



Dypstabilisering

NGF Temadag grunnforsterkning 1. nov 2023

Innhold

- ↗ Utførelse
- ↗ Kontroll og oppfølging

- ↗ Ikke med:
 - Massestabilisering
 - Bindemidler
 - Laboratorieanalyser
 - Prosjektering
 - Forskningsresultater

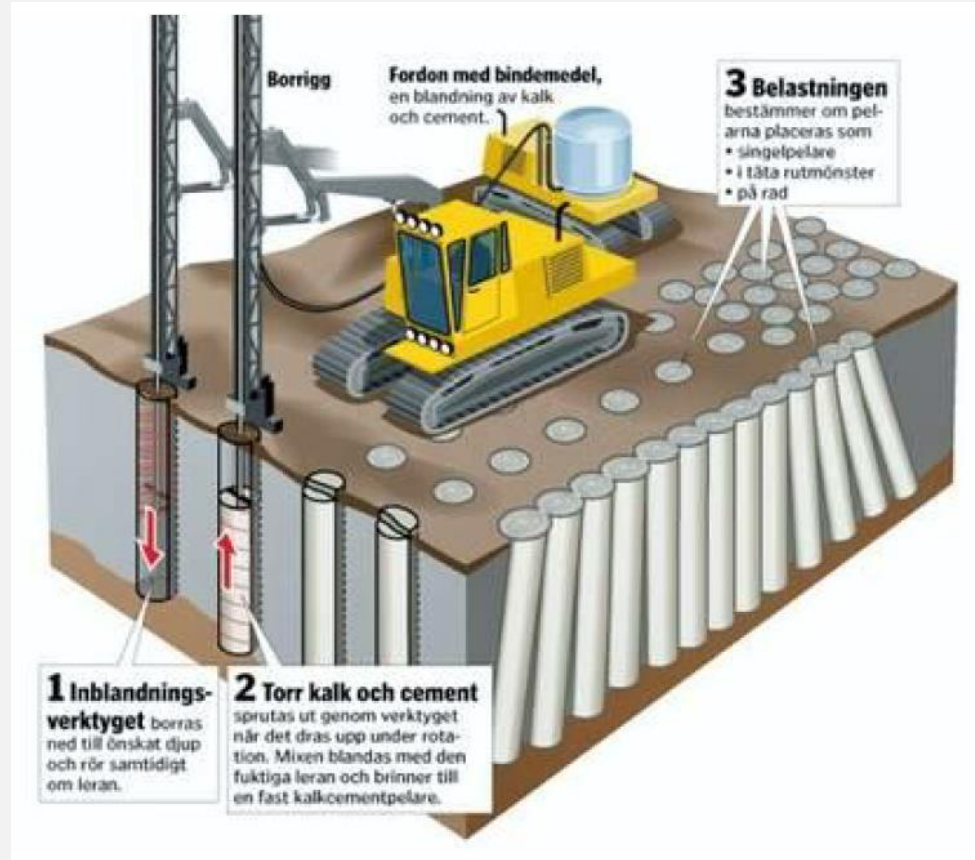
Definisjon

- ↗ NS-EN 14679:2005 Utførelse av spesielle geotekniske arbeider – Dypstabilisering
- ↗ Mekanisk innblanding av bindemiddel med roterende verktøy (in situ)
- ↗ Dypere enn 3 m
- ↗ “Kalksementpeler” og massestabilisering
- ↗ Klassifiseres som tørr eller våt metode (dry/wet)
- ↗ Andre stabiliseringsmetoder: prosesstabilisering (ex situ) overflatestabilisering, jetinjisering, cutter mix →

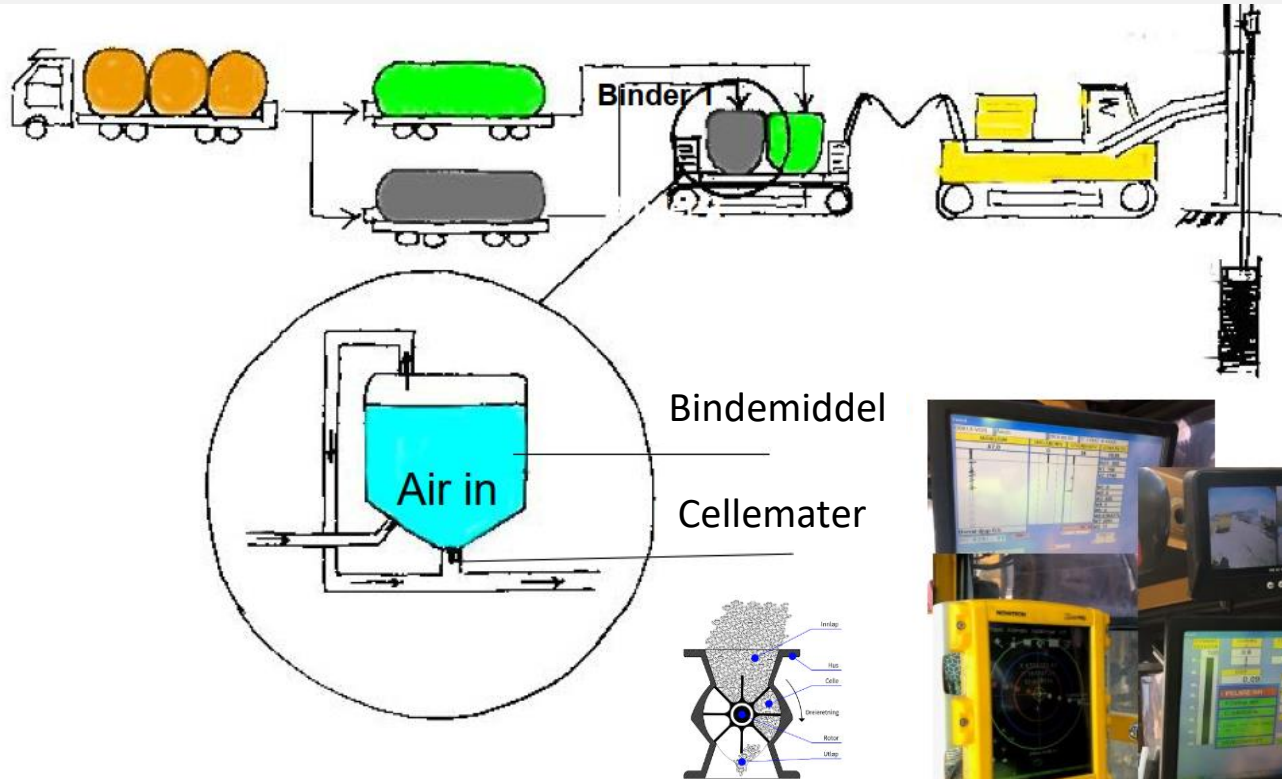


Tørr metode

↗ “Kalksementpeler”



Tørr metode



Eksempel:

Stigning 20 mm/omdr
Rotasjonshastighet 170
omdr/min

→

Opptrekkshastighet: 3,5
m/min (170*20)

Mating av bindemiddel:

1,5 kg/s

→

26,5 kg/m

Diameter på pel: 0,8 m (ca
0,5 m²)

→

52.7 kg/m³



Tørr metode

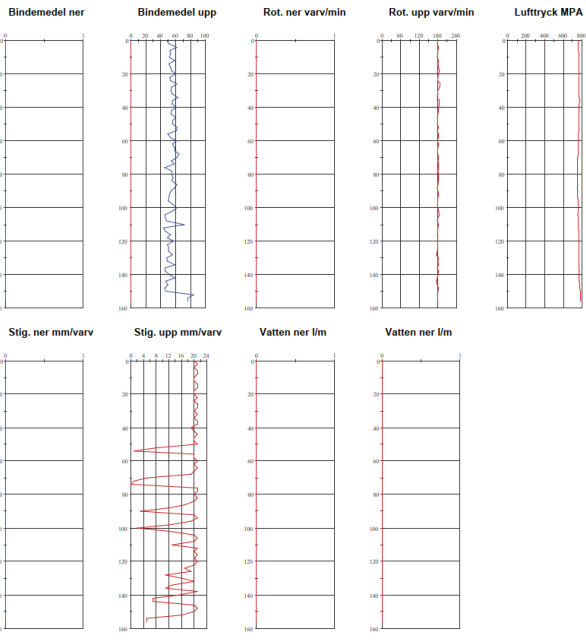
↪ Eksempel på protokoller:

00010-KCB.1

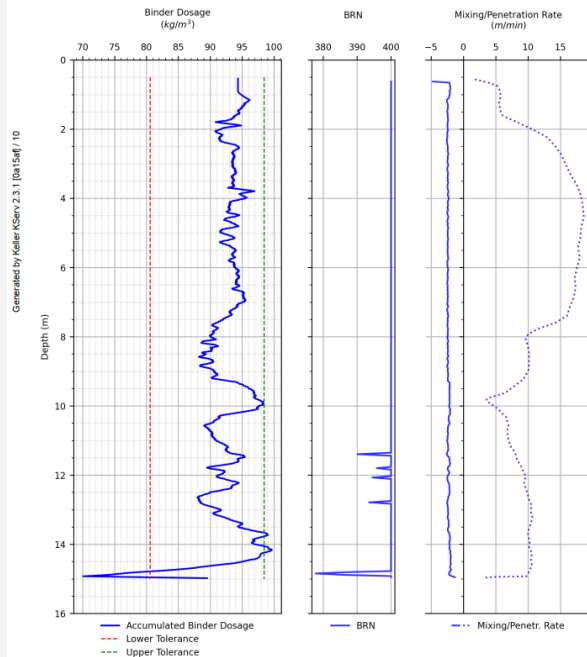
2017-05-10 10:41:03

Uppgifter ent. handlingar:

Rotation	-	Projekt	provpelare	Vikt pelare (kg)	858
Bindemedel	KC	Beställare	NCC	Borrjup (m)	16,41
Stigning	-	Förare	Fredrik-Werner	Eff pelare (m)	15,92
Verktyg	-	Maskin	KC-4	Tomborr (m)	0,49
Bindemedel zon	-	Lod x	-0,11	Zon1 (kg)	858,00
Arbetsplatsans.	-	Lod y	0,20	Zon2 (kg)	0,00
Protokollans.	Johan-Gunther	Extra fotvikt (kg)	0,00	Zon3 (kg)	0,00

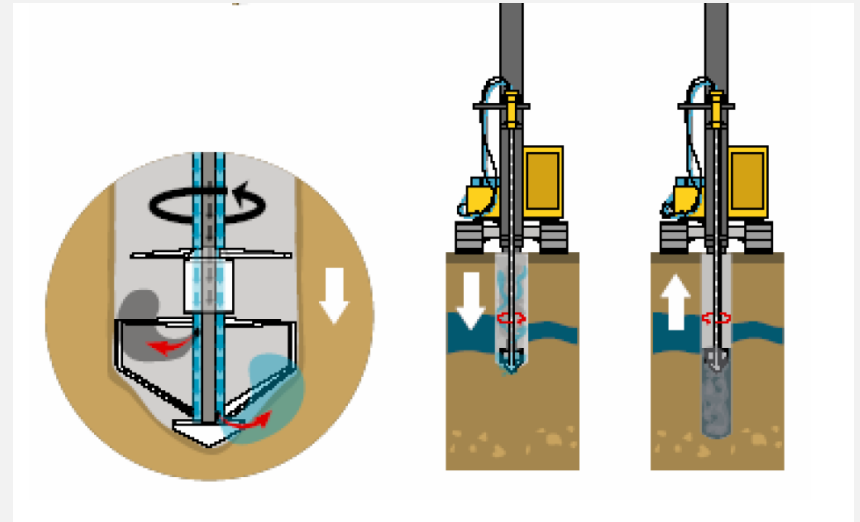


Equipment:	820	Start Date:	2023-09-21
Mixing Tool:	pb3	Start Time:	07:52:42
Stabilized Length:	14,45 m	Completion Date:	2023-09-21
Column Diameter:	0,80 m	Completion Time:	08:00:37
Number of Blades:	6	Max. Drill Depth:	14,97 m
Total Binder Weight:	675 kg	Avg. Binder Dosage:	92,89 kg/m³
Avg. Lift Coeff.:	-13,87 mm/rev	Avg. Pull Rate:	-2,32 m/min
Avg. RPM:	167	Avg. BRN:	400



Tørr metode – MDM

- MDM = Modified dry mixing (avhengig av entreprenør)
- Vann tilføres på vei ned, bindemiddel på vei opp
- Brukes mest i sand, silt, fast leire (iblant bløt leire)



Våt metode

- Vanligst internasjonalt, lite og STORT (Ø1-3 m)
- Faste masser, større dybder, mindre avvik, høyere fasthet (?)
- 3 prosjekt + 1 testfelt i Skandinavia



Våt metode

Blandestasjon



Silo



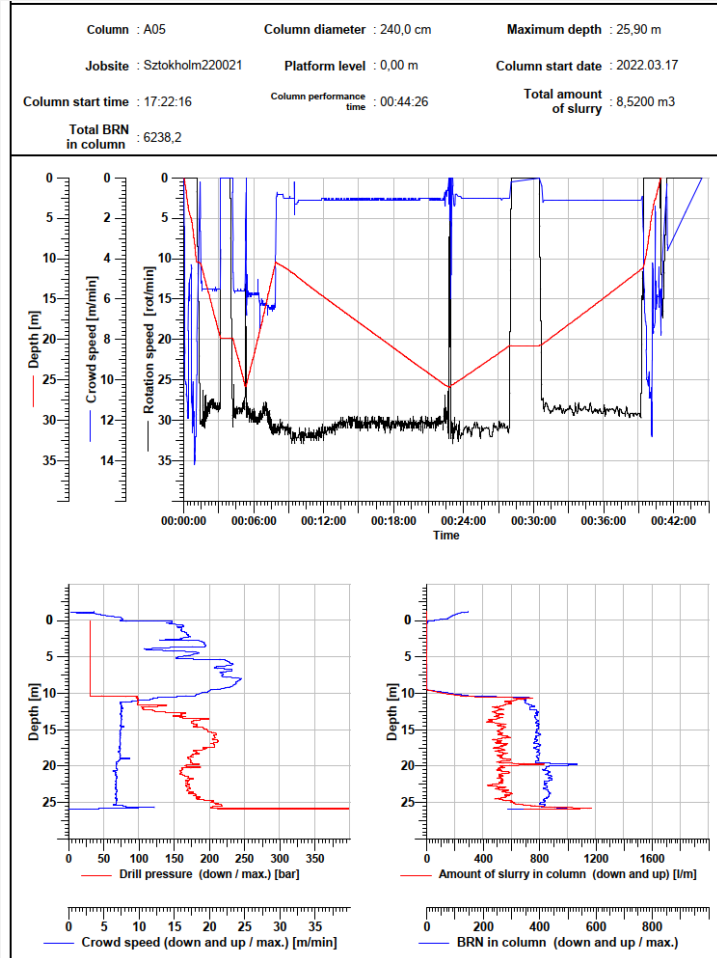
Shear blade/free blade/anti-kebab



Utmating av slurry i bunn

Våt metode

- Tilføring av slurry på vei ned (og opp)
- Ofte 2 cykler
- Ofte høy bindemiddelmengde
- Eksempel på protokoll →



Våt metode

- ↗ God blanding kan være vanskelig å få til → krever testpeler og/eller lokal erfaring
- ↗ Mange variabler:
 - Bindemiddelmengde
 - Vannmengde (w/c)
 - Antall omganger, «forskjæring» med vann
 - Når slurry pumpes ut, hvor mye per tidsenhet
 - BRN / stigningshastighet + rotasjonshastighet
 - Utforming av blandingsverktøy



Tørr vs. våt metode



25-50 omdr/min



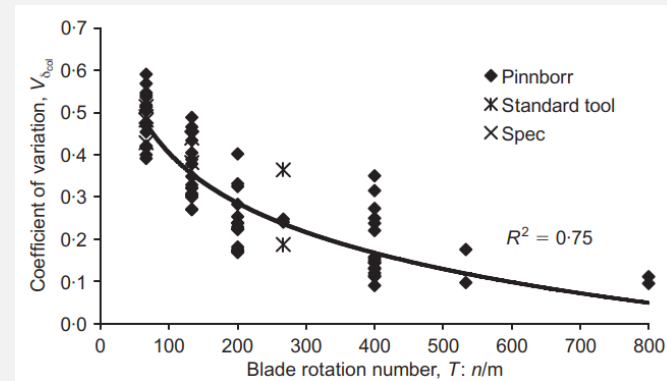
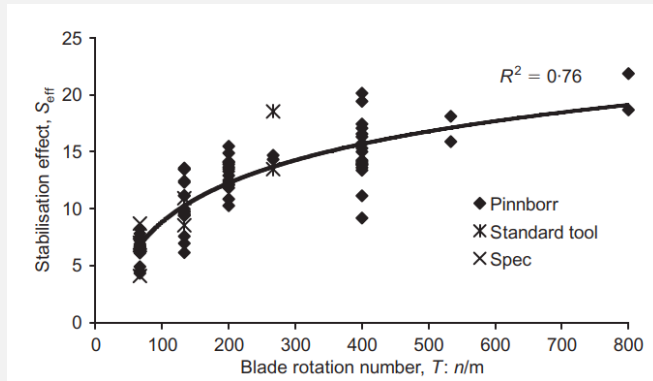
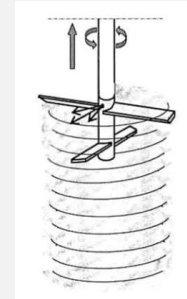
150-200 omdr/min

Tørr vs. våt metode

Parameter	Tørr metode	Våt metode
Naturlig vanninnhold	Fungerer godt for $w > 30\%$	Fungerer godt også med lavere w
Sensitivitet, omrørt fasthet	Best i sensitiv leire, $c_{ur} < 5-10$ kPa	Fungerer godt også i lavsensitiv leire
Organisk innhold	Fungerer godt, også i torv	Fungerer ok, men krever generelt mer bindemiddel
Mengde returmateriale	Veldig lavt (unntatt kvikkleire)	En god del ($>15-20\%$ av stabilisert volum)
Temperatur $< 0^{\circ}\text{C}$	Fungerer godt	Krever tiltak
Fasthet og stivhet	Vanligvis relativt lav	Kan få opp til og over 5 MPa avhengig av lokale forhold
Alternative bindemidler	Brukes ofte (CKD, LKD, asker), må være tørre	Oftest sement og GGBS (slag), må kunne være i suspensjon
Muligheter for å passere hindringer i grunn	Dårlig	God
Homogenitet	Oftest god når $w > w_L$	Kan bli mye bedre enn tørr metode
Oppfølgingsbehov	Oftest lite	Veldig stort
Kostnad	Lav	Høyere

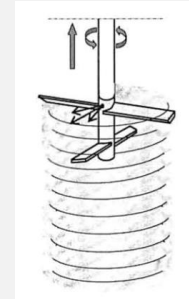
Blade rotation number (BRN)

- ↗ = antall pinnerotasjoner per meter pel
 - Antall pinner x 1000 / (stigning i mm/omdr)
 - Eksempel: 8 vinger, 20 mm/omdr = 400 i BRN
- ↗ Korrelert mot fasthet og homogenitet



Blade rotation number (BRN)

- ↗ = antall pinnerotasjoner per meter pel
 - Antall pinner x 1000 / (stigning i mm/omdr)
 - Eksempel: 8 vinger, 20 mm/omdr = 400 i BRN
- ↗ Korrelert mot fasthet og homogenitet
- ↗ Begrenser minste mengde bindemiddel i pel
- ↗ Anbefalt i Sverige for tørr metode:



Stigning och Blade rotation number:	Max 15 mm/varv	BRN ¹ > 320	vid inblanding av enbart cement i alla typer av jordar
(BRN)¹	Max 20 mm/varv	BRN ¹ > 250	vid inblanding i gyttjig lera eller organisk jord
	Max 25 mm/varv	BRN ¹ > 200	vid inblanding av enbart kalk

- ↗ Våt metode BRN >500

Kontroll og oppfølging

Produksjonskontroll

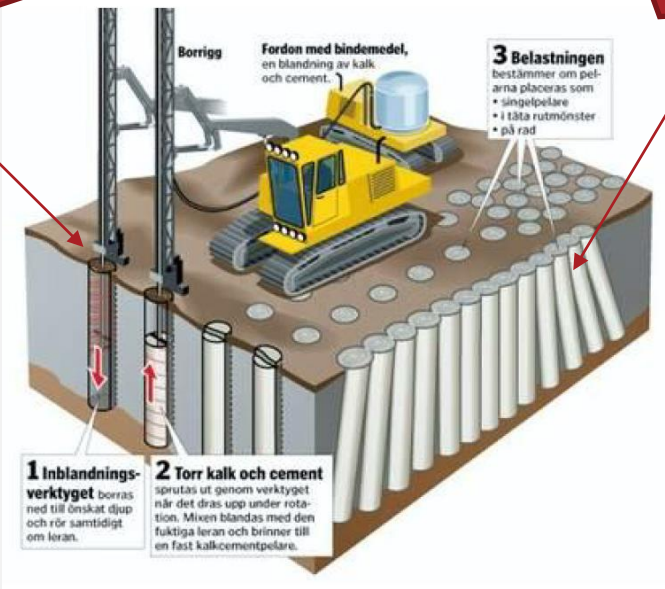
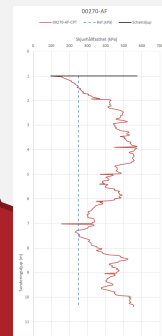
Utførelse iht. beskrivelse og krav? (kontroll av protokoller):

- Produksjonsavvik: ansett og helning
- Bindemiddelmengde (leveranse, over pel, total mengde)
- Innblanding (BRN, stigning)
- Annet (f eks for våt metode)

Resultatkontroll

Hva ble resultatet, f eks fasthet?

- FKPS, FOPS, CPTU
- Prøvetaking og labanalyser
- Seismikk, f eks Klimagrunn

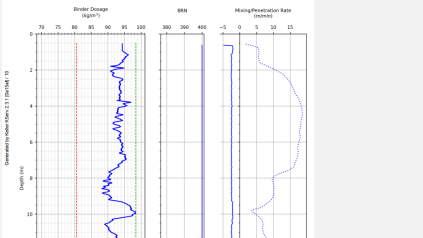


Oppfølging

Generell oppfølging og påvirkning omgivelser?

- Observasjoner ved utførelse
- Poretrykk og deformasjoner
- Stabilitet?

Equipment:	305	Start Date:	2023-09-21
Mixing Tool:	263	Start Time:	07:52:42
Shaft Hole Length:	14.62 m	Completion Date:	2023-09-21
Column Diameter:	0.85 m	Completion Time:	08:50:37
Number of Strokes:	1	Max. Shaft Depth:	14.62 m
Total Binder Weight:	973 kg	Avg. Binder Dosage:	92.89 kg/m³
Avg. L/R Coeff.:	0.1327 m/min	Avg. Pull Rate:	-2.22 m/min
Avg. RPM:	167	Avg. BRN:	400



Stroke Number	Time	Start	End	Depth (m)	Depth	Rate	Rate	Rate	Rate	Total Weight	Avg. Weight
305	10:01:04	10:01:04	10:01:04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
306	10:01:04	10:01:04	10:01:04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
307	10:01:04	10:01:04	10:01:04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
308	10:01:04	10:01:04	10:01:04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
309	10:01:04	10:01:04	10:01:04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
310	10:01:04	10:01:04	10:01:04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
311	10:01:04	10:01:04	10:01:04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
312	10:01:04	10:01:04	10:01:04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
313	10:01:04	10:01:04	10:01:04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
314	10:01:04	10:01:04	10:01:04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
315	10:01:04	10:01:04	10:01:04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
316	10:01:04	10:01:04	10:01:04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
317	10:01:04	10:01:04	10:01:04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
318	10:01:04	10:01:04	10:01:04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
319	10:01:04	10:01:04	10:01:04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
320	10:01:04	10:01:04	10:01:04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
321	10:01:04	10:01:04	10:01:04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
322	10:01:04	10:01:04	10:01:04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
323	10:01:04	10:01:04	10:01:04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
324	10:01:04	10:01:04	10:01:04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
325	10:01:04	10:01:04	10:01:04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
326	10:01:04	10:01:04	10:01:04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
327	10:01:04	10:01:04	10:01:04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
328	10:01:04	10:01:04	10:01:04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
329	10:01:04	10:01:04	10:01:04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
330	10:01:04	10:01:04	10:01:04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Oppfølging

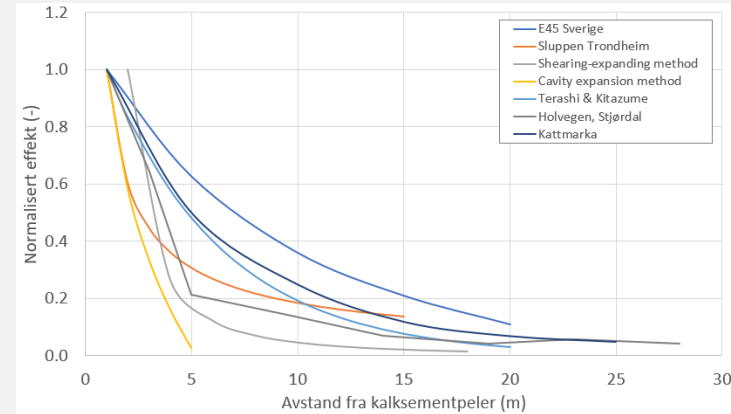
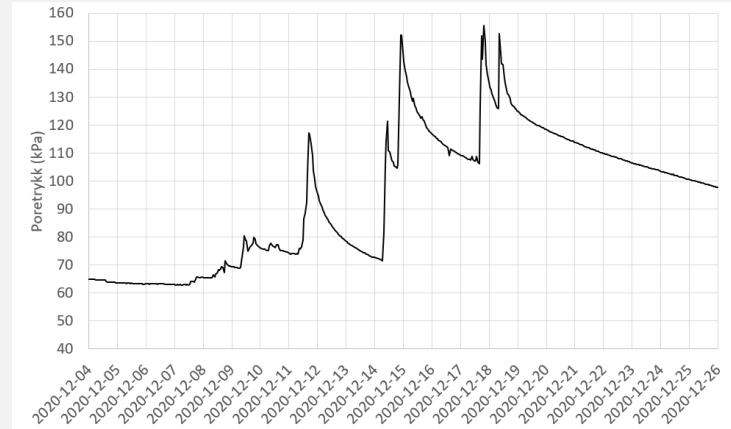
↗ Observasjoner i felt

- Kraterdannelse (tørre forhold, over grunnvannstand, tykk og fast tørrskorpe)
- Kontinuerlig bobling, returstrøm av kvikkleire
- Ukontrollert utblåsing/evakuering av luft ikke bra



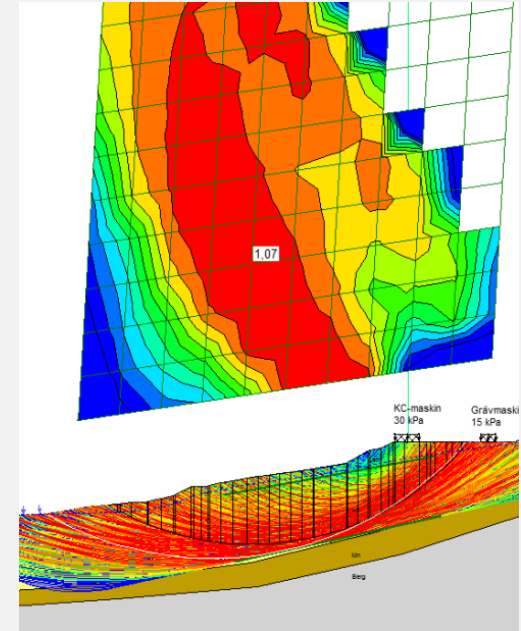
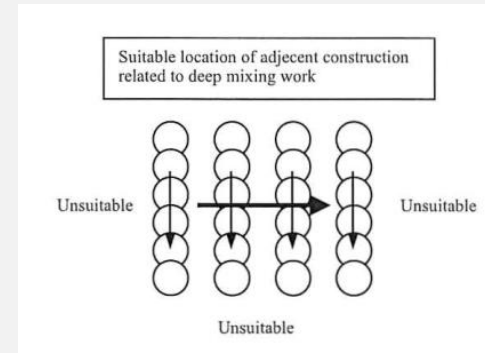
Oppfølging

- Poretrykk og deformasjoner →
- Ofte neglisjerbar påvirkning rundt 20 m fra pelinstallasjon



Oppfølging

- Arbeid i naturlige skråninger og nære konstruksjoner krever planlegging
 - Rekkefølgekrav på arbeid
 - Ventetider
 - Motfyllinger / avlastninger
- Stabilitetsanalyser og terskelverdier er «utfordrende»



Produksjonskontroll

- ↗ Toleranser i dagens veiledning
 - Ansett <100 mm
 - Helning 50:1 (20 mm/m) eller 100:1 (10 mm/m)

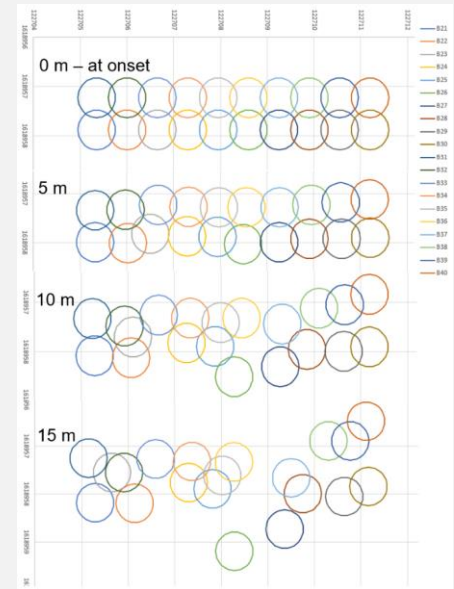
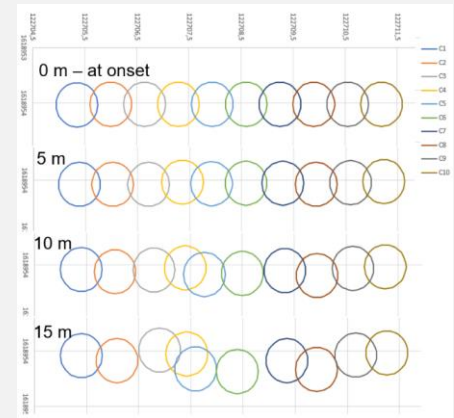
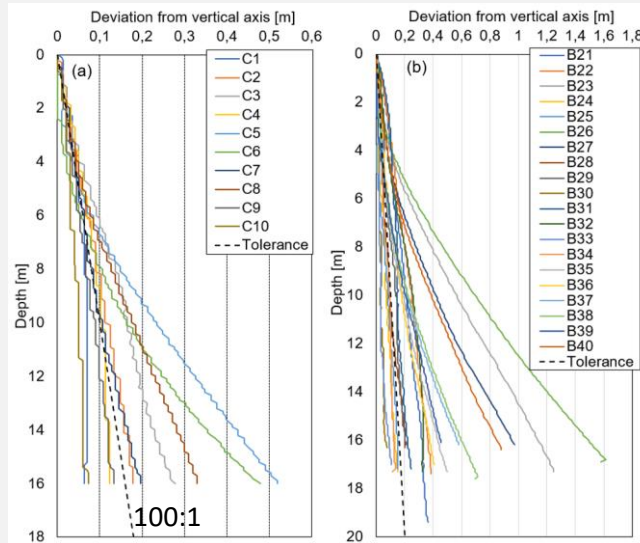
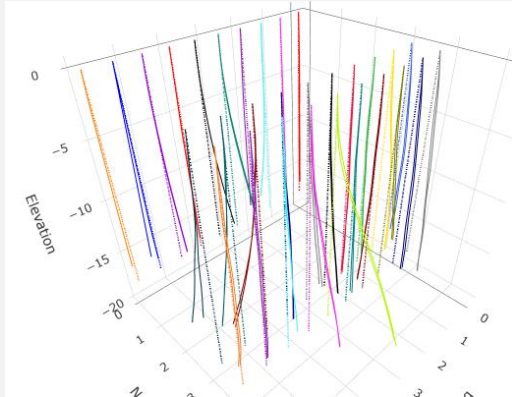
- ↗ Hvilken helning har vi egentlig?
 - Eksempel fra målinger E6 Kvithammar-Åsen
 - Formål å sammenligne enkel og dobbel ribbe

Produksjonskontroll



Produksjonskontroll

- Innenfor toleranse i toppen (både ansett og helning)
- Ukontrollert under 5-10 m pga utbøying av borstang



Resultatkontroll

- ↗ Våt metode
 - Wet grab
 - Kjerneprøver og enaks
- ↗ Tørr metode og massestabilisering
 - FKPS
 - FOPS
 - Prøvetaking
- ↗ Seismikk
- ↗ Klimagrunns arbeidsmetodikk



Våt metode

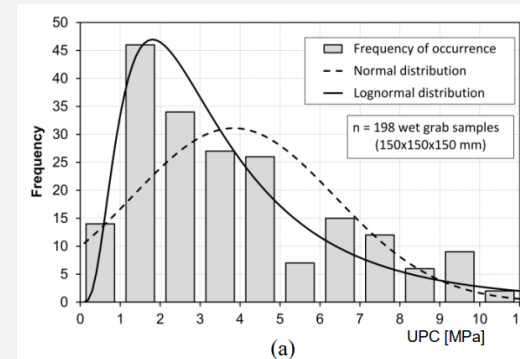
- Wet grab og herding i lab
- Kjerneprøvetaking
- Statistisk behandling av data, eksempel:

$$f_{ck} = \bar{q}_{uf} - m \times s_d$$

f_{ck} = karakteristisk trykkfasthet

\bar{q}_{uf} = gjennomsnittlig trykkfasthet målt ved enaksforsøk (= 1000 kPa)

m = faktor for å ta hensyn til statistisk spredning. $m = 0,84$ tilsvarer 80 % konfidensnivå, dvs. at 20 % av målte trykkfastheter kan være lavere enn f_{ck}



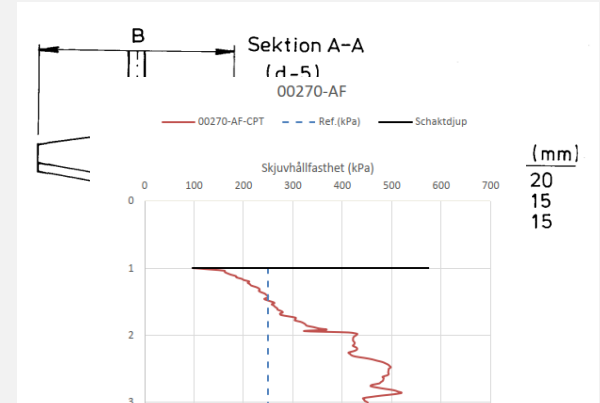
FKPS

- Forboring med totalsondering e.l.
- Penetrasjon 20 mm/s
- Bredde på sonde < diameter på pel
- Tolkning:

$$c_u = \frac{1}{N_k} \frac{Q_c}{A_{sonde}}$$

Q_c = spissmotstand
 A_{sonde} = netto areal sonde
 $N_k = 10$

- Ulemper: kan gå ut av pel, begrenset fasthet



FOPS

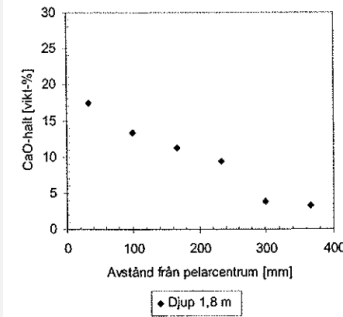
- ↗ Brukes i Norge
- ↗ Vaier føres inn i borstang fra bunn, trekkes opp etter herding
- ↗ Lik tolkning som for FKPS



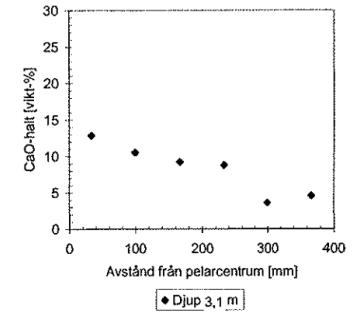
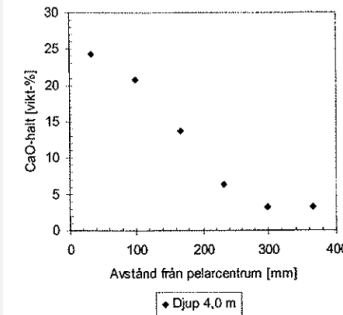
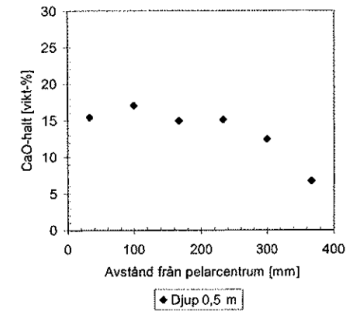
FOPS

- Ulemper: forhåndsbestemt kontroll, begrenser mulighet til supplerende kontroll, forstyrrer produksjonen, usikkerheter med vaierkorreksjon, usikkert hvordan bindemidlet spres i pel →

FOPS-peler

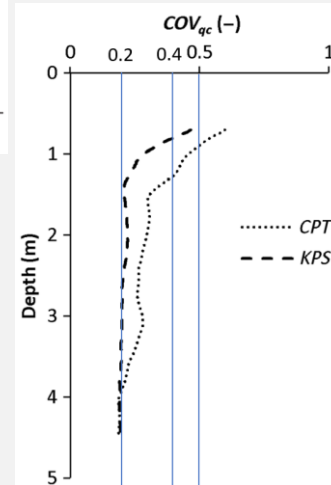
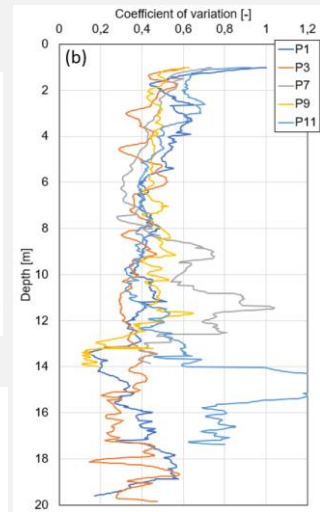
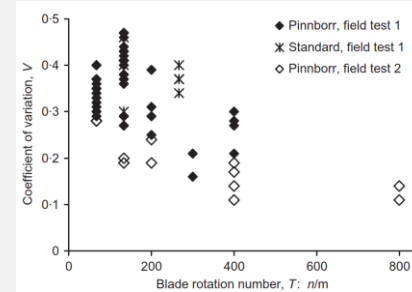
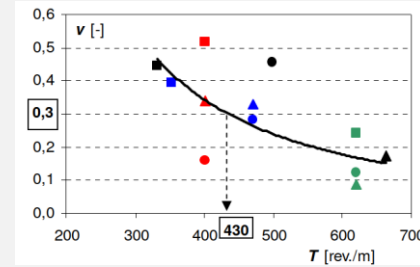
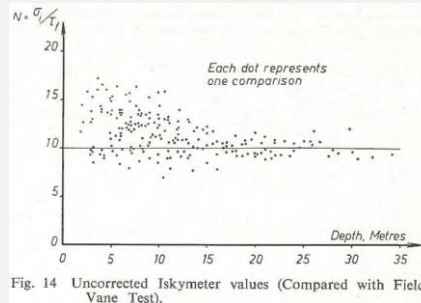
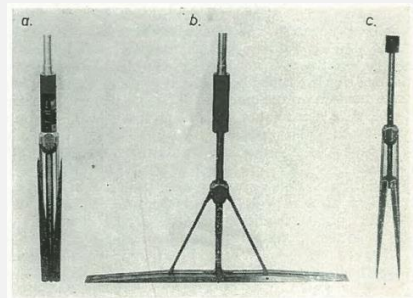


Vanlige peler



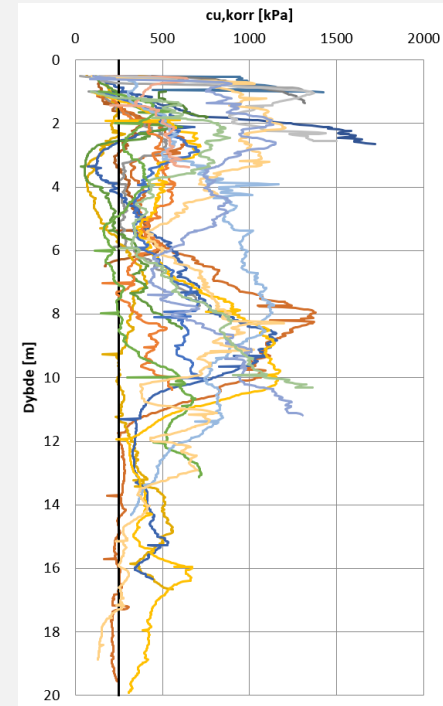
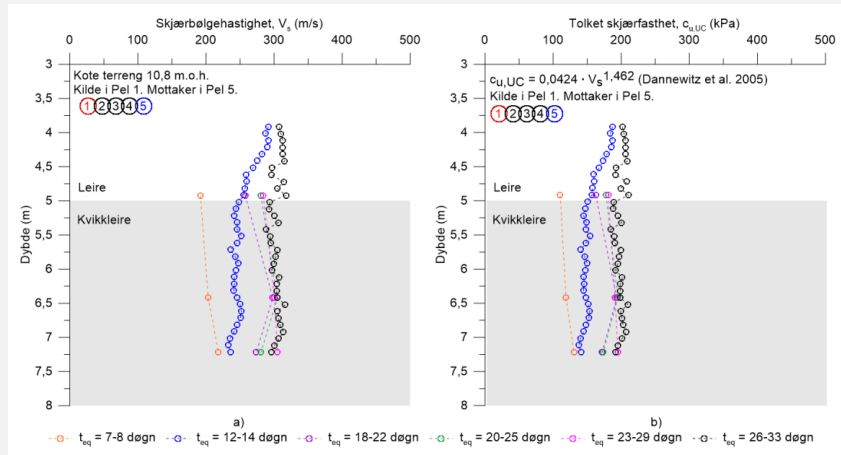
Variabilitet og usikkerheter

- Hvilken spredning har vi?
- Variasjonskoeffisienten er oftest rundt 20–50% →
- Korrelasjonsgrunnlag for $N_k = 10 \downarrow$
 - SGI, 1940-tallet, bløt og organisk leire



Hvordan tenker vi her?

- Hva er karakteristisk fasthet?
- Tar vi hensyn til COV=20-50%?

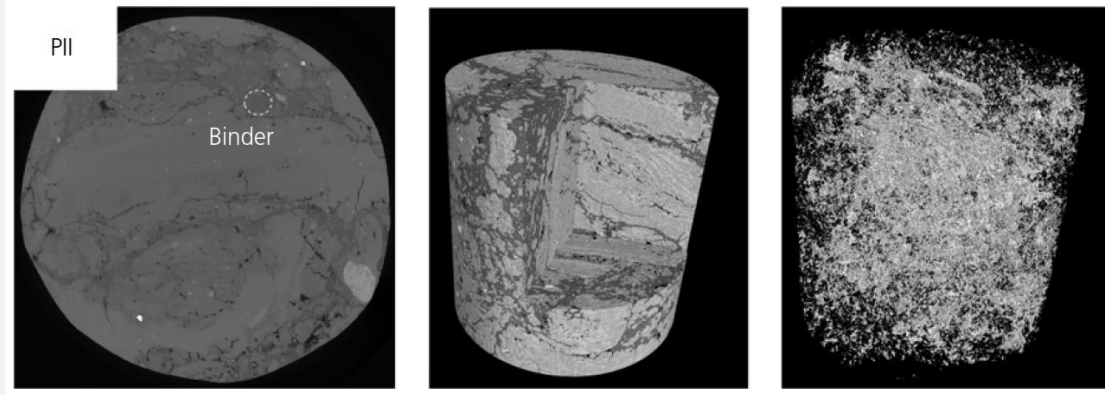


Take aways

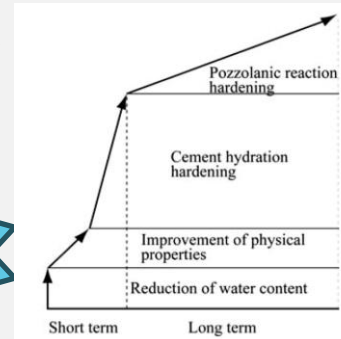
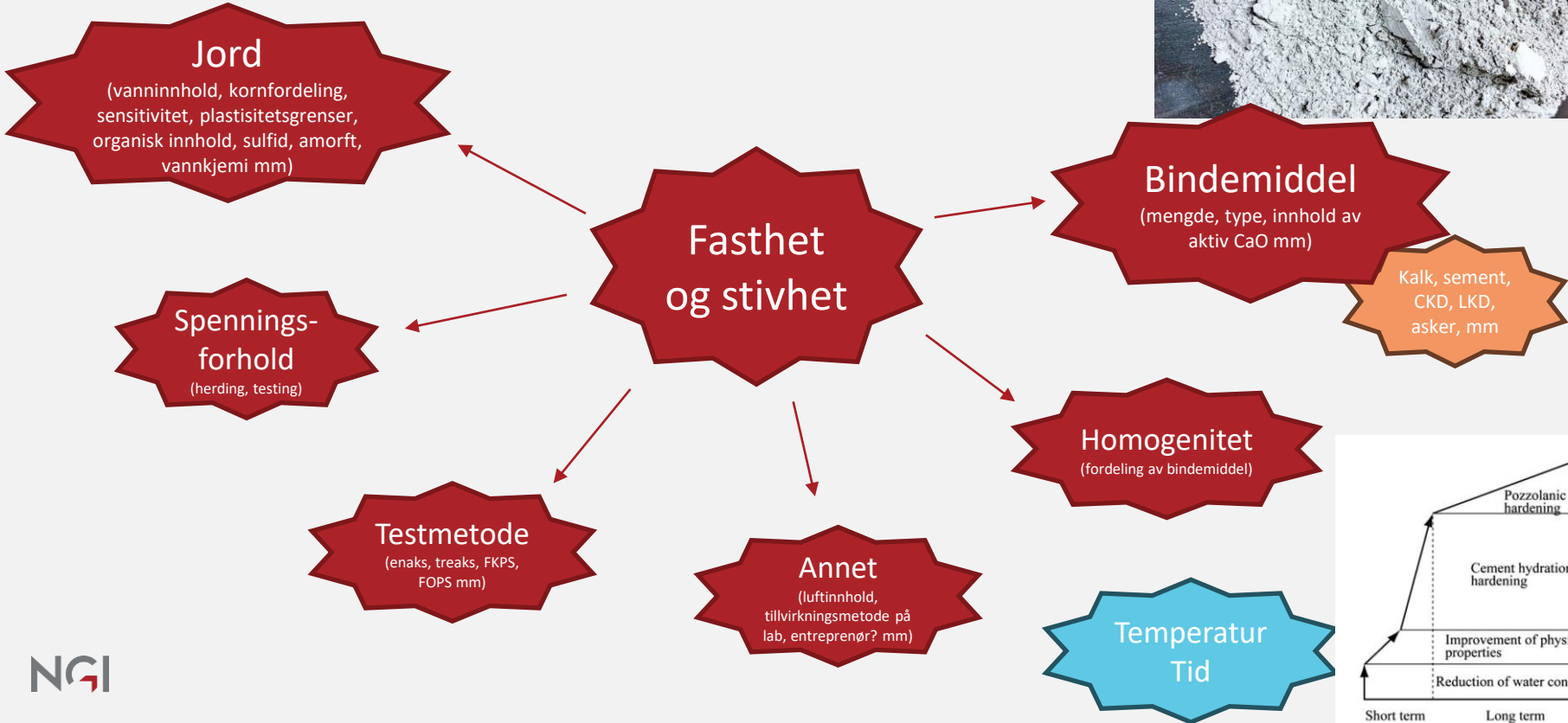
- Kalksementpeler er en lav-prismetode
 - Vi har mange usikkerheter (avvik, variasjon i fasthet, grunnforhold, tolkningsgrunnlag)
 - Styrketak er derfor logisk
 - Tenk gjennom kontrollmetode og -omfang
- Vi har enkle beregningsmodeller
 - Samvirke stabilisert leire og ustabilisert leire?
- Vi bør være forsiktige med lave bindemiddelsmengder ($<50 \text{ kg/m}^3$)



Spørsmål / innspill?

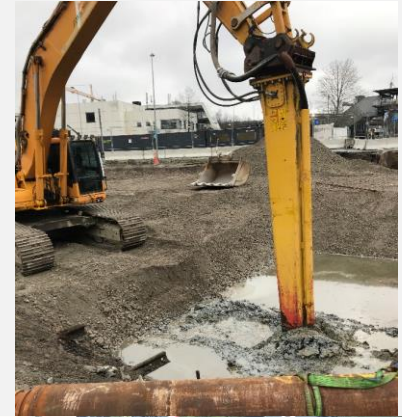
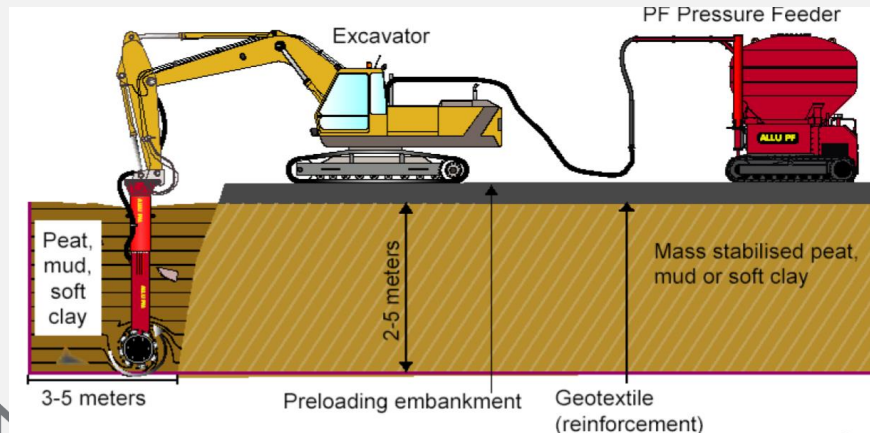


Bindemidler, fasthet og stivhet...




Massestabilisering

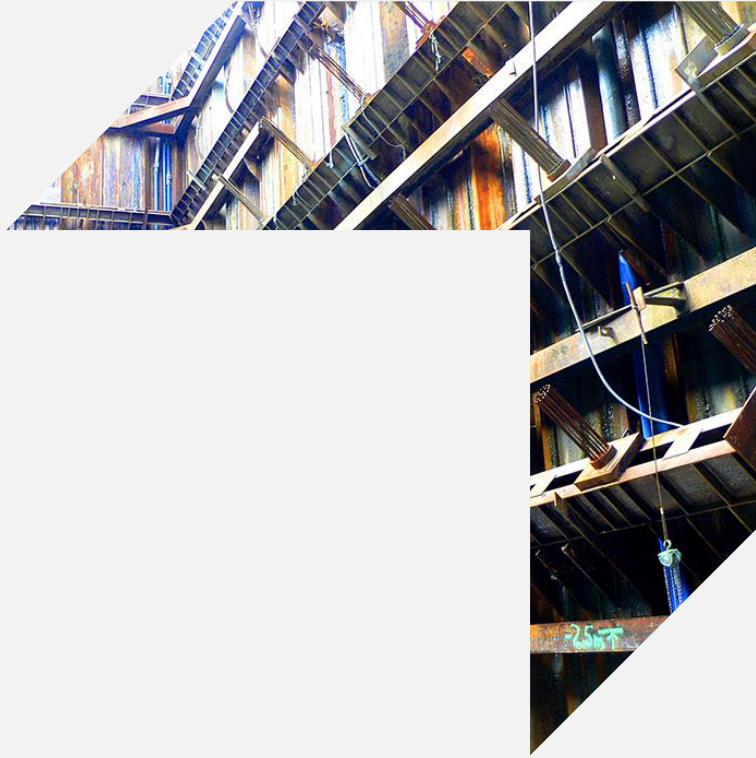
- Tørr eller våt metode
- Gravemaskin med ALLU-mix
- Torv, gytje, meget bløt leire
- Ned til ca 5 m dybde



Massestabilisering

➤ Dokumentasjon grafisk eller tabell:

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>Mass Mixing Production Report</p> <p>Project Name: SE-311622 Skarpövågen Mass mixing Location: Stockholm, SWE</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Date: 6/1/2016-9/27/2016</p> </div> <div style="text-align: right;">  </div> </div>												
Namn Maskin	Namn Handprotokoll	Date	Start Time	Duration	Top Of Cell Project Z	Depth	Area	Reduce of volyme	Cell Volume	Total Binder Weight	Avg. Kg/m3	Comments
A5		9/2/2016	8:43 AM	00:07:49	50,0 m	1,4 m	5,5 m2	1,0 m2	6,7 m³	2,60 tonnes	388 kg/m³	Ton från handprotokoll
A6		9/2/2016	8:37 AM	00:03:45	49,7 m	1,2 m	5,5 m2	0,8 m2	6,0 m³	2,70 tonnes	448 kg/m³	Ton från handprotokoll
A7		9/2/2016	8:31 AM	00:04:16	49,8 m	1,3 m	5,5 m2	0,9 m2	6,3 m³	2,61 tonnes	412 kg/m³	
A8		9/2/2016	8:24 AM	00:04:06	49,9 m	1,5 m	5,5 m2	1,1 m2	7,0 m³	2,53 tonnes	362 kg/m³	
A9		9/2/2016	8:15 AM	00:06:58	49,8 m	1,6 m	5,5 m2	1,3 m2	7,6 m³	2,93 tonnes	384 kg/m³	
A10		9/2/2016	8:06 AM	00:06:17	49,8 m	2,0 m	5,5 m2	2,0 m2	9,0 m³	3,01 tonnes	333 kg/m³	
A11		9/2/2016	7:51 AM	00:06:30	49,8 m	2,4 m	5,5 m2	2,8 m2	10,2 m³	2,87 tonnes	280 kg/m³	
A12		9/1/2016	6:55 PM	00:07:25	50,0 m	2,2 m	5,5 m2	2,5 m2	9,8 m³	3,01 tonnes	308 kg/m³	
A13		9/1/2016	6:44 PM	00:07:35	49,8 m	2,1 m	5,5 m2	2,2 m2	9,3 m³	3,40 tonnes	364 kg/m³	Ton från handprotocol
A14		9/1/2016	6:31 PM	00:05:00	49,8 m	2,4 m	5,5 m2	2,8 m2	10,2 m³	3,50 tonnes	344 kg/m³	Ton från handprotocol
A15		9/1/2016	6:19 PM	00:08:09	50,5 m	3,3 m	5,5 m2	5,3 m2	12,6 m³	3,34 tonnes	264 kg/m³	Mindre volym enligt operatör pga av väg in i området
A16		9/1/2016	5:47 PM	00:10:35	49,8 m	2,8 m	5,5 m2	4,0 m2	11,6 m³	3,03 tonnes	262 kg/m³	Mindre volym enligt operatör pga av väg in i området
A17		9/1/2016	5:32 PM	00:08:52	50,0 m	3,4 m	5,5 m2	5,8 m2	12,9 m³	2,83 tonnes	219 kg/m³	Mindre volym enligt operatör pga av väg in i området
A18		9/1/2016	5:16 PM	00:11:46	49,9 m	3,5 m	5,5 m2	6,0 m2	13,0 m³	5,04 tonnes	387 kg/m³	
A19		9/1/2016	3:46 PM	00:07:29	49,9 m	3,1 m	5,5 m2	4,9 m2	12,3 m³	5,38 tonnes	436 kg/m³	
A20		9/1/2016	3:33 PM	00:08:41	49,6 m	3,2 m	5,5 m2	5,1 m2	12,5 m³	5,39 tonnes	432 kg/m³	
A21		9/1/2016	3:00 PM	00:14:24	49,8 m	3,4 m	5,5 m2	5,8 m2	12,9 m³	5,71 tonnes	442 kg/m³	
A22		9/1/2016	12:13 PM	00:09:58	49,8 m	3,6 m	5,5 m2	6,3 m2	13,2 m³	5,73 tonnes	432 kg/m³	
A23		9/1/2016	11:53 AM	00:09:21	49,7 m	3,6 m	5,5 m2	6,5 m2	13,3 m³	5,73 tonnes	430 kg/m³	Fel djup i maskin, uppdaterat till 3,2m
A24		9/1/2016	11:35 AM	00:11:14	49,7 m	3,4 m	5,5 m2	5,7 m2	12,9 m³	5,81 tonnes	452 kg/m³	
A25		9/1/2016	3:20 PM	00:10:01	49,9 m	3,8 m	5,5 m2	7,4 m2	13,7 m³	5,66 tonnes	412 kg/m³	
A26		9/1/2016	9:38 AM	00:19:34	49,7 m	3,9 m	5,5 m2	7,8 m2	13,9 m³	5,87 tonnes	422 kg/m³	
A27		9/1/2016	9:25 AM	00:09:07	49,7 m	3,9 m	5,5 m2	7,6 m2	13,8 m³	6,01 tonnes	434 kg/m³	Fel djup i maskin 3,9m
A28		9/1/2016	9:07 AM	00:12:09	49,6 m	3,8 m	5,5 m2	7,1 m2	13,6 m³	5,92 tonnes	434 kg/m³	





#onsafeground