

RAPPORT

Forskning og utvikling, FoU

Saltstabilisering av kvikkleire (SAK)

Workshop 12. september 2019
Oppsummering av innspill

Prosjekteier:

Stjørdal kommune v/ Atle Horn

Prosjektleder:

Stjørdal kommune v/ Atle Horn

Arbeidspakkeleder:

-

Rapportforfatter:

Multiconsult v/ Tonje Eide Helle

Kvalitetssikrere:

Norges Vassdrags- og Energidirektorat v/ Stein-Are Strand
og Bane NOR v/ Geir Svanø

Prosjektbeskrivelse

Innovasjonsprosjektet «Saltstabilisering av kvikkleire (SAK)» har som mål å teste og utvikle en eller flere skånsomme og kostnadseffektive installasjonsprosedyrer for sikring av kvikkleireområder ved hjelp av saltbrønner. Prosjektet pågår fra høsten 2018 til utgangen av 2019, og er et samarbeid mellom Stjørdal kommune, Statens vegvesen, Norges Vassdrags- og Energidirektorat (NVE), Bane NOR, Norges Geotekniske Institutt (NGI) og Multiconsult AS. SAK støttes av Regionale Forskningsfond Midt-Norge, og har en totalramme på 3,2 MNOK.

Saltet kaliumklorid kan brukes som et alternativ til dagens sikrings- og grunnforsterkningsmetoder i kvikkleireområder. SAK skal utvikle og teste ut ulike installasjonsprosedyrer for saltbrønner til sikring av kvikkleireområder. I tillegg vil SAK vurdere kost-/nytte og miljøgevinst av saltbrønninstallasjon som skredsikring kontra eksisterende sikringsmetoder.

Arbeidet er delt inn i tre arbeidspakker:

Arbeidspakke 1: Installasjonsmetoder

Arbeidspakke 2: Kost-/nytte og miljø

Arbeidspakke 3: Evaluering og anbefalinger

Forord

12. september 2019 ble det arrangert workshop for å presentere hovedresultatene og konklusjonene fra Arbeidspakke 1 Installasjonsmetoder og Arbeidspakke 2 Kost-/nytte og miljø. Denne rapporten oppsummerer innspillene fra deltakerne på arbeidet som er blitt utført og veien videre. Innspillene fra workshopen innarbeides i Arbeidspakke 3 Evaluering og anbefalinger.

Prosjektgruppen i AP1 og AP2 har bestått av:

Stjørdal kommune: Atle Horn

Statens vegvesen: Ole Vidar Kirkevollen, Eigil Haugen, Bob Hamel og Tonje Eide Helle

NVE: Stein-Are Strand og Toril Wiig

Bane NOR: Geir Svanø og Margareta Viklund

NGI: Kristoffer Kåsin, Bjørn Kristian Fiskvik Bache og Marianne Kvennås

Multiconsult Norge AS: Anders Gylland

ISBN nummer:

978-827704-151-3

SAMMENDRAG

12. september 2019 ble det arrangert workshop for FoU-prosjektet «Saltstabilisering av kvikkleire (SAK)» ved Nord Universitet i Stjørdal. Det var totalt 24 deltakere til stede og 4-5 deltakere som fulgte live-streamen.

Hensikten med workshopen var å få innspill på arbeidet som er blitt utført i Arbeidspakke 1 «Installasjonsmetoder» og Arbeidspakke 2 «Kost-/nytte og miljø». Workshopen markerte også oppstarten av Arbeidspakke 3: Evaluering og anbefalinger. Innspillene og forslagene som kom fram under diskusjonen inkluderes i arbeidet med Arbeidspakke 3.

De viktigste konklusjonene fra workshopen inkluderer:

- Tidsbruken på installasjon må ned for at metoden skal bli konkurransedyktig
 - Installasjon av saltbrønner med vertikal-dren-rigg bør vurderes undersøkt
 - Ved fast topplag kan utstyr for boring med vandreven senkborhammer og samtidig jetgrouting være effektivt – selv om en benytter mye lavere trykk enn ved jetgrouting.
 - Saltstabilisering anbefales utført i toppen og ned mot midten av skråninger
 - Tallfesting av ikke prissatte konsekvenser i nytte/kost er utfordrende. Det er et behov for å utvikle en metodikk som inkluderer alle hensyn som skal inkluderes i konsekvensutredninger.
 - Det må forsikres om at ev. lekkasjer fra saltstabilisert område ikke fører til forurensning av grunnvannsbrønner eller andre drikkevannskilder. Ev. lekkasje vil trolig være av begrenset størrelse, og komme over tid.
 - Saltstabiliserte masser vil kunne gjenbrukes i leirfyllinger pga. forbedrede omrørte egenskaper.
 - Ved installasjonsarbeider skal det også tas hensyn til forurensning på terrengoverflaten ved installasjon
 - For skråningsstabilitet er det ikke bruk for like mye bindemiddel som for fundamentering. Ved å optimalisere kalk-/sementforbruket så ville klimagassutslippene reduseres betraktelig.
 - Det bør kartlegges hvor stort markedspotensialet er for å motivere leverandører og entreprenører til å videreutvikle metoden.
-

INNHOLDSFORTEGNELSE

1	Innledning	3
1.1	Presentasjoner	3
1.2	Gruppearbeid	3
2	Diskusjon av Arbeidspakke 1.....	5
2.1	Kva andre installasjonsmetodar kan brukast til skånsom installasjon?	5
2.2	Korleis kan vi redusere tid og kostnader knytta til installasjonsarbeid?	5
2.3	Kva bruksområder eignar saltstabilisering seg til?	5
2.4	I kva tilfeller kan vi ikkje bruke saltstabilisering?	6
2.5	Kan vi akseptere sikring med salt sjølv om sikkerheitsfaktoren ikkje aukar?	6
2.6	Skal vi fortsatt redusere c_{UA} med 15% i saltstabilisert leire?	6
2.7	Kan vi rekne dekningsgrad for stabilisert volum for å auke senter-til-senteravstanden?	6
2.8	Andre innspill	6
3	Diskusjon av Arbeidspakke 2.....	7
3.1	Hvordan kan ikke prissatte konsekvenser vurderes i forhold til nytte/kost? Kan det tallfestes?	7
3.2	Virkninger av salt og kalk på vannressurser?	7
3.3	Salt og kalks påvirkning ifb. gjenbruk av materialer?	8
3.4	Er det andre parametere enn CO2 som bør vurderes ifb. klima?	8
3.5	Andre innspill	8
4	Konklusjon.....	9

Vedlegg A: Presentasjon av Arbeidspakke 1: Installasjonsmetoder v/ Tonje Eide Helle, Multiconsult

Vedlegg B: Presentasjon av Arbeidspakke 2: Kost-/nytte og miljø v/ Marianne Kvennås, NGI

Vedlegg C: Presentasjon av «Stabilisering av kvikkleire» v/ Håkon Rueslåtten, JLE Grunnforsterkning

Vedlegg D: Presentasjon av «Kulturminner og massestabilisering» v/ Eirik Solheim, Trøndelag fylkeskommune

Vedlegg E: Presentasjon av «Vertikaldrenering» v/ Fredrik Sjölin, BAT Cofra AB

1 Innledning

12. september 2019 ble det arrangert workshop for «Saltstabilisering av kvikkleire (SAK)» på Nord Universitet i Stjørdal. Deltakerne bestod av prosjektgruppa og inviterte fagfolk. Hensikten med workshopen var å få innspill på arbeidet som er blitt utført i Arbeidspakke 1 «Installasjonsmetoder» og Arbeidspakke 2 «Kost-/nytte og miljø». Presentasjonene kl. 09-10 og plenumsdiskusjonen ble live-streamet. Det var totalt 24 deltakere fysisk til stede på workshopen, og 4-5 personer som fulgte live-streamen.

Workshopen markerer oppstarten av Arbeidspakke 3: Evaluering og anbefalinger. Innspillene og forslagene som kom fram under diskusjonen inkluderes i arbeidet med Arbeidspakke 3.

Agenda:

09:00-10:00	Velkommen v/ Torbjørn Berg Strømstad, Stjørdal kommune
	Arbeidspakke 1: Installasjonsmetoder v/Tonje Eide Helle, Multiconsult
	Arbeidspakke 2: Kost-/nytte og miljø v/ Marianne Kvennås, NGI
	Stabilisering av kvikkleir v/ Håkon Rueslåtten, JLE Grunnforsterkning
	Vertikaldren v/ Fredrik Sjölin, BAT Cofra AB
10:00-11:50	Gruppearbeid og lunsj
11:50-11:30	Kulturminner og masseforbedring v/ Eirik Solheim, Trøndelag fylkeskommune
12:30-13:30	Plenumsdiskusjon v/ Bjørn Kristoffer Dolva, Vegdirektoratet/Naturfareforum

1.1 Presentasjoner

Rapportene fra Arbeidspakke 1 og 2 ble oversendt deltakerne i forkant av workshopen. Kun hovedresultatene og konklusjonene ble presentert i starten av workshopen. I tillegg holdt Håkon Rueslåtten en kort presentasjon om hvorfor det benyttes kaliumklorid og ikke natriumklorid i saltstabilisering. Fredrik Sjölin presenterte vertikaldren og potensialet for å benytte dette utstyret til saltstabilisering. Eirik Solheim holdt en presentasjon om kulturminnene på Hegramo og viktigheten av å ivareta disse.

1.2 Gruppearbeid

Det var på forhånd forberedt hjelpespørsmål til diskusjonen av begge arbeidspakkene. Deltakerne ble delt inn i fire grupper. Gruppelederne (fet skrift) noterte og oppsummerte det som ble diskutert i gruppene i plenumsdiskusjonen. Torbjørn Berg Strømstad (Stjørdal kommune) og Fabian Sjölin (BAT Cofra AB) deltok ikke i gruppearbeidet.

Gruppe 1	Virksomhet
Marianne Kvennås	NGI
Eirik Solheim	Trøndelag fylkeskommune
Bob Hamel	Statens vegvesen Vegdirektoratet
Svein Ragnar Lysen	Multiconsult

Gruppe 2	Virksomhet
Tonje Eide Helle	Multiconsult
Jan Lyng	JLE Grunnforsterkning

Kristoffer Kåsin	NGI
Håkon Ruseslåtten	JLE Grunnforsterkning
Magne Wold	Multiconsult
Eivind Juvik	Statens vegvesen Region midt
Fredrik Sjölin	BAT Cofra

Gruppe 3**Virksomhet****Bjørn Kristian Fiskvik Bache****NGI**

Margareta Viklund

Bane NOR

Samson Degago

SVV

Bjørn Kristoffer Dolva

Naturfareforum

Atle Horn

Stjørdal kommune

Stein-Are Strand

NVE

Per Arne Wangen

Rambøll

Gruppe 4**Virksomhet****Geir Svanø****Bane NOR**

Anders Samstad Gylland

Multiconsult

Vidar Gjelsvik

NGI

Inger Lise Solberg

NGU

Hjelpespørsmål Arbeidspakke 1: Installasjonsmetoder

- Kva andre installasjonsmetodar kan brukast til skånsom installasjon?
- Korleis kan vi redusere tid og kostnader knytta til installasjonsarbeid?
- Kva bruksområder eignar saltstabilisering seg til?
- I kva tilfeller kan vi ikkje bruke saltstabilisering?
- Kan vi akseptere sikring med salt sjølv om sikkerheitsfaktoren ikkje aukar?
- Skal vi fortsatt redusere c_{uA} med 15% i saltstabilisert leire?
- Kan vi rekne dekningsgrad for stabilisert volum for å auke senter-til-senteravstanden?

Hjelpespørsmål Arbeidspakke 2: Kost-/nytte og miljø

- Hvordan kan ikke prissatte konsekvenser vurderes i forhold til nytte/kost?
 - Kan det tallfestes?
- Virkninger av salt og kalk på vannressurser?
- Salt og kalks påvirkning ift gjenbruk av materialer?
- Er det andre parametre enn CO2 som bør vurderes ift klima?

2 Diskusjon av Arbeidspakke 1

2.1 Kva andre installasjonsmetodar kan brukast til skånsom installasjon?

Vertikaldrenstikker er effektiv. Den installerer ca. 1 dren per minutt (30 m dybde). Der kan spissen og stikkørret tilpasses. Saltet kan fylles inni tekstilduken til drenene enten som kuber/staver eller saltgranulat. Man kan forhåndsprodusere 25-30 m lange staver der salt og bentonitt fylles i riktige nivåer. Poretrykk pga. massefortregning vil trolig dreneres opp langs saltbrønnen. Målinger som er gjort av poretrykk rundt vertikaldren viser at poreovertrykket dissipieres ilt. et par timer etter installasjon.

Granulat kan være enklere å håndtere på anleggsplass og ved håndtering til maskinene enn saltkrystaller og staver/kuber som ble benyttet i Arbeidspakke 1.

En kan se for seg en kombinasjon av vertikaldrenstikkerutstyret og "lost cone/lost tip", denne metoden kan forsøkes uten filterduken fra vertikaldrenstikkeren, og kan benyttes med både slurry, granulat, staver/kuber. Mulig at utfordringen med at granulat/krystaller setter seg fast i strengen kan avhjelpest ved bruk av vibrasjon/sonic.

I områder med faste toppmasser (sand) så kan det være en fordel med senkhammer for å komme seg gjennom. Utstyr for boring med vandreven senkborhammer og samtidig jetgrouting kan være effektivt – selv om en benytter mye lavere trykk enn ved jetgrouting. Dette er eksisterende hyllevare. Kan benytte en tank for salt og en for bentonitt/tettemateriale. Borer ned og fyller salt på veg opp. Skifter over til å fylle bentonitt gjennom lagene der det er behov for tetting.

Kalk-/sementpeleriggen har stenger med diameter fra 10 cm til 13-14 cm. Vispene har diameter 40 cm og oppover, men nye visper kan bygges til mindre diametere. Omrøring av leire med salt vil trolig ikke oppnå høyere styrke enn 4-7 kPa. For å oppnå høyere styrke må det tilsettes et bindemiddel for å sikre at det omrørte materialet får høyere styrke. Kan man blande salt og små mengder sement?

Styrt boring vil truleg bli for kostbart fordi det tar for lang tid og utstyrskostnaden er høy.

Krumningsradius på borestrengene er også ofte så stor ved styring at en ikke vil kunne styre på disse korte hullene.

Store rigger (kalk-/sement og vertikaldren) har som oftest helningsbegrensning på 1:10. Dette kan avhjelpest ved bruk av relativt store boremaster som er montert på gravemaskiner, som tåler mer ulendt terreng.

2.2 Korleis kan vi redusere tid og kostnadar knytta til installasjonsarbeid?

Kan vi gå ned på volumet som sikres

- øke senter-til-senteravstanden
- redusere arealet som stabiliseres

Er det lønnsomt å spesialprodusere saltstaver dersom man klarer å få ned saltgranulat eller KCl-slurry?

Spesiallage selvgående rigger for formålet.

2.3 Kva bruksområder eignar saltstabilisering seg til?

Områder der en vil begrense omfanget av løsne- og utløpsområdet.

Der det ikke er mulig å sikre materielle og verneverdig verdier med konvensjonelle metoder, og der det er av samfunnsmessig høy interesse å sikre.

Det kan egne seg i strandsona der det er vanskelig å sikre kvikkleireområder.

2.4 I kva tilfeller kan vi ikkje bruke saltstabilisering?

Akutte skredsituasjoner

Der det er åpenbart billigere og gjennomførbart med topografiske tiltak

Der det er krav til absolutt sikkerhetsfaktor

Kan ikke benyttes til å redusere setninger

2.5 Kan vi akseptere sikring med salt sjølv om sikkerhetsfaktoren ikkje aukar?

Ja dersom saltstabilisering benyttes til å forhindre/begrense spredning av et skred

Nei dersom det er initialskredet som skal forhindres (krav til absolutt sikkerhetsfaktor)

Saltstabilisert leire fører til en permanent endret sammensetning av ioner i porevannet som øker den omrørte skjærfastheten i leire til over 1 kPa. Denne effekten er permanent. Den udrenerte skjærfastheten øker imidlertid ikke som følge av saltstabilisering. Dermed øker heller ikke den beregningsmessige sikkerhetsfaktoren, med unntak av at man unngår sprøbruddskorreksjon av skjærfastheten.

Store bakovergripende (retrogressive) skred starter med et initialskred i foten av skråningen. Dersom det er kvikkleire i initialskredet, så røres massene om og blir flytende. Skredmassene vil da flyte ut av skredgropen. Dermed blir bakkanten av skredgropen bli ustabil og nye skaller vil skli ut. Ved å øke den omrørte skjærfastheten til over 1 kPa, så blir ikke leira lenger flytende ved omrøring. Dermed blir skredmassene fra et ev. initialskred liggende igjen i skredgropa. Retrograsjonen stopper opp, og store bakovergripende skred forhindres.

Det er lite sammenheng mellom omrørt skjærfasthet og sprøbruddsoppførselen etter brudd i treaksialforsøk. I dag defineres sprøbruddmateriale som leire og silt med omrørt skjærfasthet lavere enn 2 kPa. Det er imidlertid ikke grunnlag for å hevde dette da sprøheten av materialet er knyttet til hvor fort materialet mister styrke etter peak. Fasthetsreduksjonen reduseres i saltstabilisert leire. Dermed vil risikoen for progressiv bruddutvikling reduseres.

Det kan tenkes at saltstabilisert leire kan fungere som en barriere mot fremadrettede progressive brudd. Det er imidlertid store krefter i sving, så det er usikkert om dette vil fungere.

2.6 Skal vi fortsatt redusere c_{uA} med 15% i saltstabilisert leire?

Det var enighet blant deltakerne om at c_{uA} i saltstabilisert leire ikke korrigeres for sprøbrudd.

2.7 Kan vi rekne dekningsgrad for stabilisert volum for å auke senter-til-senteravstanden?

Det var enighet blant deltakerne om at dekningsgrad kan benyttes siden hele leirvolumet vil forbedres med årene. Dermed kan senter-til-senteravstanden økes og kostnadene reduseres.

2.8 Andre innspill

Saltstabilisering anbefales utført i toppen og ned mot midten av skråningen. Saltstabilisering kan utføres av store rigger på toppen av skråningen for å få til effektiv installasjon over størsteparten av arealet. Mindre rigger, ev. gravemaskin med spesialtilpasset bortårn benyttes nedover skråningen.

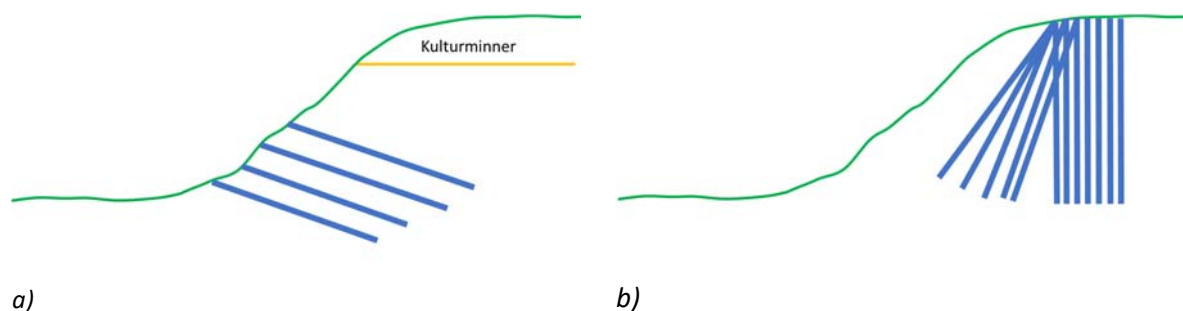
Bortårnet må trolig være kraftigere enn det bortårnet som ble benyttet i AP1 for å kunne slå ned og trekke opp f.eks. 25 m lange stenger.

Det ble diskutert om det kan være hensiktsmessig å kunne installere på skrå og horisontalt (Figur 1a). Dette vil være spesielt gunstig for å sikre områder med kulturminner i topplaget da man unngår å bore gjennom kulturelaget. For å forhindre strømning ut av horisontale borhull, så kan disse tettes de ytterste meterne mot terrengoverflaten.

Det vil være en fordel å også kunne bore på skrått fra platået av skråningen for å kunne installere effektivt nedover skråningen også (Figur 1b).

Kan man installere saltbrønner i områder med artesisk trykk?

- Anbefales ikke pga. fare for erosjon i borhullet
- I skråninger er det stort sett underhydrostatisk trykk i toppen av skråningen, og høyere enn hydrostatisk i foten av skråningen. Ved å installere brønner i toppen og ned mot midten av skråningen kan man unngå ev. problemer.



Figur 1 a) Skisse av installasjon av saltbrønner der det unngås å bore gjennom lag med kulturminner på toppen av skråningen. b) Vertikal og skrå installasjon av saltbrønner.

3 Diskusjon av Arbeidspakke 2

3.1 Hvordan kan ikke prissatte konsekvenser vurderes i forhold til nytte/kost? Kan det tallfestes?

En av hovedutfordringene i Arbeidspakke 2 er hvordan de ikke-prissatte verdiene skulle inkluderes i kost-/nyttevurderingene. Det er vanskelig å klare å prissette kulturminner og naturlig mangfold. I konsekvensutredninger skal likevel både klima og miljø inkluderes. Klimagasser har man en kostnad for, mens tap av landskapstyper, biologisk mangfold eller kulturminner er per i dag ikke mulig å inkludere i kost-/nytteverktøyene.

Det kommer til å bli større fokus på både klima og miljø i fremtiden. Er det da riktig å tenke nytte-/kost? Det er et behov for å utvikle en metodikk som inkluderer alle hensyn som skal inkluderes i konsekvensutredninger.

3.2 Virkninger av salt og kalk på vannressurser?

Forurensningspotensialet fra salt og kalk ble i dagens workshop vurdert som svært liten siden utlekkingen vil være liten og spredd over lang tid.

Vannførende lag kan føre til at saltet vaskes fortere ut fra skråningen til vegetasjon og vassdrag.

Det må forsikres om at ev. lekkasjer fra saltstabilisert område ikke fører til forurensing av grunnvannsbrønner eller andre drikkevannskilder. Ev. lekkasje vil trolig være av begrenset størrelse, og komme over tid. Grunnvannsbrønner i berg vil fort vaske dette bort.

3.3 Salt og kalks påvirkning ifb. gjenbruk av materialer?

Saltstabiliserte masser vil kunne gjenbrukes i leirfyllinger pga. forbedrede omrørte egenskaper.

Kalk-/sementstabiliserte masser er vanskeligere å grave ut. Det er også en viss risiko for at det finnes tungmetaller i massene. NGI jobber med å finne ut hvilke stoffer og hvor store konsentrasjoner av disse som lekker ut. Utlekking kan også føre til pH-endringer i resipienter.

3.4 Er det andre parametere enn CO2 som bør vurderes ifb. klima?

Det er viktig å ha kontroll på tungmetallene som finnes i bindemidler og tilsetningsstoffer (flyveaske, pipestøv etc.). Det er f.eks. registrert utlekking av tungmetaller fra CKD (cement kiln dust).

Ved installasjonsarbeider skal det også tas hensyn til forurensning på terrengoverflaten ved installasjon:

- Spredning av salt på terrengoverflaten under installasjon
- Oppvirvling av kalk- og sementstøv under installasjon av kalk-/sementpeler

3.5 Andre innspill

I regnestykket i rapporten for AP2 kommer terrenginngrep svært gunstig ut fordi massene fra avlastningen blir brukt som motfylling. Klimagassregnskapet og kostnadene ville sett verre ut for topografiske tiltak dersom:

- Massene til motfylling måtte fraktes inn fra andre steder
- Avlasta masser inneholdt forurensende masser

For skråningsstabilitet er det ikke bruk for like mye bindemiddel som for fundamentering. Ved å optimalisere kalk-/sementforbruket så ville klimagassutslippene reduseres betraktelig. Det vil trolig være tilstrekkelig med 50 kg kalk-/sement per m³ leire, eller mindre.

For å ivareta ravinedalene og dets arts mangfold må det unngås å fjerne vegetasjon i ravinedalene.

Leirslam fra boring anses ikke som et problem med tanke på forurensning av terrengoverflaten. Det må imidlertid påses at det ikke strømmes ut i elver eller vassdrag.

Slam med salt må håndteres for å unngå å skade vegetasjon.

Dersom saltbrønner skal installeres i områder med kulturminner spredt i kulturlaget som på Hegra, så kan man planlegge installasjonsmønster ut fra funn med metalldetektor. Boring gjennom gravhauger vil føre til skade.

For å undersøke om det er realistisk å få ned kostnadene, så kan man fastsette en kost-/nyttefaktor og høre med leverandører om dette er mulig å få til installasjon til denne kostnaden.

Det bør kartlegges hvor stort markedspotensialet er for å motivere leverandører og entreprenører til å videreutvikle metoden.

4 Konklusjon

12. september 2019 ble det arrangert workshop for «Saltstabilisering av kvikkleire (SAK)» på Nord Universitet i Stjørdal. Hensikten med workshopen var å få innspill på arbeidet som er blitt utført i Arbeidspakke 1 «Installasjonsmetoder» og Arbeidspakke 2 «Kost-/nytte og miljø». Workshopen markerte også oppstarten av Arbeidspakke 3: Evaluering og anbefalinger. Innspillene og forslagene som kom fram under diskusjonen inkluderes i arbeidet med Arbeidspakke 3.

De viktigste konklusjonene fra workshopen inkluderer:

- For skråningsstabilitet er det med kalk/semestabiliseringsmetoden ikke bruk for like mye bindemiddel som for fundamentering. Ved å optimalisere kalk-/semestforbruket så ville klimagassutslippene reduseres betraktelig.
- Egnede bruksområder for saltstabilisering inkluderer:
 - Begrense størrelse på løsne- og utløpsområde i kvikkleire
 - I områder hvor konvensjonelle metoder ikke kan brukes og samfunnsnyttene er stor slik at kostnad kan forsvares
- Uegnede bruksområder for saltstabilisering inkluderer:
 - Akutte skredsituasjoner
 - Der det er krav om absolutt sikkerhetsfaktor
 - Der konvensjonelle tiltak er klart rimeligere
- Installasjon av saltbrønner med vertikal-dren-rigg bør vurderes undersøkt
- Ved fast topplag kan utstyr for boring med vandreven senkborhammer og samtidig jetgrouting være effektivt – selv om en benytter mye lavere trykk enn ved jetgrouting.
- c_{uA} i saltstabilisert leire skal ikke korrigeres for sprøbrudd.
- Saltstabilisering anbefales utført i toppen og ned mot midten av skråninger
- Det må forsikres om at ev. lekkasjer fra saltstabilisert område ikke fører til forurensning av grunnvannsbrønner eller andre drikkevannskilder. Ev. lekkasje vil trolig være av begrenset størrelse, og komme over tid.
- Ved installasjonsarbeider skal det også tas hensyn til forurensning på terrengoverflaten ved installasjon
- Saltstabiliserte masser vil kunne gjenbrukes i leirfyllinger pga. forbedrede omrørte egenskaper.
- Tallfesting av ikke prissatte konsekvenser i nytte/kost er utfordrende. Det er et behov for å utvikle en metodikk som inkluderer alle hensyn som skal inkluderes i konsekvensutredninger.
- Tidsbruken på installasjon av saltbrønner må ned for at metoden skal bli konkurransedyktig
- Det bør kartlegges hvor stort markedspotensialet er for å motivere leverandører og entreprenører til å videreutvikle metoder for saltstabilisering.

Saltstabilisering av kvikkleire (SAK) Arbeidspakke 1: Installasjonsmetoder

Tonje Eide Helle



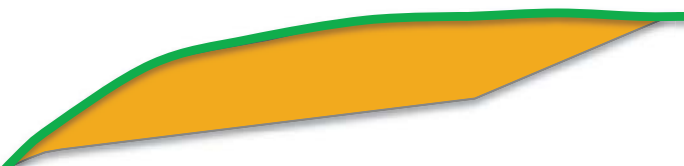
REGIONALE
FORSKNINGSFOND
MIDT-NORGE



Terrenginngrep



Avlastning



Motfylling



Photo: NVE



Kvifor saltstabilisering?

Problemstillingar knytta til terrenginngrep:

- Øydelegg/skadar landskapstypar som står på raudlista
- Øydelegg/skadar leveforholda for dyr og fisk
- Kjem i konflikt med kulturminner
- Kan ikkje gjennomførast pga. plassmangel i allereie utbygde områder (jernbane, veg, bebyggelse)
- medfører redusert sikkerheit i anleggsfasen

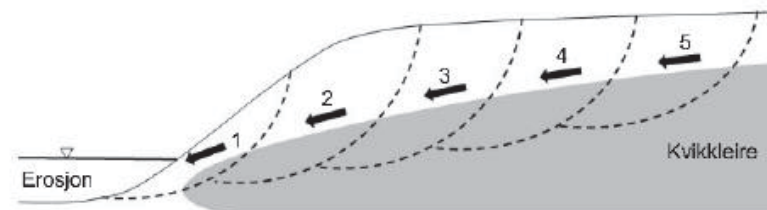


Fra presentasjon på
KlimaGrunn Toril Wiig, NVE

Retrogressivt skred (bakovergripende skred)



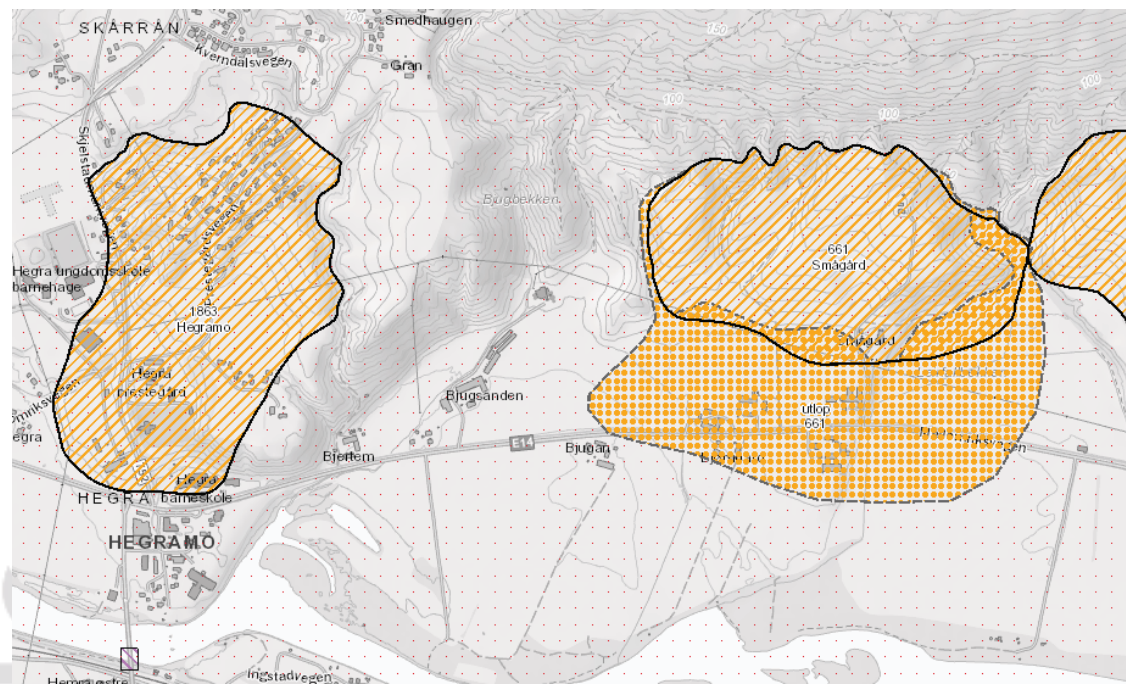
Foto: A. Taurisano, NVE



Statens vegvesen Håndbok V220

Grunnforsterkning eller –forbedring

- Tilgjengeleggjere areal
- Sikre materielle og verneverdige verdier
- Redusere omfanget av terrenginngrep
- Forhindre miljøulempere knytta til terrenginngrep



Kalk-/sementpeling



- Ikkje mykje brukt til skråningsstabilisering
- Poretrykksoppbygging
- Høge CO₂ – utslipp
- Store riggar
- Gruspute



<http://kellergrundlaggning.se>



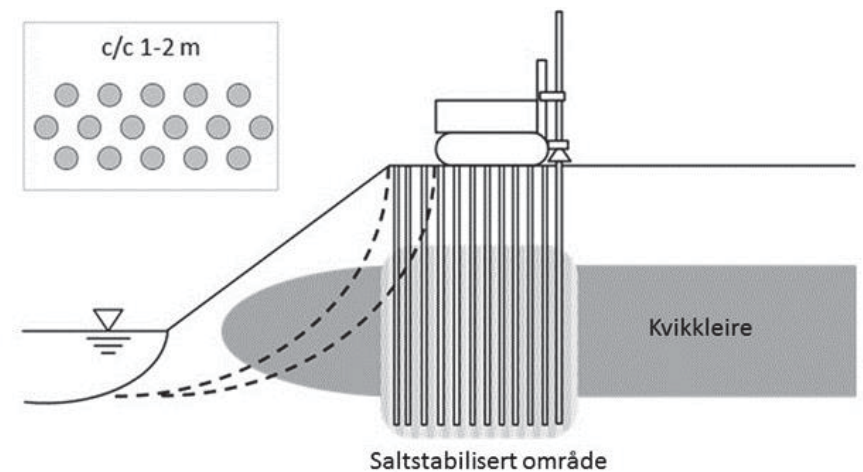
Saltstabilisering



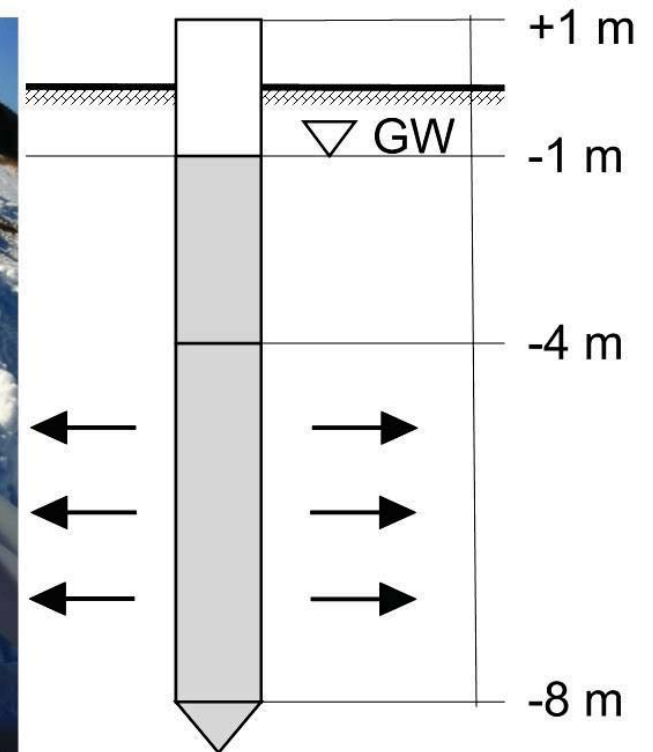
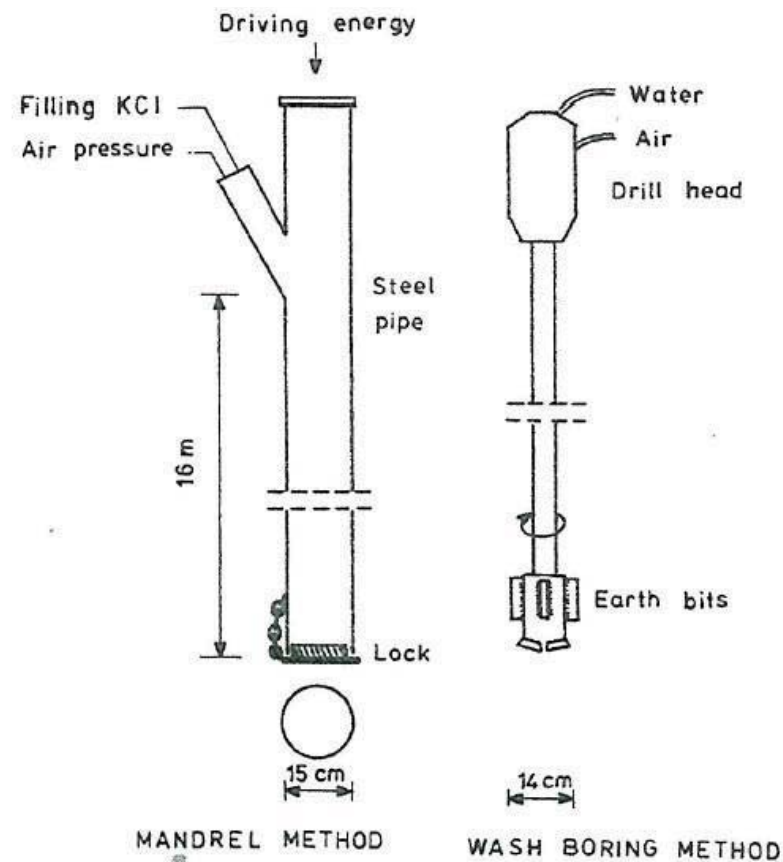
- Fins ingen standard prosedyre for installasjon

Målsetjing

- Små, lette riggar
- God framkommelegheit
- Installasjon utan poretrykksoppbygging



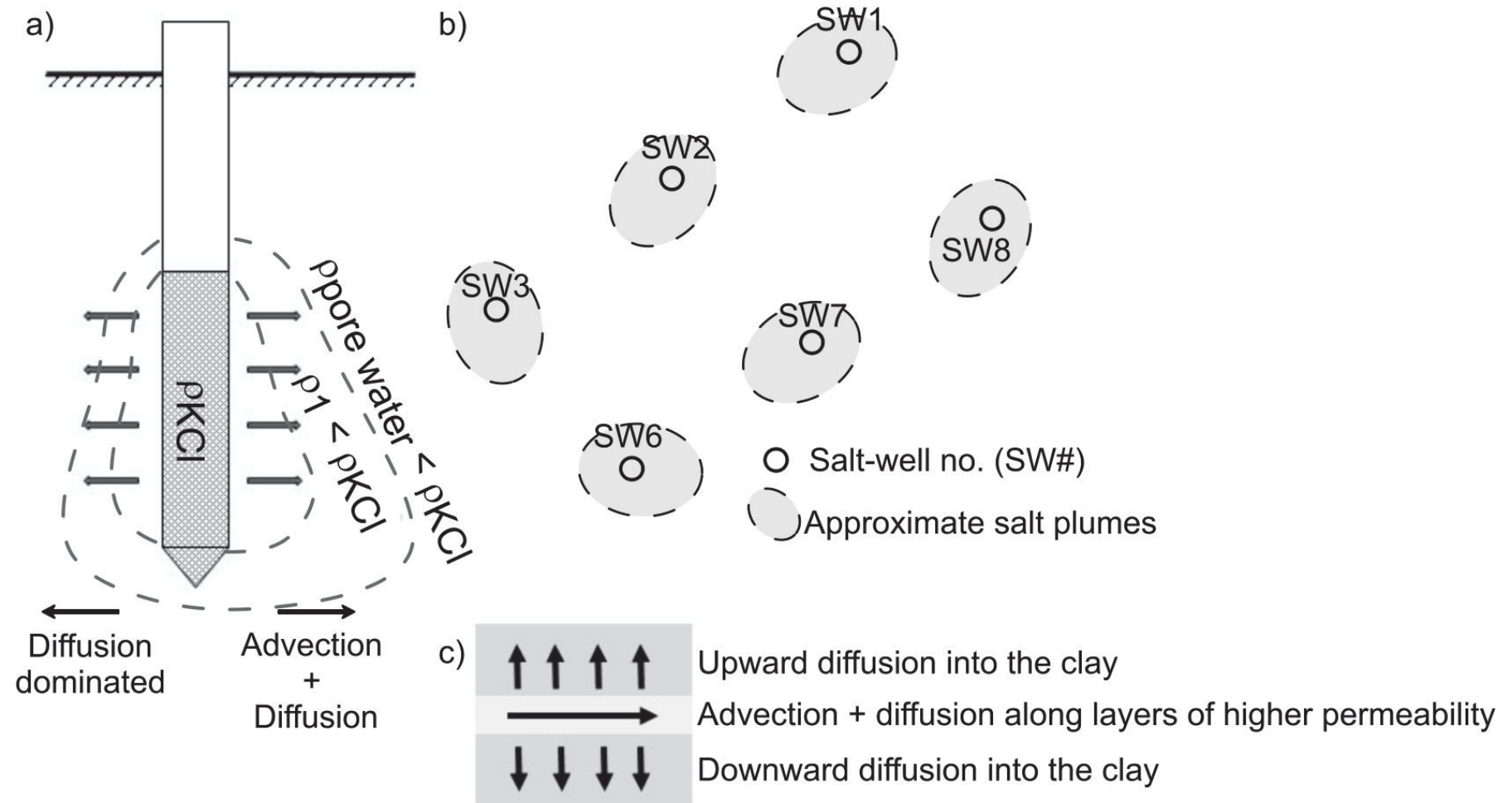
Installasjonsmetodar



Eggestad A and Sem H (1976) Stability of excavations improved by salt diffusion from deep wells. Proceedings of the 6th European conference on soil mechanics and foundation engineering, Vienna, Austria, pp. 211-216.

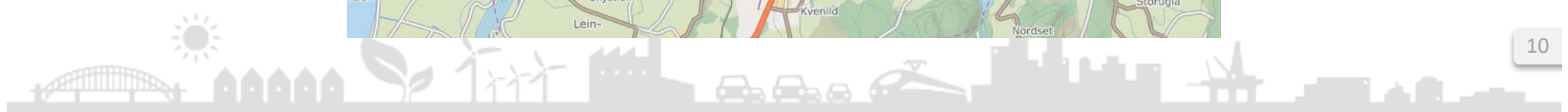
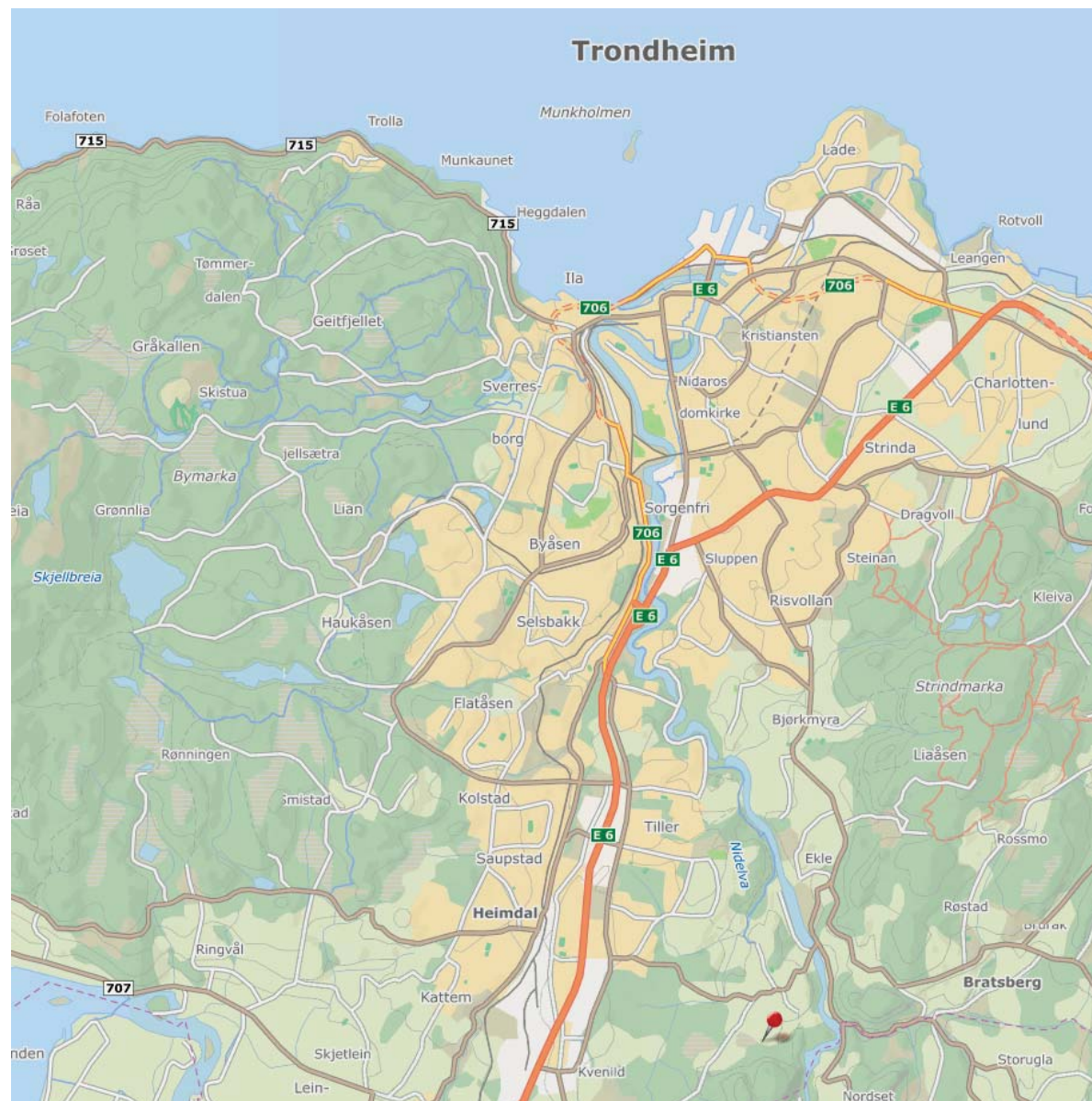
Helle TE, Aagaard P, Emdal A, and Nordal S (2016) Monitoring the plume of potassium chloride from wells used as ground improvement in highly sensitive clays. In Proceedings of the 5th International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterization (ISC'5), Gold Coast, Australia. Australian Geomechanics Society, vol. 2, pp. 1501-1506.

Korleis sprer saltet seg?



Helle TE, Aagaard P and Nordal S (2017b) In-situ improvement of highly sensitive clays by potassium chloride migration. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ASCE 143(10): 04017074.

NGTS Tiller-Flotten



Installasjonsmetodar



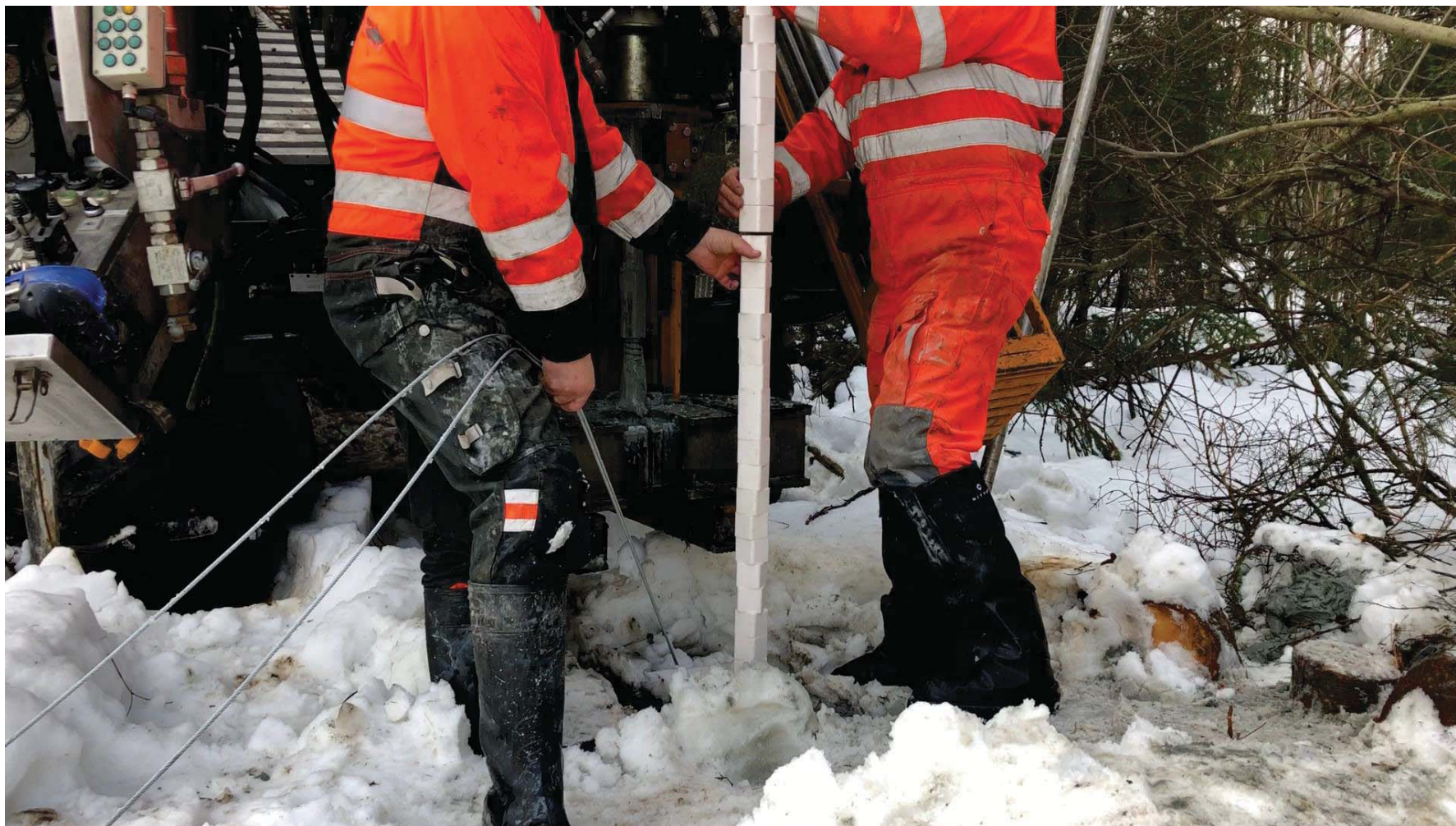
Saltslurry



Saltslurry



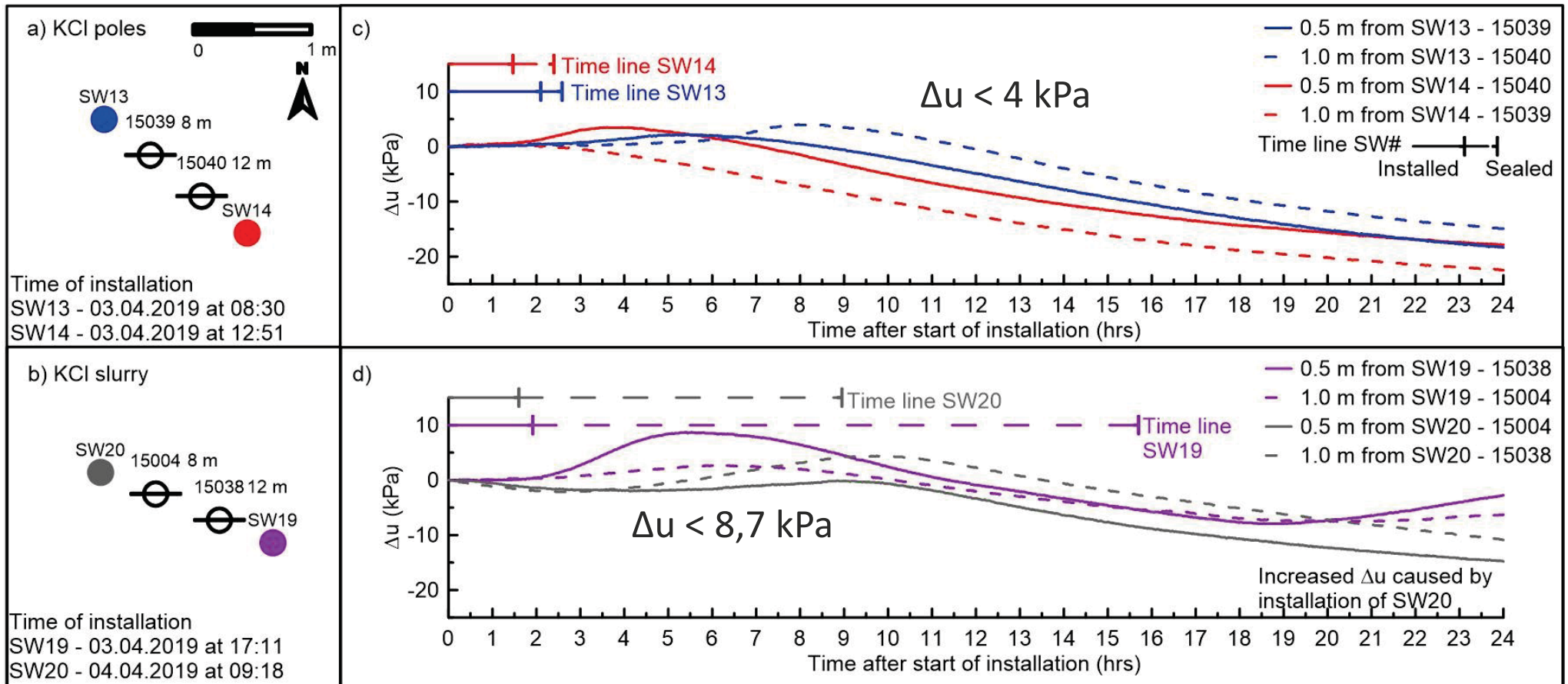
Saltstavar



Saltstavar



Installasjonseffektar



Oppsummering

- Prosedyrane vi har prøvd er skånsame
- Saltstavar er å foretrekke
- MEN tidkrevjande forboring
- Hovudutfordring:
 - Finne skånsam og kostnadseffektiv installasjonsprosedyre der ein unngår:
 - Massefortrenging
 - Poretrykksoppbygging



Gruppearbeid

Gruppe 1	Virksomhet
Marianne Kvennås	NGI
Håvard Kjerkol	InterCity
Eirik Solheim	Trøndelag fylkeskommune
Bob Hamel	Statens vegvesen Vegdirektoratet
Toril Wiig	NVE
Svein Ragnar Lysen	Multiconsult
Torbjørn BergStrømstad	Stjørdal kommune

Gruppe 2	Virksomhet
Tonje Eide Helle	Multiconsult
Jan Lyng	JLE Grunnforsterkning
Kristoffer Kåsin	NGI
Hans-Erik Seierstad	Seierstad
Magne Wold	Multiconsult
Ole Vidar Kirkevollen	Statens vegvesen Region sør
Eivind Juvik	Statens vegvesen Region midt
Fredrik Sjölin	BAT Cofra

Gruppe 3	Virksomhet
Bjørn Kristian Fiskvik Bache	NGI
Margareta Viklund	Bane NOR
Samson Degago	SVV
Bjørn Kristoffer Dolva	Naturfareforum
Atle Horn	Stjørdal kommune
Stein-Are Strand	NVE
Helle Bråtteng Olsen	Rambøll

Gruppe 4	Virksomhet
Geir Svanø	Bane NOR
Anders Samstad Gylland	Multiconsult
Aina Katharina Anthi	Bane NOR
Eirik Traae	NVE
Steinar Nordal	NTNU
Vidar Gjelsvik	NGI
Inger Lise Solberg	NGU



Gruppearbeid – Hjelpespørsmål Installasjonsmetodar

- Kva andre installasjonsmetodar kan brukast til skånsom installasjon?
- Korleis kan vi redusere tid og kostnader knytta til installasjonsarbeid?
- Kva bruksområder eignar saltstabilisering seg til?
- I kva tilfeller kan vi ikkje bruke saltstabilisering?
- Kan vi akseptere sikring med salt sjølv om sikkerheitsfaktoren ikkje aukar?
- Skal vi fortsatt redusere c_{uA} med 15% i saltstabilisert leire?
- Kan vi rekne dekningsgrad for stabilisert volum for å auke senter-til-senteravstanden?





STJØRDAL KOMMUNE



BANE NOR Statens vegvesen



NVE

NGI

Multiconsult



Saltstabilisering av kvikkleire (SAK) Arbeidspakke 2: Vurdering av nytte/kost og miljøgevinst

Marianne Kvennås, NGI

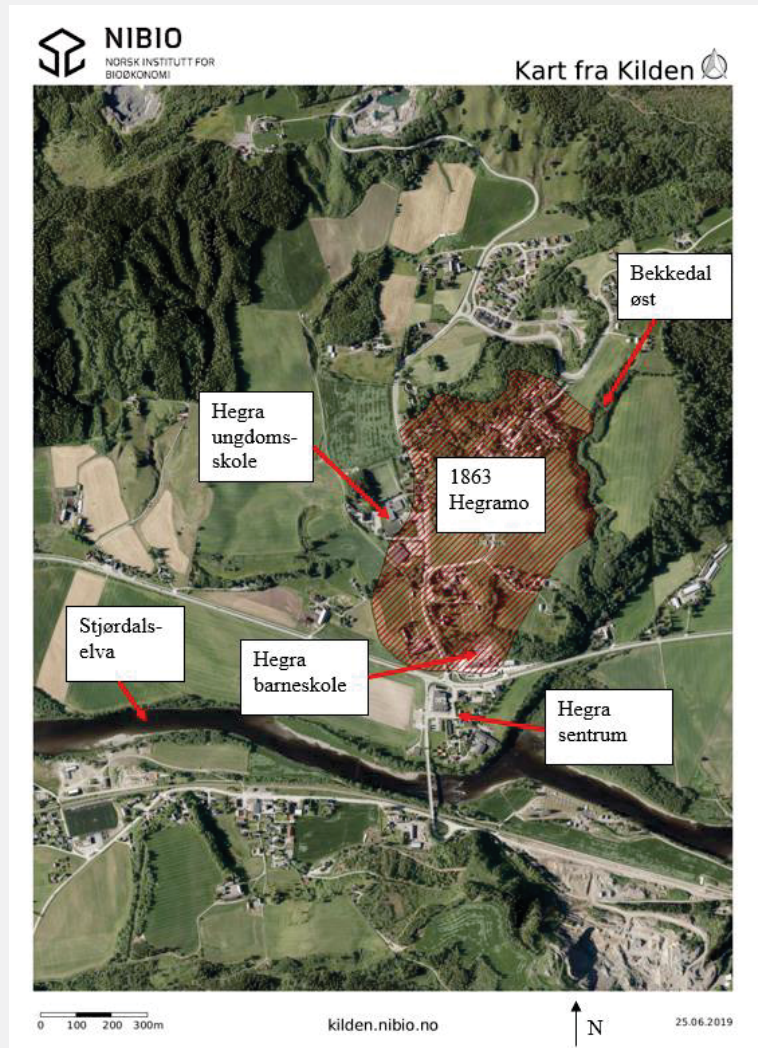


REGIONALE
FORSKNINGSFOND
MIDT-NORGE

Formålet med AP2

1. Hva er nytte-/kosteffekten av saltbrønninstallasjon sammenlignet med konvensjonelle metoder?
 - Spørsmål 1 svares ut ved å gjennomføre nytte-/kostanalyse av ulike alternative sikringsmetoder i kvikkleirefaresonen Hegramo i Stjørdal kommune.
2. Hva er den miljømessige gevinsten av stabilisering av kvikkleire med salt?
 - Spørsmål 2 svares ut ved å beregne CO₂-utslippet for de ulike sikringsmetodene og ved å gjøre en vurdering av ikke prissatte konsekvenser, bl.a. verdien av å ivareta landskapstyper.

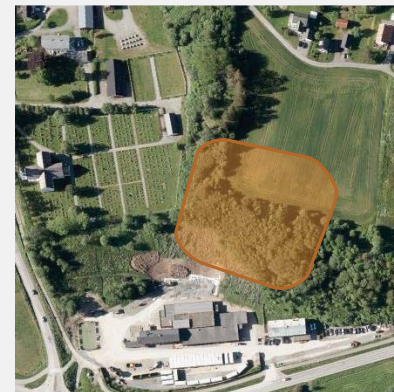
Hegramo



Område som må sikres med topografiske tiltak



Område som må sikres med kalksementstabilisering



Område som må sikres med saltbrønner

Kostnader for stabilisering

Beregnete kostnader pr løpemeter for topografiske tiltak for å oppnå forbedring av stabilitet lik 15%

Topografiske tiltak	Mengde	Enhetspris	Sum
Avlasting og motfylling	110 m ³ /lm	115 kr/m ³	12 650 kr/lm
Heving og erosjonssikring av bekk	20 m ³ /lm	300 kr/m ³	6 000 kr/lm
Totale kostnader			18 650 kr/lm

Beregnete kostnader pr løpemeter for tiltak med kalksement for å oppnå forbedring av stabilitet lik 15%

Tiltak med kalksement	Mengde	Enhetspris	Sum
Stabilisering	125 m ³ /lm	300 kr/m ³	37 500 kr/lm
Totale kostnader			37 500 kr/lm

Beregnete kostnader pr løpemeter for tiltak med saltslurry for å for å oppnå forbedring av stabilitet lik 15%

Tiltak med saltstabilisering, <u>totalsondering+slurry</u>	Mengde	Enhetspris	Sum
Etablering <u>borhull</u>	990 m/lm	143 kr/m	141 570 kr/lm
Etablering saltbrønn	600 m/lm	624 kr/m	375 000 kr/lm
Totale kostnader			516 570 kr/lm

Beregnete kostnader pr løpemeter for tiltak med saltstaver for å for å oppnå forbedring av stabilitet lik 15%

Tiltak med saltstabilisering, <u>totalsondering+saltstaver</u>	Mengde	Enhetspris	Sum
Etablering <u>borhull</u>	990 m/lm	143 kr/m	141 570 kr/lm
Etablering saltbrønn	600 m/lm	805 kr/m	483 000 kr/lm
Totale kostnader			624 570 kr/lm

CO₂-vurdering

Beregnet CO₂-utslipp for å oppnå forbedring av stabilitet lik 15%

Tiltak	CO ₂ utslipp per løpemeter (kg CO ₂ ekv/lm)	CO ₂ utslipp totalt (tonn CO ₂ ekv)
Topografiske tiltak Hegramo	295	30
Kalksement	11638	1164
Saltslurry	5029	503
Saltstaver	3608	361

Største andel av utslippene er knyttet til:

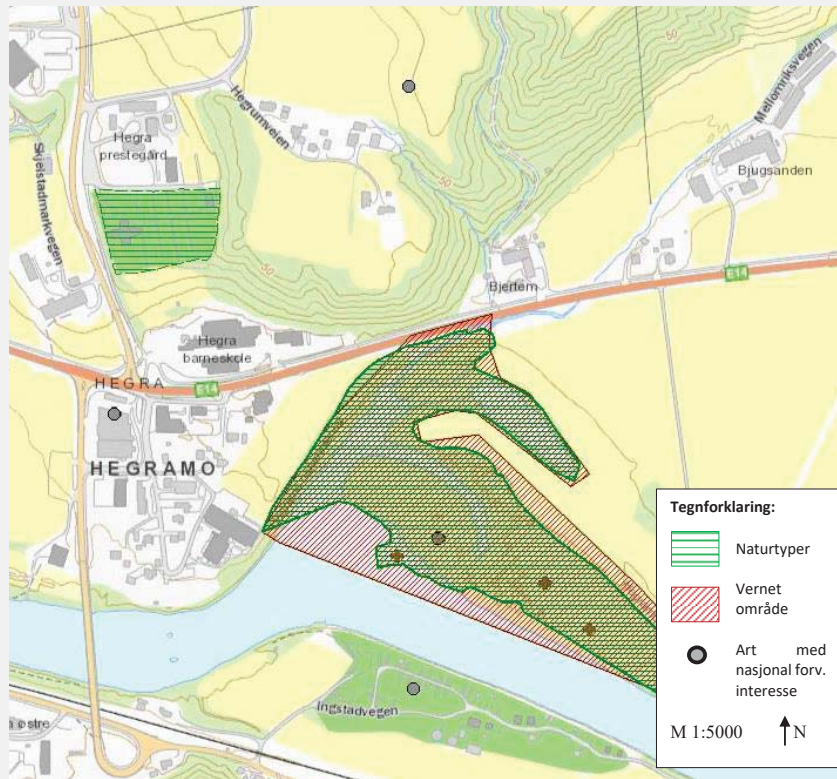
- Topografiske tiltak: dieselforbruk til gravemaskinene (ca. 80%)
- Kalksement: produksjon av kalksement (ca. 88%)
- Bruk av salt: produksjon av salt (ca. 80%)

Nytte/kost-vurdering

Nytte/kost-beregning for Hegramo inkl.
kostnad CO2

Sikringsmetode	Nytte/kost inkl. CO ₂ 2015	Nytte/kost inkl. CO ₂ 2020	Nytte/kost inkl. CO ₂ 2030
Topografiske tiltak	24,90	24,87	24,74
Topografiske tiltak, inkludert bekkesikr.*	20,42	20,40	20,26
Kalksementstab.	12,49	12,23	11,15
Salt: Slurry	1,29	1,29	1,28
Salt: Staver	1,07	1,07	1,07

Vurdering av ikke prissatte konsekvenser



Registreringer i Naturbase



Kulturminner

Konklusjon/vurdering

- Saltstabilisering gir positiv nytte/kost i områder hvor nytteverdien er svært høy
- Dersom kostnadene for saltstabilisering kan reduseres kan den være aktuell i områder der topografiske tiltak eller tiltak med kalksement ikke er mulig å gjennomføre
- For salt- og kalksementstabilisering er den største andelen av utslippene knyttet til materialproduksjon, slik at utslippet av CO₂ foreløpig ikke vil kunne komme ned på nivå med topografiske tiltak
- Utfordringen ligger i hvordan faktoren *ikke prissatte konsekvenser/ nytte-kost* skal få større positiv verdi for saltstabilisering i forhold til topografiske tiltak

Hjelpespørsmål

- ↗ Hvordan kan ikke prissatte konsekvenser vurderes i forhold til nytte/kost?
 - Kan det tallfestes?
- ↗ Virkninger av salt og kalk på vannressurser?
- ↗ Salt og kalks påvirkning ift gjenbruk av materialer?
- ↗ Er det andre parametre enn CO2 som bør vurderes ift klima ?





#påsikkergrunn

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT
NGI.NO

Stabilisering av kvikkleire

Møte i Stjørdal, 12. sept. 2019

Håkon Rueslåtten og Jan Lyng

JLE AS

Det «elektriske dobbelt-laget» rundt leirpartiklene

Leirmineraler har negative ladninger på flatene, og i saltvann vil de positive ionene (kationene) i vannet adsorberes til de negative ladede punktene. Disse ionene kalles «mot-ioner».

Det «elektriske dobbelt-laget» rundt leirpartiklene er en funksjon av ladningen på leirmineralene og type- og mengde mot-ioner.

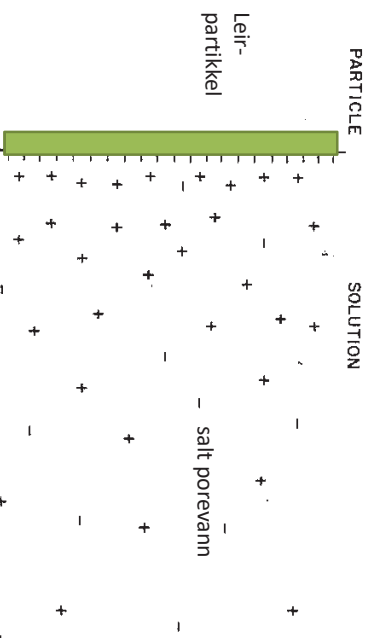
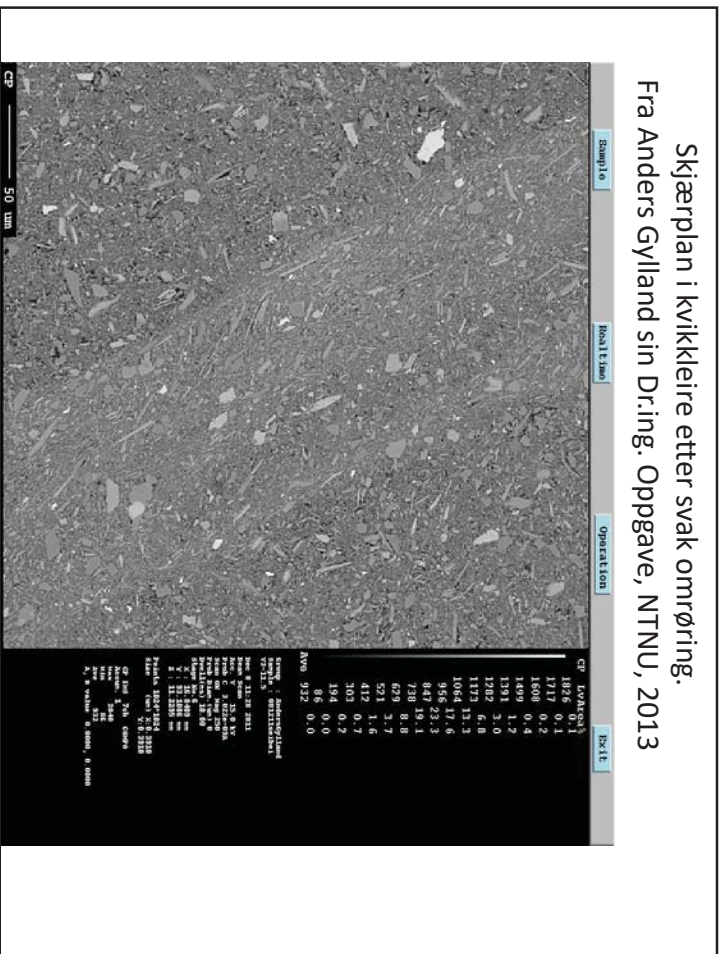
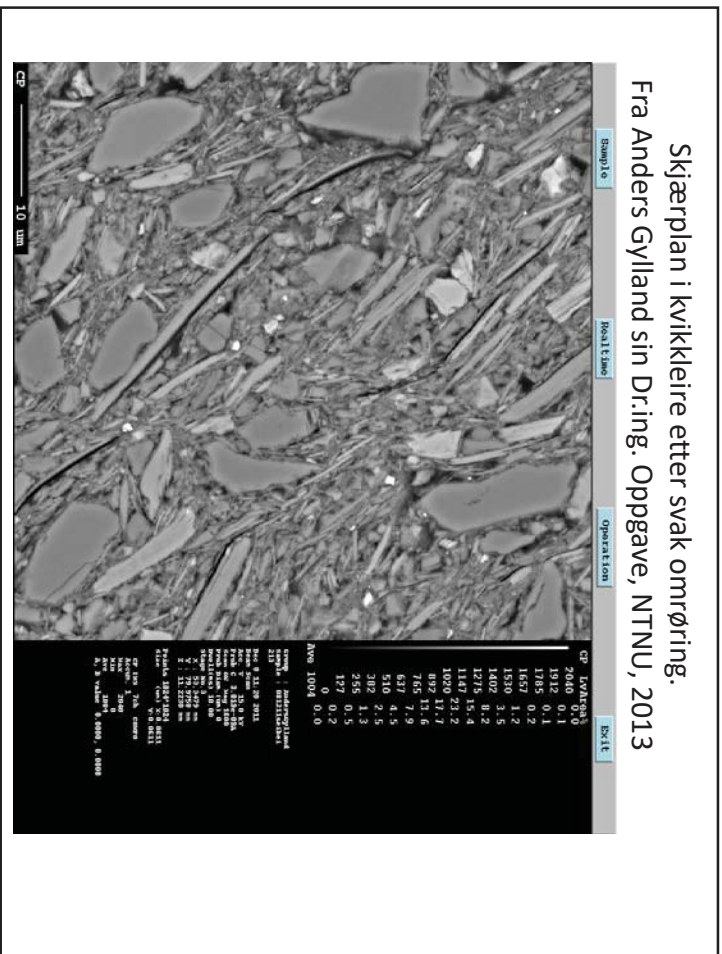


Figure 9. Diffuse electric double-layer model according to Gouy.

Skjærplan i kvikkleire etter svak omrøring.
 Fra Anders Gylland sin Dring. Oppgave, NTNU, 2013



Skjærplan i kvikkleire etter svak omrøring.
 Fra Anders Gylland sin Dring. Oppgave, NTNU, 2013



Tiltrekkende og frastøtende krefter på leirpartiklens overflater

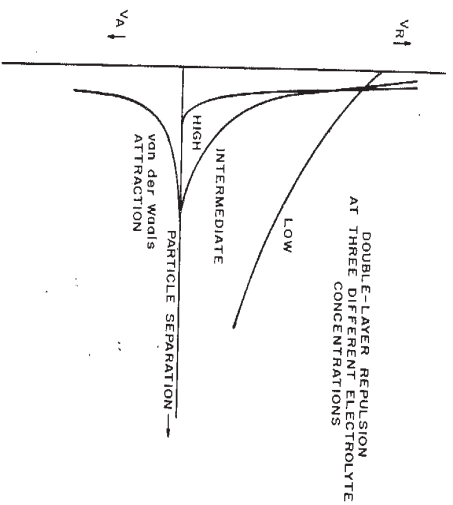
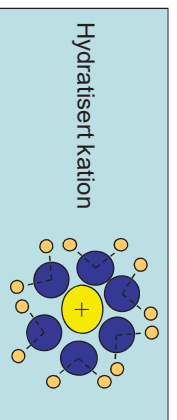
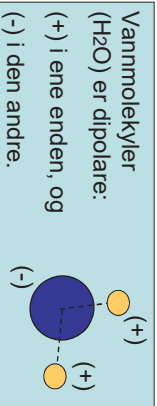


Figure 12. Repulsive and attractive energy as a function of particle separation at three electrolyte concentrations.

Kationer i leire

Kationer trekker til seg vannmolekyler pga sin ladning, og blir hydratisert. (Vinkelen mellom hydrogen-atomene er 104,5 grader)



Kationer med en enkelt ladning og store hydratiserte diametere er de dårligste mot-ionene i leire.

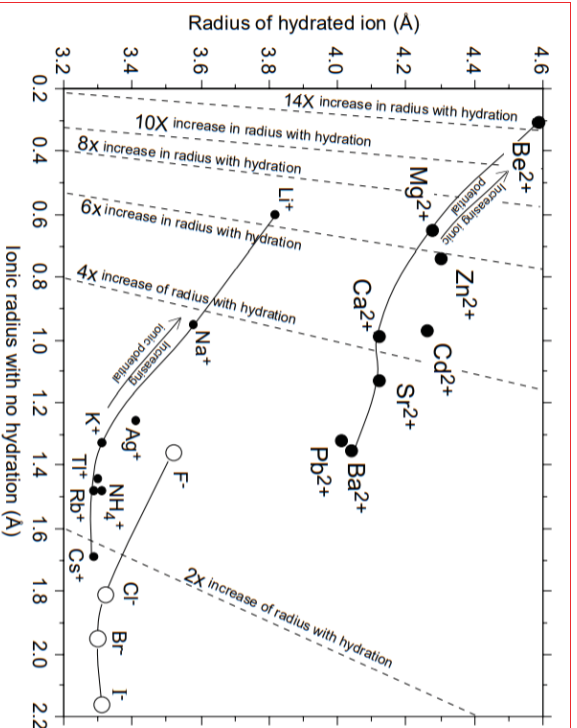
Schulze-Hardy's regel:

Den av-bindende effekten på leirpartiklernes (negative) ladninger øker med valensen til kationene i porevannet:

$\text{Na}^+ < \text{K}^+ < \text{Mg}^{2+} < \text{Ca}^{2+} < \text{Fe}^{3+} < \text{Al}^{3+}$

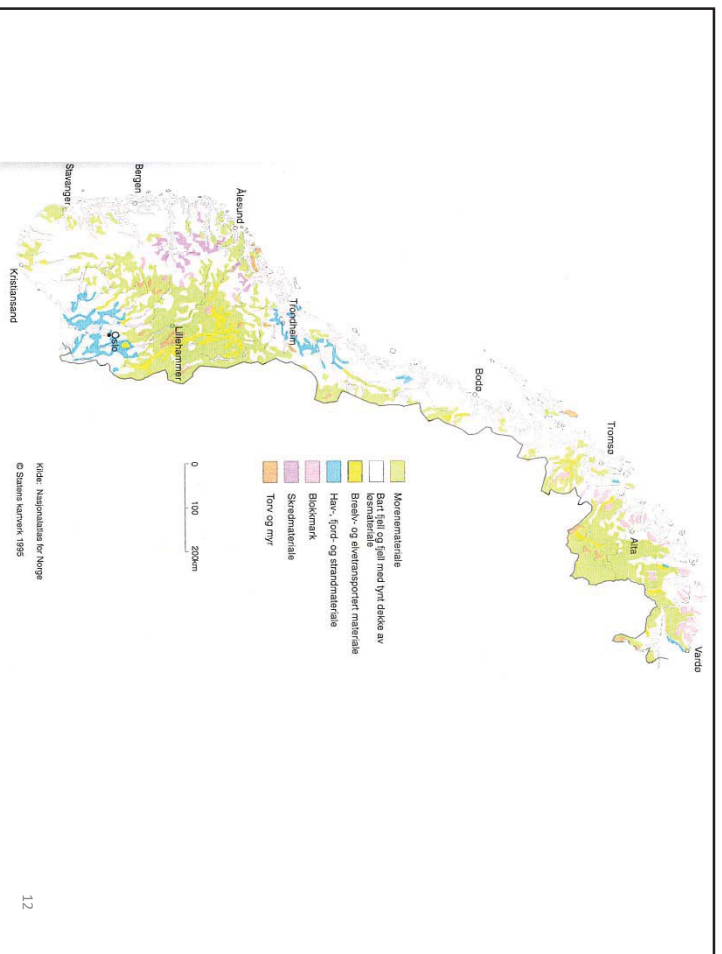
Kation:	Relativ flokkulerings effekt
Natrium	1.0
Kalium	1.7
Magnesium	27.0
Kalsium	43.0

9



Conway, 1981, Ionic Hydration in Chemistry and Biophysics, as in Dove & Nix, 1997, Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 61, p. 3331.

Takk for oppmerksomheten!





Trøndelag
fylkeskommune



Kulturminner og massestabilisering

Arkeolog Eirik Solheim
Stjørdal 12.09.19

Kulturminneloven



- Lov om kulturminner [kulturminneloven]
- **Dato** LOV-1978-06-09-50
- **Departement** Klima- og miljødepartementet
- **Sist endret** LOV-2017-05-11-26 fra 01.01.2018
- **Publisert** ISBN 82-504-1287-7
- **Ikrafttredelse** 15.02.1979

§ 1.Lovens formål.



- Kulturminner og kulturmiljøer med deres egenart og variasjon skal vernes både som del av vår kulturarv og identitet og som ledd i en helhetlig miljø- og ressursforvaltning.
- Det er et nasjonalt ansvar å ivareta disse ressurser som vitenskapelig kildemateriale og som varig grunnlag for nålevende og fremtidige generasjoners opplevelse, selvforståelse, trivsel og virksomhet.
- Når det etter annen lov treffes vedtak som påvirker kulturminnerressursene, skal det legges vekt på denne lovs formål.

§ 2. Kulturminner og kulturmiljøer - definisjoner.



- Med kulturminner menes alle spor etter menneskelig virksomhet i vårt fysiske miljø, herunder lokaliteter det knytter seg historiske hendelser, tro eller tradisjon til.
- Med kulturmiljøer menes områder hvor kulturminner inngår som del av en større helhet eller sammenheng.
- Reglene om kulturminner og kulturmiljøer gjelder så langt de passer også for botaniske, zoologiske eller geologiske forekomster som det knytter seg kulturhistoriske verdier til.
- Etter denne lov er det kulturhistorisk eller arkitektonisk verdifulle kulturminner og kulturmiljøer som kan vernes. Ved vurdering av verneverdier kan det i tillegg legges vekt på viktige naturverdier knyttet til kulturminnene.

§ 2. Kulturminner og kulturmiljøer - definisjoner.



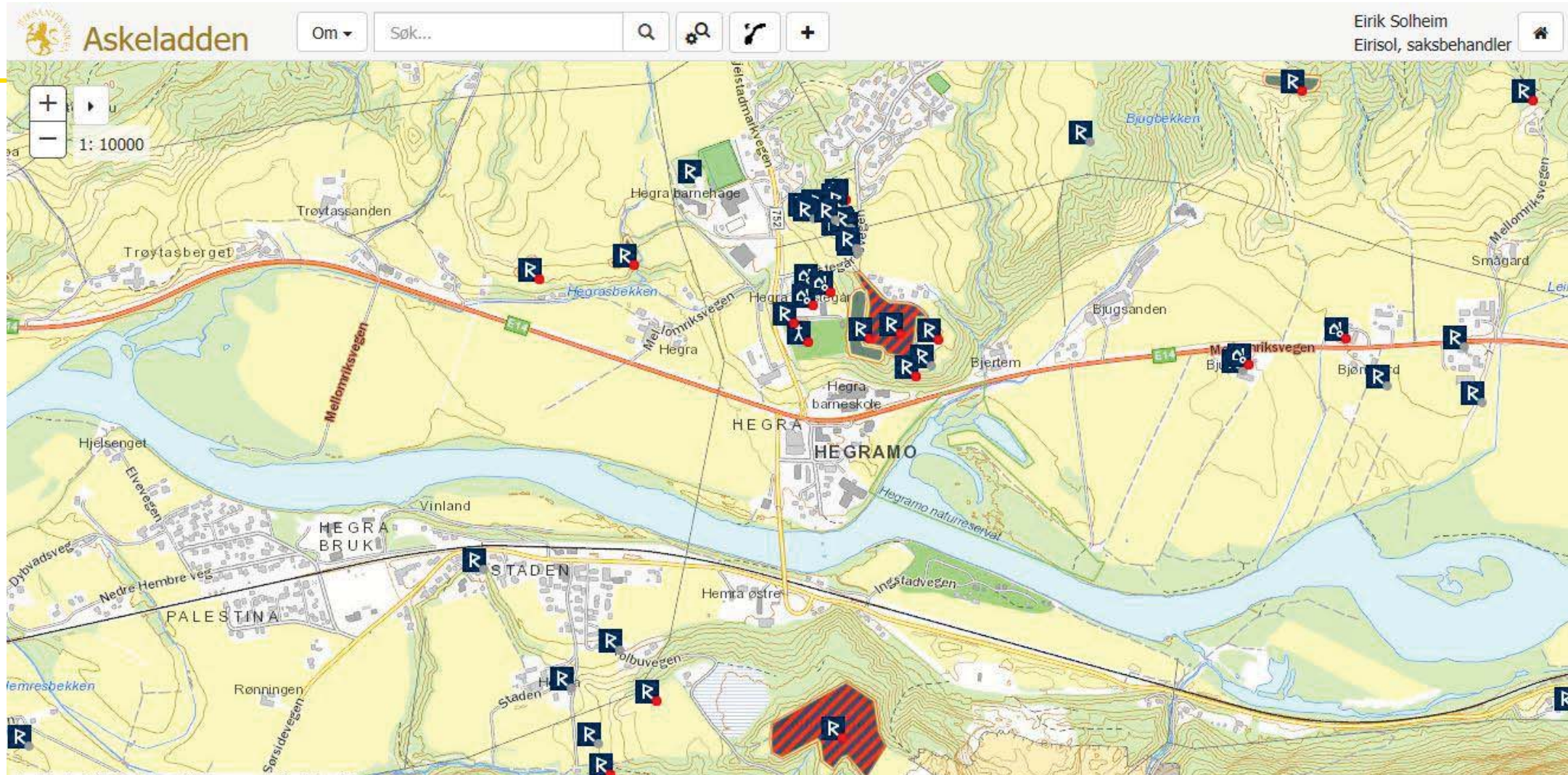
- **Med kulturminner menes alle spor etter menneskelig virksomhet i vårt fysiske miljø, herunder lokaliteter det knytter seg historiske hendelser, tro eller tradisjon til.**

§ 3. Forbud mot inngrep i automatisk fredete kulturminner.



- Ingen må - uten at det er lovlig etter § 8 - sette i gang tiltak som er egnet til å skade, ødelegge, grave ut, flytte, forandre, tildekke, skjule eller på annen måte utilbørlig skjemme automatisk fredet kulturminne eller fremkalle fare for at dette kan skje.
- Er marken over et automatisk fredet kulturminne eller i et område som nevnt i § 6, tidligere nyttet til beite eller innmark, kan den fortsatt nyttes til disse formål hvis ikke vedkommende myndighet bestemmer noe annet. Uten tillatelse av vedkommende myndighet må det ikke foretas pløying og annet jordarbeid dypere enn tidligere.

Spor etter folk over alt



§ 8. Tillatelse til inngrep i automatisk fredete kulturminner.



- Vil noen sette igang tiltak som kan virke inn på automatisk fredete kulturminner på en måte som er nevnt i § 3 første ledd, må vedkommende tidligst mulig før tiltaket planlegges iverksatt melde fra til vedkommende myndighet eller nærmeste politimyndighet. Vedkommende myndighet avgjør snarest mulig om og i tilfelle på hvilken måte tiltaket kan iverksettes. Avgjørelsen kan påklages til departementet innen 6 uker fra underretning om vedtaket er kommet fram til adressaten.
- Viser det seg først mens arbeidet er i gang at det kan virke inn på et automatisk fredet kulturminne på en måte som nevnt i § 3 første ledd, skal melding etter første ledd sendes med det samme og arbeidet stanses i den utstrekning det kan berøre kulturminnet. Vedkommende myndighet avgjør snarest mulig - og senest innen 3 uker fra det tidspunkt melding er kommet fram til vedkommende myndighet - om arbeidet kan fortsette og vilkårene for det. Fristen kan forlenges av departementet når særlige grunner tilsier det. Første ledd, siste punktum får tilsvarende anvendelse.
- Bygg, anlegg m.v. som er oppført eller påbegynt i strid med paragrafen her, kan departementet kreve fjernet eller rettet innen en nærmere fastsatt frist.
- Tillatelse i medhold av første ledd skal ikke innhentes for bygge- og anleggstiltak som er i samsvar med reguleringsplan som er vedtatt etter denne lovs ikrafttreden. Tilsvarende gjelder for områder som i kommuneplanens arealdel er utlagt til bebyggelse og anlegg, og der vedkommende myndighet etter loven her har sagt seg enig i arealbruken.

§ 9. Undersøkelsesplikt m.v.



- Ved planlegging av offentlige og større private tiltak plikter den ansvarlige leder eller det ansvarlige forvaltningsorgan å undersøke om tiltaket vil virke inn på automatisk fredete kulturminner på en måte som nevnt i § 3 første ledd, jfr. § 8 første ledd.
- Undersøkelsen kan foregå ved at planen for tiltaket sendes vedkommende myndighet etter loven her, som skal avgi uttalelse innen 3 måneder. Departementet kan gi pålegg om dette. Finner vedkommende myndighet at tiltaket berører automatisk fredete kulturminner på en måte som nevnt i § 3 første ledd, har den rett til å kreve ytterligere frist på inntil 1 måned for å fastslå på hvilken måte tiltaket eventuelt kan fremmes eller foreta de nødvendige skritt for å undersøke, eventuelt frigjøre kulturminnet. Fristen kan forlenges av departementet. Så lenge fristene løper kan tiltaket ikke iverksettes.
- Bestemmelsene i første og andre ledd får tilsvarende anvendelse ved utarbeiding av reguleringsplan.
- Departementet kan fastsette nærmere regler for gjennomføring av bestemmelsene i første til tredje ledd.

§ 10. Utgifter til særskilt gransking av automatisk fredete kulturminner.



- Utgifter til særskilt gransking av automatisk fredete kulturminner eller særskilte tiltak for å verne dem på grunn av tiltak som nevnt i §§ 8 og 9, bæres av tiltakshaveren. Når særlige grunner foreligger, kan departementet fastsette at utgiftene helt eller delvis skal dekkes av staten. Ved mindre private tiltak skal staten etter departementets bestemmelse dekke utgiftene, helt eller delvis, dersom disse blir urimelig tyngende for tiltakshaveren.
- Departementet kan fastsette nærmere regler for gjennomføringen av bestemmelsene i første ledd.

Bronsealderfunn på Hegra



Organisert søk med metaldetektor



Fra utgravingene



Ferdig konservert og utstilt ved NTNU/Vitenskapsmuseet



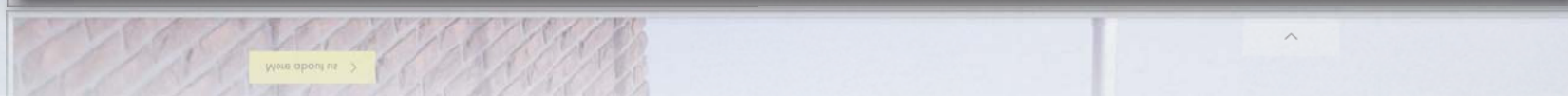


Trøndelag fylkeskommune

trondelagfylke.no | [fb.com/trondelagfylke](https://www.facebook.com/trondelagfylke)

BNT[®]

Cofra AB





BAT®

Cofra AB

- Fredrik Sjölin VD
- Grundat 1995 i Stockholm
- 50% Nederländerna (Cofra), 50% Sverige (BAT)



BNT[®]

Cofra AB

- Vertikaldränering
- Vertikala tätskärmar
- Tätskikt

VERTIKALDRÄNERING

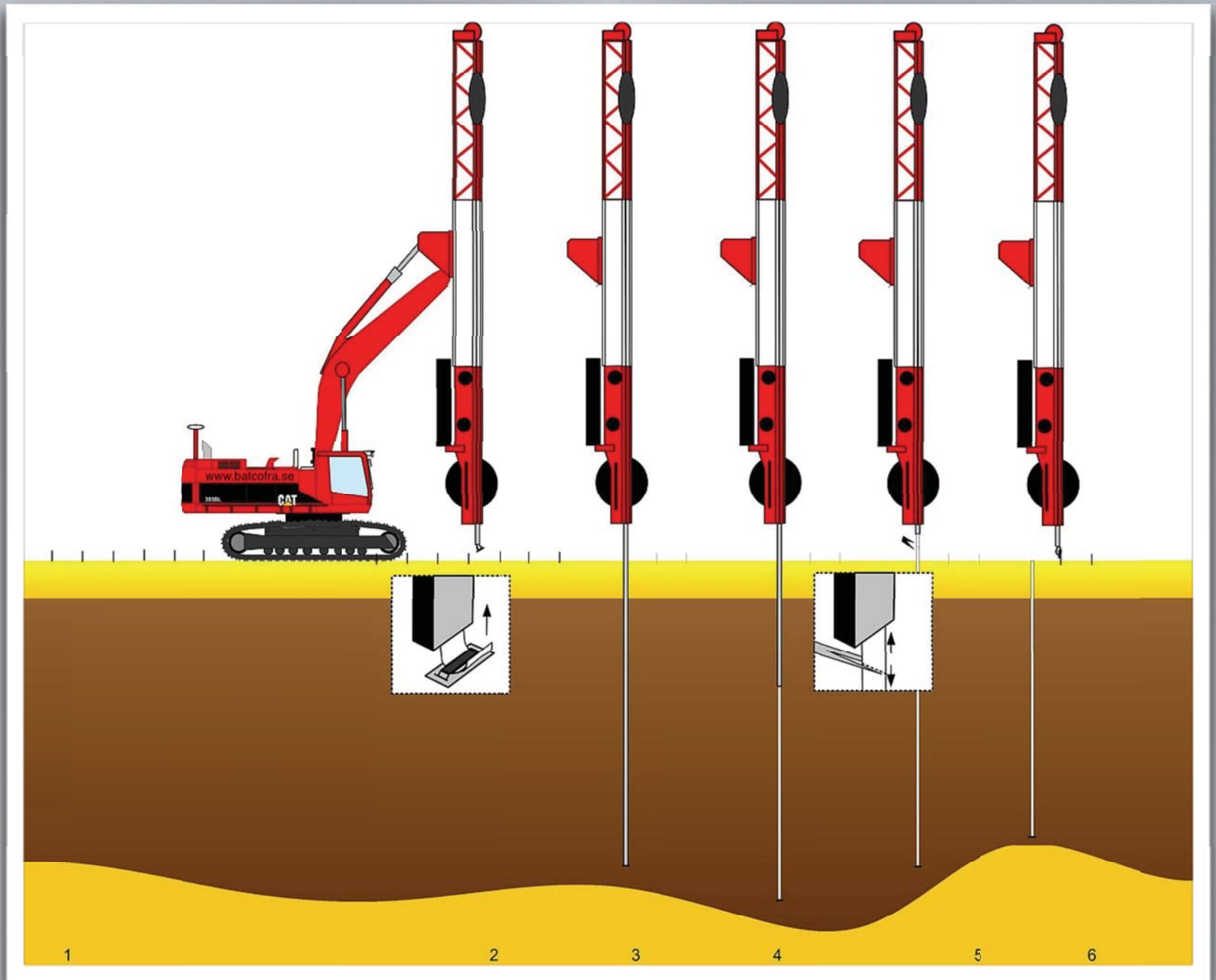
Djupstabilisering av lera

- Förbelastning
- Reducering av portryck

© **MebraDrain** *vertical drainage*



INSTALLATIONSPRINCIP



INSTALLATIONSKAPACITET

Ca 60-100 stk/h

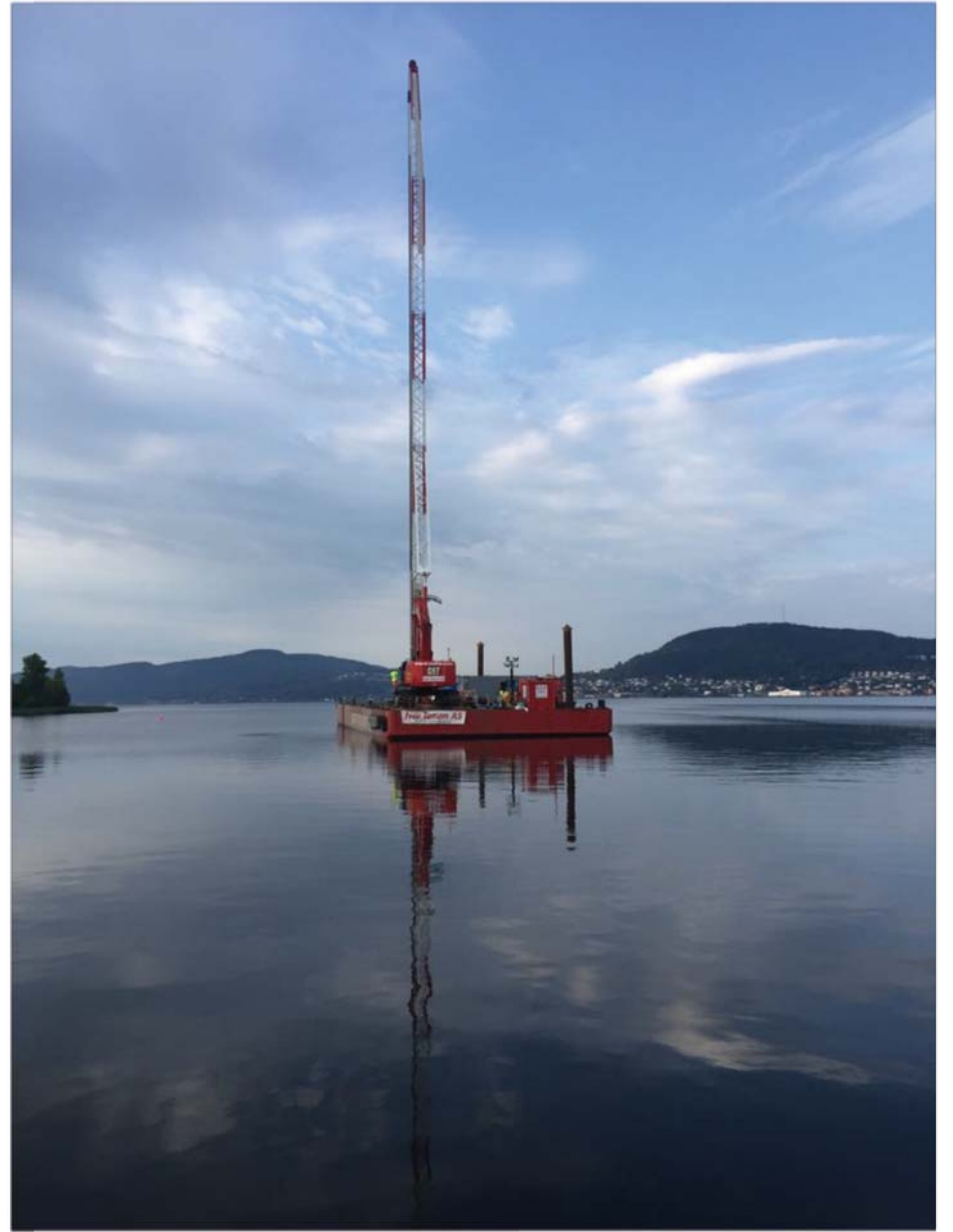












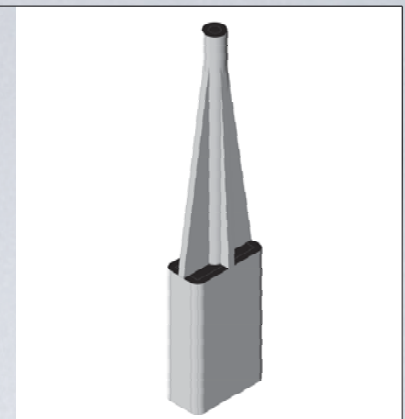
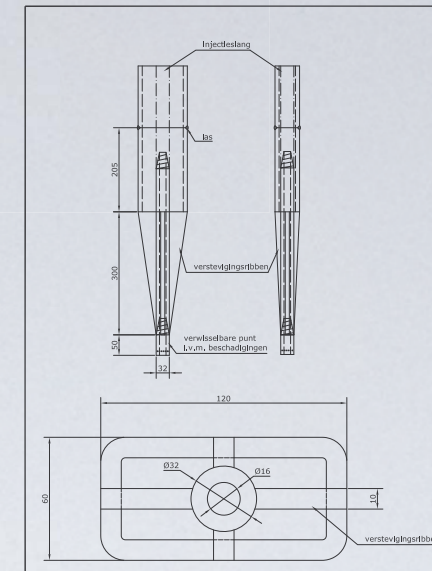



- Vertikaldränering
- Saltbrunnar
- Saltinjektering



BAT[®]

Cofra AB



 COFRA B.V. Kwadrantweg 9 - 1042AG - Amsterdam Postbus 20694 - 1001VK - Amsterdam Tel. +31(0)20 - 693 45 96 Fax. +31(0)20 - 694 14 57 E-mail: mail@cofra.nl		besteknummer
Project		project nr.
Opdrachtgever		Nocon
Onderdeel		Injactielans
tekenaar	schaal	formaat
mja	1:5:1:1	A3
datum	tekeningnummer	verse
10-08-09	-	01
paraaf		
Z...Y...K...H...K...H...		