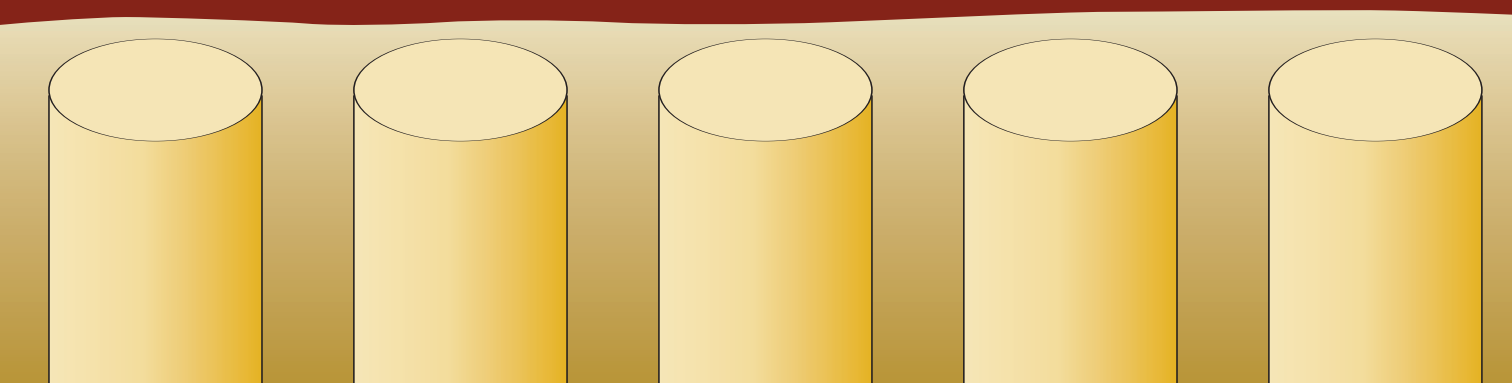


Grunnforsterkning MED KALKSEMENT





Innholdsfortegnelse

Grunnforsterkning med kalksement	3
Anvendelse	4
Pelemateriale	6
Bestemmelse av skjærfasthet	6
Stabiliseringsmiddel	6
Vanlig mønster og tetthet for pelene	7
Setninger	7
Stabilitet	7
Innblandingsutstyr	8
Peleinstallasjon	8
Massestabilisering	8
Kontroll og oppfølging	9
Kostnader	10
Anbud og bestilling av arbeider	10
HMS og miljøhensyn	10
Referanser	11
Prosjekt	11

GRUNNFORSTERKNING MED KALKSEMENT

Grunnforsterkningen kan enten utføres ved etablering av dype kalksementpeler eller ved at hele øvre massevolumet blir stabilisert. Metoden anvendes ved veg- og jernbanebygging, kommunaltekniske anlegg, byggegroper, anleggsveger og ved sikring av skråninger.

Kalksementstabilisering utføres ved at kalk og sement blandes inn i grunnen ved hjelp av en visp som med dagens utstyr når 15-25 m dypt (peler) og 5-7 m dypt (massestabilisering). Denne innblandingen gir grunnen en fasthetsøkning som bedrer egenskapene med hensyn til setninger, stabilitet og vibrasjoner. Økonomisk

kommer metoden ofte fordelaktig ut sammenlignet med alternative løsninger. Massestabilisering er en relativt ny metode og er kun brukt ved et par prosjekter i Norge. Denne brosjyren gir en kort oppsummering av kalksementpeler (KS-peler), massestabilisering og hvordan bruken tilpasses norske forhold.





ANVENDELSE

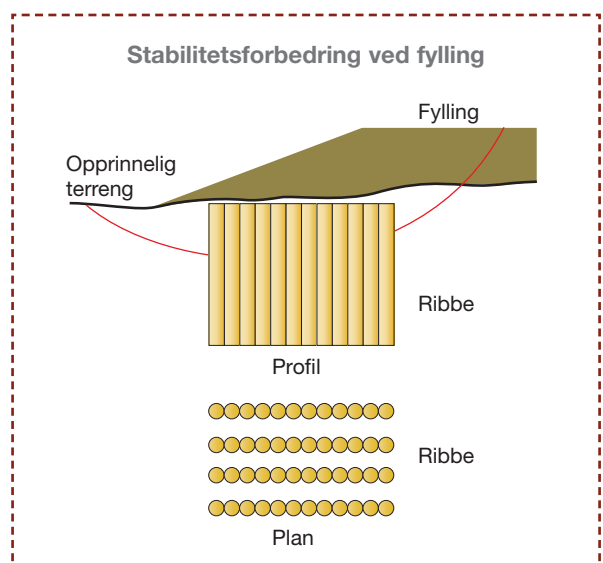
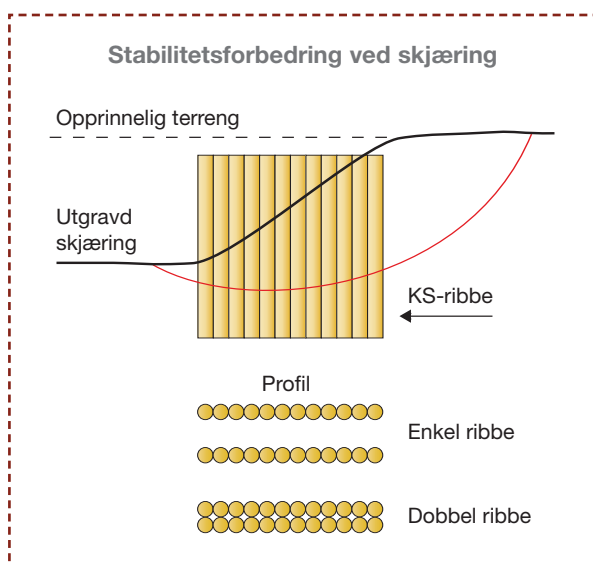
Grunnforholdene har vesentlig betydning for det endelige produktet og anvendbarheten av metoden. Kalksementpeler er mest brukt der det er leire med skjærfasthet (5-30 kPa) og/eller hvor det er sensitiv leire. Metoden gir en rask fasthetsforbedring i kvikkleire. Fasthetsforbedringen etter innblanding av kalksement er omtrent 10-50 ganger opprinnelig fasthet. For typiske norske forhold vil det si at en kan forvente en fasthet fra 100 til 600 kPa i det som er stabilisert (pelen) etter innblanding og herdning. Fasthetsøkningen i stabilisert grunn kan pågå over flere måneder, men normalt regnes det kun med fasthetsøkning ved 28 dogn.

Viktige jordartsparametere er jordart (leire, silt), vanninnhold, humusinnhold, sensitivitet og skjærfasthet. Eventuelt innhold av steiner i grunnen er også viktig med hensyn til slitasje på utstyret.

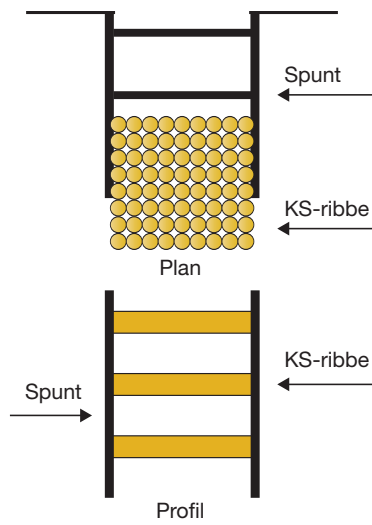
Lavt vanninnhold gir som oftest høyere fasthet enn høyt vanninnhold under ellers like forhold.

Silt behøver oftest mer innblandingsarbeid enn leire.

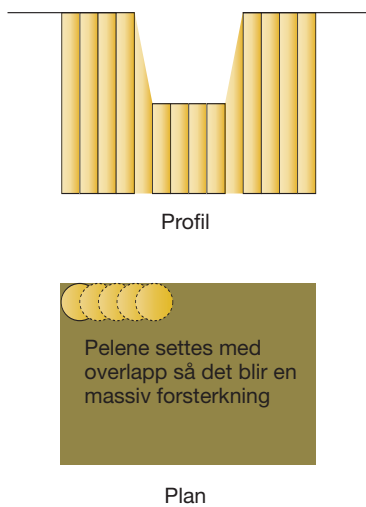
Humusinnhold kan gi dårligere fasthet i leira og bør vurderes spesielt med hensyn til valg av stabiliseringsmiddel og mengde.



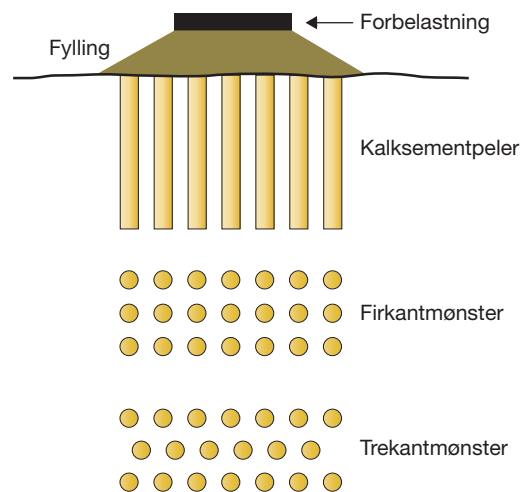
Avstivning mellom spuntvegger og motvirkning mot bunnoppressing



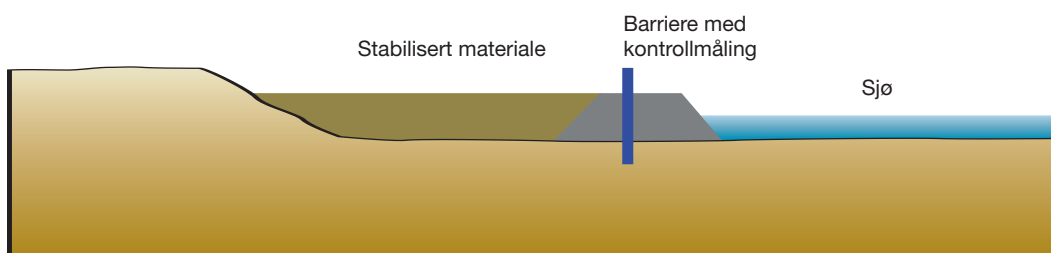
Grøftesikring



Setningsreduksjon og vibrasjonsreduksjon

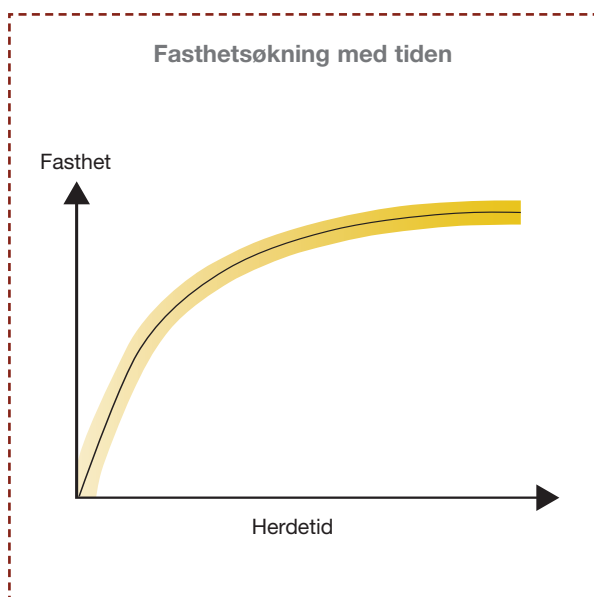


Stabilisering av forurensede sedimenter



PELEMATERIALET

Fastheten som oppnås i pelene avhenger av 1: jordartsegenskaper (jordart, vanninnhold, humusinnhold, sensitivitet, skjærspenning), 2: innblandingsarbeidet (visptype, stigning pr omdreining, rotasjonshastighet), 3: stabiliseringsmiddel (kalk, sement, andre bindemidler) og 4: innblandingmengde (antall kg innblanding pr m pel og blandingsforhold). Etter at pelene er laget øker fastheten i en herdeprosess.



BESTEMMELSE AV SKJÆRFASHTHET

Først må en avklare om jordarten er egnet for stabilisering. Laboratorieforsøk der en blander inn antatt mengde kalksement er en egnet metode. Prøvene blir testet med hensyn til økt skjærfasthet ved enaksiale trykkforsøk etter ønsket herdetid. Fastheten som laboratorieprøvene gir, indikerer hva en kan forvente i felten, men en skal være forsiktig med å dimensjonere konstruksjonen etter disse verdiene. Viktige parametere som herdeforhold og innblanding kan være forskjellig fra de en har i felten.

Endelig dimensjonering av innblandingmengde bør, ved større prosjekter, utføres på bakgrunn av feltforsøk med det utstyret som skal brukes ved installasjonen. Det er av betydning at det benyttes samme utstyr og prosedyre som ved de arbeidene som senere skal utføres. Forskjeller i utstyr og prosedyre kan gi store forskjeller på det endelige produktet.

Feltforsøk kan utføres ved at peler med ulik innblanding/innblandingprosedyre installeres. Installasjon av

pelene for forsøket tar omtrent en dag. Etter en viss herdetid (1, 7, 14 eller 28 døgn) tas det prøver av pelene som deretter blir testet i laboratoriet for bestemmelse av dimensjonerende skjærfasthet. Eventuelt utføres in situ forsøk.

Ved mindre prosjekter kan en forsiktig antagelse basert på laboratorieforsøkene benyttes for dimensjonering. Eventuelt kan representative parametere fra tilsvarende forhold benyttes. Vurderingen av parametrene og fastlegging av designdata bør gjøres av geoteknisk rådgiver.

STABILISERINGSMIDDEL

Stabiliseringsmidlene og kombinasjoner av dem har betydning for hvilke egenskaper pelene får.

Kalk: **Brent kalk CaO**
Kornstørrelse 0 – 0,2 mm
CaO innhold > 80 %
Flytbarhet > 70

Sement: **Standard Portlandsement eller tilsvarende**
Kornstørrelse 0-0,2 mm
Flytbarhet > 40

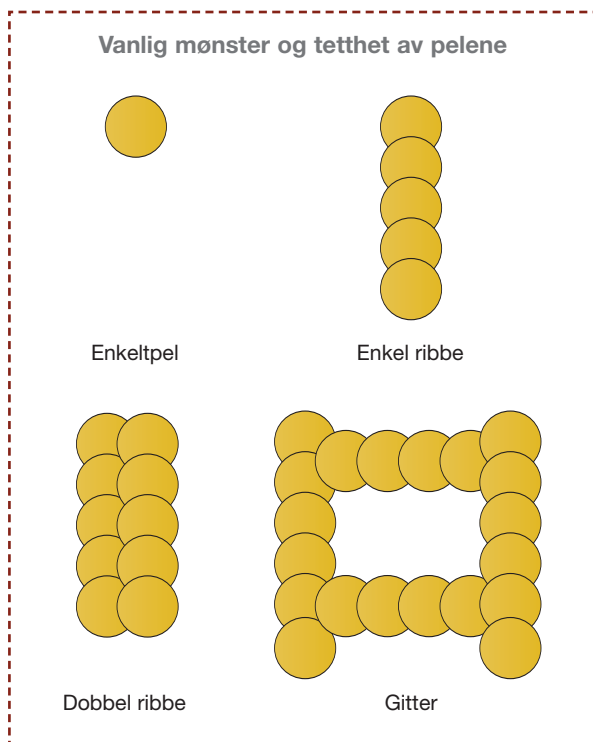
Andre bindemidler: Det kan brukes andre bindemidler, men disse bør ikke brukes uten at prøving er utført i laboratorium og felt. Kornstørrelsen bør ligge nært 0-0,2 mm og flytbarheten og bulkdensiteten bør være i størrelse med det som er anbefalt for kalk og sement ovenfor.

Flytbarheten er et mål på hvor godt pulveret flyter gjennom rør og munnstykker.

Styrken avhenger av type og mengde stabiliseringsmiddel. Sement gir normalt høyest fasthet, kalk gir noe seigere materiale. Vanlig innblandingmengde i kalkpeler er 80 - 130 kg/m³. Den mest vanlige blandingen er 50 % kalk og 50 % sement. Ved humusinnhold er det ofte en fordel å øke sementinnholdet ved å bruke 25 % kalk og 75 % sement.

VANLIGE MØNSTER OG TETTHET AV PELENE

Kalksementpeler kan installeres enkeltvis eller i sammen i ribber, gitter eller blokk. Der pelene skal virke sammen i ribbe, gitter eller blokk er det vanlig med 10-20 cm overlapp mellom pelene. I forbindelse med installasjonen er det viktig at peler som skal henge sammen blir installert etter hverandre uten opphold. Ved installasjon av peler i doble ribber har det vært eksempler på at pelene går inni hverandre med dybden. Det innebærer at pelene er doble i toppen og enkle i foten.



SETNINGER

For å ivareta setninger er det vanlig å installere pelen som enkeltpeler i trekant- eller firkantmønster. Pelene kan virke både som avstivning og dren, men en skal være klar over at høy stivhet kan gi lavere dreneffekt. Avstivningen reduserer setningene og dreneffekten øker setningshastigheten.

STABILITET

Der pelene skal forsterke grunnen med hensyn til stabilitet bør pelene installeres i ribber, gitter eller blokk. Avstanden mellom peleelementene avgjøres av behovet for gjennomsnittelig fasthet og lokal stabilitet av naturlig grunn mellom ribber og gitter.

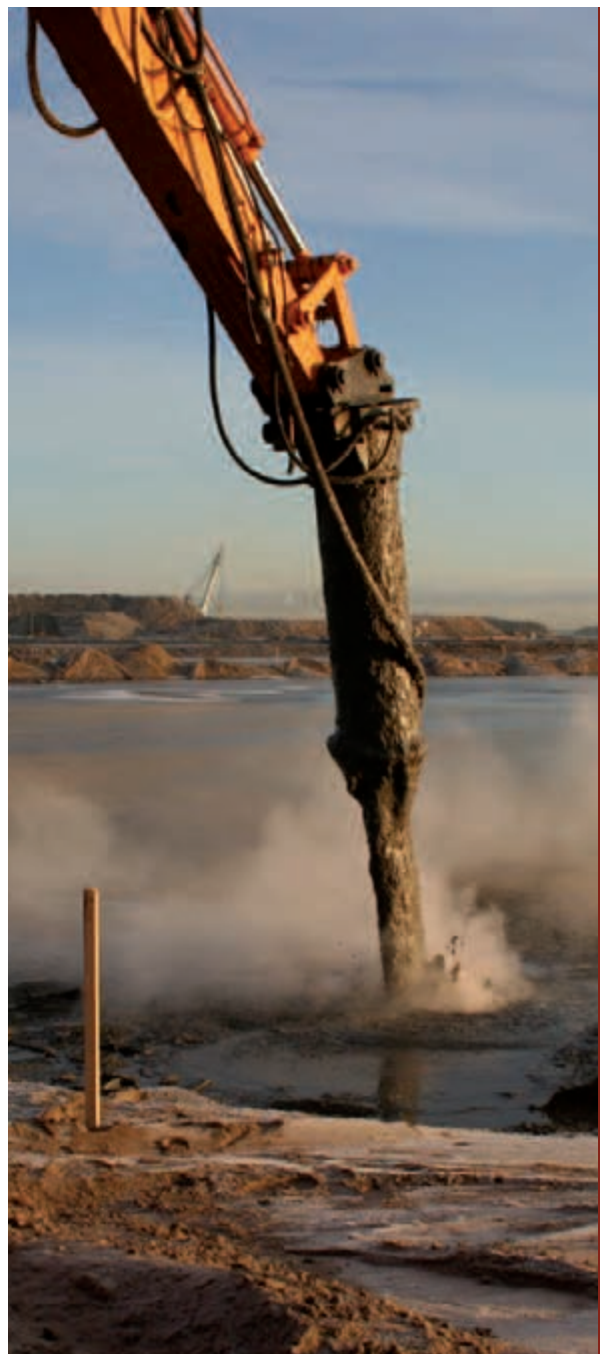
Typiske geotekniske parametere for pelematerialet

Skjærfasthet: $S_u = 100 - 400 \text{ kPa}$

Tyngde tetthet: $\gamma_{leire} = \gamma_{pel}$

Modul: $M_{kalkpel} = 50 - 100 \cdot S_u$
 $M_{kalksementpel} = 50 - 150 \cdot S_u$

Krav til herdetid settes gjerne til 2-4 uker. Fastheten i pelene kan øke i flere måneder.



INNBLANDINGSUTSTYR

Installasjonslengde på pelene er for de fleste maskiner begrenset til 15 - 20 m, men det finnes også maskiner i Skandinavia som kan sette 25 m dype peler. Vanlige vispdiameterer er 500, 600, 700, 800 og 1000 mm, hvor 600 mm er mest brukt.

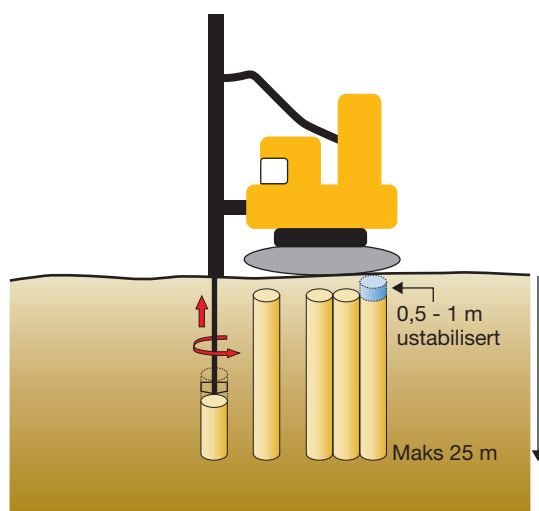
PELEINNSTALLASJON

Vispen roteres og presses ned til ønsket dybde av pelen. Pelen etableres ved at kalksementblanding pumpes inn samtidig med at vispen roterer mens den trekkes opp. Kvaliteten på pelene er svært avhengig av innblandingsarbeidet. Innblandingsarbeidet er avhengig av jevn tilførsel av kalksement, stigning pr omdreining (10-25 mm/omdr), rotasjonshastighet (70-210 omdr/min) og visptype. Pelene bør avsluttes 0,5 – 1 m under terreng på grunn av at innpumpingen av kalksement krever et mottrykk.

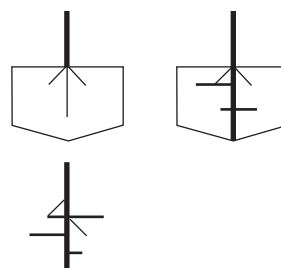
MASSESTABILISERING/MILJØSTABILISERING

Massestabilisering utføres ved at en stabiliserer hele massevolumet ved å føre innblandingsutstyret opp og ned og horisontalt slik at all jord blir blandet med innblandingsmiddelet. Metoden brukes spesielt ved etablering av anleggsveier i myr og svært bløte områder. Normalt er det en utstyrsbegrensning på 5 - 7 m dybde.

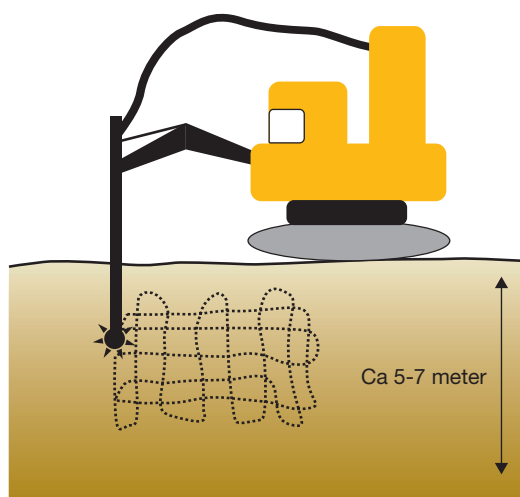
Rotasjon ved nedføring, innblanding og rotasjon ved opptrekk



Visptyper



Rotasjon og innblanding ved massestabilisering





KONTROLL OG OPPFØLGING

Peleprotokoll

- identifikasjon av hver pel
- stabiliseringsmiddel fordelt over pelelengden
- type stabiliseringsmiddel og blandingsforhold
- pelens dybde (m) (kote overkant og underkant)
- diameter (m)
- visptype
- helning (1:50, max avvik)
- stigning pr omdreining (mm pr omdr)
- rotasjonshastighet (omdr/min)
- trykk ved utpumping
- dato og ansvarshavende
- spesielle forhold eller uregelmessigheter

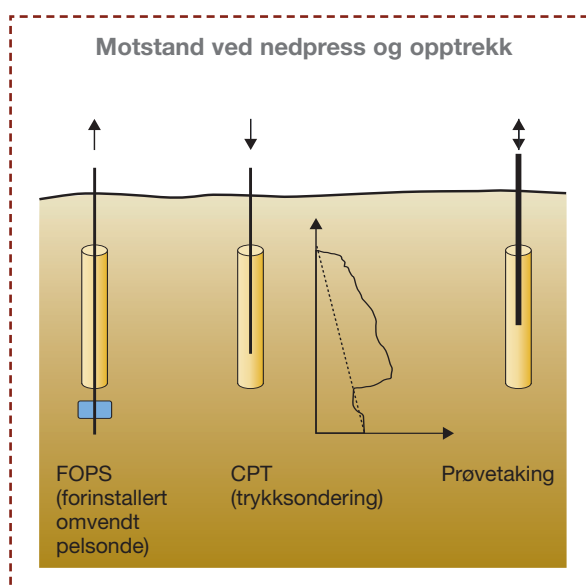
Feltkontroll

- stabiliseringsmiddel (type, mengde, følgeseddel)
- pelers plassering (plugg, GPS)
- innblåsningstrykk (med hensyn til poretrykk-oppbygging i grunnen bør det ikke brukes mer trykk enn nødvendig)

Kontroll av pelers

- Flere metoder brukes i dag for prøvetaking og in situ testing av pelene. Ingen av metodene er egnet under alle forhold.

Forinstallert omvendt pelsonde er den mest brukte in situ metoden for å kontrollere KS-pelene. Den kan brukes på pelers med diameter 500 – 1000 mm og på skjærfasthet opp til 300-400 kPa. For skjærfasthet over 250 kPa viser sonden lett for høye verdier. En ulempe ved metoden er at entreprenøren vet hvilke pelers som skal testes.



Trykksondering (CPT) er samme utstyr som brukes ved vanlig trykksondering i leire. Metoden er rask og den er lett tilgjengelig. Ulempen er at ved små diametre kan sonden gå ut av pelen.

Kjerneboring er et alternativ for pelers med god kvalitet ($s_u > 200 - 300$ kPa). Det er lettere å ta prøver i ribber eller blokker enn i enkeltpelers. Rent praktisk begrenses metoden til de øverste 10 m. Det er mest vanlig å teste prøvene med enaksiale trykkforsøk, men treaktsiale forsøk kjøres også.

Et annet alternativ er å grave opp hele eller deler av pelen og skjære ut prøvestykker for testing. Opptak av prøver med 54 mm prøvetaker like etter at pelen er installert for deretter å lagre den i herdetiden er også en metode som er noe brukt.

KOSTNADER

Pelediameter m Ca kostnad kr/m pel	0,5 55 - 75	0,6 75 - 100	0,8 110 - 130	1,0 150 - 200
Massestabilisering Ca kostnad kr/m ³	150 - 300			
Miljøstabilisering Ca kostnad kr/m ³	500 - 1000			



Mikseanlegg på Slemmestad.

ANBUD OG BESTILLING AV ARBEIDER

Teknisk beskrivelse med hensyn til bestilling av arbeider gjøres normalt i henhold til NS 3420 og Statens Vegvesen prosesskoden. Det settes normalt krav til utførelsen. Kun å sette krav til produktet uten krav til utførelse brukes tilnærmet ikke fordi en ikke har enkle gode metoder for etterkontroll. Mye av kvalitetskontrollen utføres derfor på riktig utførelse. Med hensyn til utførelse av kalksementstabilisering er det utarbeidet en ny europeisk standard (deep mixing).

HMS OG MILJØHENSYN

Ved installasjon er det viktig at miljøhensyn blir ivare tatt. Kalk og sement er dannet av naturlige materialer. Men både brent kalk og sement reagerer basisk når de kommer i kontakt med vann. Blandingen klassifiseres som irriterende. I forbindelse med utføring av arbeidene er det viktig at faren for søl og utblåsing forebygges. Videre bør det på forhånd være informert om mottiltak og datablad skal være tilgjengelig.

Ved en eventuell utblåsing er øynene spesielt utsatt. Brent kalk kan reagere med tårevæske og gi varmeutvikling. Det er derfor viktig at en ved ubehag øyeblikkelig skyller øynene med store mengder vann. For å få varmeutvikling kreves forholdsvis store kalksementmengder, slik at dette sjelden vil være et problem i forbindelse med støving. Foruten at øynene er utsatt vil også biler som blir oversprøytet med kalksement kunne få etsende skader hvis de ikke blir rengjort med rikelige vannmengder. Det er viktig at sikkerheten blir ivare tatt bl.a. ved bruk av egnet verneutstyr.

REFERANSER

- SGF Rapport 2:2000 Kalk- og kalkcementperere. Vägledning för projektering, utförande och kontroll
- SGI Rapport 48, Cement och kalk for djupstabilisering av jord
- Statens vegvesen 188. Veiledning til 018. Veg på bløt grunn. Grunnforsterkning
- NGI, Jordforsterkning med kalksementpeler. Prosedyre for laboratorieforsøk
- NS-EN14679 "Utførelse av spesielle geotekniske arbeider. Dypstabilisering".
- Ny veiledning for kalksementstabilisering er under utarbeidelse antatt ferdig høsten 2006

PROSJEKT

Noen norske prosjekt hvor kalksementstabilisering er brukt:

2005	Stabilitet byggegrop; Miljøforskningscenteret, Oslo
2004	Stabilitet veiskråninger og anleggsframkommelighet; E39 Klætt – Orkanger, Sør-Trøndelag
2004	Stabilitet av byggetomt med massestabilisering og kalksementpeler. Kolbotn kultur – og aktivitetssenter, Akershus
2003	Jernbaneverket, Vestfold
2003	E18 Kristiansand Timeneskrysset, Vest-Agder
2004	Tønsberg pakken
2005	E16, Sandvika
2005	Inforama, Sandvika
2006	Sørenga, Oslo
2006	Radiumhospitalet
2006	Lade, Trondheim



Teksten er utarbeidet i samarbeid med NGI

www.norcem.no