% fraktil	$f_{ctk,0,05} = 0,7 \cdot f_{ctm}$	
	$f_{ctk,0,05} =$	0,61 MPa
Dimensjonerende strekkfasthet	$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05} / \gamma_C$	
<b>Bruddgrensetilstand</b>	$f_{ctd} =$	<b>0,35 MPa</b>
Ulykkestilstand	$f_{ctd} =$	0,43 MPa
Bruksgrensetilstand	$f_{ctd} =$	0,52 MPa

# Prosjektering i praksis

- ▶ Dimensjonerende parametere for jetpelene settes til et fornuftig nivå (erfaringsverdier), og verifiseres ved feltforsøk.  
Dersom trykkfastheten er usikker bør man legge seg på et konservativt nivå.  
Typisk karakteristisk terningtrykkfasthet: 2-15 MPa.
- ▶ Beregninger i Plaxis (andre beregningsprogrammer kan også vurderes)
- ▶ Viktig at den begrensende strekkfastheten til jetpelene medtas korrekt i beregninger, dersom jetpelene er utsatt for strekk
- ▶ I Plaxis kan jetpelene eks. modelleres med materialmodellene:
  - ▶ Mohr-Coulomb: Stivhet (E) og trykkfasthet (angis ved «c»), strekkfasthet kan styres med «tension strength», og er da konstant lik denne verdien.
  - ▶ «Linear-elastic»: Stivhet angis, uendelig styrke. Viktig å kontrollere at maksimale spenninger er lavere enn trykk- og strekkfasthet.
  - ▶ «Concrete»: Nyere materialmodell for betongmaterialer.  
Her kan man angi et stort omfang av parametre for betong (og jetpeler)  
Materialmodellen hensyntar betongmaterialers sprø oppførsel ved input for strekkfasthet; når strekkfastheten nås, sprekker materialet opp og strekkfastheten reduseres.  
Strekkfasthet ved oppsprekking (overskridelse av opprinnelig strekkfasthet) kan angis i modellen, og vil normalt settes lik 0.  
Se nærmere forklaring i Plaxis-manualen

## Eksempel «Concrete»

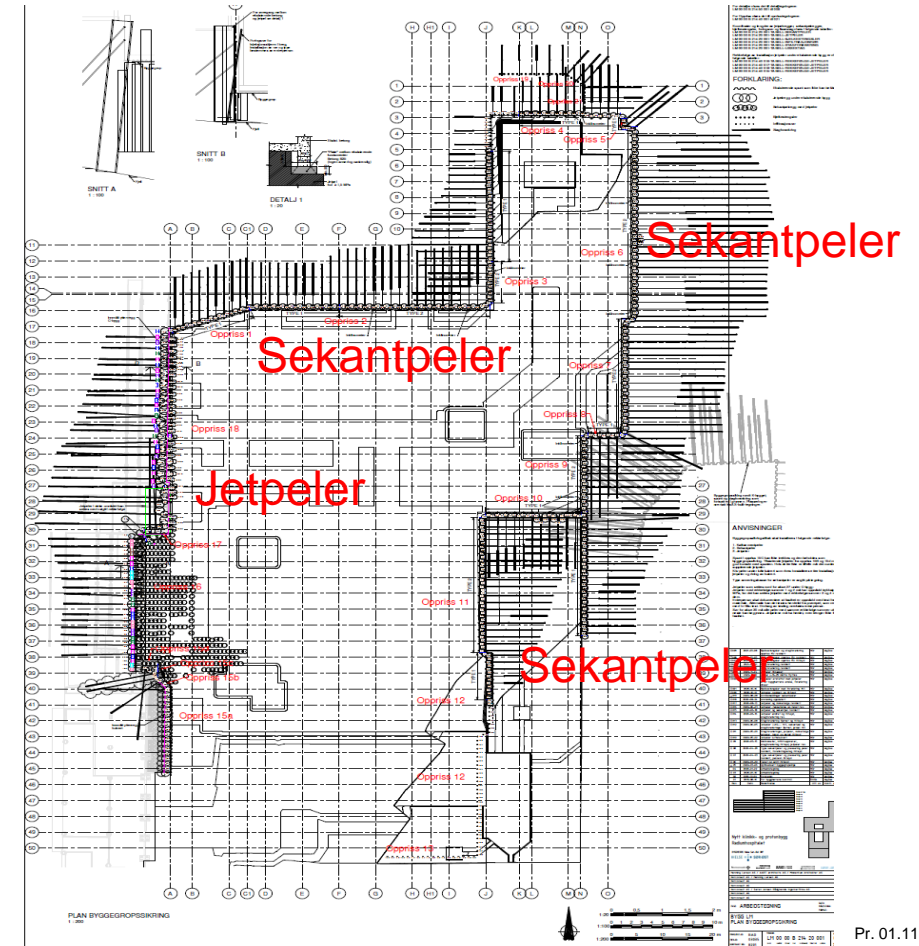
Identification		Jetpel
Material model		Concrete
Drainage type		Non-porous
$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	17,0
$E_{28}$	kN/m <sup>2</sup>	3,0E+6
$\nu$		0,20
$f_{c,28}$ (trykkfasthet)	kN/m <sup>2</sup>	1500
$f_{c,0n}$		0,15
$f_{cfn}$		0,10
$f_{cun}$		0,10
$G_{c,28}$	kN/m	15,0
$\emptyset_{max}$	°	35,0
$\psi$	°	5,0
$\gamma_{fc}$		1,0
$f_{t,28}$ (strekkfasthet)	kN/m <sup>2</sup>	100,0
$f_{t,un}$ (strekkfasthet ved overskridelse)		0,0
$G_{t,28}$	kN/m	0,3
$\gamma_{ft}$		1,0
$\epsilon_{cv}^p$		-0,02
<b>a</b>		16
$R_{inter}$		1,0
$K_{0,x} = K_{0,z}$		Yes
$K_{0,x}$		0,01

Pr. 01.11.2017

# Prosjekteksempel - Radiumhospitalet

## Jetpeler som støttevegg med lissestag, og tetting mellom sekantpeler

- ▶ Nytt bygg skal etableres like ved siden av eksisterende bygg. Jetpeler ble benyttet for to ulike formål:
  - ▶ Jetpeler som støttevegg for utgraving, samt refundamentering av eksisterende bygg. Ikke plass til spunt pga. liten avstand mellom eksisterende og nytt bygg.
  - ▶ Sekantpeler i øvrige områder, annenhver armert betongpel (for å ta laster) og annenhver jetpeler som tetting.
- ▶ Eksisterende bygg er pelefundamentert og skal være i kontinuerlig drift i byggeperioden. Viktig å unngå skader og minimere rystelser.
- ▶ Grunnforhold: Tørrskorpeleire over bløt leire (kvikk) til berg.
  - ▶ KS-stabilisert i byggegropen med doble og enkle ribber
- ▶ Utgraving inntil 9 m under kjellernivå til eksisterende bygg
- ▶ Jetpeler
  - ▶ Diameter Ø2,0 m med c/c 1,35 m og Ø1,6 m c/c 1,0 m
  - ▶ Trykkfasthet 1,5 MPa («target» 4,5 MPa, entreprenør ønsket økt sikkerhet)
  - ▶ Strekkfasthet 0-150 kPa (lav konservativ verdi)
  - ▶ E-modul 3 GPa
  - ▶ Bakforankrede lissestag i 1-2 nivåer

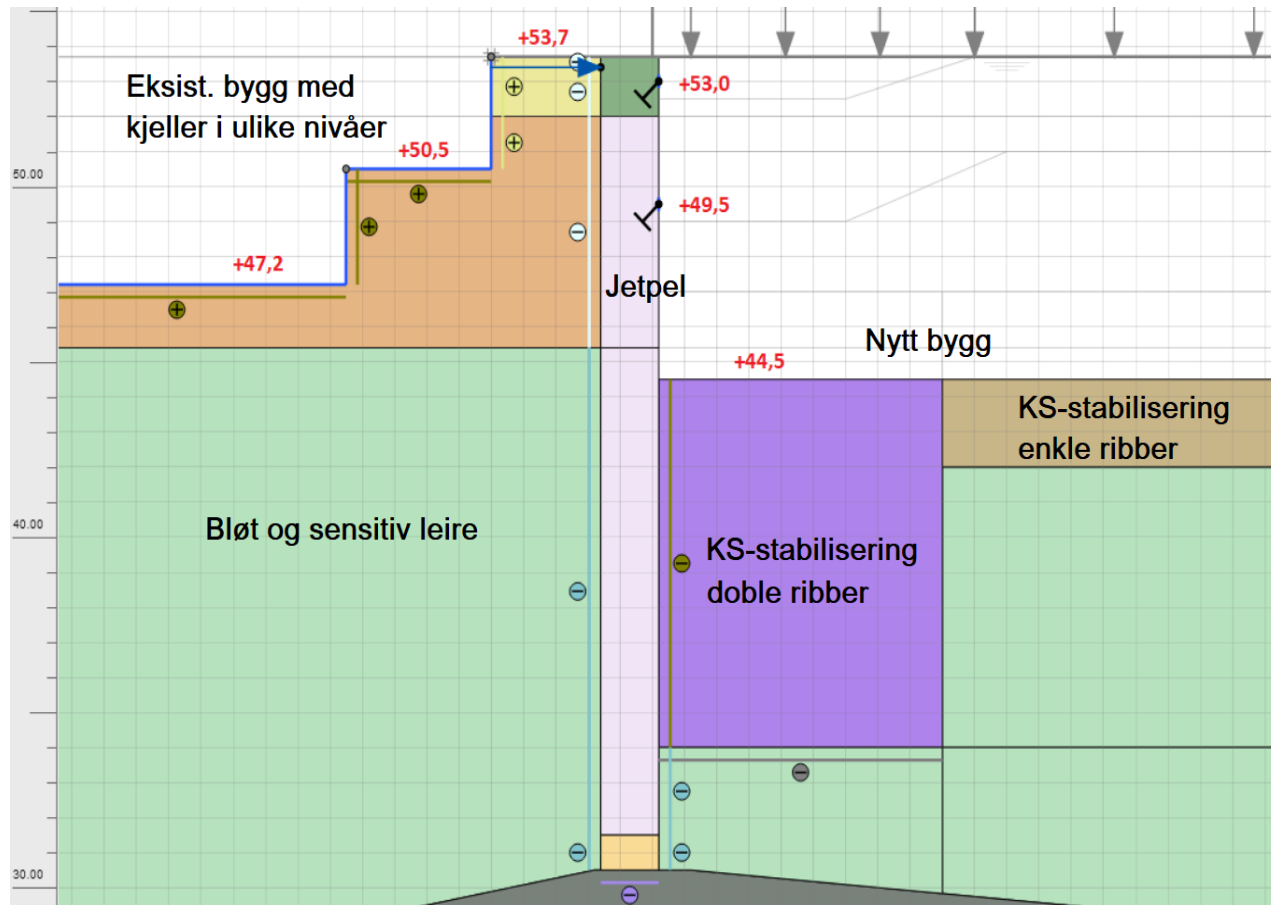


Pr. 01.11.2017

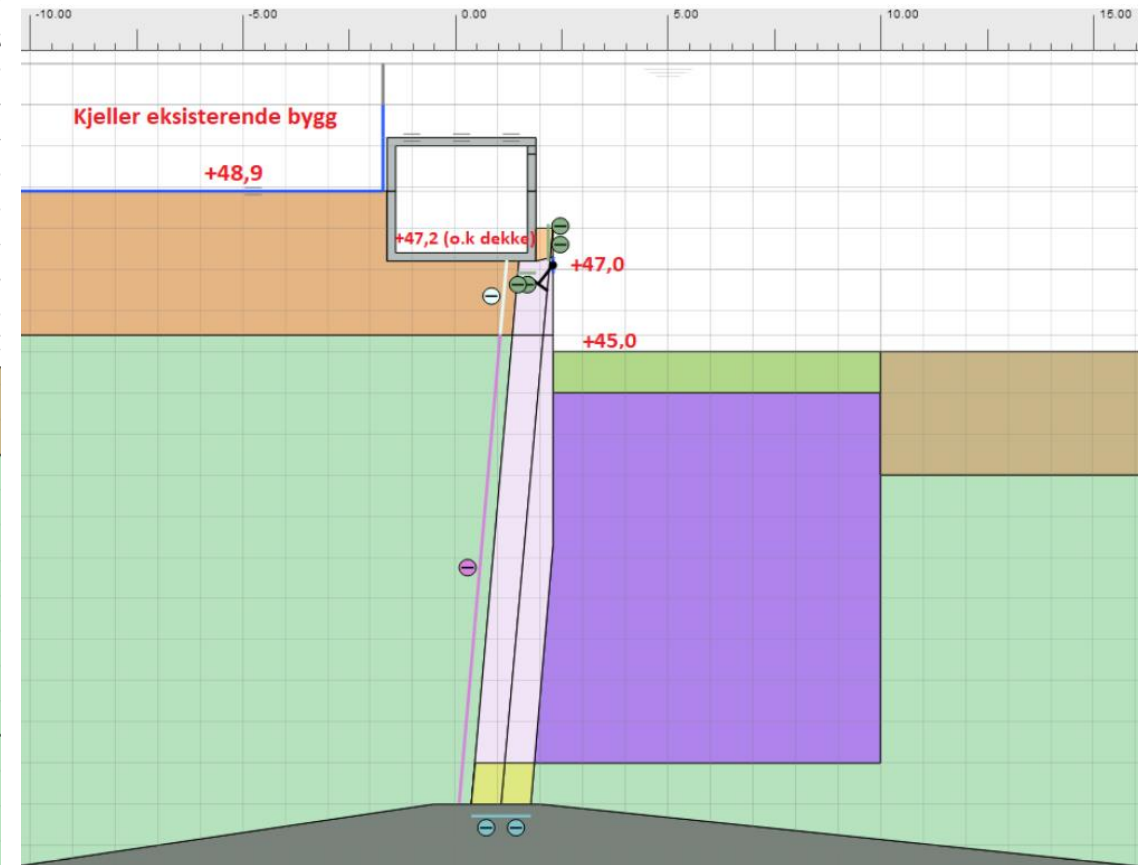


# Beregningsnitt

Snitt ved C-bygget, 2 avstivningsnivåer:



Snitt ved B-bygget, skrå jetpel og 1 avstivningsnivå.  
Jetpel sages pga. plassbehov:



Pr. 01.11.2017

# Bakforankrede lissestag

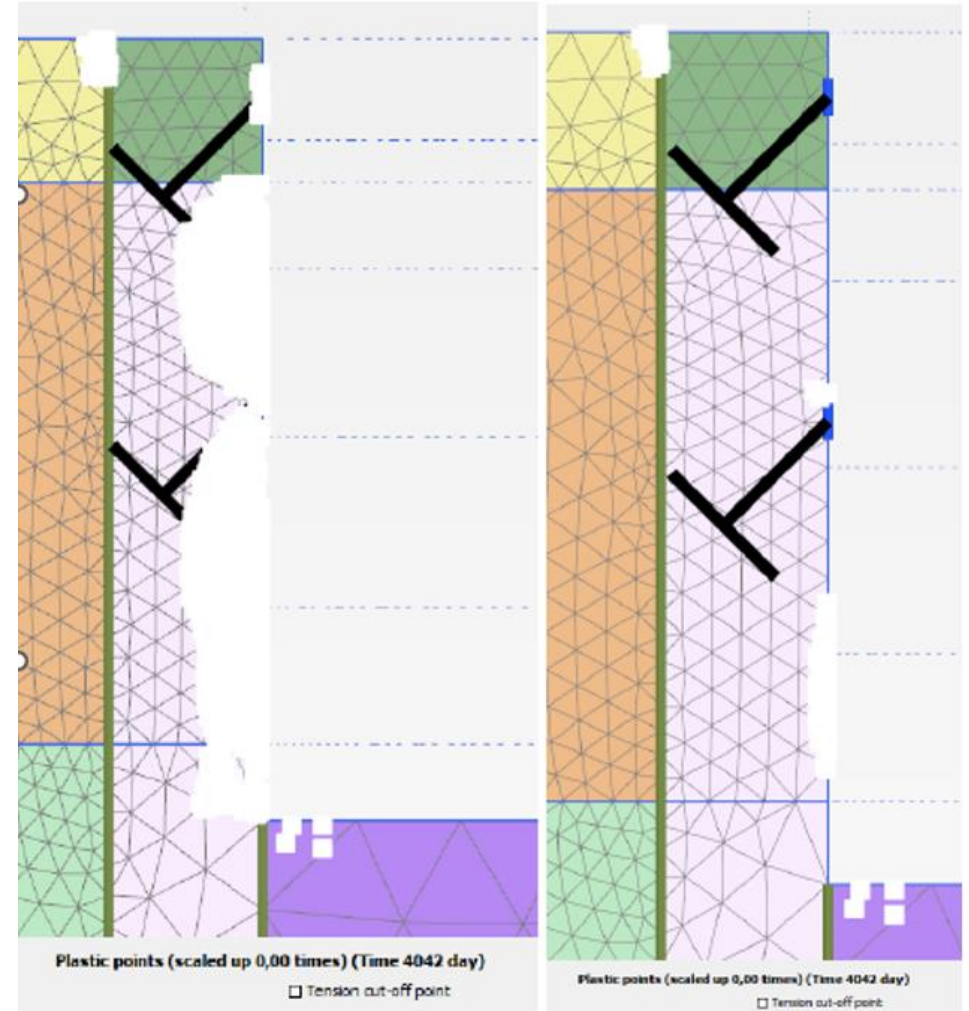
- ▶ Vekt av eksisterende bygg antas lastoverført i eksisterende peler.  
Dette er konservativt siden vertikallast i jetpelene ville vært gunstig for å redusere strekket som følge av jordtrykk.
- ▶ Det var nødvendig med bakforankrede lissestag for å ta opp jordtrykket bak jetpelene.  
Andre løsninger som armering og vertikal oppspenning ble også vurdert.
- ▶ Det ble installert stag i annenhver jetpel, uten lastfordelende pute.  
Siden jetpelens «veggtykkelse» er relativt stor, ble det vurdert at jetpelene vil fungere som en sammenhengende støttevegg, og fordele ut stagkreftene gjennom jetpelenes tykkelse.
- ▶ Stag ble oppspent til 250 / 500 kN
- ▶ Lastfordelende sirkulær stålplate i stagpunkter for å ikke overskride jetpelenes trykkfasthet (gjennomlokking)



# Beregninger

- ▶ Dimensjonering i Plaxis
- ▶ Jetpeler både modellert med «Mohr-Coulomb» og «Concrete model»
- ▶ Det ble utført beregninger med ulik strekkfasthet i jetpelene (0-150 kPa)
- ▶ Strekkfastheten til jetpelen er av stor betydning, se figur til høyre.
- ▶ Forsiktig med å bruke «Mohr-Coulomb» med en reell/optimistisk verdi for strekkfastheten, siden denne materialmodellen ikke hensyntar jetpelens sprø oppførsel. Bør derfor kontrollere at strekkspenningene ikke når strekkfastheten, eller sette strekkfasthet lik 0 / nær 0.
- ▶ Fornuftig fordeling av strekkspenninger i jetpelene

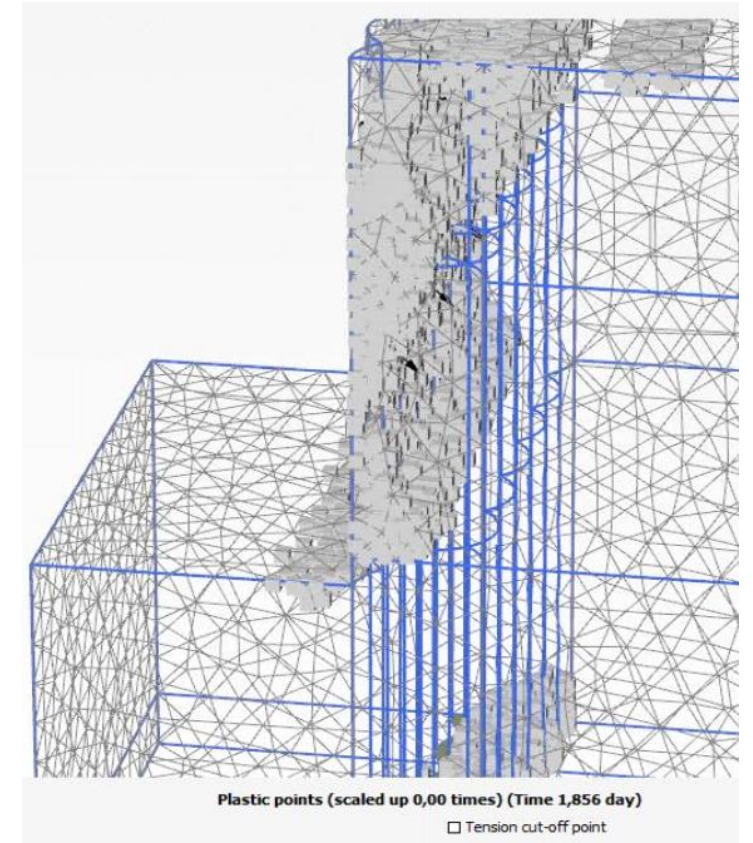
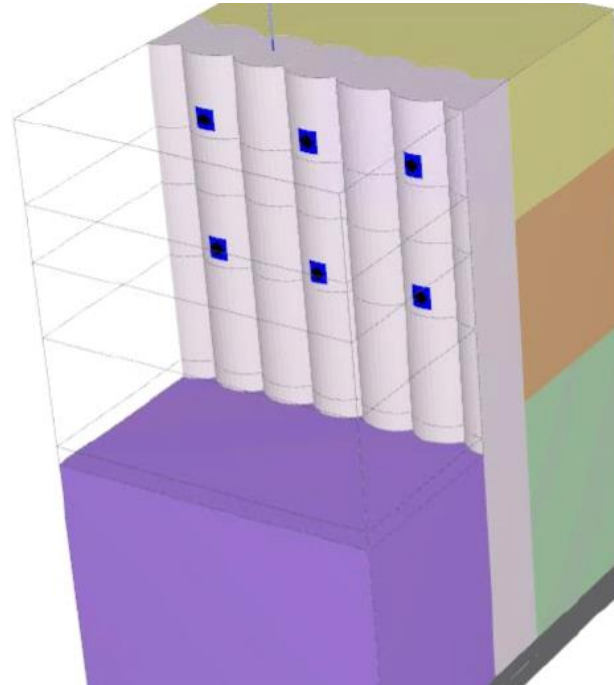
## Strekkspenninger lik strekkfastheten i hvite soner



0 strekkfasthet i venstre figur, 150 strekkfasthet i høyre figur.

# Stagforankring uten pute

- ▶ Er man sikker på at jetpelen fungerer som en sammenhengende vegg?
- ▶ Er det risiko for at jetpelene uten stag kollapser ut mot byggegropen?
- ▶ Kontrollberegninger i Plaxis 3D
- ▶ Fornuftig fordeling av strekkspenninger i jetpelene





# Gikk det bra?



Pr. 01.11.2017



# Utfordringer

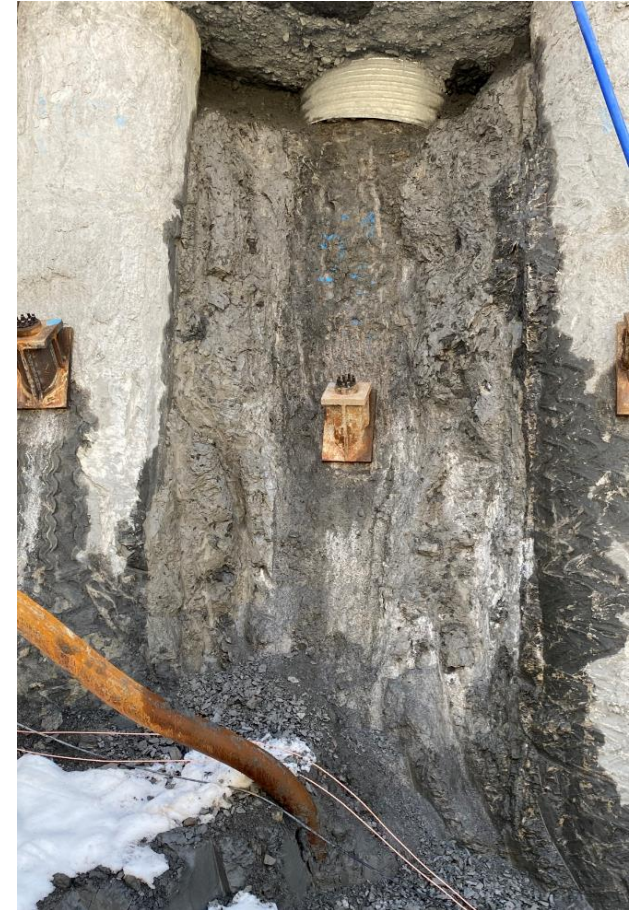
- ▶ Eksisterende kjeller var i dårlig tilstand
  - ▶ Frittstående kjellergulv som ikke var forankret i veggene
  - ▶ Ikke helt tett kjellerkonstruksjon
- ▶ Oppsto flere sprekker i eksisterende kjeller. Oppløft av kjellergulvet under installasjon av jetpelene, grunnet det store trykket jetpelene installeres med.
- ▶ Ble observert forurensning i Mærradalsbekken ca. 50 m fra jetpelene, i samme tidsperiode som jetpelene ble installert. Usikkert om det skyldes jetpelene eller ikke.



Pr. 01.11.2017



# Jetpeler som tetting mellom sekantpeler – fungerte godt

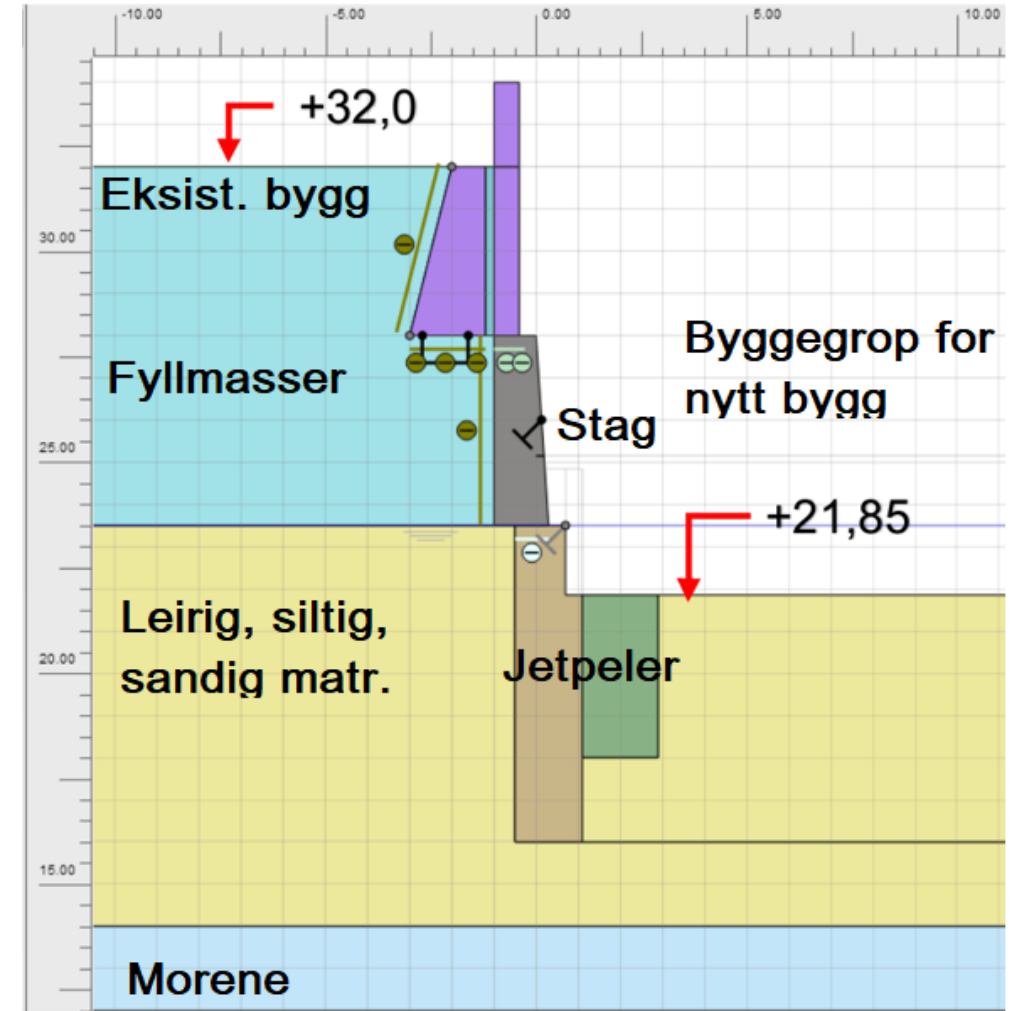
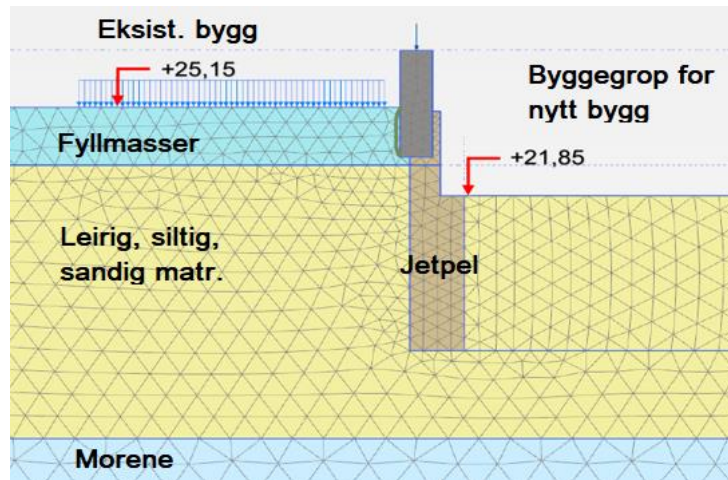


Pr. 01.11.2017



# Waldemars tårn

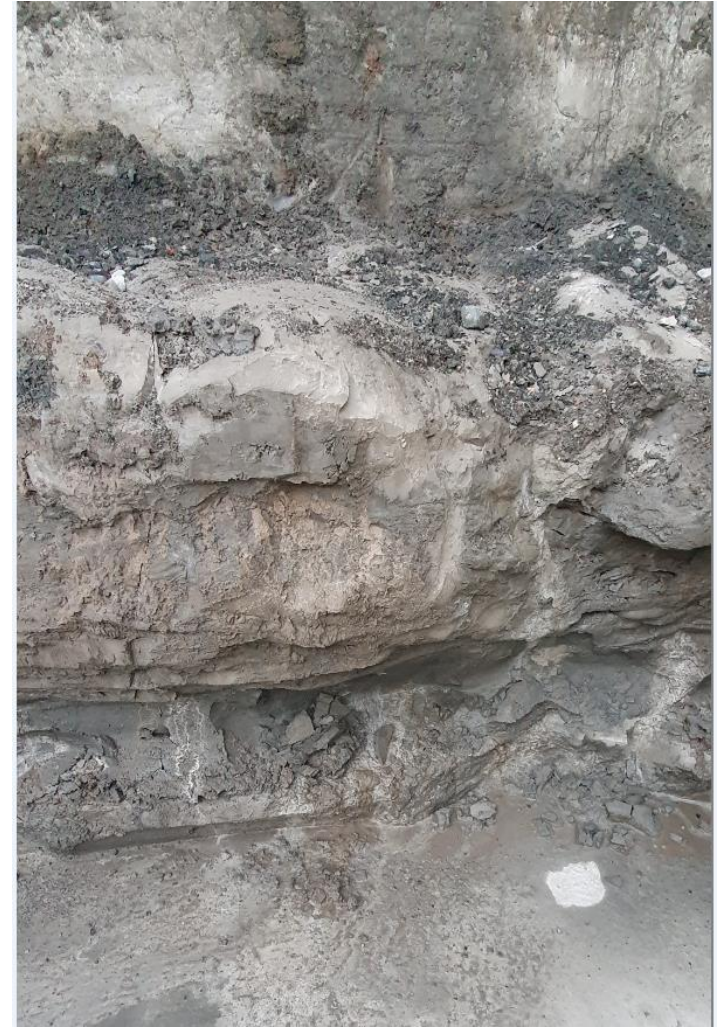
- Refundamentering av eldre bygg og støttemur. Utgraving for nytt bygg tett inntil eksisterende.
- Usikkerhet i prosjektering siden eksisterende murer som sto over hverandre, og murene var i dårlig forfatning.
- Nedre mur ble stagforankret for å minimere forskyvninger.
- Jetpeler (2 stk. i bredden)
- Dimensjonering i Plaxis
  - Jetpeler modellert med «concrete»
  - E-modul 5 GPa, trykkfasthet 5 MPa, strekkfasthet 500 kPa
- Fungerte godt, ingen deformasjoner eller skader på eksisterende bygg



Pr. 01.11.2017



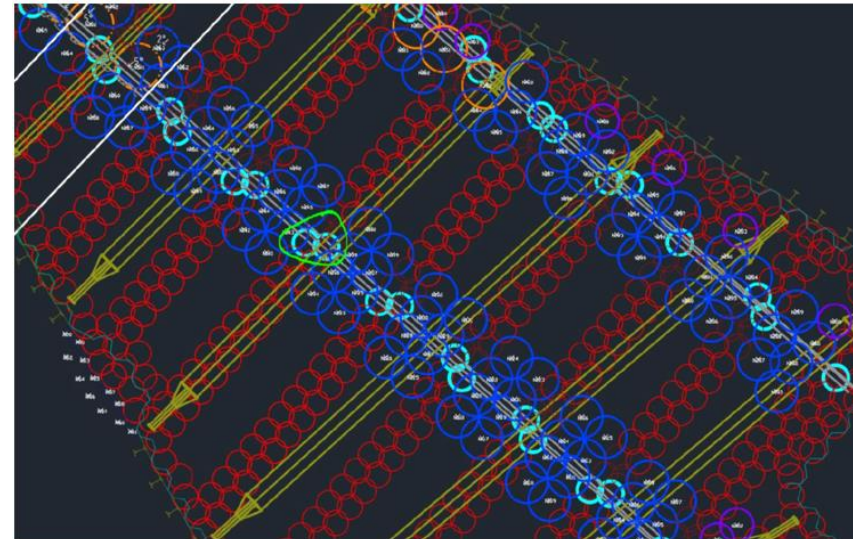
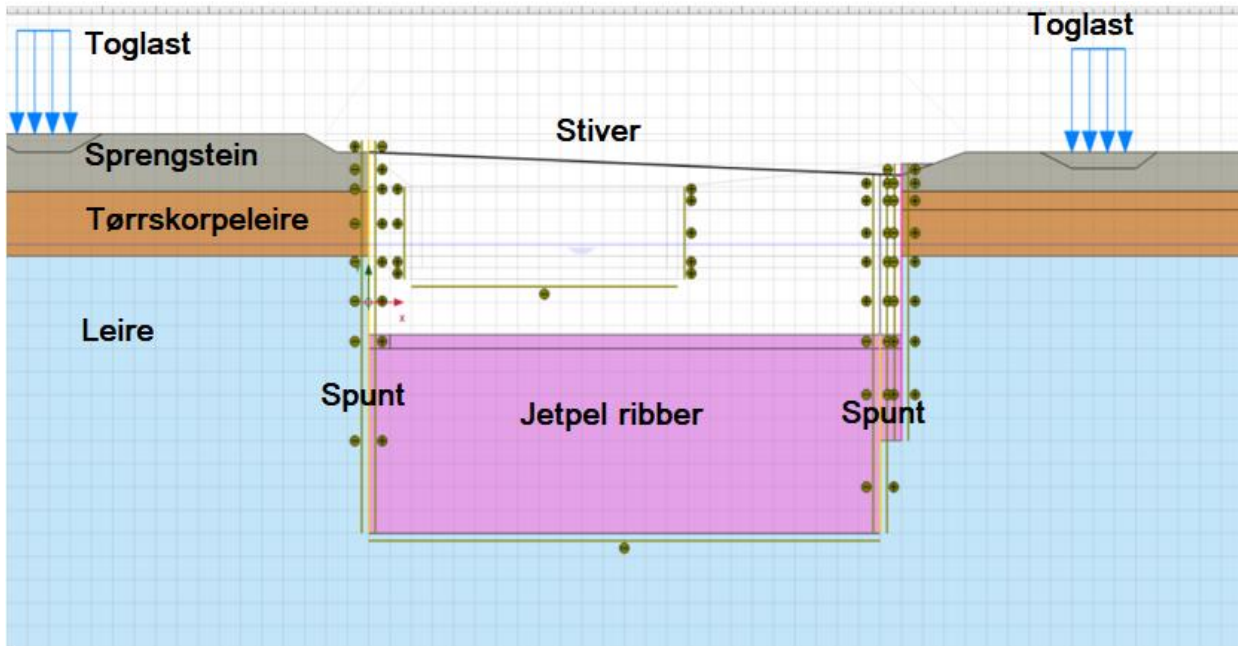
# Waldemars tårn - bilder





# IOS – Innføring Oslo S (Follobanen)

- Jetpeler som innvendig avstivning av spuntgrop. Spunt avh. av støtte fra jetpel-ribbene.
- Svært strenge deformasjonskrav, grunnet nærliggende jernbane i drift.
- Overtok prosjekt fra tidligere entreprenør, med prosjekterte og påbegynte løsninger
- Jetpeler måtte installeres fra hver side av en eksist. kulvert. Det var usikkert om disse jetpelene hadde kontakt med hverandre, og om de ville fungere som avstivning av spunt under gravenivå som forutsatt i prosjekteringen.
- Det var bekymringer knyttet til om jetpelenes avstivningseffekt var tilstrekkelig, grunnet mellomrommet med ustabiliserte løsmasser mellom ribbene. Det ble derfor utført kontrollberegninger i Plaxis 3D.

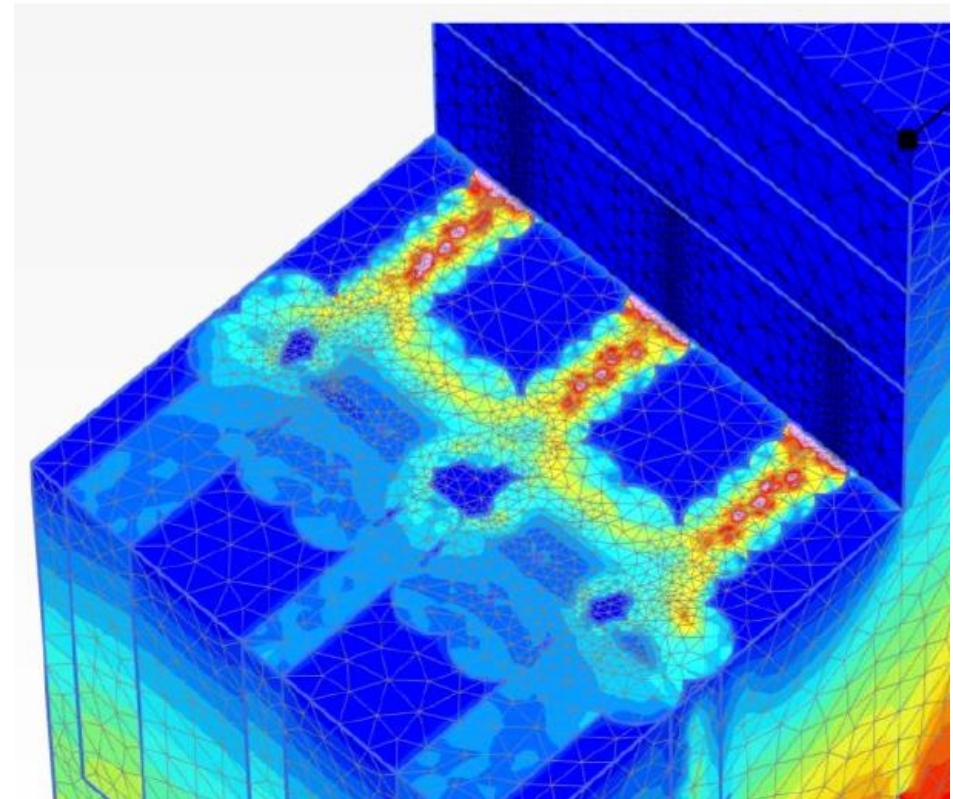
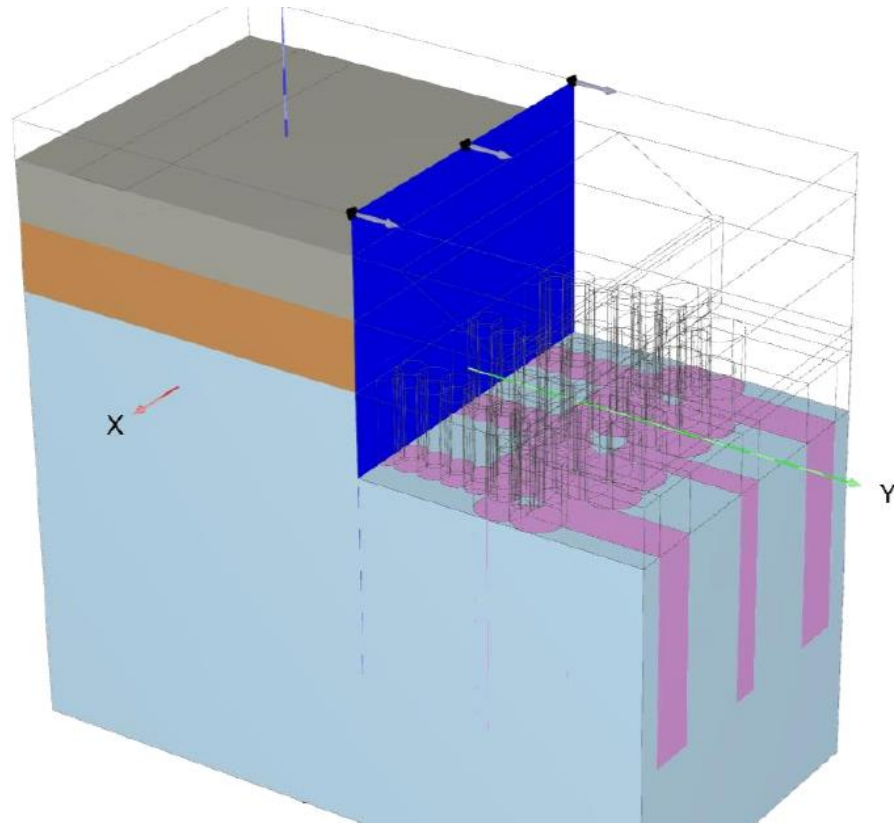


Røde: installert av tidligere entreprenør  
Cyan: kan ikke være installert pga. konflikt med kulvertvegg  
Blå: nye supplerende jetpeler

Pr. 01.11.2017

# IOS – Plaxis 3D beregninger

- 3D-beregninger viste god overensstemmelse med 2D-beregninger, sikkerhetsfaktor 10% høyere
- Beregninger viser at lasten går i de stive jetpelribbene, som forventet.



# Oppsummering

- Viktig å legge til grunn fornuftige parametre for jetpelene, spesielt trykk- og strekkfasthet.
  - Trykkfasthet måles ved feltforsøk, og er normalt i størrelsesorden 2-15 MPa.
  - E-modul 3-5 GPa
  - Strekkfasthet kan vurderes etter NS-EN 1992-1-1, ca. 10% av trykkfasthet.
- I 2D-verktøy benyttes «effektiv bredde» av jetpelene (dvs. noe lavere enn diameteren, 100-200 mm).
- Dersom det oppstår strekk i jetpelene må man være sikker på at opptredende spenninger er godt under strekkfastheten, grunnet jetpelenes sprø oppførsel.
  - Strekkfasthet kan konservativt settes lik 0.
  - Vurder materialmodellen «concrete» med reell strekkfasthet.
  - Vurder kontrollberegninger av RIB, eks. i Abaqus
- Dersom jetpelene er påkjent av vertikale laster, eks. fra eksisterende bygg, må det vurderes om vertikallasten er konservativ eller ikke.
  - Vertikallast for en jetpel som støttevegg vil ofte være gunstig, mhp. jordtrykk og strekk i pel. Pass på at laster man får fra RIB er reelle, og vurder hvilken lastfaktor som benyttes, samt at lastfaktor benyttes til konservativ side

Norconsult 

**Takk for meg**