



Jernbaneverket



Statens vegvesen

Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6 Kvikkleire

Skånsomme installasjonsmetoder for kalksementpeler og bruk av slurry

37
2013



R
A
P
P
O
R
T

Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6 Kvikkleire

Skånsomme installasjonsmetoder for kalksementpeler og bruk av slurry

Rapport nr. 37 /2013

Skånsomme installasjonsmetoder for kalksementpeler og bruk av slurry

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat i et samarbeid med Statens vegvesen og Jernbaneverket

Utarbeidet av: Norges geotekniske institutt (NGI)

Forfatter: Astri Eggen

Dato: 20.12.2012

Opplag: P.O.D.

ISBN: 978-82-410-0906-8

Sammendrag: Etatene Statens vegvesen (SVV), Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) og Jernbaneverket (JBV) har, gjennom etatsatsningsprosjektet Naturfare - Infrastruktur, Flom og Skred (NIFS) et delprosjekt (DP6) som omhandler kvikkleire. Fra NGI er det bestilt en rapport med hensikt å undersøke muligheter for å produsere kalksementpeler på en skånsom måte ved å bruke slurry.

Rapporten består av et litteraturstudium som undersøker hvilken påvirkning dyp grunnforsterkning har på omliggende grunn, både i form av våt og tørr installasjonsmetode.

Emneord: Kalksementpeler, slurry

Forord

NIFS-prosjektet er et felles satsningsområde mellom Jernbaneverket, Norges vassdrags- og energidirektorat og Statens vegvesen. Prosjektperioden er definert som 2012 – 2015. Planlagt budsjett på 42 millioner i perioden. Stort fokus på intern kompetanse og faglig utvikling bidrar i tillegg med anslagsvis 30 årsverk fra etatene i samme periode. Prosjektet er allerede i leveransefasen, 7 delprosjekter er etablert, og opp i mot 100 medarbeidere i de tre etatene er involvert i større eller mindre grad.



Rapport / Report

FoU - Naturfare – infrastruktur, flom og skred (NIFS)

Skånsomme installasjonsmetoder for kalksementpeler og bruk av slurry

20120746-1-R
20. desember 2012
Rev. nr.: 0

Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet.

Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemann uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGL.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this risk and take full responsibility for use of this document.

This document shall not be used in parts, or for other purposes than the document was prepared for. The document shall not be copied, in parts or in whole, or be given to a third party without the owner's consent. No changes to the document shall be made without consent from NGL.



Prosjekt

Prosjekt: FoU – Naturfare- infrastruktur, flom og skred
Dokumenttittel: Skånsom installasjon for KS-peler og bruk av slurry
Dokumentnr.: 20120746-1-R
Dato: 20. desember 2012
Rev. nr./rev. dato: 0

Hovedkontor:
Pb. 3930 Ullevål Stadion
0806 Oslo

Avd Trondheim:
Pb. 1230 Sluppen
7462 Trondheim

T 22 02 30 00
F 22 23 04 48

Kontonr 5096 05 01281
Org. nr 958 254 318 MVA

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Oppdragsgiver

Oppdragsgiver: Statens Vegvesen, Vegdirektoratet
Kontaktperson: Tonje Eide Helle
Kontraktreferanse: Oppdragsbekreftelse og rammeavtale
2012073568

For NGI

Prosjektleder: Astri Eggen
Utarbeidet av: **Astri Eggen**
Kontrollert av: Tor Georg Jensen

Sammendrag

Det er utført et litteraturstudium med hensyn til dyp grunnforsterknings påvirkning av omliggende grunn. Studiet omfatter både tørr- og våt metode. Videre er erfaringer og kjent bruk i Skandinavia tatt inn i vurderingene.

Ved gjennomgang av litteratur kommer det relativt klart fram at hovedfokuset primært er, og har vært rettet mot, kvaliteten på det stabiliserte materialet. Det er relativt begrenset med studier der leira mellom det stabiliserte materialet har blitt nærmere vurdert.

Til tross for begrenset med publiserte studier, så er det klart at selve installasjonen av grunnforsterkningen, både ved tørr metode og våt metode, kan svekke omliggende grunn. Faktorer som er viktige er henholdsvis lufttrykk ved tørr metode og slurrytrykk ved våt metode. Men også det at det tilføres masse (bindemiddel)

kan føre til horisontale tøyninger i grunnen, som igjen kan redusere styrken i leira. Videre er det også indikasjoner på at selve vispen kan ha påvirkning et stykke utenfor selve den stabiliserte sonen.

Kvaliteten på omliggende grunn kan overvåkes ved poretrykkmålinger og helningsmålinger, samt at det for eksempel kan gjøres trykksonderinger i naturlig grunn inntil grunnforsterkningen.

Påvirkningen på omliggende grunn avhenger av hvordan selve stabiliseringen utføres. For tørr innblanding kan for eksempel forstyrning av omliggende grunn reduseres ved å redusere trykket bindemiddelet blir blandet inn med. Utforming av visper og stenger kan også være av betydning.

Det forhold at kalksementstabilisering ved flere anledninger, med godt resultat, har blitt brukt for stabilisering av utglidninger, innebærer at metoden også kan brukes der det er lav stabilitetsmessig sikkerhet. På den annen side er det også klart at kunnskapen om sammenhengen mellom installasjon og svekking av omliggende grunn bør bli bedre.

Basert på erfaringer og litteraturstudiet er det utarbeidet et forslag til feltforsøk for en mer detaljert studie av de faktorer som i størst grad antas å påvirke omliggende grunn slik at den blir svekket.

I dag kan det synes som at kvaliteten av det stabiliserte materialet trolig undervurderes, mens omliggende grunn overvurderes med hensyn til fasthet.

Innhold

1	Prosjektbeskrivelse	6
2	Historikk	6
2.1	Skandinavia	7
2.2	Japan	8
2.3	Europa	10
3	Oversikt over metoder	11
3.1	Kalksementstabilisering, tørr metode, DSM, DJM	11
3.2	Modifisert stabilisering med kalksement. MDM	12
3.3	Stabilisering med sementslurry, CDM	13
3.4	Kommentarer – utstyr og metode	13
4	Erfaringer og utfordringer	14
4.1	Utbedring av utglidninger	14
4.2	Kraftigere maskiner	15
4.3	Poretrykksoppbygging ved KS-stabilisering	15
5	Litteraturstudie	15
5.1	Generelt	15
5.2	Forstyrrelse av omliggende grunn	16
6	Oppsummering	18
7	Anbefalinger – installasjon	19
8	Anbefalinger – videre utvikling - FoU	19
9	Begrep – forkortelser	21
10	Referanser	22
10.1	Bøker og artikler	22
10.2	Hjemmesider	24

Kontroll- og referanseside

1 Prosjektbeskrivelse

NGI bidrar i forskningsprosjektet *Naturfare – infrastruktur, flom og skred (NIFS)*.

Prosjektet er utført på oppdrag fra tre partnere:

- Statens Vegvesen, Vegdirektoratet. (SVV)
- Jernbaneverket (JBV)
- Norges Vassdrags- og energidirektorat. (NVE)

FoU prosjektet skal belyse flere forhold rundt grunnforhold og sensitiv leire, sett i forhold til infrastruktur, flom og skred. Det totale FoU prosjektet er delt opp i flere delprosjekt. Denne rapporten presenterer delprosjektet: *N-6.8.1 Skånsomme installasjonsmetoder for kalksementpeler og installasjon med slurry*.

Kalksementpeler (dyp stabilisering) brukes for grunnforsterkning av primært leire og silt. I Norge nyttes forsterkningen i stor grad for å ivareta stabilitet, mens det andre steder i verden gjerne brukes for setningsreduksjoner eller for å bedre bæreevnen.

Installasjon av kalksementpeler utføres ved at kalk og/eller sement blandes inn i grunnen. Dette innebærer at grunnen der kalksementpeler blir etablert svekkes midlertidig inntil innblandet materiale binder av. I tillegg til denne lokale, midlertidige svekkingen kan også installasjon av kalksementpeler føre til en svekking av fastheten av omliggende leire utenfor det stabiliserte området. Dette kan skyldes en forstyrrelse/nedbrytning av omliggende materiale eller en poretrykksoppbygging.

Grunnet den midlertidige svekkelsen i selve pelen/ribben, samt det forhold at grunnen rundt selve stabiliseringen også kan svekkes, har det vært stor skepsis til å bruke grunnforsterkning for stabilisering av naturlige skråninger.

Delprosjektet omfatter et litteraturstudium av nasjonal og internasjonal litteratur for innhenting av erfaringer med bruk av installasjonsmetoder med hensyn til om disse kan utføres slik at omliggende grunn ikke blir svekket. Erfaringer med bruk av slurry istedenfor tørr innblanding er også vurdert.

2 Historikk

Grunnforsterkning med kalk, sement og/eller andre bindemiddel, ved tørr eller våt innblanding, har de siste 35 år blitt mer og mer brukt rundt om i verden. Grunnet ulike grunnforhold og ulike behov har metoden utviklet seg litt forskjellig på de ulike stedene. I det følgende gis en liten oversikt over utvikling og bruk for det som vurderes som mest aktuelt.

2.1 Skandinavia

Grunnforsterkning, ved tørr innblanding med kalksement, er utført i Norge i 30 år og noen få år lengre i Sverige. Fram til 1990 ble det benyttet relativt små maskiner med en begrenset rekkevidde, ned til 15 m dyp og en vispdiameter på 0,5 m. Det var da primært kalk som ble brukt som bindemiddel, men det ble også prøvd ut andre bindemidler, som sement. Maskinene hadde begrenset framkommelighet og rekkevidde.



Figur 2.1: Viser stabiliseringsutstyr fra midten av 1980-tallet. Foto NGI.

Rundt 1990 ble det en betydelig forbedring av maskinene. De fikk kraftigere motor, de fikk rekkevidde horisontalt som en gravemaskin, de kunne blande inn både sement og/eller kalk, samt at de fleste maskinene kunne gå ned til 21 m dybde. Diameter stabilisert pel er 0,5 til 1 m. Kalksementpelene fikk generelt bedre kvalitet, men økt innblandingsenergi førte også med seg at faren for å forstyrre omliggende grunn ble større.

Etter 2000 kom det enda kraftigere maskiner, som kan stabilisere ned til 30 m dybde. Disse maskinene hadde også fått bedre datamaskiner for styring og dokumentasjon av installasjonen. Dokumentasjon av helning, beliggenhet (GPS), installasjonstrykk, innblandingsmengder, rotasjon og stigning ble bedre.



Figur 2.2: Viser stabiliseringsutstyr fra 2000- tallet.

I tilfeller hvor en har ønsket å oppnå spesielle egenskaper eller der hvor det har vært fast grunn og/eller lavt vanninnhold har det blitt tilsatt vann i tillegg til tørr kalksement (MDM Modified Dry Mixing). I Norge ble dette gjort første gang i 2003. (/2/, /3/, /4/, /6/, /13/, /18/, /101/ og /103/).

Bruk av innblanding med slurry (våt metode, som innebærer at sement og vann blandes før nedføring til vispen) er det usikkert om har vært brukt i Skandinavia. Så langt er det ikke funnet dokumentasjon på det.

2.2 Japan

I Japan har grunnforsterkning med både tørr og våt metode blitt benyttet siden midten av 1970-tallet. Grunnforsterkningsmetoden har økt i anvendelse og i Japan er det mange hundre prosjekt hvert år der det brukes dyp grunnforsterkning. Tørr metode brukes primært på land, mens våt metode (slurry) brukes både på land og i sjøen /22/.

En vesensforskjell mellom stabiliseringsutstyr i Japan sett i forhold til Skandinavia er at maskinene er betydelig større. Det vil si at isteden for én visp kan det være fra 2 - 8 visper på ett tårn. På land primært 2 visper, og for sjøarbeider 2, 4 eller 8 visper. Stabilisering ned til 40 – 50 meters dybde på land og 70 m på sjøen er mulig. Store maskiner krever relativt god grunn for å komme fram.

Ut fra litteraturen ser det ut til at stabilisering med store maskiner primært utføres fra lektere på sjøen eller på byggeplasser på land som er relativt horisontale.



Figur 2.3: Viser Japansk utstyr for tørr metode fra byggeplass i utkanten av Tokyo. Maskinen har to visper. Foto NGI.



Figur 2.4: Viser Japansk utstyr for våt metode fra byggeplass i Tokyo. Maskinen har to visper. Foto NGI.

2.3 Europa

I Europa har det vært benyttet tørr metode (DSM, DJM) og våt metode (CDM). For slurrymixing på land er det en og to vispers maskiner som har vært brukt (/8/ og /9/).

I Europa, sør for Skandinavia, er det primært våt metode som brukes da grunnen der gjerne er litt fastere. I Polen, Finland, Sverige og Norge er den tørre metoden i bruk.

3 Oversikt over metoder

3.1 Kalksementstabilisering, tørr metode, DSM, DJM

DSM (deep soil mixing) eller som noen kaller den DJM (deep jet mixing) er den metoden som brukes mest i Skandinavia.

Typiske dimensjoner – utstyr i Skandinavia, ref /1/:

- Maskinenes maksimale stabiliseringsdybder; 15 til 30 m
- Diametre for vispene 50 cm, 60 cm, 80 cm og 100 cm.
- Rotasjonshastighet: 50 – 210 omdr/min
- Installasjonstrykk 3 – 15 bar (avhengig av dybde)
- Vekt av maskin: 15 – 50 tonn
 - Marktrykk maskin: 24 – 50 kN/m²
 - Marktrykk materialvogn: 40 – 60 kN/m²

Anvendelse:

- Det går jevnt over 5 – 8 maskiner i Norge som stabiliserer med denne metoden. Metoden brukes i samferdselsprosjekt, byggeprosjekt, infrastruktur og ved stabilisering etter utglidninger.



Figur 3.1: Viser kalksementpelmaskiner som stabiliserer i naturlig skråning med kvikkleire (2000 – tallet). Foto NGI.

Typiske dimensjoner – utstyr i Japan, ref /106/:

- Maskinenes maksimale stabiliseringsdybder; 20 til 33 m
- Maskinene har en og to visper
- Diametre for vispene 1 – 1,3 m.
- Vekt av maskin: 24 – 93 tonn
 - Marktrykk maskin: 24 – 104 kN/m²

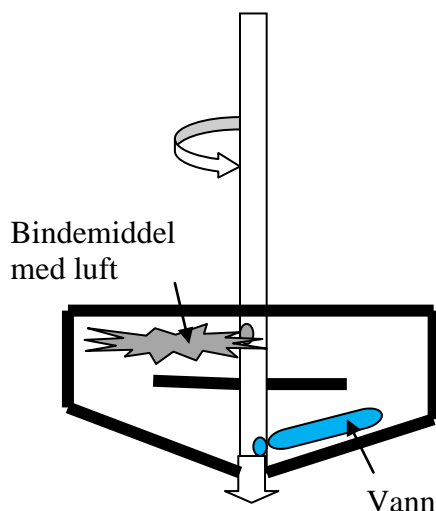
I figur 2.3 er det vist en maskin for tørr innblanding fra Japan.

3.2 Modifisert stabilisering med kalksement. MDM

MDM, (modified deep mixing), er grunnforsterkning der en i tillegg til tørr innblanding av bindemiddel også tilfører vann nede ved vispen.

Typiske dimensjoner - utstyr

- Utstyr som for tørr metode (DSM, DJM), men i tillegg brukes vann ved behov



Figur 3.2 Prinsippskisse med hensyn til stabilisering der både tørt bindemiddel og vann settes til separat (MDM).

Modified Dry Mixing (MDM) (modifisert tørr metode) kan brukes i følgende tilfeller /101/:

- Penetrere fastere jordlag (vannet bidrar)
- Stabilisere over grunnvannstanden
- Etablerer mer homogene pelar
- Lage pelar med høyere fasthet ved å sette til mer bindemiddel i kombinasjon med ekstra vann.

Eksempler på bruk i Norge:

- Drammensveien 134, Oslo – stabilisering mot spunt, 2003
 - Leira var stedvis noe stiv og derfor vanskelig å stabilisere. Vann ble brukt som smøremiddel.
- Kolsåsbanen – tiltak mot vibrasjoner, 2011
 - Fikk stabilisert øvre jordlag som i utgangspunktet var for fast for stabilisering.
- E6, byggegrop for tunnelpåhugg i Trondheim, 2011
 - Fikk stabilisert jordlag som i utgangspunktet var for fast for stabilisering.

3.3 Stabilisering med sementslurry, CDM

CDM, (cement deep mixing), er en metode der en blander inn en sementslurry.

Typiske dimensjoner – utstyr i Japan, ref /5/, /22/ og /104/.

- Maskinenes maksimale stabiliseringsdybder er 20 til 50 m på land og opp til 70 m i sjøen.
- Diametre for vispene
 - 1 stk visp med diameter 1,5 m
 - 2 stk visper med diameter 1m, 1,2 m eller 1,3 m
 - 4 stk visper med diameter 1 m eller 1,2 m
 - 8 stk visper med diameter 1 m
- Sementslurry kapasitet 10 – 40 m³/time (mulig mer for de største maskinene).
- Vekt av maskin: 25 – 75 tonn (land)

Typiske dimensjoner – utstyr i Europa og USA, ref /8/ og /9/ og /103/.

- Maskinenes stabiliseringsdybder; 15 til 30 m.
- Diametre for vispene
 - 1 stk visp med diameter 0,8 – 1,2 m
 - 2 stk visper med diameter 0,6 m – 1 m
- Sementslurry kapasitet 5 – 15 m³/time

3.4 Kommentarer – utstyr og metode

Med hensyn til valg av utstyr og metode er det viktig å ta i betraktning at utstyret skal ha framkommelighet på en sikker og trygg måte. Store maskiner, som kan stabilisere dypt, har gjerne en mer begrenset framkommelighet enn mindre maskiner. Dette er en viktig faktor ved grunnforsterkning i naturlige skråninger. Ønsket om å stabilisere for dype glidesirkler kan komme i konflikt med framkommelighet for utstyret.

4 Erfaringer og utfordringer

4.1 Utbedring av utglidninger

Kalksementpeler for dypstabilisering av utglidninger har blitt brukt med suksess flere ganger. Når det har skjedd en utglidning er grunnen som oftest meget bløt i øvre jordlag, samt at sikkerhetsfaktoren ligger like over 1 for noe dypere glideflater. Rent praktisk innebærer dette at alt en foretar seg bør gjøres slik at stabiliteten forbedres.

Der det har skjedd en utglidning, og en ønsker å bedre stabiliteten, anbefales det å installere poretrykksmålere før en igangsetter stabiliseringen. Dette fordi poretrykksmålerne gir klare indikasjoner på om trykkluft (eller slurrytrykk) sprer seg ut til siden for det området som stabiliseres. Videre er det viktig at overskuddstrykk får muligheten til å komme opp til overflaten. Positive bidrag til dette kan være at noen peler stabiliseres nesten helt opp, og at eventuelt lokk av flytende leire fjernes.

Utbedringer av utglidninger har vært vellykket gjennomført ved at en først har etablert en vei inn i området, for deretter å starte forsiktig med stabilisering. Punkt nummer en ved utbedring av utglidninger er at en ikke bruker mer lufttrykk enn strengt tatt nødvendig ved utblåsing av bindemiddelet.

Videre etableres gjerne kun én ribbe i et område. Deretter flyttes det et stykke unna for etablering av neste ribbe. En slik framgangsmåte reduserer konsekvensen av mulig svekking av omliggende grunn. I Kattmarka /10/ ble det brukt vertikaldren for drenering av poretrykket i kombinasjon med kalksementstabilisering. En annen viktig faktor er at i kvikkleire/meget omrørt leire avbinder bindemidlene meget fort slik at innen et døgn er fasthetsøkningen betydelig.

I forbindelse med utbedring av grunnbrudd har det vært viktig å bruke relativt lette maskiner som har god framkommelighet ved dårlig grunn. Eventuelt at en arbeider seg framover og etablerer vei.

Det som har vært viktig for vellykket utbedring har vært følgende:

- Forsiktig stabilisering
 - Minst mulig lufttrykk, kun så mye at det ikke tetter seg
 - Kun stabilisere mindre partier av gangen for deretter å flytte et stykke unna før videre stabilisering
- Kontrollmåle
 - Poretrykksmålere som følges opp hele tiden
 - Stopp hvis poretrykket øker over et vist nivå
- Lette maskiner, som har framkommelighet selv der bæreevnen er relativt dårlig.

4.2 Kraftigere maskiner

Utviklingen har ført til større og kraftigere maskiner. Det innebærer rent praktisk at det er mulig å gi på mer innblåsningstrykk og det er mulig å stabilisere dypere ned (30 m). Øket dybdenivå er en fordel ved naturlige skråninger fordi en kan komme dypt nok, men øket innblåsningstrykk kan virke uheldig om en ikke vet hva man gjør.

De største maskinene i Skandinavia krever bedre grunnforhold både med hensyn til bæreevne og helning enn de noe mindre maskinene. Krav til terrenghelning for de største maskinene er 1:10 eller slakere.

4.3 Poretrykksoppbygging ved KS-stabilisering

I forbindelse med kalksementpeler har det flere ganger blitt installert poretrykksmålere i omliggende grunn. Basert på disse resultatene ser det ut til at det som oftest blir noe poretrykksøkning, men det behøver ikke bli det.

En utglidning i Bærum ble stabilisert uten at det ble registrert poretrykksøkning i omliggende grunn. Det skal da sies at en gikk forsiktig fram, med mye flytting mellom områder, ved stabilisering av ribbene.

5 Litteraturstudie

5.1 Generelt

Det som er gjennomgående i det meste av litteraturen er at det er fokus på styrke og geotekniske parametre i grunnforsterket materiale. Det er i svært liten grad gjort vurderinger med hensyn til omliggende jord. Enkelte nevner omliggende jord med hensyn til samvirke mellom stabilisert og ustabilisert jord. Det fokuseres da primært på tøying, stivhet og brudd. Med andre ord at bruddtøyingen for stabilisert materiale og naturlig grunn kan være ulike.

Utfordringer med hensyn til svekking av- og poretrykksoppbygging i omliggende grunn er i liten grad fokusert på. Bakgrunnen for dette er trolig at metodene i mange land utenfor Norge, primært brukes for setninger og bæreevne der terrenget er relativt horisontalt. Det vil si at fare for skade/utglidning under installasjon i liten grad er tilstede, samt at ved endelig design, så er det primært den stabiliserte jorden som er bærende.

En skal i denne sammenheng ikke gå lengre enn til Sverige og Finland før tilfellet er at grunnforsterkning primært brukes for setninger og kun i mindre grad for stabilitet av naturlige skråninger og skjæringer.

5.2 Forstyrrelse av omliggende grunn

I litteraturen er det primært to forhold det er fokus på med hensyn til forstyrrelse av omliggende grunn. Det ene er vispens påvirkning utenfor selve stabilisert sone og det andre er i hvilken grad trykk fra luft og/eller vannutblåsing kan forringe omliggende grunn.

I det følgende gis noen utvalgte eksempler funnet i litteraturen:

5.2.1 Veibygging på kvikkeleire, E39 /16/

Ny vei fra Øysand til Orkanger i Sør-Trøndelag, som ble bygget i perioden 2003 – 2005, går stedvis gjennom mektige leirområder. Veilinja ligger et par steder i 7 – 10m dype skjæringer der det er meget sensitiv leire (kvikk). Ved prosjektering av veien viste stabilitetsberegninger lav stabilitetsmessig sikkerhet og behov for forsterkninger før etablering av veien. Både for en 350 m lang skjæring og for en 90 m lang løsmassekulvert ble det brukt grunnforsterkning med kalksementpeler.

Det ble installert kalksementpeler med diameter 0,6 m, som enkeltpeler og i ribber. Pelene ble installert med dybde inntil 17 m dybde. Ved utgravning for skjæringen kom det en mindre utglidning ved gravestuffen. Dette gjorde at det ble igangsatt supplerende grunnundersøkelser med CPTU-sondering i leira mellom kalksementstabiliserte ribber og enkeltpeler.

De supplerende CPTU-sonderingene ble sammenlignet med sonderinger utført før installasjon av kalksementpelene. Det viste seg at det var betydelig reduksjon av skjærfastheten i omliggende leire. Svekkelsen av leira ble registrert både ved ribber og enkeltpeler.

Det konkluderes med at årsaken til svekkelsen kan ligge i påvirkning fra lufttrykket som brukes ved installasjon av kalksementpelene. Videre kan tilføring av kalk og sement føre til volumtøyninger i leire mellom ribber og enkelt peler. I og med at leira er sensitiv, vil den ha sprøbruddoppførsel og da kan relativt små deformasjoner føre til betydelig svekkelse.

I og med at svekkelse av leira ble oppdaget relativt tidlig ble det gjort tiltak med blant annet avlastning av omliggende terreng slik at prosjektet ble greit gjennomført.

5.2.2 Påvirkning på omliggende grunn, Japan /19/

Denne artikkelen tar for seg både teoretiske og praktiske vurderinger med hensyn til påvirkningen på omliggende leire ved installasjon av dyp stabilisering med sementslurry. Foruten teoretiske betraktninger vises både til laboratorieforsøk og feltforsøk.

Det er tatt utgangspunkt i den påvirkningen slurrytrykket har ved innblanding, samt påvirkningen fra selve vispens skjæring av leira. Slurrytrykket kan variere fra i størrelse 30 kPa til flere hundre kPa.

Ved installasjon ble det målt betydelig poretrykksøkning i sonen utenfor selve den stabiliserte søylen. For noen av forsøkene ble det også observert at deler av poretrykket sank relativt raskt etter installasjon.

I artikkelen konkluderes med følgende:

- Det blir en svekkelse i leira rundt installert sone grunnet injeksjonstrykk og vispens omrøring på opptil 2 -3 ganger diameteren av den stabiliserte pelen.
- De har også observert oppsprekking av leira rundt stabilisert sone. Dette svekker leira i første omgang, fører til noe slurry utenfor selve sonen og kan bidra drenasjemessig til øket fasthet etter hvert.

Det er funnet at selv om en bruker slurry kan omliggende grunn bli betydelig forstyrret.

5.2.3 *Installasjonseffekter ved kalksementpeler /7/*

I forbindelse med bygging av ny jernbane fra Gøteborg til Trollhattan er det utført feltforsøk med hensyn til poretrykksoppbygging og horisontaldeformasjon i leire som ligger rundt kalksementpeler. Kalksementpelene (tørr metode) ble installert for å redusere setninger og forebygge vibrasjoner. Arbeidene er utført i 2009.

Grunnen besto av en tilnærmet normalkonsolidert leire med et vanninnhold på 60 – 100 % og en skjærfasthet på 10 til 40 kPa.

Det ble brukt poretrykksmålere og helningskanaler for å måle påvirking av stabiliseringen. De er installert 4 m fra nærmeste ribbe.

Kalksementpelene ble installert i et gittermønster med enkeltpeler inne i gitteret. Installasjonsdybder for kalksementribber er fra 7 til 22 m.

Resultatene viser en horisontaldeformasjon på opptil 60 mm vekk fra ribba. Poretrykket økte i størrelse 8 til 15 kPa.

6 Oppsummering

Basert på artiklene omtalt i det foregående, samt annen dokumentasjon ser det ut til at det er følgende forhold som går igjen med hensyn til påvirkning av omliggende grunn ved installasjon av kalksementpeler:

- Trykket ved utblåsing av tørt eller vått (slurry) bindemiddel kan ha en påvirkning på omliggende grunn.
- Tilføring av materiale i grunnen kan ha en negativ påvirkning med hensyn til
 - tøyingspåkjenninger på grunnen (svekking av sensitiv leire)
 - horisontalforskyvning av jordvolum på flere cm
- Ved enkelte grunnforhold kan den nedbrytning som er gjort ved installasjonen kompenseres relativt raskt og i andre tilfeller skjer ikke det.

Faren for påvirkning av omliggende grunn er sannsynligvis større ved bruk av trykkluft enn ved bruk av væske ved utsprøyting av materialet. Dette med de samme effekter en har ved bruk av henholdsvis luft og vann ved boring av peler. Bruk av vann er normalt mer skånsomt enn bruk av luft. Men på samme måte som for luft vil slurrytrykket ha vesentlig betydning. Det vil si at mindre trykket er mindre sannsynlig er det for å svekke omliggende område. Her vil det trolig bli en optimalisering med hensyn til kvalitet av stabilisert materiale og svekkelse av omliggende grunn.

Med hensyn til at det tilføres materiale er det viktig at overskuddsmateriale, lufttrykk og vanntrykk i størst mulig grad får mulighet til å komme opp til overflata uten at grunnen svekkes. Følgende kan ha påvirkning:

- At noen peler føres helt opp til terreng gjør at luft og vann letter kommer til overflaten.
- Eventuell flytende leire som legger seg som et teppe over området og hindrer trykk å unnslippe bør fjernes.
- Bruke minst mulig trykk (både luft- og væsketrykk)
- Det er også noen som mener at firkantet stang er bedre enn rund med hensyn til at overskuddsluft unnslipper, men det mangler god dokumentasjon på dette.

7 **Anbefalinger – installasjon**

Med bakgrunn i at kalksementpeler ved flere anledninger har vært brukt som metode for stabilisering ved utglidninger i byggegroper/skråninger der grunnen består av sensitiv leire, er det mulig å få til vellykkede resultat selv der sikkerheten mot utgliding er liten. Hovedprinsippet bør være at alt en gjør skal bedre stabiliteten, samt at en minimum har installert poretrykksmålere som kan gi en indikasjon med hensyn til påvirkning av omliggende grunn.

Det som trolig er det viktigste for å redusere påvirkning på omliggende grunn ved installasjon av kalksementpeler er kontroll med innblåsningstrykket.

Rent praktisk innebærer det at om en ønsker skånsom installasjon ved tørr metode bør ikke trykket ved tilføring av bindemiddelet være større enn det må for at materialet ikke skal sette seg fast i røret. Kravet om lavest mulig trykk kan gå litt på bekostning av jevn innsprøyting (+/- 10 % bindemiddel). Om det skal installeres ribber for å ivareta stabilitetsmessige forhold, så er det begrenset betydning om bindemiddelet kommer noe mer ujevnt ut sett i forhold til betydningen av å ivareta styrken i omliggende grunn. Det som er svært viktig er at hvis det oppstår tetting av rør/dyser, så må en ikke prøve å gi på trykkluft når vispen er nede i grunnen. Det vil si at hvis så skjer, så må vispen føres opp til terreng.

Videre økes sikkerheten ved at det installeres en ribbe, det flyttes så til et område som ligger et stykke ifra stabilisert ribbe, for installering av neste ribbe. Dette fører til at en begrenser området rundt et nystabilisert parti hvor det er fare for svekking av grunnen. Videre får ribbene tid til å binde av og forsterke partiet før en kommer tilbake for installasjon av neste ribbe.

Det kan ved enkelte grunnforhold kanskje være hensiktsmessig med MDM metode der litt vanntilsetning kan bidra til å smøre systemet, og derved kunne redusere lufttrykket noe. Eventuelt at det kun brukes slurry med lavt trykk.

Hvis skråningsstabiliteten har lav sikkerhet før oppstart av grunnforsterkning, så kan det være aktuelt å legge inn en motfylling eller en avlastning i forkant av installasjonen.

Med basis i overstående understrekes at det er den prosjekterende og/eller den utførendes ansvar at sikkerheten ivaretas.

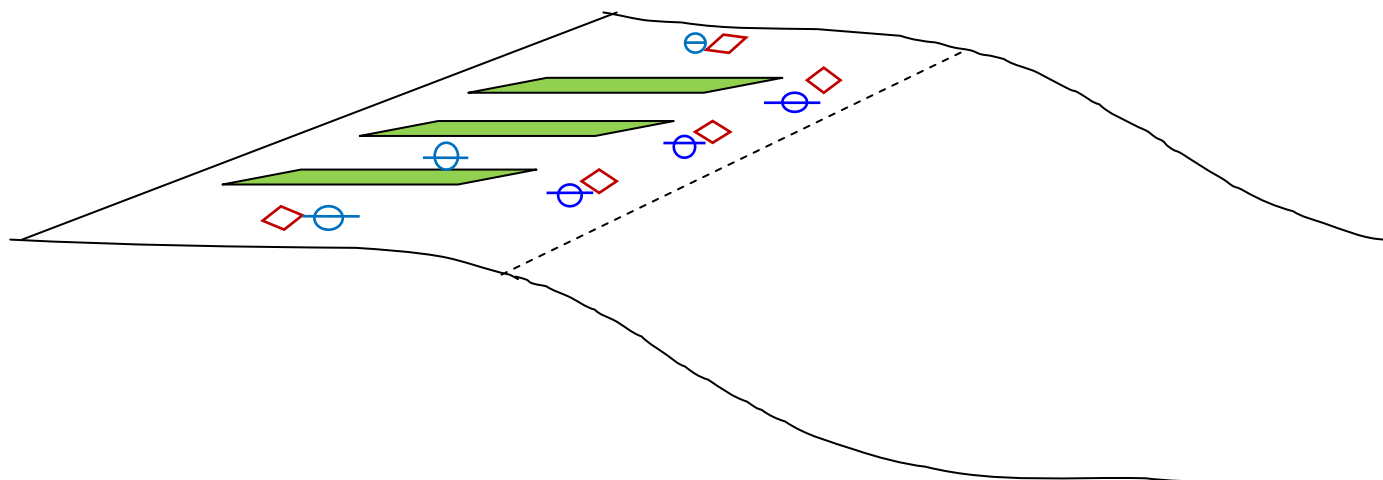
8 **Anbefalinger – videre utvikling - FoU**

Hvis en ønsker å få bedre kompetanse og dokumentert viten om anvendelse av kalksementstabilisering i naturlige skråninger anbefales det å utføre et forsøk på et prøvefelt.

Prøvefeltet bør ligge i en skråning eller på et relativt flatt parti på toppen av en skråning. Skråningen bør ligge slik at skaden blir begrenset om det skulle skje en utglidning.

Følgende foreslås gjort:

- Grunnundersøkelser før, under og etter installasjon av kalksementpeler.
 - Hensikten er å kartlegge grunnen godt på forhånd, samt sjekke om installasjonen svekker grunnen rundt kalksementpelene.
- Installere poretrykksmålere for å dokumentere om installasjonen fører til endring av poretrykket i grunnen.
 - Målerne bør installeres mellom kalksementribber, ved endepunktene, og ut mot skråningen.
- Installasjon av helningskanaler
 - Helningsmålinger for å måle om installasjonen fører til horisontaldeformasjoner. Sideveis og ut mot skråningen.



Figur 7.1: Prinsippskisse med hensyn til testfelt med KS-stabilisering, poretrykksmålere og helningskanaler.

Størrelsen på testfeltet og hvor mye som skal måles/dokumenteres avhenger av testfelt og midler til å utføre arbeidene.

I det følgende gis forslag til et testprogram:

- Installasjon:
 - Varier trykket ved innblåsing på 2-3 nivå.
 - Prøv med MDM, vann sammen med luft
 - Eventuelt ren slurry innblanding.
 - Installere i ribber slik at det blir litt volumøkning
 - Måling i forhold til enkeltpeler kan også gjøres, men mulig det blir vanskelig å få klare resultater ut fra det.
 - Teste ut både firkantet og rund stang
- Instrumentering
 - Både poretrykksmålere og helningskanaler bør installeres i god tid før installasjon av kalksementpelene, slik at det blir mulig med noen målerunder før installasjon.

Det bør gjøres grunnundersøkelser både før, under og etter at stabiliseringen er utført. CPTU-sonderinger kan være egnet for slike undersøkelser, da det går relativt raskt fra sondering til resultat.

Overstående er kun en skisse til forhold det kan ses på. Hvis det blir aktuelt å utføres et feltforsøk bør det legges ned en del arbeid i å lage et detaljert måle og installasjonsprogram, samt at det bør finnes et egnet sted for forsøket.

9 Begrep – forkortelser

I internasjonal litteratur om grunnforsterkning brukes flere forkortelser og noen omfatter omtrent det samme. Forordens skyld er det i det følgende forsøkt vist en oversikt ved å oppgi forkortelsene med en liten forklaring bak.

- DMM – Deep Mixing Method (overordnet, kan gjelde alle metodene)
- DSM – Deep Soil Mixing (overordnet, kan omfatte både tørr og våt innblanding, men den brukes også der det er ment kun tørr innblanding)
- DJM – Dry Jet Mixing (tørr innblanding, pulver av kalk og sement)
- DLM – Deep Lime Mixing (tørr innbladning, pulver kalk)
- CDM – Cement Deep Mixing (slurry, sement og vann blandet før innblanding)
- MDM – Modified Deep Mixing (tørt bindemiddel (sement, kalk) og vann separat nede ved vispen).

10 Referanser

10.1 Bøker og artikler

- /1/ NGF- veileding. Grunnforsterkning med kalksementpeler. 2012.
Eggen, Jensen, Karlsrud, Gjelsvik NGI
- /2/ NGF/TEKNA kurs 2012.
Prosjekteksempel Møllenberg Trondheim – KS-stabilisering.
Torgeir Haugen, NCC
- /3/ NGF/TEKNA kurs 2012.
Utførelse av KS-arbeider.
Tommie Morkvist. Hercules Grunnlagning.
- /4/ NGF/TEKNA kurs 2012.
Vibrasjonsdempende tiltak ved bruk av kalksementpeler.
Robert de Bruin, Geovita AS
- /5/ Cement Deep Mixing Association CDM 2012
- /6/ Hercules Grunnlagning AB 2011
Infoblad MDM metoden
Kolsåsbanen
Løsmassetunnel E6, Trondheim
Gamletull, Halmstad
Vindkraftverk
- /7/ Chalmers 2010
Charlotte Andersson, Britta Karlström.
Installation effects of lime-cement columns – with special focus on
horizontal displacement and pore pressure.
- /8/ International symposium on deep mixing and admixture stabilisation, DM
2009 Okinawa, May 19-21 2009.
Keller Grundbau SEE, Vienna, Austria 2009
Dr E Falk and C Sigmund
Deep Mixing Applications in Europe
- /9/ International symposium on deep mixing and admixture stabilisation, DM
2009 Okinawa, May 19-21 2009.
Keller Polska, Gdynia, Poland 2009
M Topolnicki
Design and execution practice of wet Soil Mixing in Poland

- /10/ Geoteknikkdagen 2009
Karlsruh, Gregersen, Moholdt NGI
Johnsen, NVE
Skredfare vurdering og sikringstiltak etter kvikkeleireskredet i Kattmarka, Namsos.

- /11/ Tyrens AB, 2005/2007
S. Larsson
State of Practice Report. – Execution, monitoring and quality control.

- /12/ Thyrens AB and LCM AB, Sweden 2005
S. Larsson, M. Dahlström, B. Nilsson
Uniformity of lime-cement columns for deep mixing: a field study

- /13/ Hercules Grunnlägning AB og LCTechnology
H Eriksson, M Ruin, Hercules Grunnlägning AB
J Gunther, LCTechnology
MDM Combines the advantages of Dry and Wet Mixing.

- /14/ USA 2005/2006
Bruce, D.A and Cali, P.R
State of Practice Report: Session 3 – Design of Deep Mixing Applications.

- /15/ NS-EN 14679 september 2005
Utførelse av spesielle geotekniske arbeider. Dypstabilisering

- /16/ Geoteknikk dagen 2005
Veibygging på kvikkeleire, E39.
Engen , Haavardsholm

- /17/ KTH Doctoral Thesis, Stocholm Sweden 2003
Stefan Larsson
Mixing Processes for Ground Improvement by Deep Mixing

- /18/ LCM AB
Infoark 2003. Kalkcementpelare för stabilisering av spont på Drammensveien 134, Oslo.

- /19/ Canadian Geotechnical Journal. Vol 40, 2003
Shui-Long Shen, Norihiko Miura, Hirofumi Koga
Interaction mechanism between deep mixing column and surrounding clay during installation.

- /20/ Cambridge University Engineering Department, UK
A. AL-Tabbaa
Soil mixing in the UK 1991 – 2001: State of practice report 2003.
- /21/ Svensk Djupstabilisering Arbetsrapport 23, 2002-09
Stafan Larsson, Marcus Dahlström, Bengt Nilsson
Studie av inverknande faktorer I blandingsprocessen vid djupstabilisering med kalkcementpelare – Fältförsök i Håby
- /22/ The Deep Mixing Method, 2002 (kommer ny utgave februar 2013)
Masaki Kitazume. Costal Development Institute of Technology
Prinsiple, design and konstruktion Costal delevopment institute of technology. Japan

10.2 Hjemmesider

- /101/ Hercules sin hjemmeside. www.hercules.se
- /102/ DMIX. AB sin hjemmeside. www.dmixab.se
- /103/ LCM (Keller) sin hjemmeside. www.lcm.se
- /104/ CDM Cement Deep Mixing Association Headquarters www.cdm-gr.com
- /105/ Svensk geoteknisk institutt (SGI) www.swedgeo.se
- /106/ DJM Dry Jet Mixing Method www.djm.gr.jp

Kontroll- og referanseside/ Review and reference page



Dokumentinformasjon/Document information									
Dokumenttittel/Document title FoU – Naturfare – infrastruktur, flom og skred (NIFS). Skånsom installasjon av kalksementpeler og bruk av slurry			Dokumentnr./Document No. 20120746-1-R						
Dokumenttype/Type of document Rapport/Report		Distribusjon/Distribution Begrenset/Limited		Dato/Date 20. desember 2012					
				Rev.nr.&dato/Rev.No.&date 0					
Oppdragsgiver/Client Statens Vegvesen, Vegdirektoratet									
Emneord/Keywords									
Stedfesting/Geographical information									
Land, fylke/Country, County Norge, ikke steds spesifikk				Havområde/Offshore area					
Kommune/Municipality				Feltnavn/Field name					
Sted/Location				Sted/Location					
Kartblad/Map				Felt, blokknr./Field, Block No.					
UTM-koordinater/UTM-coordinates									
Dokumentkontroll/Document control									
Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001									
Rev./ Rev.	Revisjonsgrunnlag/Reason for revision	Egen- kontroll/ Self review av/by:		Sidemanns- kontroll/ Colleague review av/by:		Uavhengig kontroll/ Independent review av/by:		Tverrfaglig kontroll/ Inter- disciplinary review av/by:	
0	Originaldokument	AEg		TGJ					
Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release		Dato/Date 20. desember 2012		Sign. Prosjektleder/Project Manager Astri Eggen					

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen geofagene. Vi utvikler optimale løsninger for samfunnet, og tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg.

Vi arbeider i følgende markeder: olje, gass og energi, bygg, anlegg og samferdsel, naturskade og miljøteknologi. NGI er en privat stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskap i Houston, Texas, USA.

NGI ble utnevnt til "Senter for fremragende forskning" (SFF) i 2002 og leder "International Centre for Geohazards" (ICG).

www.ngi.no

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting in the geosciences. NGI develops optimum solutions for society, and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the natural and built environment.

NGI works within the oil, gas and energy, building and construction, transportation, natural hazards and environment sectors. NGI is a private foundation with office and laboratory in Oslo, branch office in Trondheim and daughter company in Houston, Texas, USA.

NGI was awarded Centre of Excellence status in 2002 and leads the International Centre for Geohazards (ICG).

www.ngi.no



Hovedkontor/Main office:
PO Box 3930 Ullevål Stadion
NO-0806 Oslo
Norway

Besøksadresse/Street address:
Sognsveien 72, NO-0855 Oslo

Avd Trondheim/Trondheim office:
PO Box 1230 Pirsenferet
NO-7462 Trondheim
Norway

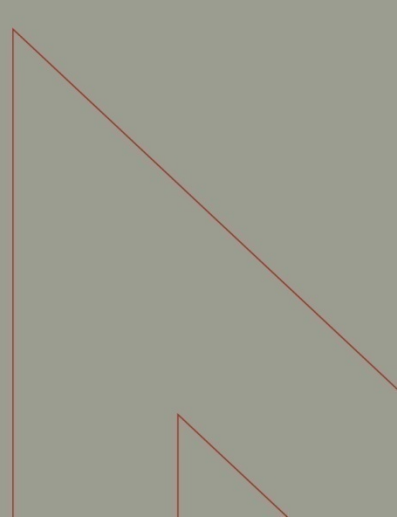
Besøksadresse/Street address:
Pirsenteret, Havnegata 9, NO-7010 Trondheim

T: (+47) 22 02 30 00
F: (+47) 22 23 04 48

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Kontonr 5096 05 01281 /IBAN NO26 5096 0501 281
Org. nr./Company No.: 958 254 318 MVA

BSI EN ISO 9001
Sertifisert av/Certified by BSI, Reg. No. FS 32989



Utgitt i Rapportserien i 2013

- Nr. 1 Roller i det nasjonale arbeidet med håndtering av naturfarer for tre samarbeidende direktorat
- Nr. 2 Norwegian Hydrological Reference Dataset for Climate Change Studies. Anne K. Fleig (Ed.)
- Nr. 3 Anlegging av regnbed. En billedkavalkade over 4 anlagte regnbed
- Nr. 4 Faresonekart skred Odda kommune
- Nr. 5 Faresonekart skred Årdal kommune
- Nr. 6 Sammenfatning av planlagte investeringer i sentral- og regionalnettet for perioden 2012-2021
- Nr. 7 Vandringshindere i Gaula, Namsen og Stjørdalselva
- Nr. 8 Kvartalsrapport for kraftmarknaden. Ellen Skaansar (red.)
- Nr. 9 Energibruk i kontorbygg – trender og drivere
- Nr. 10 Flomsonekart Delprosjekt Levanger. Kjartan Orvedal, Julio Pereira
- Nr. 11 Årsrapport for tilsyn 2012
- Nr. 12 Report from field trip, Ethiopia. Preparation for ADCP testing (14-21.08.2012)
- Nr. 13 Vindkraft - produksjon i 2012
- Nr. 14 Statistikk over nettleie i regional- og distribusjonsnettet 2013. Inger Sætrang
- Nr. 15 Klimatilpasning i energiforsyningen- status 2012. Hvor står vi nå?
- Nr. 16 Energy consumption 2012. Household energy consumption
- Nr. 17 Bioenergipotensialet i industrielt avfall
- Nr. 18 Utvikling i nøkkeltall for strømnetselskapene
- Nr. 19 NVEs årsmelding
- Nr. 20 Oversikt over vedtak og utvalgte saker. Tariffer og vilkår for overføring av kraft i 2012
- Nr. 21 Naturfareprosjektet: Delprosjekt Kvikkleire. Utstrekning og utløpsdistanse for kvikkleireskred basert på katalog over skredhendelser i Norge
- Nr. 22 Naturfareprosjektet: Delprosjekt Kvikkleire. Forebyggende kartlegging mot skred langs strandsonen i Norge Oppsummering av erfaring og anbefalinger
- Nr. 23 Naturfareprosjektet: Delprosjekt Kvikkleire. Nasjonal database for grunnundersøkelser (NADAG) – forundersøkelse
- Nr. 24 Flom og skred i Troms juli 2012. Inger Karin Engen, Graziella Devoli, Knut A. Hoseth, Lars-Evan Pettersson
- Nr. 25 Capacity Building in Hydrological Services. ADCP and Pressure Sensor Training Ministry of Water and Energy, Ethiopia 20th – 28th February 2013
- Nr. 26 Naturfareprosjektet: Delprosjekt Kvikkleire. Vurdering av kartleggingsgrunnlaget for kvikkleire i strandsonen
- Nr. 27 Kvartalsrapport for kraftmarknaden. Ellen Skaansar (red.)
- Nr. 28 Flomberegninger for Fedaelva, Kvinesdal kommune, Vest-Agder (025.3A1) Per Alve Glad
- Nr. 29 Beregning av energitilsig basert på HBV-modeller. Erik Holmquist
- Nr. 30 De ustabile fjellsidene i Stampa – Flåm, Aurland kommune Sammenstilling, scenario, risiko og anbefalinger. Lars Harald Blikra
- Nr. 31 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 4 Overvåking og varsling Overvåking ved akutte skredhendelser
- Nr. 32 Landsomfattende mark- og grunnvannsnett. Drift og formidling 2012. Jonatan Haga
- Nr. 33 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6 Kvikkleire. Saltdiffusjon som grunnforsterking i kvikkleire
- Nr. 34 Kostnadseffektivitet i distribusjonsnettet – En studie av referentene i kostnadsnormmodellen
- Nr. 35 The unstable phyllitic rocks in Stampa – Flåm, western Norway Compilation, scenarios, risk and recommendations. Lars Harald Blikra
- Nr. 36 Flaumsonekart Delprosjekt Årdal i Sogn. Siss-May Edvardsen, Camilla Roald
- Nr. 37 Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6 Kvikkleire. Skånsomme installasjonsmetoder for kalksementpeler og bruk av slurry



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no

