

Feltforsøk stagboring

Dokumentasjon av effekter ved boring i leire

Einar John Lande og Kjell Karlsrud

BegrensSkade Delrapport nr. 4.1

Begrensning av skader som følge av grunnarbeider

Delprosjekt nr.: 4

Feltforsøk stagboring – Dokumentasjon av effekter ved boring i leire

Dato: 2015-08-26

Revisjonsdato:

Revisjonsnr.: 0

Delprosjektleder: Einar John Lande, NGI

Utarbeidet av: Einar John Lande og Kjell Karlsrud, NGI

Kontrollert av: Kjell Karlsrud, NGI

Sammendrag

Boring av forankringsstag og/eller peler til berg er for ofte en hovedårsak til at det oppstår uventede store setninger og påfølgende skader på nærliggende nabobygg og annen infrastruktur. Problemstillinger knyttet til boring i bløt leire har vært kjent i flere tiår og har vært nevnt av enkelte forskere, men det har manglet en mer komplett forståelse av installasjonseffektene. Som en del av forskningsprosjektet BegrensSkade er det utført et fullskala feltforsøk med boring av stag gjennom leire og inn i berg. Feltforsøkene ble utført høsten 2013 på et jorde ved Skåra i Onsøy, ca. 5 km nord for Fredrikstad sentrum. Denne rapporten gir en detaljert beskrivelse av feltforsøkene og presenterer resultater fra målinger, samt vurderinger av resultatene.

Feltforsøkene omfattet boring med 5 forskjellige boremetoder for å kunne analysere installasjonseffekter og vurdere metodenes potensiale for å utløse setninger. For å dokumentere hvilke installasjonseffekter stagboringen fører til i leire er det for hver boremetode installert 8 stk. setningsankere og 3 stk. elektriske poretrykksmålere. Det er i tillegg installert 2 stk. poretrykksmålere som referanse.

Setningsnivellelement utført over en periode på ca. 1 år har generelt vist beskjedne terrengsetninger for alle boremetoder som følge av stagboring, med maksimal verdi lik 12 mm i felt B hvor det ble boret med luftdrevet senkhammer og odex 115 borsystem. Målinger av poretrykk og terrengsetninger har imidlertid vist en klar tendens til at boring med luftdrevet senkehammer i felt B har ført til signifikant større poreovertrykk rundt hvert stag (Δu opptil 60 kPa og avstand ca. 3 m) og terrengsetninger enn for alle andre boremetoder. Setningsnivellelement indikerer for øvrig en tilnærmet umiddelbar setningsutvikling over hele forsøksfeltet ved boring i felt B. Basert på observasjoner under utførelse og resultat fra poretrykksmålere kan disse setningene skyldes en midlertidig poretrykksreduksjon ved berg. At terrengsetningene i felt B fortsatte å øke over en periode på ca. 6 måneder etter endt boring indikerer at det i hovedsak var relatert til dissipasjon av poreovertrykk og re-konsolidering av delvis omrørt leire rundt foringsrør. De resterende boremetodene hadde mindre og nokså lik påvirkning på poretrykk og terrengsetninger som i felt B, men terrengsetningene har stoppet opp etter endt boring.

Ser man bort fra terrengsetninger som følge av boring i felt B er det for øvrig ingen klare indikasjoner på at noen av de andre boremetodene gir større eller mindre setninger enn andre.

De relativt små terrengsetninger som er målt under feltforsøkene er mindre enn forventet ved planlegging av forsøksfeltet, og står i stor kontrast til de setninger (opp mot 40 cm) som er rapportert fra utgravninger i bløt leire avstivet med spunt og stag forankret i berg, ref. BegrensSkade delrapport DP1+2 (Langford m. flere, 2015). Avvik mellom målt og forventet terrengsetning på forsøksfeltet kan forklares ved flere forhold:

- 1) Det er boret få stag med liten dimensjon for hver boremetode, dvs lite påvirket jordvolum i forhold til byggeprosjekter.
- 2) Boring er utført fra terrengnivå (over GV) uten effekt fra destabiliserende grunn- og vanntrykk ved borkronen.
- 3) Leiren på forsøksfeltet (Onsøy leire) har høyt leirinnhold og høy plastisitet, og er trolig mindre utsatt for erosjon/utspyling enn mer siltige leirer.
- 4) Terrenget på forsøksfeltet er ubelastet i motsetning til de fleste byggeprosjekter.

Effektene ved boring med luftspyling i faste og permeable friksjonsmasser (sand/morene) over berg er trolig mer avgjørende for setningsutvikling enn tidligere antatt. Boring med luftspyling kan skape et vakuum/sug ved borkronen som fører til erosjon og innsuging av løsmasser.

Innhold

1	Innledning.....	6
2	Forsøksfelt.....	6
2.1	Områdebeskrivelse.....	6
2.2	Kvartærgeologi og berggrunn	7
2.3	Grunnforhold.....	8
2.3.1	Løsmasser	8
2.3.2	Grunnvann.....	8
2.4	Geotekniske jordparametere	9
3	Instrumentering.....	10
3.1	Hensikt.....	10
3.2	Plan instrumentering.....	10
4	Feltforsøk med stagboring	12
4.1	Boremetoder	12
4.2	Boreprosedyrer og utførelse	12
4.2.1	Selvborende stag – Felt A.....	12
4.2.2	Odex 115 luftdrevet senkehammer – Felt B	15
4.2.3	Odex 115 vanddrevet senkehammer – Felt C	18
4.2.4	Odex 90/76 topphammer – Felt D	20
4.2.5	OD 114,3 sentrisk ringkrone Ø120 topphammer med gysing og trekking av foringsrør – Felt E	22
5	Resultater	25
5.1	Setningsmålinger	25
5.1.1	Felt A – Selvborende stag.....	25
5.1.2	Felt B – Odex 115 senkehammer	25
5.1.3	Felt C – Odex 115 vanddrevet senkehammer	26
5.1.4	Felt D – Odex 90/76 topphammer	27
5.1.5	Felt E – OD 114,3 sentrisk ringkrone Ø120 og topphammer	28
5.2	Poretrykksmålinger	28
5.2.1	Felt A – selvborende stag	28
5.2.2	Felt B – Odex 115 senkehammer	30
5.2.3	Felt C – Odex 115 vanddrevet senkehammer	31
5.2.4	Felt D – Odex 90/76 topphammer	33
5.2.5	Felt E – OD 114,3 sentrisk ringkrone Ø120 og topphammer	33
5.3	Måling av utspylt volum	35
6	Vurdering av installasjonseffekter ved boring av stag	36

6.1	Generelt.....	36
6.2	Publisert litteratur	36
6.3	Metoder for bestemmelse av spenning og tøyning rundt peler	37
6.4	Estimert tøyning-spenningsendring fra boring basert på CEM og SPM	39
6.5	Re-konsolidering av leire rundt peler og stag	41
6.5.1	Beregning estimert volumreduksjon rundt stag i felt B	42
7	Vurdering av resultater	43
7.1	Generelt.....	43
7.2	Betydning av boreprosedyrer og utførelse	44
7.3	Luft vs. vandrevet senkehammer	45
8	Konklusjon	46
9	Referanser	47

Tegninger:

Tegning 010 – Plan boring og instrumentering
Tegning 020 – Borplan grunnundersøkelser

1 Innledning

Det oppstår alt for ofte uventede og uønskede skader på naboeiendommer som følge av fundamenteringsarbeider, spesielt i forbindelse med utførelse av stag- og peleboring. Det ligger et betydelig potensiale i å unngå eller begrense slike skader. I BegrensSkade er det et mål å utvikle nye metoder og tiltak for utførelse av stag- og peleboring.

Det er per i dag ikke utført noen forskning som dokumenterer hvilke effekter stag- og peleboring fører til ved boring i kohesjonsjordarter (leire og silt), eller ved overgang til faste masser/berg. Derfor er det i delprosjekt 4 – *Dokumentasjon av nye metoder og tiltak* utført et fullskala feltforsøk med stagboring i leire og ned i berg. Målet er å dokumentere installasjonseffekter ved boring med spesielt fokus på potensiale for utvikling av setninger.

Det er utført boring med 5 ulike metoder. Valg av boremetoder og prosedyre for boring er basert på vurderinger fra en egen prosjektgruppe bestående av representanter fra utførende bore- og grunnentreprenører, samt geotekniske rådgivere. Dette er beskrevet i delrapport 3.1 *Forbedring og videreutvikling av boremetoder for stag og peler*, ref. BegrensSkade (2014).

2 Forsøksfelt

2.1 Områdebeskrivelse

Forsøksfeltet for stagboring ligger på et jorde ved Skåra i Onsøy, ca. 5 km nordvest for Fredrikstad sentrum, se Figur 2-1 og 2-2. Forsøksfeltet ligger øst for Fv. 110 Mosseveien og sør for Skåragårdsveien.

Terrenget er tilnærmet flatt og ligger på ca. kote +6/+7 moh. Fra Skåragårdsveien faller terrenget svakt i retning sør-sørøst ned mot våtmarksområdet inntil elva Seut som ligger omtrent i havnivå.



Figur 2-1: Kartutsnitt med beliggenhet forsøksfelt (Kilde: Norgeskart.no)

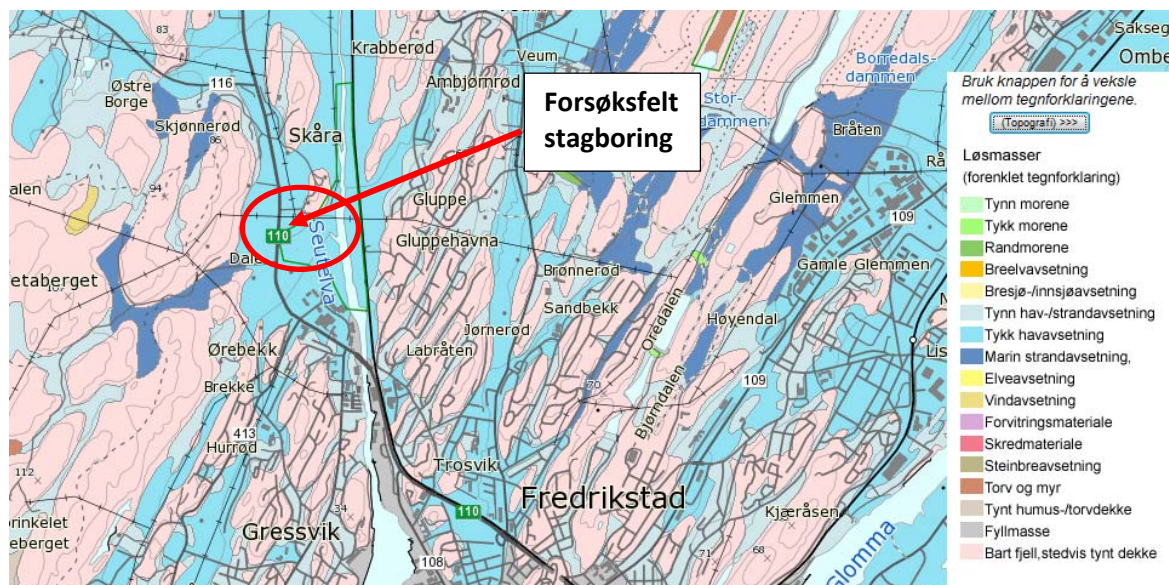


Figur 2-2: Kartutsnitt med beliggenhet forsøksfelt for stagboring (Kilde: gulesider.no)

2.2 Kwartærgeologi og berggrunn

Forsøksfeltet ligger i et område hvor løsmassene i all hovedsak består av mektig homogen marin havavsetning, se kvartærgeologisk kart i Figur 2-3.

Berggrunnen rundt Fredrikstad består hovedsakelig av dypbergarter av mellom-prekambrisk alder, dannet for ca. 900 millioner år siden. Bergartene som preger området er hard granitt og Tonalitt.



Figur 2-3: Kvartærgeologisk kart over Fredrikstad (Kilde: ngu.no)

2.3 Grunnforhold

2.3.1 Løsmasser

NGI har gjennomført flere forskningsprosjekt på Onsøy, og har gjennom dette arbeidet opparbeidet en meget god kjennskap til grunnforhold og leirens materialeegenskaper. Det er blant annet tatt opp høykvalitets blokkprøver på tre tidligere forsøksfelt som det er utført laboratorieundersøkelser på, ref. Onsøy 1 (1985), Onsøy 2 (1995) og OBSB-Onsøy (2004). Resultater fra disse undersøkelsene er inkludert i en egen sammenstillingsrapport med data fra alle blokkprøver som NGI har tatt opp, NGI (2012).

I perioden 2009-2012 gjennomførte NGI sammen med flere partnere et omfattende fullskala forskningsprosjekt ved navn "Time Effects on Pile Capacity". Prosjektet omfattet blant annet et forsøksfelt inntil Fv 110 ved Skåra i Onsøy, omtrent 100-150 m vest fra forsøksfelt for stagboring. Det ble i den forbindelse utført grunnundersøkelser i form av dreietrykksonderinger, samt tatt opp én 72 mm prøveserie for undersøkelser i laboratoriet. Borprofil fra 72 mm prøveserien er vist i Figur 2-4.

I forbindelse med søk etter egnet forsøksfelt for stagboring utførte NGI i juni 2013 supplerende grunnundersøkelser på Skåra i Onsøy. Undersøkelsene omfattet enkle sonderinger for å kartlegge dybder til faste masser/berg. Sonderingene indikerte at løsmassemekktigheten på feltet varierte mellom ca. 15 til 21 m.

En oversikt over utførte grunnundersøkelser er presentert på borplan i tegning 020.

2.3.2 Grunnvann

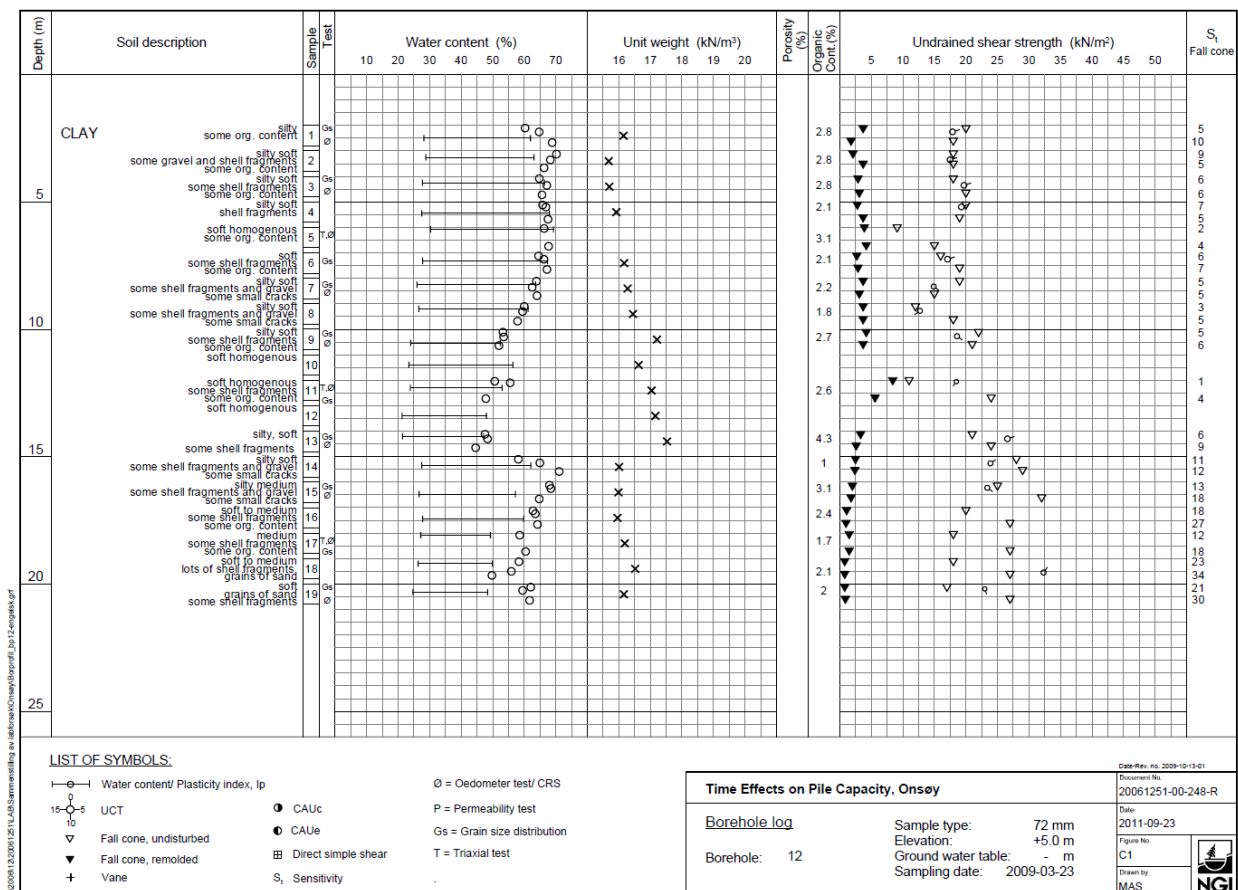
Det er installert en rekke poretrykksmålere i flere dybder på forsøksfeltet. Målingene viser at naturlig grunnvannsnivå ligger omtrent 0,5-1 m under terreng med tilnærmet hydrostatisk poretrykksøkning med dybden.

2.4 Geotekniske jordparametere

Basert på resultater fra tidligere felt- og laboratorieundersøkelser på Onsøy er det laget en generell sammenstilling av geotekniske jordparametere vist i Tabell 2-1. For feltforsøkene med stagboring er det imidlertid grunnundersøkelsene utført i forbindelse med nevnte peleforsøk som er mest relevante.

Tabell 2-1: Oversikt typiske jordparametere for Onsøy leire.

Jordparameter	Enhet	Verdi
Romvekt, γ	kN/m ³	15,5-17,5
Vanninnhold, w	%	45-70
Plastisitet, Ip	%	30-45
Organisk innhold	%	1-4,3
Udrenert skjærfasthet, c_u	kN/m ²	10-40
Sensitivitet, St	-	2-30
OCR	-	1,25-1,7
Skjærmodul G_{50}	MPa	0,61-8,13
G_{50}/c_u	-	100-200



Figur 2-4: Borprofil hull 12 fra grunnundersøkelser for peleforsøk (etter NGI, 2011)

3 Instrumentering

3.1 Hensikt

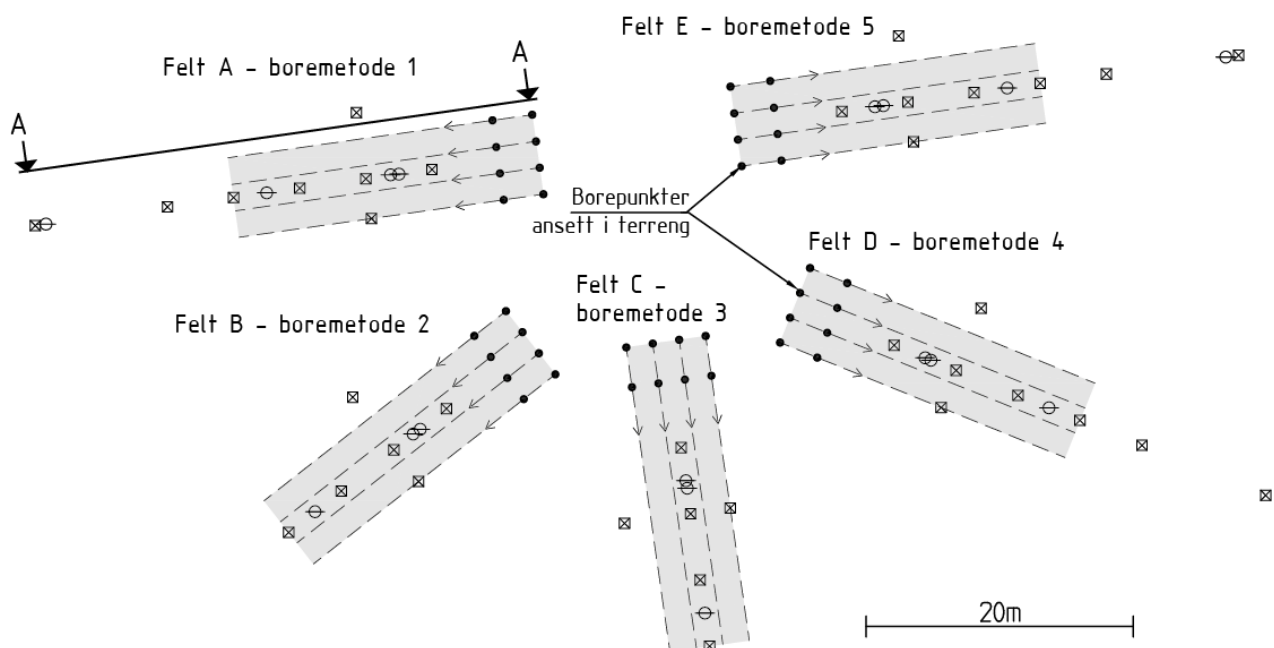
For å kunne dokumentere hvilke installasjonseffekter stagboring i leire fører til er det utført omfattende instrumentering på forsøksfeltet. Det er installert totalt 40 stk. setningsankere og 17 stk. poretrykksmålere til ulike dybder. Installasjonen ble utført av NGI i august 2013.

3.2 Plan instrumentering

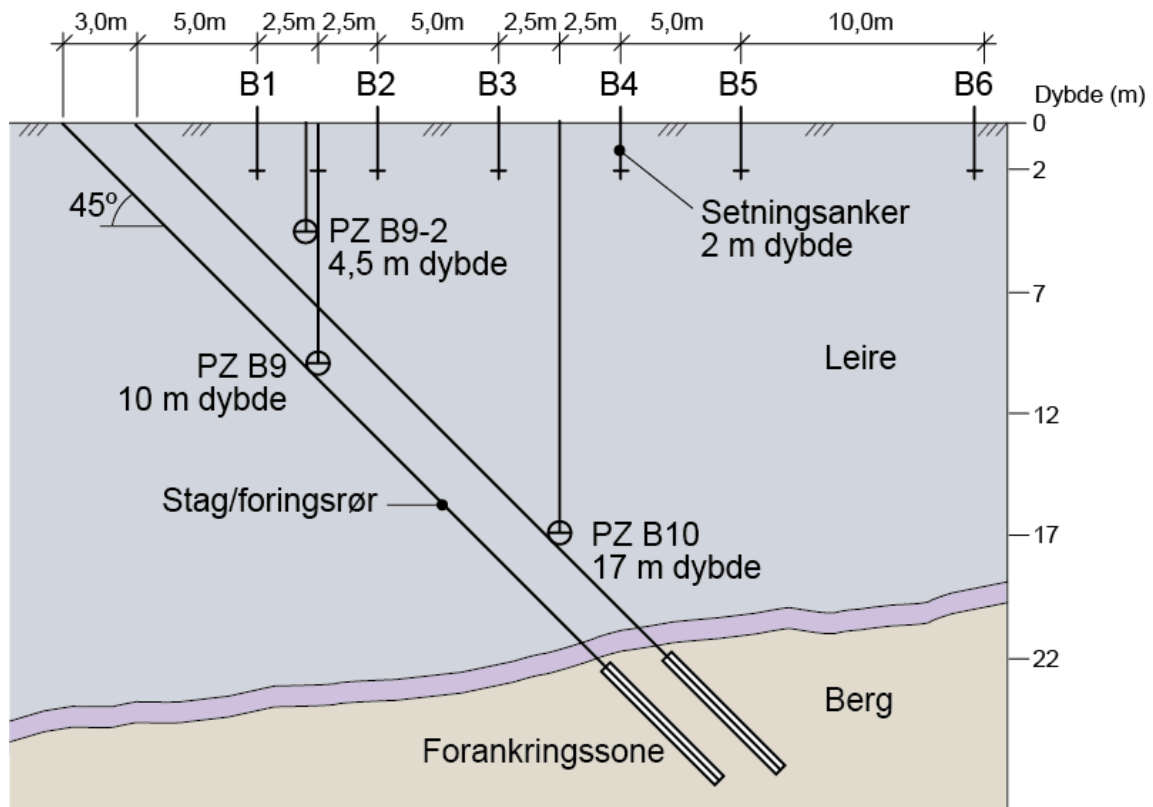
Plan over instrumentering av forsøksfeltet er vist på vedlagte tegning O10. En skisse som viser plan over forsøksfelt med instrumentering er vist i Figur 3-1. Generelt prinsipp for instrumentering for hver boremetode er vist i Figur 3-2.

For å måle størrelse og utstrekning (influensområde) på eventuelle terrengsetninger som følge av boring av stag er det installert totalt 8 stk. Borros setningsankere for hver boremetode, se Figur 3-1 og 3-2. Det er installert 6 setningsankere langs senterlinje for boring av stag, samt 2 ankere på tvers av boreretning, med henholdsvis 3 og 5 m avstand fra senterlinjen. Alle setningsankere er for øvrig installert frostfritt til 2 m dybde under terreng.

Setningsmålinger er utført med totalstasjon og fast referansepunkt på berg. Målenøyaktighet er oppgitt til $\pm 1-2$ mm. Det er utført målinger regelmessig gjennom en periode på ca. 10 måneder, og resultater er presentert i kapittel 5.1.



Figur 3-1: Plan over forsøksfelt med instrumentering.



Figur 3-2: Prinsipp for instrumentering med setningsankere og poretrykkmålere for hver boremetode på forsøksfelt.



Figur 3-3: Borros setningsankere. Til venstre vist som ved nedpressing og til høyre etter installasjon.

I tillegg til setningsankere er det som vist i Figur 3-1 installert 3 elektriske poretrykksmålere med automatisk logging for hver boremetode på forsøksfeltet, og 2 poretrykksmålere som referanse utenfor det antatte berørte området. Alle målere er installert til ulike dybder langs senterlinjen for boring av stag, se prinsipp i Figur 3-2.

Poretrykksmålinger er utført med kontinuerlig logging over en samlet periode på ca. 14 måneder, fra installasjon i august 2013 til oktober 2014. Poretrykksmålerne ble installert ca. 1 måned før oppstart med boring. Loggeintervall har vært hver time i perioden fra installasjon og til endt boring, og videre etter dette logging en gang i døgnet.

4 Feltforsøk med stagboring

4.1 Boremetoder

Det er utført stagboring med totalt 5 ulike boremetoder på forsøksfeltet, se oversikt i Tabell 4-1. Valg av boremetoder er basert på vurderinger i DP3, ref. BegrensSkade (2014). Boremetodene 1, 2 og 4 er tradisjonelt sett ofte benyttet ved stag- og peleboring i Norge, mens metode 3 og 5 er det begrenset erfaringer med. Hensikten med å teste ut de ulike metodene er for å se om det er noen klare forskjeller i påvirkning på omkringliggende løsmasser, og hovedsakelig potensiale for å føre til terrengsetninger.

Tabell 4-1: Oversikt boremetoder

Felt	Boremetode	Utførende firma
A	1 - Selvborende stag, type Ischebeck 40/16	Fundamentering AS
B	2 - Odex 115 med senkhammer	Br. Myhre AS
C	3 - Odex 115 med vannhammer (Wassara)	NFT avd. SMEFA
D	4 - Odex 90/76 med topphammer	E-Service AS
E	5 - OD 114,4 sentrisk ringborkrone Ø120 og topphammer, gysing og trekking av foringsrør	Hallingdal Bergboring AS

4.2 Boreprosedyrer og utførelse

I det etterfølgende er det gitt en kort beskrivelse av hvilke boreprosedyrer som ble benyttet for de ulike boremetodene, samt en generell beskrivelse av utførelse. Prosedyrene er valgt i henhold til det boreentreprenørene anser som "beste utførelse" ved boring gjennom leire og videre ned i berg.

Generelt for alle boremetodene er at stagene er boret fra terreng og ned til berg med en helning lik 45°. Dette for å simulere boring av forankringsstag som benyttes for avstivning av byggegrøper. Det er boret totalt 8 stag for hver metode fordelt på 2 stager med 3 m avstand. Senteravstand mellom hvert stag er 2 m, se Figur 3-1.

4.2.1 Selvborende stag – Felt A

Fundamentering AS (FAS) utførte i perioden 19-23. september 2013 boring og installasjon av selvborende forankringsstag til berg. Boringen ble utført i felt A. Til stede under arbeidet var Espen Borg (borleder) og Jostein Engen fra FAS. Kenneth Brandtsæg var borleder ved boring 23. september. Einar John Lande fra NGI var til stede 19-20. september.

Under arbeidet ble det benyttet en borerigg av typen Klemm KR803-1 med topphammer av typen KD 1215 R, se bilde i Figur 4-1. Blanding og gysing med sementmørtel ble utført med pumpe av typen Atlas Craelius (tilsvarende Miniflex E).

Forankringsstagene var av typen Ischebeck Titan 40/16 med ytre og indre stangdiameter lik henholdsvis 40 og 16 mm. Det ble benyttet bergkrone med ytre diameter lik 70 mm, se Figur 4-2.



Figur 4-1: Bilde av borerigg type Klemm KR803-1 oppstilt for boring av Ischebeck stag i felt A.

Den generelle boreprosedyren som ble benyttet for selvborende stag er som følger:

- Boring gjennom leire og videre ned i forankringszone i berg ble utført kun med vannspyling.
- Vannmengde ca. 60 l/min med 5 bars trykk (fra ledningsnett).
- Slagboring kun i forankringszone berg
- Rotasjonshastighet ca. 40-60 rpm.
- Gysing med mørtel, V/C = 0,4 i hele staglengden

Under boring ble det målt og registrert medgått mengde spylevann per stag. Det ble også forsøkt å samle opp alt spylevann og borkaks for å måle totalt volum og vekt, for å kunne bestemme utspylt mengde løsmasser. Det viste seg imidlertid å være vanskelig å måle nøyaktige totale mengder spylevann grunnet problemer med oppsamling, pumping og lekkasjer. Det ble derfor også tatt 0,5 l flaskeprøver av spylevann under boring for å estimere utspylt mengde løsmasser.

En sammenstilling av utført boring med Ischebeck stag er vist i Tabell 4-2 med tilhørende kommentarer.



Figur 4-2: Ischebeck stag dimensjon 40/16 med fjellkrone diameter 70 mm.

Tabell 4-2: Sammenstilling boring av Ischebeck stag i felt A.

Dato	Stag nr.	Tid fra – til	Boring		Spylevann [l]	Gysing	Merknad
			Løsmasse [m]	Berg [m]		Total [kg/stag]	
19.09.13	A101	0900 – 1130	25-26	-	967	0	[1]
19.09.13	A102	1245 – 1530	24	-	1159	0	[2]
19.09.13	A103	1530 – 1730	21	1-2	1084	0	[3]
20.09.13	A104	0800 - 0900	19,5	0,7	946	280	[4]
23.09.13	A105		22	2	395	200	[5]
23.09.13	A106		21,5	2,5	425	200	[6]
23.09.13	A107		21	-	450	400	[7]
23.09.13	A108		21	-	255	200	[8]

[1] – Boret totalt 36 m før det ble besluttet å avbryte. Antas påtruffet berg ved ca. 25-26 m lengde, med påfølgende skrens og stangrudd. Det ble besluttet å ikke gyse. NB! Ikke vellykket oppsamling av spylevann til tank for måling og veiing grunnet problemer med pumpe og store lekkasjer fra pumpeump.

[2] – Boret totalt 33 m før det ble besluttet å avbryte. Antas påtruffet berg ved ca. 24 m lengde, med påfølgende skrens og manglende fjellfeste. Ble besluttet at man skulle gyse staget for å unngå at hullet ble stående "åpent" med vann. Da man skulle gjøre klart til gysing oppdaget man at staget sank ned i hullet. Tok deretter opp 12 m (4 stag) og oppdaget at borstang hadde gjenget seg av ved 21 m, trolig grunnet dårlig påkobling ved stangbytte. Boret på nytt i samme hull, men fikk skrens ved ca. 25-26 m. Besluttet å avslutte og gyse staget slik det sto. Mens man klargjorde til gysing gikk staget tett av leirslam slik at det ikke gikk å gyse. Mislykket oppsamling av spylevann i tank.

[3] – Boret med ca. 56° helning for å redusere risiko for stangbrudd. Påtruffet berg ved ca. 21 m, men etter ca. 1-2 m boring i berg knakk borstang. Ble besluttet at det skulle gyses. Under klargjøring til gysing mistet man borstanga ved et uhell da gripekloa på riggen slapp taket. Dermed var det ikke mulig å gyse opp borehullet. Total vannmengde samlet i tank, ca. 670 l, vekt av spylevann 698 kg.

[4] – Boret med 55° helning for å redusere risiko for stangbrudd. Påtruffet berg ved ca. 19,5 m staglengde. Boret forsiktig ca. 0,7 m inn i berg. Besluttet at man ikke skulle bore lengre grunnet fare for stangbrudd. Total vannmengde i tank før gysing, ca. 800 l, vekt av spylevann 833,1 kg.

Gysing av hele staglengden med mørtelblanding V/C = 0,4 samtidig som volum spylevann (leirslam) som fortrenses opp av staghullet under gysing måles. Totalt ble det registrert ca. 180 l vann før det kom mørtel opp av staghullet. Sammenligner man total mengde vann som er registrert i vannmåler mot summen av det som er samlet i vanntank, ved gysing og fra slange og stag, blir totalen relativt lik, 946 l mot ca. 960 l.

[5-8] – Ved gysing av stagene ble det registrert vann som kom opp på jordet og fra nabostag. Dermed ikke mulig å måle volum av spylevann i staghull med tilstrekkelig nøyaktighet.

4.2.2 Odex 115 luftdrevet senkehammer – Felt B

Br. Myhre AS utførte i perioden mellom 17-22. oktober 2013 boring av foringsrør til berg i felt B med luftdrevet senkehammer og Odex 115 boresystem. Til stede under arbeidet var Anders Blyberg (boreleder) og Didrik Muggenud fra Br. Myhre, samt Einar John Lande fra NGI.

Under arbeidet ble det benyttet en borerigg av typen Nemek 510 TS med innebygd vannpumpe av typen Dynaset med kapasitet på 90 l/min og 150 bars trykk. Det ble også benyttet luftkompressor av typen Atlas Copco XRVS 476 med kapasitet på 28,5 m³/min og 25 bars trykk. Senkehammeren var av typen Mincon 4" og borestreng med dimensjon Ø76 mm.

Odex 115 boresystem har følgende dimensjoner:

Foringsrør dim: 139,7 x 4,0 mm (innv. volum $V_i = 13,62$ l/m rør, ytre volum $V_y = 15,33$ l/m rør)
Diameter fjellkrone: 115 mm
Diameter rømmer: 151,2 mm

Den generelle boreprosedyren som ble benyttet er som følger:

- Boring i leire (bløte masser) ble utført kun med bruk av vannspyling. Benyttes hovedsakelig for å holde spylehull i borkrone åpen og sikre sirkulasjon rundt borkronen. Eksentrisk rømmer "låses fast" inne i foringsrøret slik at det er mindre mulighet for leire å presses inn i foringsrør og bores ut, se bilde til venstre i Figur 4-3.
- Boresenk ved boring i leire ca. 5 sek/m.
- Rotasjonshastighet anslått til ca. 60 rpm ved boring i leire.
- Ved påtruffet fast morene/berg kjøres rømmer ut og luftspyling benyttes for å få slageffekt på borkronen, se bilde til høyre i Figur 4-3.
- Foringsrør boret ca. 0,5-1,5 m inn i godt berg med luftspyling.
- Borestreng trekkes opp og det skiftes til bergkrone. Boring av forankringssone i berg, ca. 4 m med luftspyling. Ved endt boring spyles borehull rent med luft og vann.

Under boring ble det målt og registrert medgått mengde spylevann per stag. Det ble også forsøkt å samle opp alt spylevann og borkaks i tanker for å måle total volum og vekt, for derved å kunne bestemme utspylt mengde løsmasser. Det viste seg imidlertid å være vanskelig å få samlet alt spylevannet grunnet lekkasjer mellom topp foringsrør og avlederhus på borerigg.

En sammenstilling av utført boring med Odex 115 luftdrevet senkehammer er vist i Tabell 4-3 med tilhørende kommentarer.



Figur 4-3: Til venstre; bilde av eksentrisk rømmen låst inne i foringsrør. Til høyre; bilde av borkrone med eksentrisk rømmen.

Tabell 4-3: Sammenstilling boring odex 115 senkehammer i felt B.

Dato	Stag nr.	Tid fra – til	Boring			Spylevann		Merknad
			Løsmasse [m]	Foringsrør i berg [m]	Berg [m]	Leire [l]	Morene/ Berg [l]	
17.10.13	B104	1200-1500	36,6	4,4	4	~500		[1]
17.10.13	B103	1500-1700	(21)			-		[2]
18.10.13		0800-1030	35	3,5	4			
21.10.13	B102	0800-1145	32 + 1,5	0,5	4	360	270	[3]
21.10.13	B101	1230-1500	30,9	0,6	4	296	50	[4]
22.09.13	B108	1500-1730	31,0 + 0,3	1,4	3,7	287	160	[5]
21.10.13	B107	1730-1810	(9)	0,9	3,9	310	100	[6]
22.10.13		0745-0940	30,8 + 0,8					
22.10.13	B106	0950-1310	33,0 + 0,1	0,5	4	550	170	[7]
22.10.13	B105	1330-1600	34,0	1,4	4	520	150	[8]

[1] – Boret i bløt/middels fast leire med vannspyling og høy borsynk (tilnærmet 5 sek/m) til påtruffet antatt fast morene ved 36,6 m lengde fra terreng (26 m dybde). Benyttet ca. 500 l vann ved boring i leire, noe som tilsvarer innvendig volum av 36,6 m foringsrør.

Foringsrør blåst rent med høytrykksluft før videre boring i morene/berg. Forsøkt å samle opp borkaks og vann på presenning, men det blir generelt mye gris ved spyling med luft. Det ble observert kun mindre mengder med utspylt leire og finsand på terreng rundt foringsrør, anslått til totalt 100-200 l.

Boret videre med luftspyling pluss litt vann gjennom morene og berg ned til total lengde ca. 41 m (29 m dybde). Relativt mye borkaks hovedsakelig med sand og en del stein blåst opp. Det ble observert at det kom luft og leirslam opp av installerte stag A103 og A104 i felt A. Foringsrør antas vridd av i sveiseskjøt ved ca. 38 m lengde fra terreng. Boret ca. 20-30 cm videre og da kom det opp stein i rør, sannsynlig ved bruddpunkt. Blåst en god del med luft for å rense hull, og registrert stort innsig med vann fra grunnen. Det ble besluttet å kappe foringsrør og bore videre med bergkrone (dimensjon Ø115 mm) for å verifisere at foringsrør var i berg. Boret videre 4 m i berg, total lengde 45 m (31,8 m dybde).

[2] – Boret til 21 m lengde (7 rør) før det ble avsluttet for dagen. Boret videre 18.10.13. Antas påtruffet fast morene ved 35 m lengde (24,75 m dybde). Målt gjennomsnittlig tid per installert 3 m rørlengde i leire er ca. 8 min.

Forsøkt å samle opp spylevann og borkaks fra avlederhuset på boreriggen ved blåsing av borehull med trykkluft. Store mengder av vannet i den øvre del av foringsrør lekker/spruter ut, mens mesteparten av borkaks og leirslam kommer opp i oppsamlingstank. Totalt 800 l spylevann samles i tank, hvorav ca. 150 l er sedimentert sand/silt på bunnen, se bilder i Figur 4-4.

Boret videre i morene og berg til total lengde lik 38,5 m (27,2 m dybde) med lav borsynk, ca. 30 min på 3 m. Observert innstrømning av vann fra grunnen, anslått til ca. 20-30 l/min som blåses opp med borkaks. Boret deretter videre med bergkrone 4 m i berg.



Figur 4-4: *Bilde av oppsamlet borkaks ved boring av stag B106. Sedimentert ca. 150 l silt/finsand i bunn etter tømming av spylevann.*

[3] – Boret 32 m (22,6 m dybde) i bløt/middels fast leire før påtruffet fast lag med høyere motstand, antatt å være sand/morene ned til ca. 33,5 m.

Foringsrør blåst rent med trykkluft etter boring i leire, og samlet opp ca. 400 l i tank, hvorav ca. 50-100 l er sedimentert borkaks i form av leire og silt. NB! Ikke nøyaktig måling av utspylt masse grunnet søl under oppsamling.

Benyttet ca. 110 l vann ved boring i morene/berg. Registrert at det ble blåst opp noe luft på utside av foringsrør, og i tillegg kom det en del vann opp av foringsrør i B103. Benyttet ca. 160 l vann i forbindelse med renblåsing av forankringssone i berg.

[4] – Boret totalt 30,9 m i leire før markant overgang til fast lag/berg (kl. 1230-1345). Benyttet ca. 296 l vann ved boring i leire. Foringsrør blåst rent med trykkluft før videre boring.

Boret foringsrør ca. 0,6 m i berg (kl. 1345-1400) og benyttet ca. 50 l vann. Boret 4 m forankringssone i berg (kl. 1425-1435). Antatt påtruffet en sleppe i berget ved ca. 33 m lengde, og registrert til dels stort vanninnslag fra berg, anslått til ca. 20-40 l/min.

[5] – Boret totalt 31,0 m i leire og ca. 0,3 m i sand før markant overgang til berg (kl. 1500-1640). Benyttet ca. 287 l vann ved boring i leire. Foringsrør blåst rent med trykkluft før videre boring.

Boret foringsrør ca. 1,4 m i berg (1640-1655) og benyttet ca. 160 l vann. Boret 3,7 m forankringssone i berg (kl. 1710-1725).

[6] – Boret 9 m før avsluttet for dagen. Fortsatt boring 22.10.13 til totalt 30,8 m i leire før markant overgang til fast lag, antatt sand/morene (0745-0900). Benyttet ca. 310 l vann ved boring i leire. Foringsrør blåst rent med trykkluft før videre boring.

Boret ca. 0,8 m i sand/morene og 0,9 m i berg med foringsrør (0900-0915) og benyttet ca. 100 l vann. Boret 3,9 m forankringssone i berg (kl. 0930-0940).

[7] – Boret 33,0 m i leire før markant overgang til fast lag, antatt sand/morene (0950-1135). Benyttet ca. 550 l vann ved boring i leire. Foringsrør blåst rent med luft før videre boring.

Boret ca. 0,1 m i morene og 0,5 m i berg med foringsrør (1135-1145) og benyttet ca. 70 l vann. Boret 4 m forankringssone i berg (kl. 1300-1310) og benyttet ca. 100 l vann. Ved boring og spyling i berg kom det vann opp i rør B104.

[8] – Boret 34,0 m i leire før markant overgang til fast lag, antatt berg (kl. 1330-1500). Benyttet ca. 520 l vann ved boring i leire. Foringsrør blåst rent med luft før videre boring.

Boret ca. 1,4 m i berg med foringsrør (1500-1515) og benyttet ca. 45 l vann. Boret 4 m forankringssone i berg (kl. 1530-1545) og benyttet ca. 105 l vann.

4.2.3 Odex 115 vandrevet senkehammer – Felt C

Nordisk Fundamentering AS avdeling SMEFA utførte i perioden mellom 27. november til 2. desember 2013 boring av foringsrør til berg i felt C med vandrevet senkehammer (Wassara) og Odex 115 boresystem. Til stede under arbeidet var Petter Tørngren (boreleder) og Peter Johansen fra SmeFa, samt Einar John Lande fra NGI.

Under arbeidet ble det benyttet en borerigg av typen Klemm 803, luftkompressor av typen Atlas Copco XRVS 336 og spesialtilpasset vannpumpe med maksimal kapasitet på ca. 450 l/min og 180 bars trykk, se bilde i Figur 4-5.



Figur 4-5: Til venstre; borerigg Klemm 803 klargjort for boring med vandrevet senkehammer i Felt C. Øverst til høyre; ekstern vannpumpe, nede til høyre; vanntank.

Odex 115 boresystem har følgende dimensjoner:

Dimensjon borestreng: 114 mm

Foringsrør dim: 139,7 x 4,0 mm (innv. volum $V_i = 13,62$ l/m rør, ytre volum $V_y = 15,33$ l/m rør)

Diameter bergkrone: 115 mm

Diameter rømmer: 151,2 mm

Den generelle boreprosedyren som ble benyttet er som følger:

- Boring i leire (bløte masser) utført med vannspyling. Redusert trykk på vannpumpe for å redusere vannforbruk (ca. 150-200 l/min).
- Boresynk ved boring i leire ca. 30-60 sek/m. (Redusert for å begrense massefortrengning og poretrykksoppbygging)
- Rotasjonshastighet anslått til ca. 60 rpm ved boring i leire.
- Boring i berg med vannspyling og vannmengde ca. 400-450 l/min.
- Etter avsluttet boring i berg ble borehull spylt rent med vann til det kom tilnærmet blankt vann opp av foringsrør.

Det var opprinnelig planlagt å bore forankringssone i berg på ca. 4 m. Av hensyn til tidsbruk og kostnader ble det besluttet å ikke gjøre dette, og kun bore foringsrør inn i berg.

På grunn av de store vannmengder som benyttes ved boring med vannhammer har det ikke vært praktisk mulig å samle opp alt spylevann for å måle utspylt mengde løsmasser. Det ble imidlertid registrert medgatte mengder spylevann i 4 borehull, samt tatt 0,5 l flaskeprøver av spylevann fra 1 borehull for å estimere utspylt mengde løsmasser. Visuelle observasjoner under boringen viste relativt beskjedne mengder leire som er boret og spylt ut, se bilder i Figur 4-7.

En sammenstilling av utført boring med Odex 115 vandrevet senkhammer er vist i Tabell 4-4 med tilhørende kommentarer.



Figur 4-6: Bilder av Odex 115 borkrone benyttet ved boring med Wassara vannhammer i felt C.

Tabell 4-4: Sammenstilling boring odex 115 og vannhammer i felt C

Dato	Stag nr.	Tid	Boring				Spylevann		Merknad
			Løsmasse		Foringsrør i berg		Løsmasse	Berg	
		Fra-til	[m]	fra-til	[m]	fra-til	[l]	[l]	
27.11.13	C104	0915-1020	6	0745-0923	1,2	0923-0950	-	-	[1]
28.11.13		0745-0950	34,8						
28.11.13	C103	1245-1730	34,9	1245-1652	1,1	1652-1727	-	-	
29.11.13	C102	0814-1056	34	0814-1027	1,0	1050-1056	-	-	[2]
29.11.13	C101	1200-1440	33,5	1200-1409	1,0	1409-1440	-	-	[3]
30.11.13	C108	0845-1055	34,8	0845-1042	1,0	1044-1055	-	-	[4]
30.11.13	C107	1228-1435	34,8	1228-1410	1,0	1410-1435	2600	4000	[5]
02.12.13	C106	0846-1036	34,2	0846-1022	1,4	1022-1036	5750	3200	[6]
02.12.13	C105	1145-1342	35,5	1145-1336	0,4	1336-1342	3900	1450	

[1] – Vannhammer byttet grunnet problem med slageffekt etter ca. 3 m boring. Motorstopp på rigg etter boring av totalt 6 m. Fortsatte boring neste dag (28.11.2013).

[2] – Total vannmengde ca. 10 m³

[3] – Boresynk ca. 20-30 sek/m

[4] – Boresynk ca. 30 sek/m.

Antatt skrens på berg ved ca. 33 m borelengde. Kjørt borestreng opp og ned med forsiktig mating/synk for å få feste i berg, noe som ble oppnådd ved ca. 34,8 m borelengde.

[5] – Tatt prøver av spylevann fra foringsrør for måling av volum leire. Spylevann samlet i 10 l bøtte og deretter helt opp i 0,5 l flasker. Prøver tatt i dybdene 4-5 m, 10-11m, 22-23m, 25-26m og 31-32 m.

[6] – Registrert at det kommer vann opp av foringsrør i borehull C107 (naborør) ved boring i berg.



Figur 4-7: Til venstre; bilde av utspylt leirslam ved boring av foringsrør i leire og ca. 1,2 m inn i berg for stag C104. Til høyre; bilde av utspylt leirslam ved boring stag C105.

4.2.4 Odex 90/76 topphammer – Felt D

E-Service AS utførte den 16-17. oktober 2013 boring av foringsrør til berg i felt D med topphammer og boresystem Odex 90/76. Til stede under arbeidet var Bjørn Solvang (boreleder) og Anders Larsson fra E-Service, samt Einar John Lande fra NGL.

Det ble benyttet borerigg av typen Tamrock CHA 700 med topphammer HL1010-80, se bilde i Figur 4-8. Boreriggen har innebygd luftkompressor med maksimal kapasitet på 7,2 m³/min og 10 bar trykk. Borestrengen var av typen T38 med ytre diameter lik 38 mm.

Odex 90 (76) har følgende dimensjoner:

Foringsrør dim: 114,3 x 4 mm (88,9 x 4 mm)

Diameter fjellkrone: 90 mm (76 mm)

Den generelle boreprosedyren som ble benyttet er som følger:

- Boring i leire (bløte masser) utført med vannspyling og uten bruk av topphammer.
- Borsynk ved boring i leire ca. 10-15 sek/m. Det ble kjørt litt opp og ned med foringsrør for hver 3 m lengde.
- Rotasjonshastighet anslått til ca. 120 rpm ved boring i leire.
- Boring i fast morene med vannspyling og topphammer

Onsdag 16. oktober (ca. 1200-1530) ble det utført boring av stag D104. Det ble boret totalt ca. 25,7 m gjennom bløt leire før det ble påtruffet faste morenemasser (mulig knusningssone i berg). Deretter ble det boret videre med slag og vannspyling ca. 1-1,3 m i de faste massene, hvorav siste 0,5 m hadde meget lav borsynk på ca. 10 min. Boreleder vurderte at foringsrør var boret inn i berg og kappet dermed foringsrør for å bore forankringssone videre i berg. Det ble boret videre ca. 1,5 m og ved luftspyling kom det opp en god del sand, grus og stein som tydelig viste at man fortsatt boret i morene, se bilder i Figur 4-8.

For å unngå unødige forstyrrelser og utspyling av løsmasser ble det besluttet å avslutte boring av stag D104 ved en total lengde på 28,5 m uten å ha nådd berg. Basert på at det hadde blitt påtruffet et fast morenelag over berg ble det besluttet å endre boredimensjon til Odex 76 for de neste stagen for å øke kapasitet og sannsynlighet for å komme ned til berg.

Torsdag 17. oktober (ca. 0900-1200) ble det utført boring av stag D103 med Odex 76. Det ble boret ca. 25,7 m gjennom bløt leire før fast morene ble påtruffet. Deretter ble det boret videre ca. 2,2 m med slag og vannspyling, samt noe luftspyling for kontroll om man var i berg. Det kom da opp en del borkaks med sand, grus og stein som indikerte at man fortsatt ikke boret i berg. Borerigg ble deretter stående kun med rotasjon og vannspyling i ca. 15 minutt i forbindelse med tømning av tank med spylevann og boreslam. Da man skulle bore videre var det imidlertid ikke mulig å komme ned med borestreng og foringsrør.

Som følge av at man ikke hadde klart å bore stagen inn i berg slik som planlagt ble det besluttet å avbryte boring med topphammer i felt D.



Figur 4-8: Til venstre; bilde av borerigg Tamrock CHA 700 med topphammer klargjort for boring med Odex 90 i felt D. Til høyre; bilde av borkaks og utspylte morenemasser ved boring av stag D104.

4.2.5 OD 114,3 sentrisk ringkrone Ø120 topphammer med gysing og trekking av foringsrør – Felt E

Hallingdal Bergboring AS utførte den 30-31. oktober 2013 boring av foringsrør til berg i felt E med topphammer og boresystem av typen OD 114,3 med sentrisk borkrone Ø120. Etter boring av forankringslengde i berg ble borehullene fortløpende gyst med mørtel og foringsrørene deretter trukket opp.

Til stede under arbeidet var Vegard Gjeraldstveit (boreleder) og Kjell Arvid Grevsgård fra Hallingdal Bergboring, samt Einar John Lande fra NGI.

Under arbeidet ble det benyttet en borerigg av typen Klemm 806-3 med topphammer 1215R og borestreng type T45 med ytre diameter lik 45 mm, se bilder i Figur 4-9 og 4-10. For gysing av staghull ble det benyttet mørtelpumpe av typen Putzmeister SP11. Ved spyling av staghull ble det benyttet luftkompressor type Atlas Copco Xats 156.

Sentrisk boresystem har følgende dimensjoner:

Foringsrør dim: 114,3 x 10 mm

Ringborkrone: 120 mm

Diameter fjellkrone: 85 mm

Den generelle boreprosedyren som ble benyttet er som følger:

- Boring i leire (bløte masser) utført med vannspyling. Vannmengde ca. 60 l/min ved 5 bars trykk. Vannspyling benyttet hovedsakelig for å holde spylehull i borkrone åpen og for å få opp borkaks.
- Boresynk ved boring i leire ca. 5 sek/m.
- Tidsbruk ca. 3-4 min per stangskifte ved boring i leire.
- Rotasjonshastighet anslått til ca. 100-120 rpm ved boring i leire.
- Boring i morene/berg med vannspyling og topphammer.
- Blåst rent borehull med trykkluft, fylling med vann og blåst på nytt.
- Gyst opp hele borehullets lengde med mørtel $V/C = 0,7$
- Trekking av borestreng og foringsrør

Det ble utført en vurdering og tilpassing av nødvendig borelengde i berg (forankringslengde) for hvert stag avhengig av hvordan det passet med påtruffet berg og skjøting av ny borstang. Dermed ble det ikke boret totalt 4 m forankringslengde i berg i alle stag.

Vannmåler viste seg ved oppstart å være ødelagt, og dermed var det ikke mulig å bestemme medgåtte mengder vann per staghull.

En oversikt over utført boring i felt E er vist i Tabell 4-5.



Figur 4-9: Til venstre; bilde av borelegg klargjort for boring av stag i Felt E. Påmontert slange for oppsamling av spylevann og borkaks. Til høyre; bilde av boresystem med ringborkrone og sentrisk fjellkrone.



Figur 4-10: Bilde av boring av forankringszone i berg etter at foringsrør er boret ca. 0,4 m inn i berg stag E106.

Tabell 4-5: Sammenstilling av boring med OD 114,3 topphammer i felt E

Dato	Stag nr.	Tid Fra-til	Boring						Gysing		Merknad
			Leire + (morene)		Foringsrør i berg		Berg				
			[m]	fra-til	[m]	fra-til	[m]	fra-til	[kg]	fra-til	
30.10	E104	0900-1100	27	0900-1000	3,0	1000-1010	0	-			[1]
30.10	E103	1215-1520	27	1215-1355	3,0	1355-1425	0	-		1450-1505	
30.10	E102	1550-1715	22,4	1550-1615	0,6	1615-1620	3,0	1620-1635	340	1645-1655	
31.10	E101	0750-0910	21,6	0753-0812	1,85	0812-0825	0	-		0850-0900	
31.10	E108	0915-1030	24,5	0918-0935	2	0935-0952	0	-	365	1018-1028	
31.10	E107	1040-1200	25,2	1045-1108	0,7	1108-1113	3,0	1113-1124	400	1145-1155	
31.10	E106	1230-1400	27,9	1230-1253	0,4	1253-1257	3,0	1300-1313	365	1340-1350	[2]
31.10	E105	1405-1530	25,0	1407-1423	1,2	1425-1433	3,0	1445-1505	340	1515-1525	[3]

[1] – Samlet opp spylevann og borkaks fra boring i leire og berg, totalt ca. 950 l + 950 l. Registrert generelt lite sedimentert silt og finsand i bunn av tankene ved tømning, anslått til ca. 50 l. I tillegg var det en del leire i spylevann.

[2] – Registrert at det kom opp ca. 50-100 l med leire under boring ned til berg. Mesteparten presses opp ved slutten av boringen, og en del antas å ligge igjen i bunn av foringsrør før blåsing med trykkluft.

[3] – Samlet opp spylevann og borkaks fra boring i leire. Drøyt 800 l total, hvor ca. 100 l var sedimentert leirslam i bunn ved tømning, se Figur 4-11. Tatt 3 stk. 0,5 l prøver fra tank, 2 fra oppi tank og én fra kran ved tømning.



Figur 4-11: Til venstre; bilde av leire som er boret ut fra stag E106. Til høyre; bilde av oppsamlet leire/silt (ca. 100 l) i bunn av tank etter tømning av spylevann stag E105.

5 Resultater

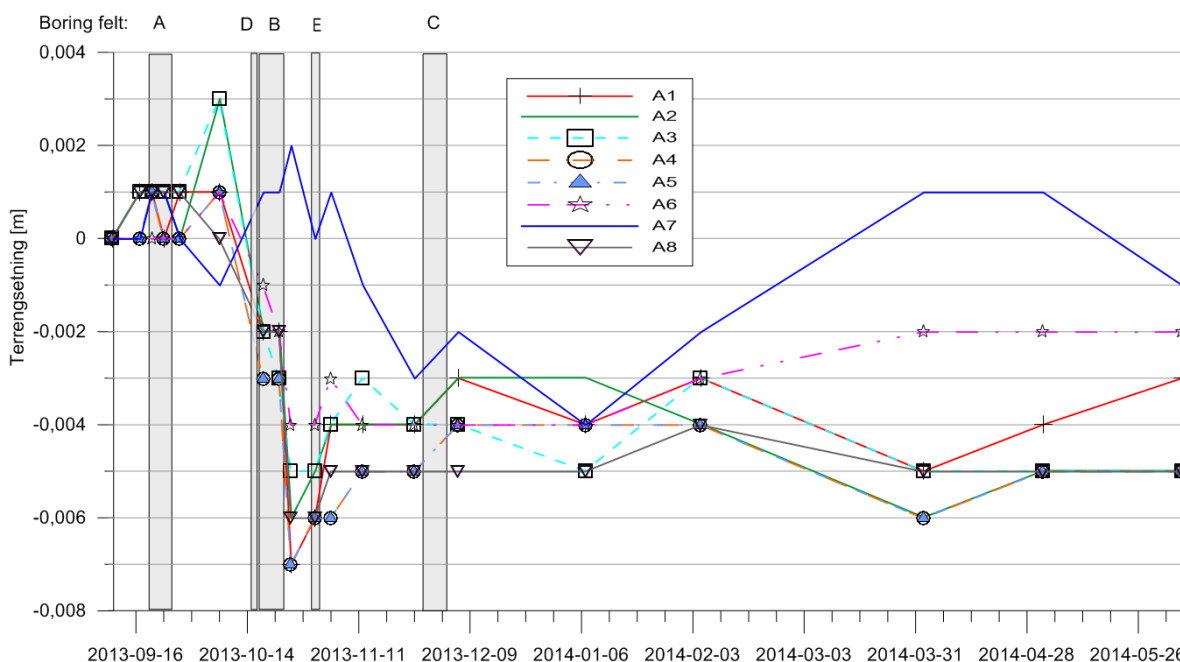
5.1 Setningsmålinger

Det er utført nivellement på installerte setningsankere på forsøksfeltet for å måle terrengsetning. Målingene er utført over en periode på ca. 10 måneder, fra 9. september 2013 til 4. juli 2014. Det har omfattet referansemålinger i forkant av forsøk, samt regelmessig underveis og i etterkant av stagboring. Tidspunkt for målingene har blitt tilpasset til utførelse av boring i de ulike feltene for å kunne fange opp eventuelle setninger som oppstår umiddelbart etter boring, samt over tid som følge av konsolidering.

Det bemerkes at setningsmålingene er utført med totalstasjon med en nøyaktighet på ca. $\pm 1-2$ mm. Resultatene viser derfor generelt en del variasjon siden de totale målte setningene i hvert felt er relativt små med verdier i størrelsesorden 0-12 mm.

5.1.1 Felt A – Selvborende stag

Resultat fra setningsmålinger i felt A er presentert i Figur 5-1. Målingene viser ingen klare tendenser til at boring av selvborende stag (Ischebeck) har ført til terrengsetninger de første 3 ukene etter utførelse. Etter boring av foringsrør i felt D og B er det imidlertid målt setninger i størrelsesorden ca. 4-7 mm med unntak av anker A7 som indikerer en liten heving på ca. 1-3 mm. De påfølgende målingene frem til sommeren 2014 viser en generell tendens til at terrengsetningene har stabilisert seg på ca. 3-5 mm over hele felt A. Unntaket er anker A7 der det er en del variasjon gjennom hele måleperioden.



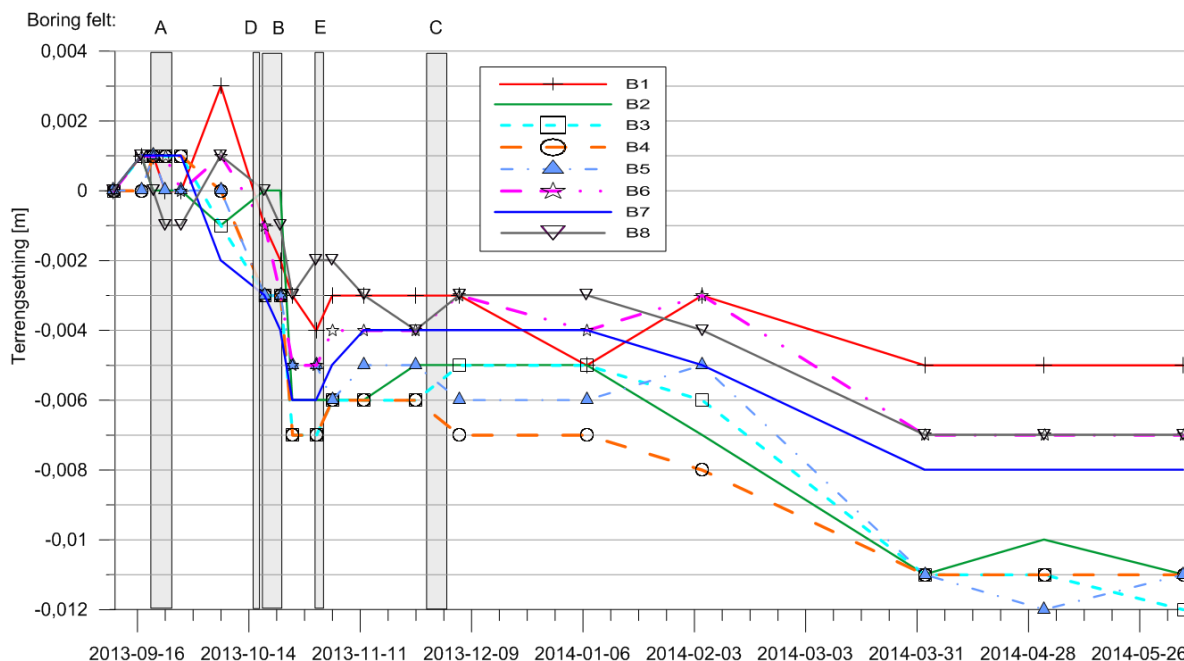
Figur 5-1: Setningsmåling felt A mellom 9. september 2013 til 4. juli 2014.

5.1.2 Felt B – Odex 115 senkehammer

Resultat fra setningsmålinger i felt B er presentert i Figur 5-2. Målingene viser en klar tendens til at boring av foringsrør med luftdrevet senkehammer har ført til terrengsetninger tilnærmet umiddelbart etter boring. I perioden mellom 7-25. oktober er det målt terrengsetninger på 3-4 mm i anker B1 og

B8, mens resterende anker i felt B er målt til 5-7 mm. Videre målinger frem til 7. januar 2014 (11 uker) viser ingen økning. De neste 3 månedene er det imidlertid målt en økende terrengsetning på 2 mm i anker B1 og 4-6 mm for resterende ankere i felt B. Etter den 4. april 2014 viser målingene at terrengsetningene har stabilisert seg.

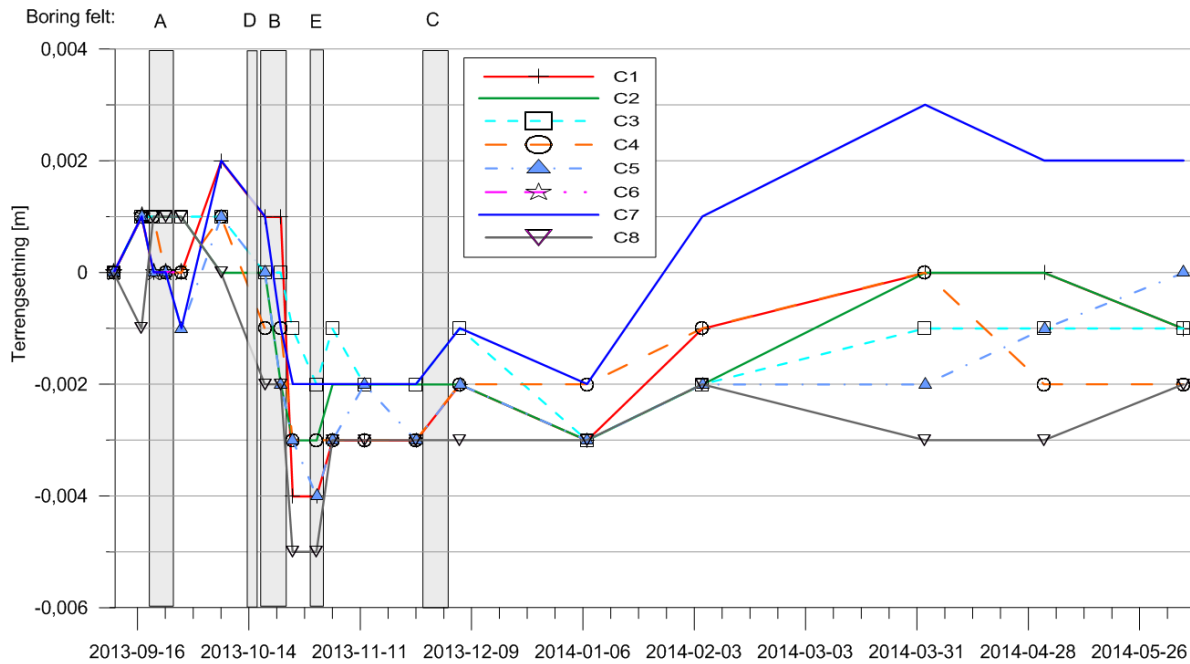
Resultatene viser at de totale terrengsetningene er størst for anker B2-B5 som er installert nærmest stagenes treffpunkt i berg. Minst setning er målt i anker B1 og B6 som er installert lengst unna stagenes treffpunkt i berg.



Figur 5-2: Setningsmåling felt B mellom 9. september 2013 til 4. juli 2014.

5.1.3 Felt C – Odex 115 vandrevet senkehammer

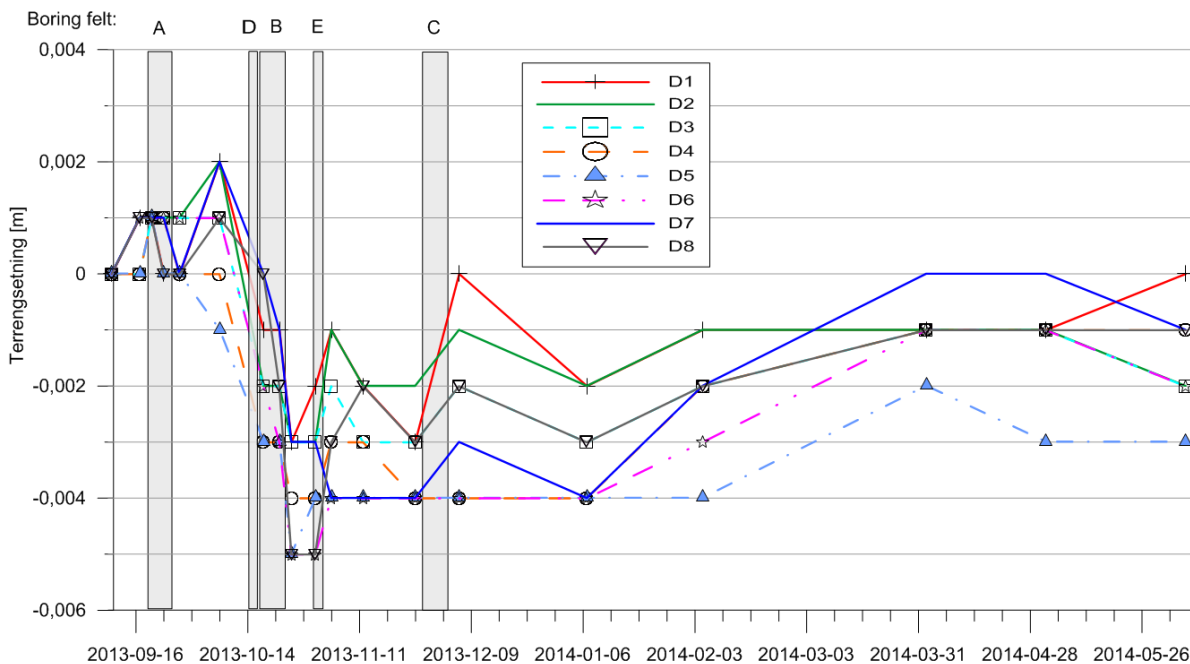
Resultat fra setningsmålinger i felt C er presentert i Figur 5-3. Målingene viser at det har oppstått ca. 2-5 mm terrengsetning tilnærmet umiddelbart etter boring i felt D og B. De påfølgende målingene viser imidlertid ingen klare tendenser til økende setningsutvikling verken før eller etter boring med vandrevet senkehammer i felt C. Målingene fra 7. januar og frem til juli 2014 indikerer derimot at det har oppstått noe heving (2-4 mm) i alle ankere bortsett fra C3, C4 og C8. Det er for øvrig en del variasjon i målingene som trolig skyldes målenøyaktighet.



Figur 5-3: Setningsmåling felt C mellom 9. september 2013 til 4. juli 2014.

5.1.4 Felt D – Odex 90/76 topphammer

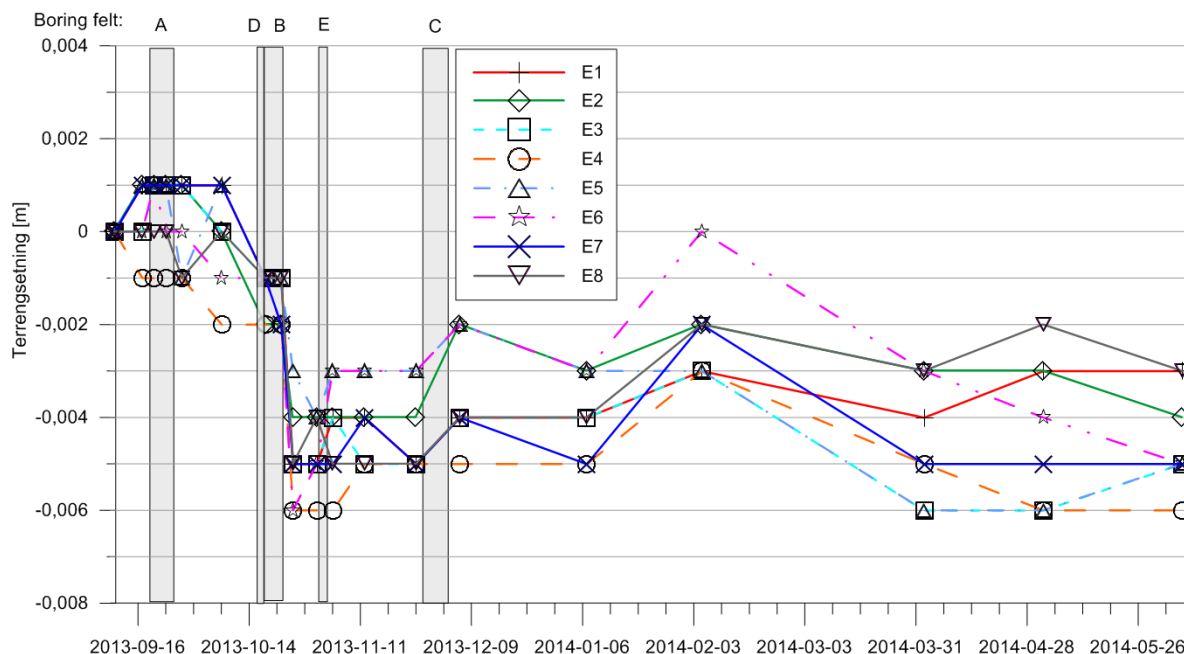
Resultat fra setningsmålinger i felt D er presentert i Figur 5-4. Målingene har som for resten av forsøksfeltet vist en klar tendens til at det har oppstått terrenngsetninger tilnærmet umiddelbart etter boring i felt D og B, med verdier i størrelsesorden 2-5 mm. De videre målingene frem til juli 2014 indikerer at det har oppstått noe heving (1-3 mm) i flere ankere. Det er imidlertid en del variasjon i måleresultatene noe som trolig skyldes målenøyaktighet.



Figur 5-4: Setningsmåling felt D mellom 9. september 2013 til 4. juli 2014.

5.1.5 Felt E – OD 114,3 sentrisk ringkrone Ø120 og topphammer

Resultat fra setningsmålinger i felt E er presentert i Figur 5-5. Målingene viser at det har oppstått ca. 3-6 mm terrengsetning tilnærmet umiddelbart etter boring i felt D og B. De videre målingene etter utført boring i felt E og frem til juli 2014 viser ingen klare tendenser til økte setninger eller heving. Et unntak er måling den 5. februar som viser en midlertidig heving på ca. 1-3 mm i alle ankere bortsett fra E5, før det igjen er målt setning på ca. 1-3 mm den 4. april. At det er målt en midlertidig heving på den årstiden kan skyldes frost og tele. Øvrig variasjon i målingene skyldes trolig målenøyaktighet.



Figur 5-5: Setningsmåling felt E mellom 9. september 2013 til 4. juli 2014.

5.2 Poretrykksmålinger

Det er utført kontinuerlig måling av poretrykk i ulike dybder på forsøksfeltet gjennom en periode på ca. ett år. Under boring er poretrykket logget for hver time, mens det i etterkant er logget en gang i døgnet. Resultater fra målingene er presentert for hver boremetode, med spesielt fokus på de perioder hvor det er utført boring og i etterkant.

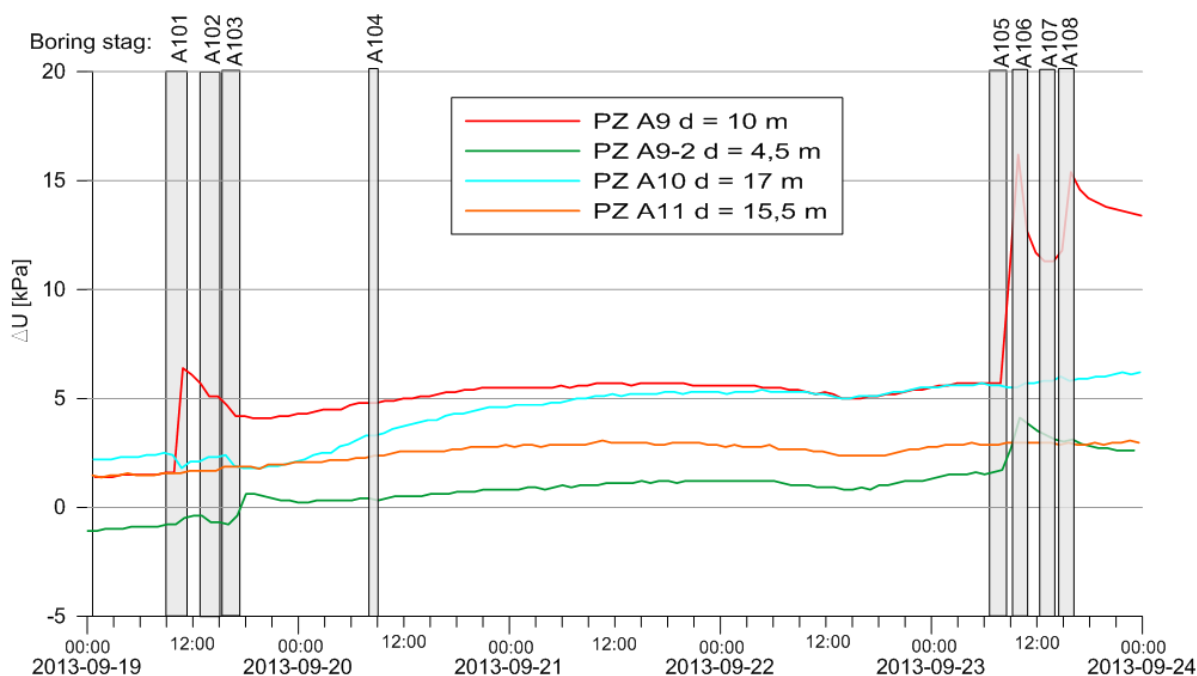
5.2.1 Felt A – selvborende stag

Resultat av målte poretrykksendringer, Δu , ved boring av selvborende stag (Ischebeck stag) i felt A er presentert i Figur 5-6. Målinger i forkant av boring tilsier at grunnvannsnivå er ca. 0,5-1 m under terrengnivå, og med tilnærmet hydrostatisk poretrykksøkning med dybden. Det er imidlertid indikasjon på noe artesisk poretrykk ned mot berg.

En oversikt over teoretisk minsteavstand mellom stagene og poretrykksmålerne, samt maksimale målte poretrykksendringer (Δu_{\max}) relatert til referanseporetrykk i felt A er presentert i Tabell 5-1. Teoretisk minsteavstand er basert på antagelse om at poretrykksmålere og stag er installert i henhold til plantegninger og uten retningsavvik. Det er imidlertid noe usikkerhet i hvor stor de reelle avstandene mellom stag og poretrykksmålere er.

Det er generelt målt beskjedne poretrykksendringer ved boring av Ischebeck stag i felt A. Ved boring av stag A101 er det målt en umiddelbar poretrykksøkning på ca. 4-5 kPa i PZ A9 på 10 m dybde, mens resterende målere ikke viste nevneverdige endringer. Det ble for øvrig ikke registrert noen endringer ved boring av stag A102-A104 i stagrad 1. Ved boring av stag A105 og A106 er det igjen målt en umiddelbar poretrykksøkning på ca. 10,5 kPa i PZ A9 (over 2 timer), noe som utgjorde en total økning på ca. 15 kPa under perioden med boring. De andre målerne i felt A viste tilsvarende en poretrykksøkning på ca. 2-5 kPa i løpet av installasjonstiden mellom 19-23. september 2013. Det bemerkes at minsteavstand mellom stag og poretrykksmålere økte betydelig siden stagrad 2 ble boret med brattere helning enn opprinnelig planlagt (ca. 56° mot 45°) for å redusere risiko for skrens og vrakstag.

En måned etter utført boring hadde poretrykket i PZ A9 sunket ca. 10 kPa, men lå fortsatt ca. 3-5 kPa over opprinnelig poretrykk på ca. 97 kPa.



Figur 5-6: Målt poretrykksendring (Δu) i perioden med boring av Ischebeck stag i felt A.

Tabell 5-1: Teoretisk minsteavstand mellom stag og poretrykksmålere, samt målt maksimale poretrykksendringer i felt A

Stag nr.	PZ A9, d = 10 m $U_{ref} = 97 \text{ kPa}$		PZ A9-2, d = 4,5 m $U_{ref} = 40 \text{ kPa}$		PZ A10, d = 17 m $U_{ref} = 170 \text{ kPa}$	
	Min. avstand (m)	Δu_{max} (kPa)	Min. avstand (m)	Δu_{max} (kPa)	Min. avstand (m)	Δu_{max} (kPa)
A101	3,5	4-5	3,5	-	3,0	-
A102	2,0	-	2,0	-	1,1	-
A103	1,2	-	3,4	2-3	5,9	-
A104	3,1	-	4,5	-	6,5	-
A105	4,3	15	6,5	-	8,7	-
A106	3,3	15	5,9	3-4	8,3	-
A107	3,3	-	5,9	-	8,3	-
A108	4,3	14	6,5	-	8,7	-

5.2.2 Felt B – Odex 115 senkehammer

Resultat av målte poretrykksendringer, Δu , fra perioden da det ble boret med Odex 115 luftdrevet senkehammer i felt B er presentert i Figur 5-7. PZ B9 på 10 m dybde har ikke vært mulig å lese av grunnet manglende kontakt med logger. En oversikt over teoretisk minsteavstand mellom de ulike stagene og poretrykksmålerne, samt maksimale målte poretrykksendringer (Δu_{\max}) relatert til referanseporetrykk i felt B er presentert i Tabell 5-2.

Det er målt til dels betydelige poretrykksendringer ved boring i felt B med Odex senkehammer. I det følgende er gitt en kort beskrivelse av måleresultater (Figur 5-7) med kommentarer.

Ved boring av stag B104 ble det i PZ B10 målt en umiddelbar poretrykksøkning på ca. 60 kPa, fra ca. 170 til 230 kPa. I tillegg ble det ved boring med luftspyling i fast morene og forankringssone i berg målt ca. 14 kPa økning i PZ A9 på 10 m dybde og ca. 4 kPa økning i PZ A10 på 17 m dybde i felt A. Poretrykket dissiperte imidlertid til omtrent halvparten av økningen i løpet av 3-4 timer i PZ B10, PZ A9 og PZ A10.

Ved boring av stag B103 oppsto det på nytt en poretrykksøkning i PZ B10, da med ca. 20 kPa. Poretrykket dissiperte tilsvarende over de neste 3 døgn. Det ble for øvrig ikke registrert noen endring i andre poretrykksmålere i felt A, C, D eller E. Boring av stag B102 førte til en poretrykksøkning på ca. 20 kPa som tilnærmet dissiperte helt igjen før boring av stag B101.

Ved boring av stag B101 og B108 ble det målt en total poretrykksreduksjon på ca. 10 kPa i PZ B10. Ved boring av stagene B107, B106 og B105 dagen etter, ble det igjen målt en samlet poretrykksøkning på ca. 10 kPa.

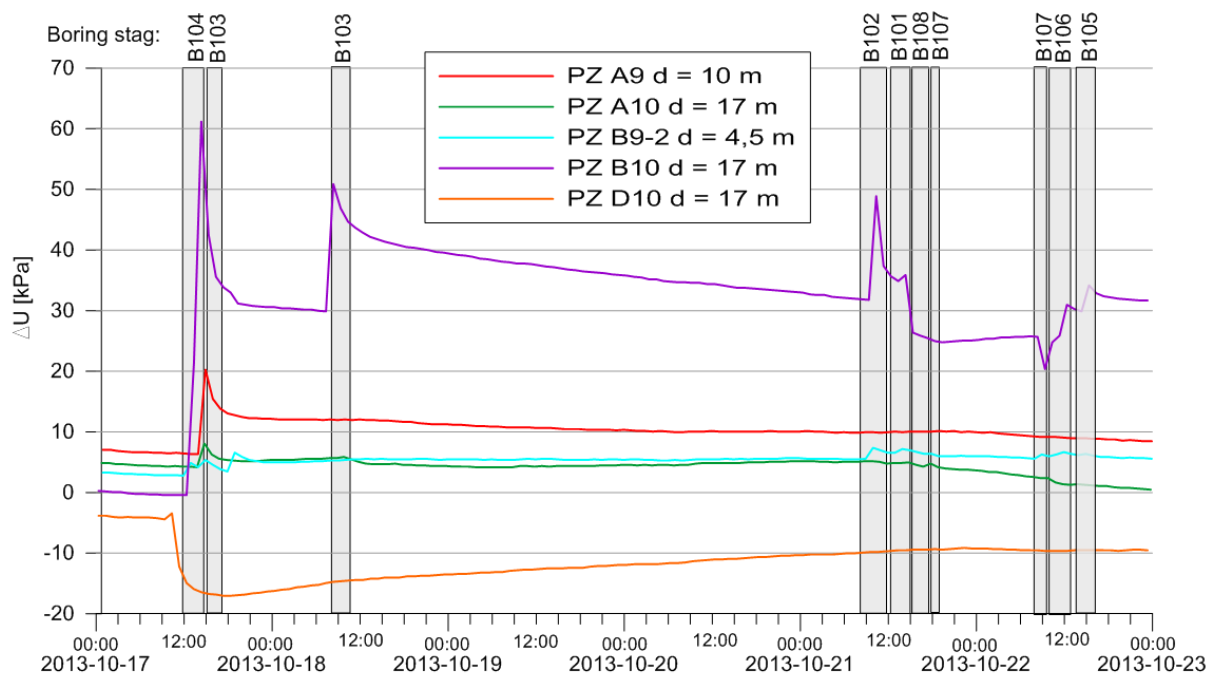
Ved endt boring med Odex 115 luftdrevet senkehammer var poretrykket i PZ B10 ca. 200 kPa, som var ca. 30 kPa høyere enn opprinnelig poretrykk. Målinger i tiden etter boring har vist at det tar lang tid før poreovertrykket dissiperer fullstendig. Etter 10 uker viste PZ B10 at poretrykket har stabilisert seg rundt 180 kPa, og selv 5 måneder etter boring var ikke poreovertrykket fullstendig dissipert.

Den raske poretrykksreduksjonen umiddelbart etter boring skyldes trolig at vannet dissiperer langs utsiden av foringsrør hvor leiren er omrørt. Det kan også være en mulighet at vannet har funnet veien inn i brudd på skjøten i nedre foringsrør for stag B104.

Poretrykksøkningen i PZ B10 er ca. 3 ganger så stor ved boring av stag B104 i forhold til boring av stag B103. Det er i utgangspunktet ikke forventet siden borestreng teoretisk sett har passert ca. 2 m lenger unna måler B10 ved boring av stag B104 i forhold til stag B103. Dette forklares trolig ved at nedre skjøt av foringsrør i B104 har røket ved boring i morene/berg, og at videre boring med trykkluft i berg har ført til betydelig forstyrrelser av leire og morene over berg. Dette kan også forklare poretrykksøkningen i målere i felt A, samt at trykkluft har funnet veien opp langs tidligere installerte Ischebeck stag.

Poretrykksreduksjon ved boring av stag B101 og B108 skyldes trolig at det oppsto en betydelig vanntilstrømning fra grunnen og opp i foringsrør ved boring i berg med trykkluft. Mengde vann er anslått til ca. 20-30 l/min. Ved boring av stag B101 ble det registrert en sleppe i berg, hvor vannet trolig har strømmet inn. En forsterkende faktor kan være at luftspylingen skaper et vakuum ved borkronen.

Den beskjedne poretrykksøkningen ved boring av stagene B107, B106 og B105 er omtrent som forventet. Minsteavstanden mellom borestreng og PZ B10 er relativt stor (2,7 m og 3,9 m) og det er ikke forventet at boring med den aktuelle dimensjon (odex 115) vil påvirke leira i så stor omkrets.



Figur 5-7: Målt poretrykksendring (Δu) ved boring i felt B med Odex 115 luftdrevet senkhammer.

Tabell 5-2: Teoretisk minsteavstand mellom stag og poretrykksmålere, samt målt maksimale poretrykksendringer i felt B.

Stag nr.	PZ B9, d = 10 m		PZ B9-2, d = 4,5 m $U_{ref} = 37 \text{ kPa}$		PZ B10, d = 17 m $U_{ref} = 170 \text{ kPa}$	
	Min. avstand (m)	Δu_{max} (kPa)	Min. avstand (m)	Δu_{max} (kPa)	Min. avstand (m)	Δu_{max} (kPa)
B101	3,5	-	3,5	-	3,0	35
B102	2,0	-	2,0	3-4	1,1	48
B103	2,0	-	2,0	3-4	1,1	50
B104	3,5	-	3,5	1-2	3,0	60
B105	3,0	-	4,9	-	3,9	34
B106	1,1	-	4,0	1-2	2,7	30
B107	1,1	-	4,0	-	2,7	22
B108	3,0	-	4,9	-	3,9	25

5.2.3 Felt C – Odex 115 vanddrevet senkehammer

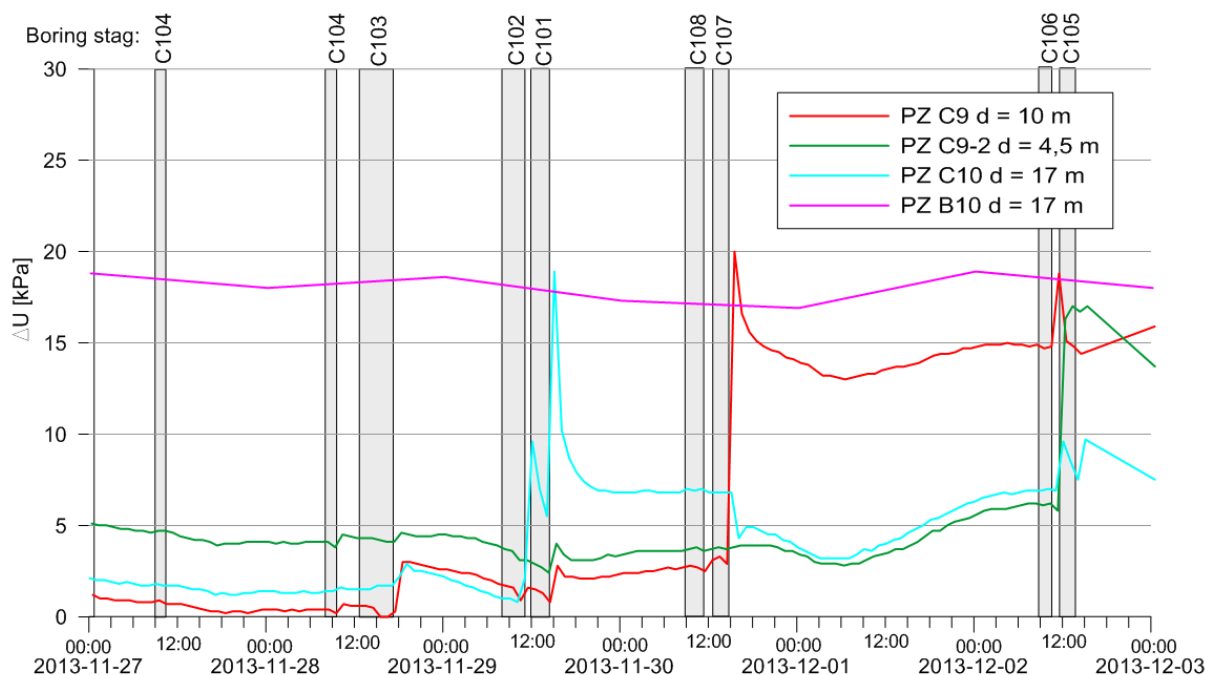
I Figur 5-8 er det presentert resultater av målte poretrykksendringer, Δu , i felt C fra perioden da det ble boret med Odex 115 vanddrevet senkehammer. En oversikt over teoretisk minsteavstand mellom de ulike stagen og poretrykksmålerne, samt maksimale målte poretrykksendringer (Δu_{max}) relatert til referanseporetrykk i felt C er presentert i Tabell 5-3.

Resultat fra poretrykksmåliger i felt C viser at det ikke er målt nevneverdige endringer ved boring av stag C104 og C103. Videre er det målt en poretrykksøkning på ca. 10 kPa i PZ C10 på 17 m dybde ved boring av stag C102. Poretrykket har deretter sunket med ca. 4 kPa før det på nytt øker med ca. 12 kPa ved boring av stag C101.

Det er ikke målt noen endring i poretrykket ved boring av stag C108, men ved boring av stag C107 er det målt en økning på ca. 18 kPa i PZ C9 på 10 m dybde. Det er videre målt ca. 3 kPa økning i PZ C9 og PZ C10 ved boring av stag C106 tilsvarende ca. 18 og 8-10 kPa over referansenivå for henholdsvis PZ C9 og PZ C10.

Det er også målt poretrykksøkning på ca. 10 kPa i PZ C9-2 på 4,5 m dybde ved boring av stag C105.

10 uker etter endt boring i felt C har poretrykket i PZ C9 stabilisert seg ca. 5 kPa over referansenivå (ca. 100 kPa) og er omtrent på samme verdi selv etter 5 måneder. I PZ C9-2 har imidlertid poretrykket sunket ned til referansenivå (ca. 42 kPa) 3 uker etter endt boring.



Figur 5-8: Målt poretrykksendring (Δu) ved boring i felt C med odex 115 vandrevet senkehammer.

Tabell 5-3: Teoretisk minsteavstand mellom stag og poretrykksmålere, samt målt maksimale poretrykksendringer i felt C.

Stag nr.	PZ C9, d = 10 m $U_{ref} = 100$ kPa		PZ C9-2, d = 4,5 m $U_{ref} = 37$ kPa		PZ C10, d = 17 m $U_{ref} = 174$ kPa	
	Min. avstand (m)	Δu_{max} (kPa)	Min. avstand (m)	Δu_{max} (kPa)	Min. avstand (m)	Δu_{max} (kPa)
C101	3,5	2	3,5	1-2	3,0	18
C102	2,0	0-1	2,0	0	1,1	10
C103	2,0	2-3	2,0	0	1,1	0
C104	3,5	0	3,5	0	3,0	0
C105	3,0	15-16	4,9	10-12	3,9	7-8
C106	1,1	15-16	4,0	0	2,7	5-6
C107	1,1	18-20	4,0	0	2,7	3-4
C108	3,0	2-3	4,9	0	3,9	5-6

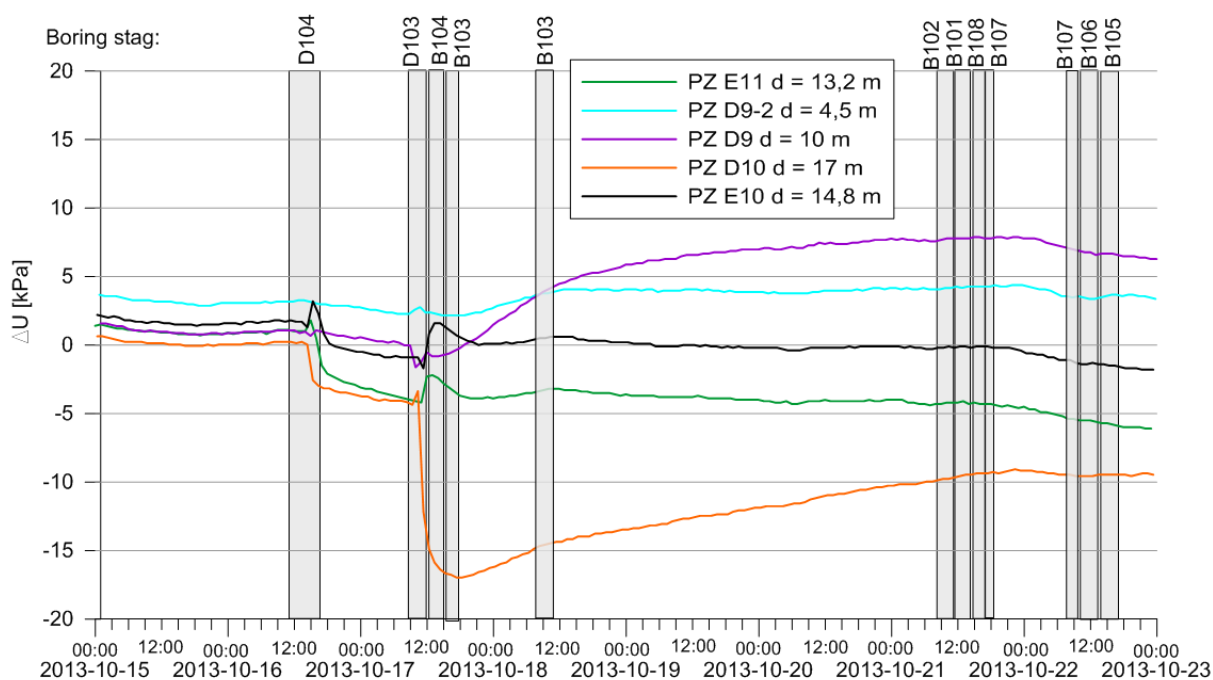
5.2.4 Felt D – Odex 90/76 topphammer

Resultat av målte poretrykksendringer, Δu , ved boring i felt D er presentert i Figur 5-9. Det er i samme figur også vist når det ble boret i felt B. Det bemerkes for øvrig at det kun ble boret 2 stag av de 8 som var planlagt i felt D.

Ved boring av stag D104 er det målt en poretrykksreduksjon på ca. 3-4 kPa i PZ D10 og PZ E11. I tillegg er det målt en mindre trykkøkning med påfølgende reduksjon i PZ E10 (ca. 2-3 kPa). Ved boring av stag D103 sank poretrykket ytterligere med ca. 13 kPa i PZ D10 (total reduksjon lik ca. 17 kPa), mens det økte med ca. 2-4 kPa i PZ E10 og PZ E11.

Målt poretrykksreduksjon i PZ D10 kan med stor sannsynlighet forklares ved at det i et kort tidsrom ble benyttet luftspyling ved boring i morenemasser i et forsøk på å bedre penetrasjonsevnen. Det er trolig at luftspylingen også har påvirket PZ E10 og PZ E11 som begge er installert ned til morene.

Det ble ikke målt noen umiddelbare poretrykksendringer i PZ D9 under boring, men det er imidlertid målt en relativt jevn økning på ca. 7-8 kPa over en fire dagers periode etter endt boring i felt D.



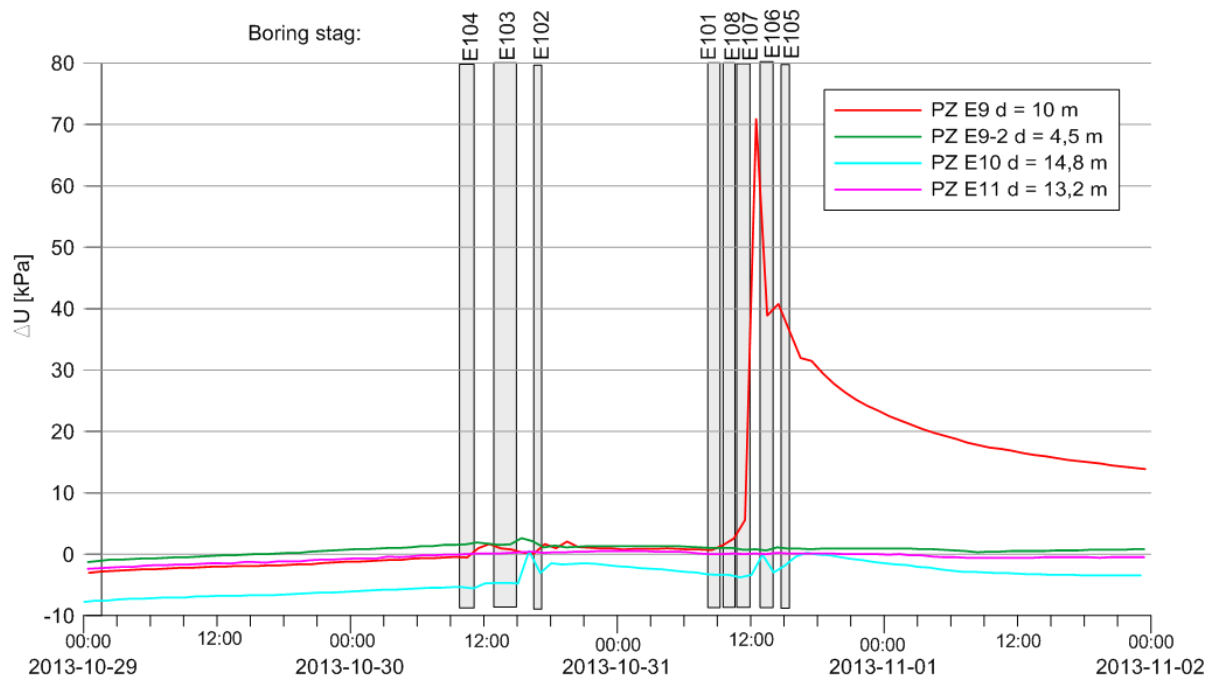
Figur 5-9: Målt poretrykksendring (Δu) ved boring i felt D med odex 90/76 topphammer.

5.2.5 Felt E – OD 114,3 sentrisk ringkrone Ø120 og topphammer

Resultat av målte poretrykksendringer, Δu , ved boring i felt E er presentert i Figur 5-10. En oversikt over teoretisk minsteavstand mellom de ulike stagen og poretrykksmålerne, samt maksimale målte poretrykksendringer (Δu_{\max}) relatert til referanseporetrykk i felt E er presentert i Tabell 5-4.

Målingene fra felt E viser beskjedne endringer i poretrykk ved boring av stagen E104 – E102, hvor den største poretrykksøkningen var ca. 2-3 kPa i PZ E10 på 14,8 m dybde. Dette forklares trolig av den relativt store avstanden på ca. 2,1 m mellom PZ E10 og de nærmeste stagen (E102 og E103) kombinert med relativt liten boredimensjon.

Ved boring av stagene E101 og E 108 ble det ikke registrert noen endringer. Boring av stag E107 har imidlertid ført til en betydelig poretrykksøkning på ca. 70 kPa i PZ E9 på 10 m dybde (105 til 175 kPa). Etter endt boring av stag E106 er poretrykket ca. 45 kPa høyere enn referansetrykket. Den store økningen skyldes trolig i hovedsak mindre avstand mellom stagene E107/E106 og PZ E9, som teoretisk er 1,1 m. 4 døgn etter endt boring er poretrykk i PZ E10 betydelig redusert til ca. 110 kPa og etter 4 uker ca. 106 kPa.



Figur 5-10: Målt poretrykksendring (Δu) ved boring i felt E med OD 114,3 topphammer, samt gysing og trekking av rør.

Tabell 5-4: Teoretisk minsteavstand mellom stag og poretrykksmålere, samt målt maksimale poretrykksendringer i felt E.

Stag nr.	PZ E9, D = 10 m $U_{ref} = 104$ kPa		PZ E9-2, D = 4,5 m $U_{ref} = 40$ kPa		PZ E10, D = 14,8 m $U_{ref} = 158$ kPa	
	Min. avstand (m)	Δu_{max} (kPa)	Min. avstand (m)	Δu_{max} (kPa)	Min. avstand (m)	Δu_{max} (kPa)
E101	3,5	0	3,5	0	3,6	0
E102	2,0	1-2	2,0	2-3	2,1	5
E103	2,0	1-2	2,0	0	2,1	0
E104	3,5	0	3,5	0	3,6	0
E105	3,0	45	4,9	0	5,0	5
E106	1,1	45	4,0	0	4,1	5
E107	1,1	70	4,0	0	4,1	0
E108	3,0	0	4,9	0	5,0	0

5.3 Måling av utspylt volum

I tillegg til å måle terrengsetninger og poretrykk i grunnen var det planlagt å måle volum av borkaks (utspylt masse) fra hvert stag for de ulike boremetodene. Dette for å kunne vurdere om det ved boring spyles ut et større volum med leire enn det som foringsrøret opptar i grunnen, og om det dannes hulrom rundt foringsrør som kan føre til terrengsetninger.

Det ble utført måling av utspylt masse for enkelte stag ved boring i leire. Dette ble gjort ved å samle opp spylevann og borkaks i tanker (1000 l) for å måle totalt volum og vekt, se Figur 4-4 og 4-11. Underveis viste det seg å være svært vanskelig å klare å få samlet opp alt spylevann og borkaks grunnet lekkasjer og sprut ved blåsing med trykkluft. Derfor ble det også tatt representative prøver av spylevannet underveis i boringen for å kunne estimere volum av utspylt masse ved å kjenne naturlig vanninnhold i leire og total mengde spylevann per stag. Det ble også utført visuell registrering av mengde borkaks/utspylte masser under selve boringen.

Resultatene fra forsøksfeltet har vist at det i hovedsak oppstår massefortrengning mer enn direkte utboring/utspyling av masser ved boring i leire. Unntaket var ved boring med vandrevet senkhammer i felt C hvor det ble benyttet en betydelig lavere borsynk enn med de andre boremetodene for å unngå massefortrengning og for således å tilstrebe en «ideell» boring.

Basert på målinger og observasjoner under boring på forsøksfeltet er totalt volum av borkaks (V_2) per stag estimert for hver boremetode, se Tabell 5-6. Sammenlignet med det teoretiske volumet som foringsrør/borestreng opptar i grunnen (V_2), ser det ut som det har oppstått massefortrengning for boremetode 2 og 5, noe som sammenfaller bra med målte poretrykksøkninger vist i Figur 5-7 og 5-9.

Det kan videre tyde på at det for enkelte stag for boremetode 1 og 3 er boret/spylt ut mer leire enn hva foringsrør/borestreng opptar i grunnen. For selvborende stag (boremetode 1) er dette delvis forventet siden borkronen har større diameter enn selve borestrengen slik at det oppstår et hulrom rundt staget før gysing. Ved boring med vannhammer (boremetode 3) ble det benyttet en langt lavere borsynk enn for de andre boremetodene, med variasjon mellom ca. 30-60 sek/m. I tillegg er det totale volumet av spylevann betydelig større enn for alle andre boremetoder. Dette kan ha ført til at større mengder leire er boret/spylt ut. Det er imidlertid ikke noe som tilsier at dette har ført til noe mer terrengsetninger enn for de andre boremetodene.

Det understrekes for øvrig at det er relativt stor usikkerhet knyttet til estimert volum av borkaks per stag (V_1) basert på målinger fra flaskeprøver av spylevann. Det påpekes også at målt/observert volum av borkaks har variert en del for ulike stag og boremetoder grunnet variasjoner i boreprosedyre slik som borsynk og spyletrykk.

Tabell 5-5: Volum av målt/observert utspylt borkaks og volum av foringsrør i grunnen for hvert boremetode.

Boremetode	1	2	3	4	5
V_1	50-200	150-300	450-1000	-	50-150
V_2	50-60	475-560	520-540	-	250-310

V_1 – Estimert total volum av borkaks per stag i liter (dm^3)

V_2 – Teoretisk volum av foringsrør i grunnen basert på reelle staglengder for hver boremetode.

6 Vurdering av installasjonseffekter ved boring av stag

6.1 Generelt

Ved boring av stag eller peler i leire påvirkes omkringliggende jord ved at det oppstår spennings- og tøyningseffekter innenfor et begrenset influensområde rundt hvert stag eller pel. Hvor store endringer og i hvilken utstrekning disse oppstår er imidlertid ikke tilstrekkelig dokumentert tidligere. Det er forventet at boring av stag og peler i leire er mer skånsomt med hensyn på forstyrrelser i grunnen enn ramming av massefortrengende peler. Dette forutsetter imidlertid en ideell utførelse som reduserer massefortrengning og poretrykksøkninger, samt omrøring og utspyling av masser.

Det er i hovedsak tre ulike kjente effekter ved boring i leire:

1. Påvirkning av poretrykk i grunnen som følge av spyling med luft eller vann under boring. Spyletrykk har betydning for grad av påvirkning. Installert stag/pel kan i enkelte tilfeller fungere som drenasje.
2. Forstyrrelser og omrøring av omkringliggende leire som følge av direkte mekanisk påvirkning og massefortrengning.
3. Utspyling av masser og volumtap som følge av kollaps i borehull, erosjon fra spylemedium og/eller grunnvannsstrømning inn i foringsrør.

6.2 Publisert litteratur

Det foreligger per i dag ikke noe publisert dokumentasjon som i tilstrekkelig grad beskriver installasjonseffekter ved boring av stag eller peler i leire. Det er imidlertid flere som trekker frem effekter ved boring som medvirkende årsak til at det har oppstått setninger i byggeprosjekter.

Kempfert og Gebresellasi (2000) har rapportert at så mye som 60-70 % av målte terrengsetninger på totalt ca. 60 mm i umiddelbar nærhet til en avstivet byggegrøp ved et prosjekt i Sør-Tyskland skyldes boring av forankringsstag.

Kullingsjö (2007) studerte effekter av dype utgravinger i bløt leire på nærliggende områder. Hans presenterte måledata viste klart at andre dårlige utførte grunnarbeider overgikk effektene av skjærtøyninger og horisontal utbøyning av spuntvegg. Dybdesetningsmålere har vist at setninger i hovedsak har oppstått nært bergoverflaten i område hvor forankringsstag traff berg. Setningene har videre forplantet seg opp til terreng hvor det ble målt betydelige setninger i størrelsesorden 35-40 mm. Det antas at setningene i hovedsak skyldes betydelig erosjon og utspyling av masser grunnet bruk av luftspyling ved boring i faste morenemasser og videre i berg.

Rønning (2011) har presentert resultater fra et relativt omfattende feltforsøk med testboring av grove stålrørspeler (Ø610 mm) ved Møllenberg i Trondheim vinteren 2010. Forsøket ble instrumentert med poretrykksmålere og helningskanal i nærhet av rør, samt bruk av totaltrykkmåler ved bunn av rør. I tillegg ble det utført trykksondering (CPTU) inntil pelerør etter boring for vurdering av omrørt sone. Poretrykksmålinger i leire ca. 0.5 m fra rør viste relativt beskjedne trykkøkninger på ca. 20-25 kPa umiddelbart under boring. Ved boring i berg med luftspyling ble det registrert svært rask respons og til dels trykkreduksjon på ca. 10 kPa. Helningsmålinger og totaltrykkceller indikerer massefortrengning i de øvre 5-6 m og deretter noe volumreduksjon rundt røret. CPTU sonderinger indikerer at boring har gitt en stor påvirkning og omrøring av kvikkleire i ca. 0,5 m avstand fra pelerør.

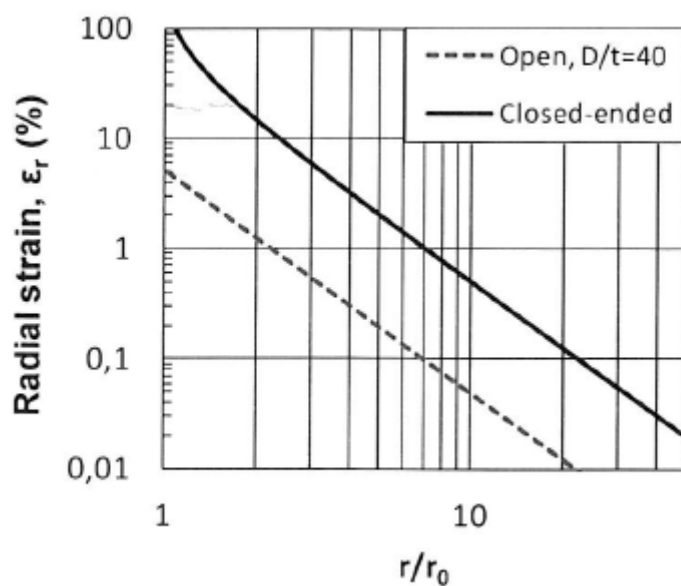
Til motsetning er det utført relativt mye forskning på rammede peler i leire, blant annet flere fullskala feltforsøk i regi av NGI. Resultater fra disse feltforsøk er sammenstilt, tolket og presentert av Karlsrud (2012).

For å kunne vurdere installasjonseffekter ved boring av stag er det utført en sammenligning med resultater fra forsøk med rammede peler.

6.3 Metoder for bestemmelse av spenning og tøyning rundt peler

Det er utviklet flere teoretiske modeller for å beregne spennings-tøyningsendring i jord rundt peler. De mest kjente metoder er Cavity Expansion Method (CEM) og Strain Path Method (SPM). CEM ble utviklet av Hill (1950) og er senere mye benyttet i relasjon til peler, f. eks av Vesic (1972), Torstensson (1977) og Randolph et. al (1979). SPM ble utviklet av Baligh (1975) for å bestemme deformasjoner og spenninger i jord rundt et penetrerende konisk legeme. Det er i tillegg utført flere feltforsøk med rammede peler der installasjonseffekter er veldokumenterte, ref. NGI (1984)

Cavity Expansion Method (CEM) er basert på en antagelse om at tøyninger rundt pel oppstår som følge av ideell ekspansjon av en uendelig lang sylinder i jord under plan tøyningstilstand. Det er utviklet løsninger ved bruk av CEM modellen for beregning av radielle tøyninger (ϵ_r) rundt pel relatert til normalisert fortrent volum for henholdsvis lukket og åpen pel. Denne sammenhengen er vist i Figur 6-1. For en lukket pel er de radielle tøyningene over 100 % nærmest pelen, men avtar til ca. 1 % ved en avstand lik 7 ganger peleradien, ref. Karlsrud (2012).



Figur 6-1: Eksempel radiell tøyning, ϵ_r , i forhold til avstand fra pel som følge av peleinstallasjon, beregnet med CEM modell. (fra Karlsrud 2012)

For en massefortrengende lukket pel i en udrenert leire oppstår en omrøring og plastifisering i en gitt sone inntil pelen. Utbredelse av plastifisert sone kan beregnes i henhold til formel presentert av Vesic (1972):

$$r_{pl} = r_0 \times \sqrt{\frac{G}{cu}} = r_0 \times \sqrt{\frac{E}{2 \times cu(1 + \nu)}}$$

hvor:

r_{pl} = plastifisert radius regnet fra senter av pel

r_0 = Ytre radius av pel

G = Udrenert skjærmodul opp til brudd (G_{50})

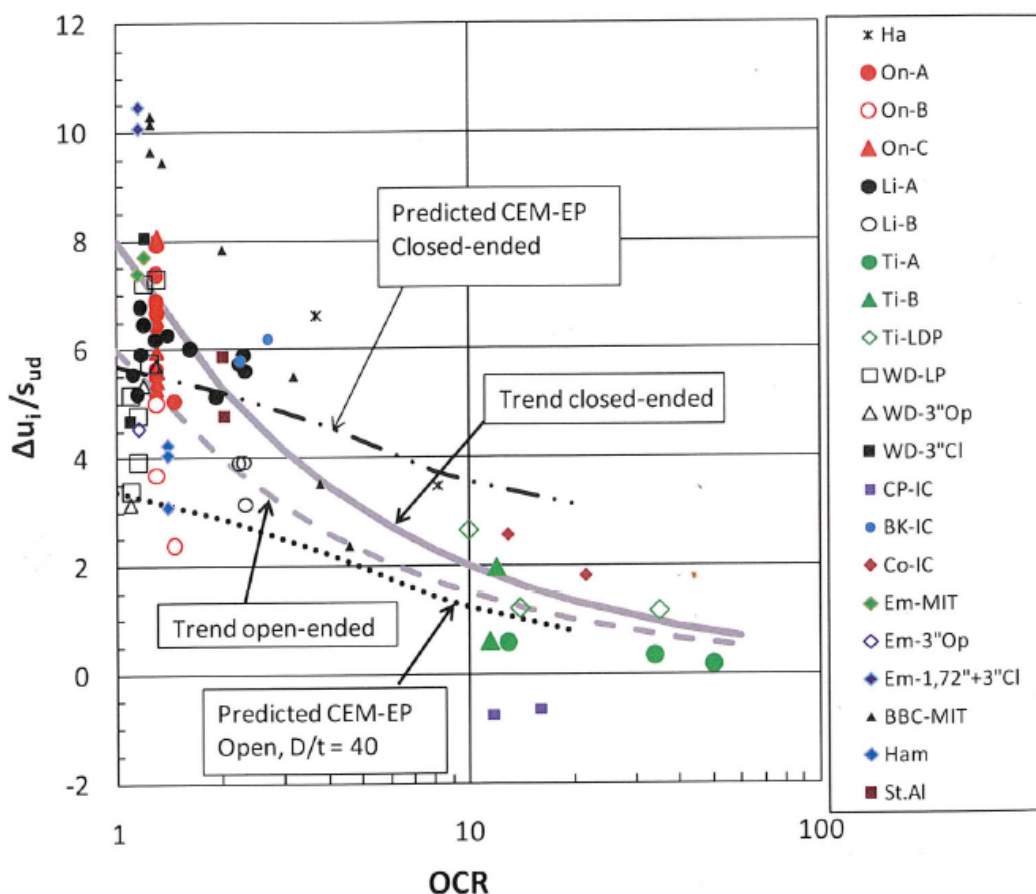
c_u = Udrenert skjærfasthet i leire

E = Deformasjonsmodul

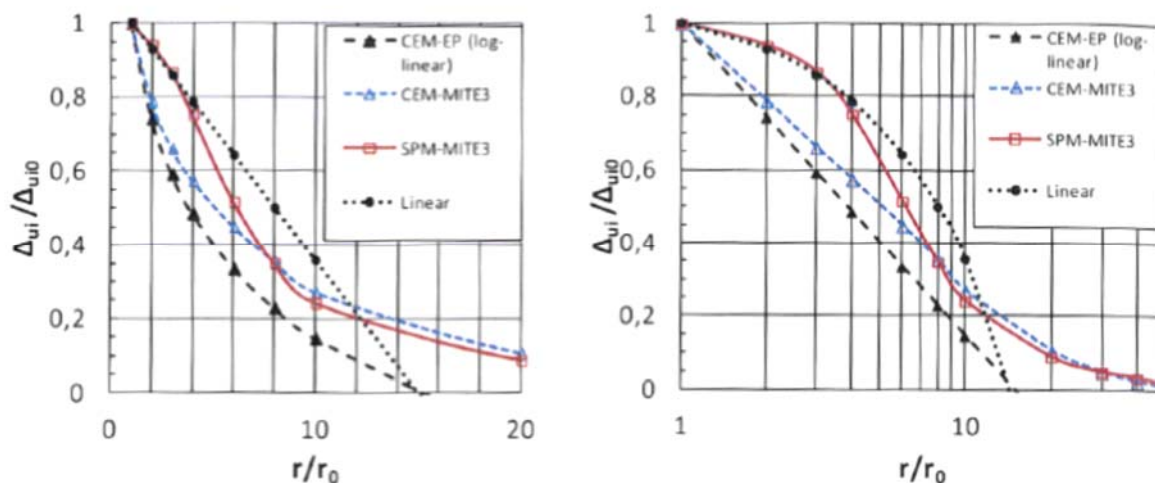
ν = Poisson forhold (kontraksjonstall, udrenert lik 0,5)

Både CEM og SPM metoden kan benyttes for å beregne spenninger og poretrykk som funksjon av radiell avstand fra pelen.

Karlsruud (2012) har presentert en sammenstilling av målt og beregnet forhold mellom normalisert poreovertrykk mot pelevegg og overkonsolideringsgrad (OCR). Dette er vist i Figur 6-2. Måldata fra forsøk utført på Onsøy (merket On-A, On-B og On-C i Figur 6-2) viser at poreovertrykket inntil pelevegg typisk ligger mellom 5-8 ganger direkte udrenert skjærfasthet, c_{ud} . Poreovertrykket reduseres med økende avstand fra pelevegg, som vist i Figur 6-3.



Figur 6-2: Målt og beregnet forhold mellom normalisert poretrykk mot pelevegg, $\Delta u_i / c_{ud}$, og overkonsolideringsgrad OCR. (fra Karlsruud 2012)



Figur 6-3: Sammenligning av poreovertrykksfordeling med økende avstand fra pel beregnet med CEM og SPM og MITE3 modell for leire med OCR lik 1,5. (fra Karlsrud 2012)

6.4 Estimert tøyings-spenningsendring fra boring basert på CEM og SPM

Det finnes ikke noen tilsvarende metoder for beregning av installasjonseffekter ved boring i leire som de utviklet for rammede peler, beskrevet i kapittel 6.3. Observasjoner fra forsøksfeltet, samt flere nyere byggeprosjekt indikerer imidlertid at boring i bløte masser ofte utføres med så høy borsynk at effektene i stor grad blir som ved ramming av lukkede peler (Figur 6-1). For en ideell boring vil trolig installasjonseffektene være tilnærmet som ved ramming av åpne peler som gir minimal massefortrengning. For å tolke resultater fra forsøksfeltet er det estimert hvilke tøyings- og spenningsendringer som kan forventes i leire rundt borede stag basert på teorier for rammede lukkede peler.

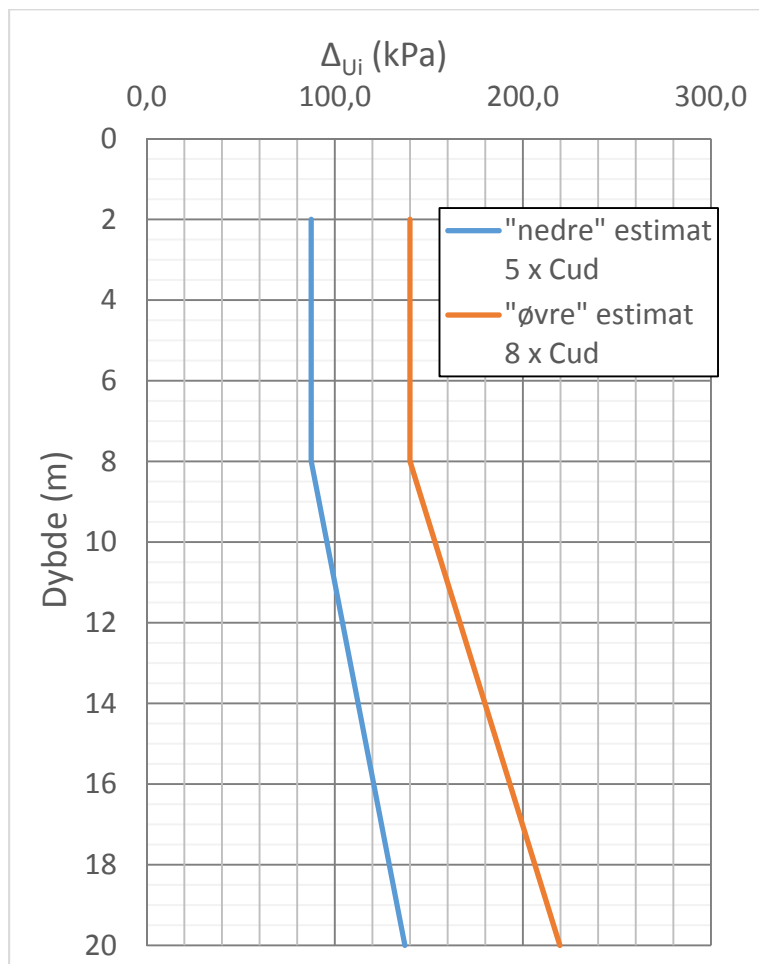
Basert på formel etter Vesic (1972) er det beregnet en antatt plastifisert sone (r_{pl}) rundt hvert stag på felt B (boremotode 2), felt C (boremotode 3) og felt E (boremotode 5), se Tabell 6-1.

For blokkprøver tatt opp på flere lokasjoner på Onsøy er forholdet mellom skjærmodul og udrenert skjærfasthet, G/c_u , funnet å variere mellom ca. 100-200 for leire med høy plastisitet og høyt vanninnhold, ref. NGI (2011). Her er det ved estimering av plastifisert sone rundt stag valgt en nedre, midlere og øvre verdi for G/c_u lik 100, 155 og 200. Resultatene viser at for stag i felt B og C kan radius av plastifisert sone variere fra ca. 70-100 cm, mens i felt E fra ca. 60-85 cm.

Tabell 6-1: Estimert plastifisert sone rundt stag basert på CEM og formel etter Vesic (1972) forutsatt full massefortrengning.

Felt - Boremotode	Radius foringsrør, R_0 (cm)	$\sqrt{(G/c_u)}$			Radius plastifisert sone, r_{pl} (cm)		
		Nedre	Midlere	Øvre	Nedre	Midlere	Øvre
B – Odex 115 senkehammer	7	10	12,45	14,1	70	87	99
C – Odex 115 vannhammer	7	10	12,45	14,1	70	87	99
E – OD 114 sentrisk topphammer	6	10	12,45	14,1	60	75	85

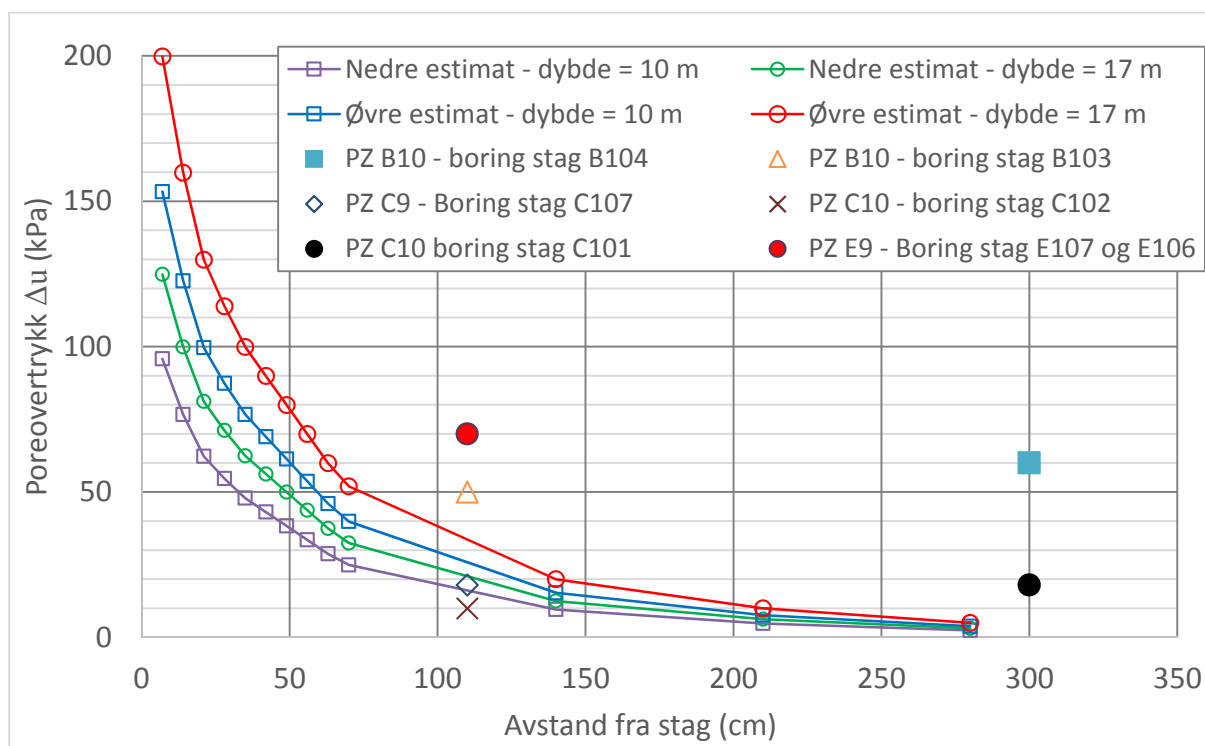
Det er også beregnet en estimert poreovertrykksfordeling (Δu_i) rundt hvert stag for felt B, C og E i henhold til resultater i Figur 6-2 og 6-3. Valg av romvekt (γ) og direkte udrenert skjærfasthet (c_{ud}) er basert på borprofil presentert i Figur 2-4. For Onsøy leire er det valgt OCR verdi lik 1,3 som i henhold til Figur 6-2 gir et estimert maksimalt poreovertrykk rundt stag, $\Delta u_i = 5-8 \times c_{ud}$. Basert på dette er det satt opp et nedre og øvre estimat på maksimalt poreovertrykk rundt hvert stag presentert i Figur 6-4.



Figur 6-4: Estimert maksimalt poreovertrykk, Δu_i , rundt borede stag på forsøksfelt, antatt tilnærmet samme effekt som ved ramming av lukket pel.

Med utgangspunkt i Figur 6-3 og 6-4 er det beregnet et øvre og nedre estimat av poreovertrykksfordeling rundt stagene på henholdsvis 10 og 17 m dybde. Dette er presentert i Figur 6-5 sammen med målt poreovertrykk i relevante poretrykksmålere i felt B, C og E.

Målt maksimalt poreovertrykk i felt B og E er betydelig høyere, og påvirker et større influensområde enn det som er beregnet. I felt C er imidlertid målinger noe lavere enn beregnet, med unntak av PZ C10 ved boring av stag C101. At det er forskjell mellom beregnet og målt poreovertrykk er forventet nettopp på grunn av at beregning kun er basert på forsøk og erfaring med rammede lukkede peler. Det er imidlertid overraskende at boring av foringsrør gjennom bløt leire har gitt betydelig større poretrykksøkninger og i større utstrekning enn hva som er erfart ved massefortrengende peler. Dette kan trolig delvis forklares av at det ved boring i felt B og E ble benyttet en meget høy borsynk som i realiteten innebar tilnærmet full massefortrengning. I tillegg er det mest sannsynlig en forsterkende effekt av vannspyling med høyt trykk (typisk 5-15 bar) som ble benyttet for å holde borestreng åpen og spyle opp leirslam/borkaks.



Figur 6-5: Estimert poreovertrykksfordeling rundt stag på 10 og 17 m dybde forutsatt full massefortrengning sammenlignet mot målt maksimalt poreovertrykk ved boring.

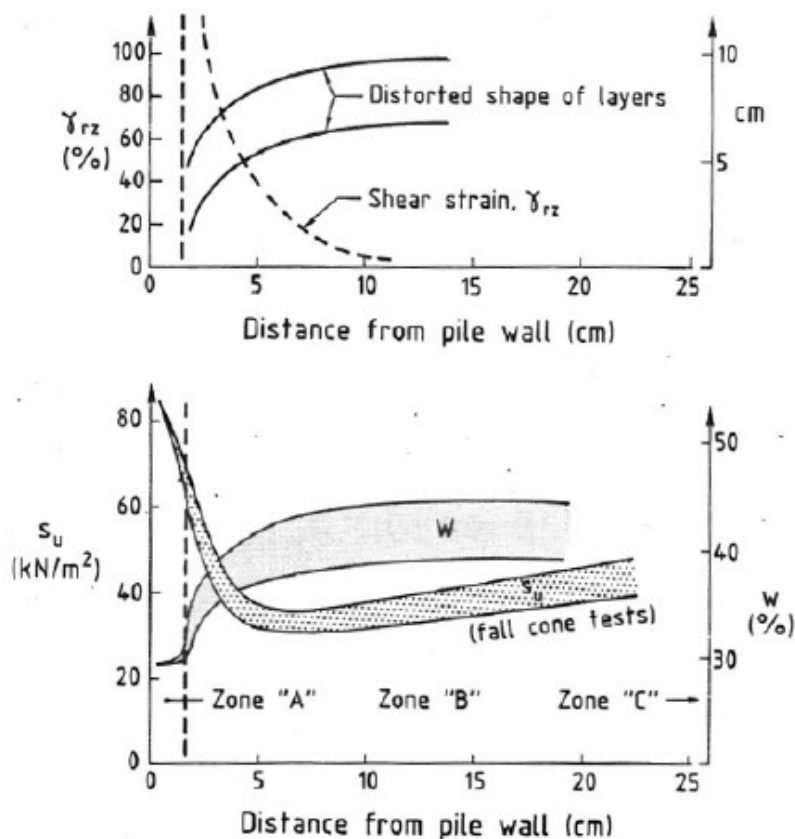
6.5 Re-konsolidering av leire rundt peler og stag

Resultater fra feltforsøk med rammede peler har vist at leire i plastifisert sone gjennomgår en re-konsolidering etter hvert som poreovertrykk fra installasjon dissiperer, ref. Karlsrud (2012). Denne re-konsolideringen innebærer en volumreduksjon som kan føre til deformasjoner og setninger i jorda rundt. Hvor stor volumreduksjon som oppstår er avhengig av flere forhold, blant annet grad av skjærtøyning, sensitivitet og vanninnhold i leira, samt effektivspenning.

Undersøkelser av re-konsolidert leire inntil rammede peler i forbindelse med peleforsøk på Haga (NGI, 1984) viste at grad av omrøring avtar raskt med økende avstand fra pelevegg, se Figur 6-6. Det ble registrert en sone A på ca. 2 cm inntil pelevegg som var totalt omrørt. I denne sonen økte udrenert skjærfasthet til omtrent det dobbelte av opprinnelig nivå, samtidig som vanninnholdet ble redusert med ca. 15 % i forhold til opprinnelig nivå som tilsvarte en volumreduksjon på ca. 16-17 %. Deretter avtok graden av forstyrrelser (skjærtøyning) i sone B jevnt ut til en avstand på ca. 12 cm fra pelen.

Tilsvarende effekt er registrert av Rønning og Haugen (2015) i forbindelse med installasjon av rørsjunt for Møllenbergtunnelen i Trondheim hvor det var en sone på ca. 3 cm rundt rørene som ble fullstendig omrørt.

Hvor store volumreduksjoner som kan forventes ved ulik grad av skjærtøyning er ikke undersøkt tidligere. NGI (1964) har imidlertid utført konsolideringsforsøk i laboratorium på fullstendig omrørt kvikkleire i forbindelse med analyse av kvikkleireskred. Resultatene fra disse forsøkene viste potensiale for ca. 10-15 % volumreduksjon. Dette overensstemmer med resultat fra ødometerforsøk på omrørt leire fra peleforsøk på Haga (NGI, 1984).



Figur 6-6: Skjærtøyning, vanninnhold og udrenert skjærfasthet (konus) i leire relatert til radiell avstand fra pelevegg fra peleforsøk på Haga (NGI, 1984).

6.5.1 Beregning estimert volumreduksjon rundt stag i felt B

Setningsnivellelement i felt B indikerer at det har påløpt mellom 2-6 mm terrengsetning som følge av konsolidering over en periode på ca. 6 måneder etter utført boring, se Figur 5-2. I samme periode har poreovertrykk som følge av boring helt eller delvis dissipert. Tilsvarende setningsutvikling er ikke registrert på de andre feltene (A, C, D og E).

Basert på erfaringer fra rammede peler og re-konsolidering i plastifisert sone er det i det påfølgende beregnet en estimert volumreduksjon rundt stag i felt B for sammenligning mot setningsnivellelement.

Ved å benytte resultater fra beregning av estimert plastifisert sone (r_{pl}) rundt hvert stag (Tabell 6-1), samt antatt volumreduksjon (ϵ_{vol}) i denne sonen, er det beregnet en estimert total volumreduksjon rundt hvert stag. Det er antatt at volumreduksjonen rundt stagene avtar fra 10 % helt inntil staget, og ned til 0 % i randen av plastifisert sone. Det er her tatt utgangspunkt i midlere estimat av plastifisert sone iht. Tabell 6-1. Beregningene er noe forenklet ved å velge en midlere verdi på $\epsilon_{vol} = 10\%$, for å vurdere effekten av ulike tykkelser (t) på sonen rundt stag som gjennomgår en re-konsolidering og dermed en volumreduksjon. I beregningene er det benyttet gjennomsnittlig lengde av foringsrør i løsmasser som var lik 33,25 m i felt B.

Tabell 6-2: Estimert total volumreduksjon rundt stag felt B.

	Enhet	Tykkelse (t) av sone som får volumreduksjon		
		2 cm	5 cm	10 cm
Volum re-konsolidering, $V_{\text{kons,T}}$	(dm ³ /m stag)	1	29,8	75,3
Midlere volumreduksjon, ϵ_{vol} (10 %)	(dm ³ /m stag)	0,1	2,98	7,53
Total volumreduksjon felt B (8 stag á 33,25 m)	(dm ³)	26,6	793	2003

Det antas at influensområde i terrengnivå som påvirkes av volumreduksjon rundt stagen er begrenset i horisontal utstrekning til ca. halvparten av dybden til staget. Dette overensstemmer relativt godt med setningsnivellelement i felt B som viser at terrengsetning avtar med økende avstand fra stagenes senterlinje og treffpunkt i berg.

Det er estimert at boringen i felt B har ført til terrengsetninger på et område med totalt areal lik ca. 400 m². Med en gjennomsnittlig setning lik 3 mm over dette området tilsvarer det et totalt volum lik 1,2 m³ (1200 l). Sammenlignet mot estimert volumreduksjon i Tabell 6-2 ser man at det minimum må være en sone på ca. 5-10 cm rundt hvert stag som har fått en volumreduksjon lik 10 %.

7 Vurdering av resultater

7.1 Generelt

Resultater fra setningsnivellelement på forsøksfeltet har generelt vist beskjedne terrengsetninger for alle boremetoder som følge av stagboring, se Figur 7-1 (maks 12 mm felt B, Figur 5-2). Målinger av poretrykk og terrengsetninger har imidlertid vist en klar tendens til at boring med odex 115 luftdrevet senkehammer i felt B har ført til signifikant større poreovertrykk (60 kPa og avstand ca. 3 m) og terrengsetninger enn for alle andre boremetoder.

Setningsnivellelement indikerer for øvrig at boring i felt B har ført til tilnærmet umiddelbare terrengsetninger på ca. 2-5 mm over hele forsøksfeltet. Det er imidlertid sannsynlig at boring i felt D også har bidratt noe til setningene i felt C, D og E. Visuelle observasjoner og måling av utspytt leire/masse under boring indikerer at de umiddelbare setningene ikke kun skyldes "overboring" eller utspyling av større volum enn det som foringsrørene opptar. Dette underbygges av poretrykksmålinger i leire (PZ B10) som viser at boringen gjennom leire i stor grad innebærer massefortrengning.

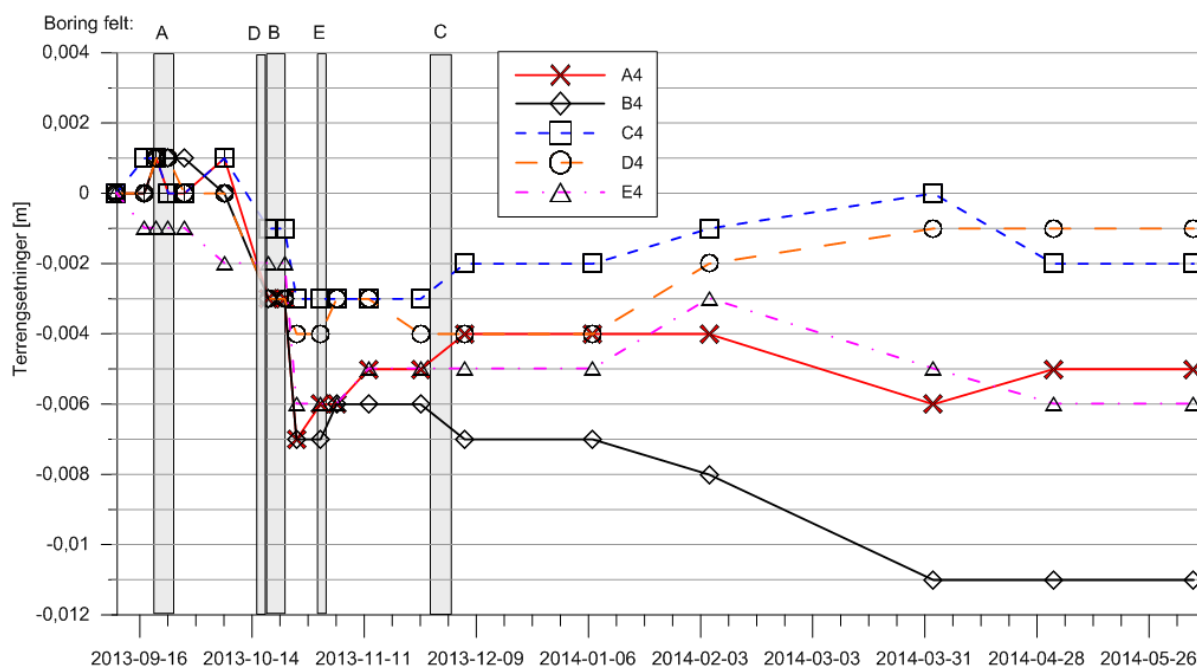
At det har oppstått terrengsetninger over hele forsøksfeltet kan trolig forklares ved at det har oppstått relativt kortvarige poretrykksreduksjoner ved berg over et større område, som følge av boring med luftspyling i faste masser/berg i felt D og B. Poretrykksreduksjonen kan videre ha ført til umiddelbare setninger i et tynt lag med permeable masser (finsand/morene) over berg.

At terrengsetningene i felt B fortsatte å øke over en periode på ca. 6 måneder etter endt boring indikerer at setningene i hovedsak er relatert til dissipasjon av poreovertrykk og re-konsolidering av omrørt/forstyrret leire rundt foringsrør.

De resterende boremetodene hadde mindre og nokså lik påvirkning på poretrykk og terrengsetninger som i felt B, men terrengsetningene har stoppet opp etter endt boring. Sett bort fra terrengsetninger som følge av boring i felt B er det for øvrig ingen klare indikasjoner på at noen av de andre boremetodene gir større eller mindre setninger enn andre.

Ved boring av selvborende stag i felt A oppstod flere avvik i forhold til de opprinnelige planene som kan ha hatt noe betydning for resultatene. I alt ble 6 av 8 stag boret med brattere helning (ca. 55°) enn opprinnelig planlagt, samt at kun 4 av 8 stag ble boret inn i berg, og da med kortere forankringslengde enn de planlagte 4 m. I tillegg ble de 3 første stagen ikke gyst med sementmørtel. Dette kan ha ført til noe mindre påvirkning relativt sett i forhold til de andre boremetodene som gjør at de ikke er direkte sammenlignbare.

Boring i felt D med topphammer og odex borkrone ble avbrutt etter forsøk på bore to stag inn i berg. Dermed er ikke måleresultatene relevante ved sammenligning mot de andre boremetodene.



Figur 7-1: Resultat av setningsnivellement anker nr. 4 i felt A-E i perioden mellom 13. september 2013 og 4. juli 2014, der tidspunkt for boring med de ulike metodene er vist.

7.2 Betydning av boreprosedyrer og utførelse

Under planleggingen av feltforsøkene var det enighet blant boreentreprenører og rådgivere om at utførelsen skulle være som ved et "vanlig" byggeprosjekt og at boreleder skulle vurdere boreprosedyren ut fra de stedlige grunnforhold, ref. BegrensSkade delrapport DP3.1 (2014).

Ved boring i felt A, B, D og E var det ikke gitt noen klare føringer på hvilken borsynk, rotasjonshastighet og spyletrykk som skulle benyttes. Under utførelsen ble det registrert en meget høy borsynk ved boring i leire, ca. 10-20 sekund per 3 m rørlengder. Resultater fra måling av poretrykk og utspylt volum indikerer at boringen har ført til massefortrengning og påfølgende poretrykksoppbygging rundt hvert stag. Ved boring i felt B ble det målt en maksimal poretrykksøkning lik 60 kPa i PZ B10 på 17 m dybde. Tilsvarende ble det i felt E målt en maksimal poretrykksøkning på ca. 70 kPa i PZ E10 på 10 m dybde. Teoretisk avstand mellom poretrykksmålerne og nærmeste stag var henholdsvis ca. 3 m i felt B og ca. 1,1 m i felt E.

I felt C ble boring med vannhammer bevisst utført med en lavere borsynk lik ca. 1-2 m/min for å redusere massefortrengning. Det resulterte i betydelig lavere målte poreovertrykk, med maksimal

verdi lik ca. 20 kPa i PZ C9 på 10 m dybde og med 1,1 m teoretisk avstand fra nærmeste stag. Måling av poretrykk i felt C underbygger betydningen av borsynk i forhold til potensiale for å gi poreovertrykk.

Poretrykksmålingene indikerer dermed at influensområdet rundt hvert stag er en god del større enn det som er forventet ved sammenligning mot erfaringer fra rammede pelar. Dette tyder på at selve boreprosessen med vannspyling gjennom borkronen kan føre til en større poretrykksoppbygging i leire enn ved ren massefortrengning. Dette er overraskende, siden boring av stag/pelar normalt er ansett som mer skånsomt enn ramming av pelar.

7.3 Luft vs. vandrevet senkehammer

Boring med luftspyling skaper et sug ("Venturi effekt") rundt borkronen som følge av at det oppstår trykkforskjell inne i foringsrør og omkringliggende masser, beskrevet av Bredenberg m. flere (2014). Den oppadrettede luftstrømmen har større strømningshastighet ved borkronen enn området rundt foringsrøret og trykkforskjellen medfører en strømning inn mot borkronen. Denne strømmingen kan videre føre til at betydelige mengder vann og løsmasser suges inn i borkrone og skaper kaviteter rundt foringsrør.

Venturi effekten har med stor sannsynlighet ført til poretrykksreduksjon og noe erosjon/innsuging av løsmasser rundt borkronen ved boring i felt B. I tillegg har trolig luftspyling med høyt trykk ført til økte forstyrrelser/omstrukturering av kornskjelett og utblåsing av komprimert luft i mer permeable masser over berg. Dette underbygges i stor grad av observert utblåsing av leirslam opp langs stag i felt A under boring av stag B104 i felt B, samt påvirkning på flere poretrykksmålere med stor avstand fra felt B.

I felt B ble det ved boring med luftspyling i berg registrert innstrømning av til dels mye vann fra berggrunnen som ble blåst ut med trykkluften. Mengde vann er anslått å være opptil ca. 20-30 l/min. En slik vannstrømning kan ha bidratt til økt innsuging av masser og midlertidig reduksjon av poretrykk ved berg.

Boring med senkehammer og luftspyling gjennom bløt leire og silt kan føre til betydelig omrøring og innsuging av masser, samt ukontrollerte utblåsnings av trykkluft i massene. Disse effektene kan forsterkes dersom leira er sensitiv. Det har vært flere prosjekter hvor det er rapportert om skader på grunn av en slik utførelse (ref. Helland Bruer, Ringnes Park, Götatunnelen). Basert på tidligere hendelser har det i de senere år blitt mer vanlig å bore kun med vannspyling gjennom bløte løsmasser. Luftspyling har da ideelt sett først blitt benyttet ved boring i faste masser og berg.

I Sverige har man lignende erfaringer med at boring med luftdrevet senkehammer gjennom bløt leire og fast morene over berg har ført til betydelig innsuging/utspyling av jordmasser som overgår volumet av foringsrør, noe som videre har ført til setninger i omkringliggende jord. Bredenberg m. flere (2014) beskriver denne problemstilling ved konvensjonell odex boring med luftspyling ved boring av pelar. De har presentert resultater fra et prosjekt i Stockholm hvor det ble benyttet en relativt ny borkrone av typen Elemex fra Atlas Copco ved boring av foringsrør for stålkernepelar. Metoden ble benyttet for å redusere trykkforskjeller ved borkronen og dermed potensiale for utspyling av masser. Resultatene har vist ca. 30-50 % mindre setninger på nærliggende konstruksjoner ved bruk av Elemex i forhold til tradisjonell odex.

8 Konklusjon

De relativt små terrengsetninger som er målt under feltforsøkene (maks 12 mm i felt B) er mindre enn forventet ved planlegging av forsøksfeltet, og står i stor kontrast til de setninger (opp mot 40 cm) som er rapportert fra utgravninger i bløt leire avstivet med spunt og stag forankret i berg beskrevet i delrapport 1+2.4 *Vurdering av skader og deformasjoner knyttet til utførelse av stagforankring og borede peler i byggegrop* (Langford m. flere, 2015). Avvik mellom målt og forventet terrengsetning på forsøksfeltet kan forklares ved flere forhold:

- 1) Det er boret få stag med liten dimensjon for hver boremetode, dvs lite påvirket jordvolum i forhold til byggeprosjekter.
- 2) Boring er utført fra terrengnivå (over GV) uten effekt fra destabiliserende grunn- og vanntrykk ved borkronen.
- 3) Leiren på forsøksfeltet (Onsøy leire) har høyt leirinnhold og høy plastisitet, og er trolig mindre utsatt for erosjon/utspyling enn mer siltige leirer.
- 4) Terrenget på forsøksfeltet er ubelastet i motsetning til de fleste byggeprosjekter.

For å begrense uønsket massefortrengning (poreovertrykk) og delvis omrøring av omkringliggende leire rundt stag/peler viser resultat fra feltforsøk at borsynk ikke bør være høyere enn i størrelsesorden 1 m/min. Da oppnås trolig en mer "ideell" boring ved at volum av utspylte masser er tilnærmet likt volum av foringsrør i grunnen. Dette vil trolig også begrense effektene av re-konsolidering i leire. Det bør også unngås å bruke luftspyling ved boring i leire.

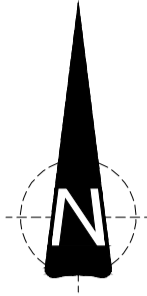
Effektene ved boring i faste masser og/eller berg med luftspyling er trolig mer avgjørende enn tidligere antatt med hensyn til risiko for å skape uønskede setninger. Det har vært et økende fokus i de senere årene på betydningen av poretrykksreduksjon ved berg på grunn av stag- og peleboring. Men da i hovedsak poretrykksreduksjoner over en lengre tidsperiode som fører til konsolideringssetninger i leire. Boring med luftspyling skaper generelt et ubalansert trykk mellom grunnen og spyletrykket ved borkronen. Dette gir et vakuum/sug ved borkronen som kan føre til betydelig erosjon og innsuging av masser, samt tilstrømning av vann som da pumpes ut fra grunnen. Ved boring i permeable løsmasser eller berg er det fare for å senke poretrykket i et relativt stort område. Det kan videre føre til tilnærmet umiddelbare setninger grunnet økte effektivspenninger.

Ved boring fra et nivå som er under naturlig grunnvannstand (GV), eksempelvis i en dyp byggegrop, blir det ubalanserte trykket mellom vertikale spenninger i grunnen og vann-/lufttrykk ved borkronen høyere enn ved boring fra terrengnivå (over GV). Dette øker potensiale for erosjon rundt borkrone, utspyling av masser opp langs foringsrør, samt dreneringseffekt. For å begrense en slik effekt viser resultat fra feltforsøkene at bruk av luftdrevet boresystem bør unngås.

Dersom en glippe oppstår mellom jord og foringsrør vil den kunne virke som en drensvei for grunnvann, og føre til redusert poretrykk og konsolideringssetninger i den omkringliggende leiren. Erfaring fra byggeprosjekter har vist at influensområdet kan være flere hundre meter unna selve byggegropen, DP1+2 rapport (2014). Å benytte presset/rammet foringsrør i stedet for boret, eller gysing med mørtel fra bunn av borestreng etter endt boring kan være måter for å redusere drenasje problemer.

9 Referanser

- BegrensSkade (2014). "Delprosjekt 3.1 Prosedyre for stagboring feltforsøk, Onsøy". Rev. 02 23.03.2014
- Norges Geotekniske Institutt (2012). "Data base for tests on high quality block samples on clay. Summary of compressibility, strength and deformation parameters in relation to index properties." NGI report No. 20051014-00-1-R, 22 February 2012.
- Kempfert, H.G & Gebresellassie, B. (1999). "Effect of anchor installation on settlement of nearby structures in soft soils". Proceedings of the international symposium on geotechnical aspects of underground construction in soft ground, 665-670. Tokyo/Japan 19-21 July 1999.
- Kullingsjö, A. (2007). "Effects of deep excavations in soft clay on immediate surroundings – Analysis of the possibility to predict deformations and reactions against the retaining system." Doctoral thesis, Chalmers university of technology.
- Rønning, S. (2011). "E6 Trondheim – Stjørdal, parsell Trondheim – dagsone vest. Geotekniske aspekter knyttet til rørsjuntveggen. Prøvesjunt, instrumentering, geotekniske boringer ved prøvesjunt, noen erfaringer ved utførelsen." Geoteknikkdagen 2011, presentasjon 34.
- Karlsruud, K. (2012). "Prediction of load-displacement behavior and capacity of axially loaded piles in clay based on analyses and interpretation of pile load test results." Doctoral thesis, Norwegian University of Science and Technology.
- Hill, R. (1950). "The mathematical theory of plasticity." Oxford University Press, London. 356p.
- Vesic, A.S. (1972). "Expansion of cavities in infinite soil mass." J. Soil Mech. and Found. Div., ASCE. Vol. 98, No. SM3, pp. 265-290.
- Torstensson, B-A. (1973). "The Behaviour of a Cohesion Pile Group in Soft Clay". Proc. Int. Conf. on Soil Mech. Found. Eng. 8. Moskva 1973. Vol. 2.1, pp. 237-242.
- Randolph, M.F. and Wroth, C.P. (1979). "Driven piles in clay: Effects of installation subsequent consolidation". Geotechnique Vol. 29, No. 4, pp. 361-393.
- Baligh, M.M. (1975). "Theory of deep static cone penetration resistance." Publication No. R75-56. Dept. of Civil Engineering, MIT, Cambridge, MA.
- Norges Geotekniske Institutt (1984). "Cyclic loading of piles and pile anchors-phase II. Final report". Report 40018-11, July 31. 1984
- Norges Geotekniske Institutt (1964). "Triaksialforsøk CAU på omrørt Manglerudleire. Fremgangsmåte og resultater." Intern rapport F.264.4, 10. desember 1964.
- Bredenberg, H., Jönsson, M., Isa, R., Larsson, M., Larsson, L.E. (2014). "Borrteknik för minimering av marksättningar vid borrhåll grundläggning." Bygg & Teknik 1/14.
- BegrensSkade (2015). BegrensSkade delrapport 1+2.4 "Vurdering av skader og deformasjoner knyttet til utførelse av stagforankring og borede peler i byggegrøper".



Rv. 110 Masseveien

V1300 SJK

SP250 PVC

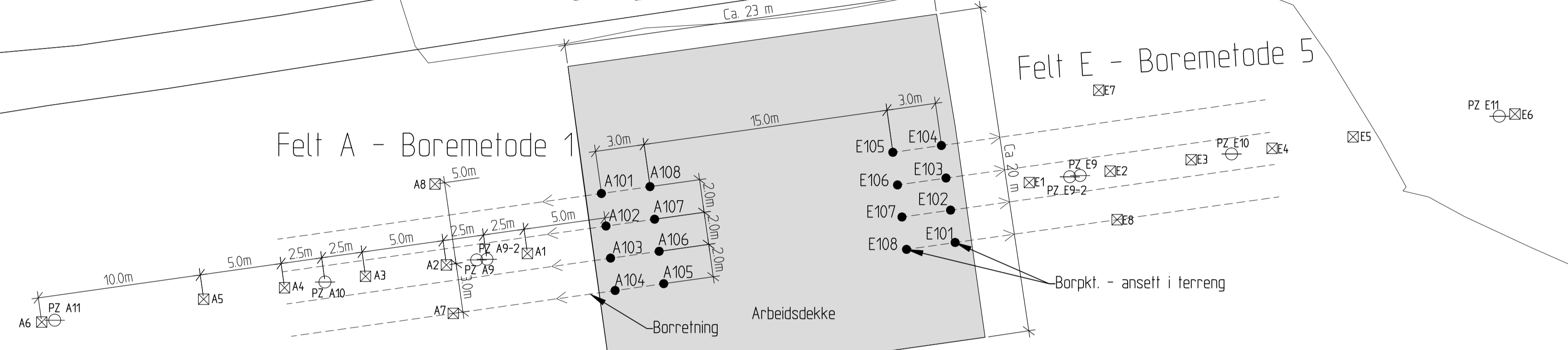
Z1492

Skåragårdsveien

Ca. 23 m

Felt E - Boremetode 5

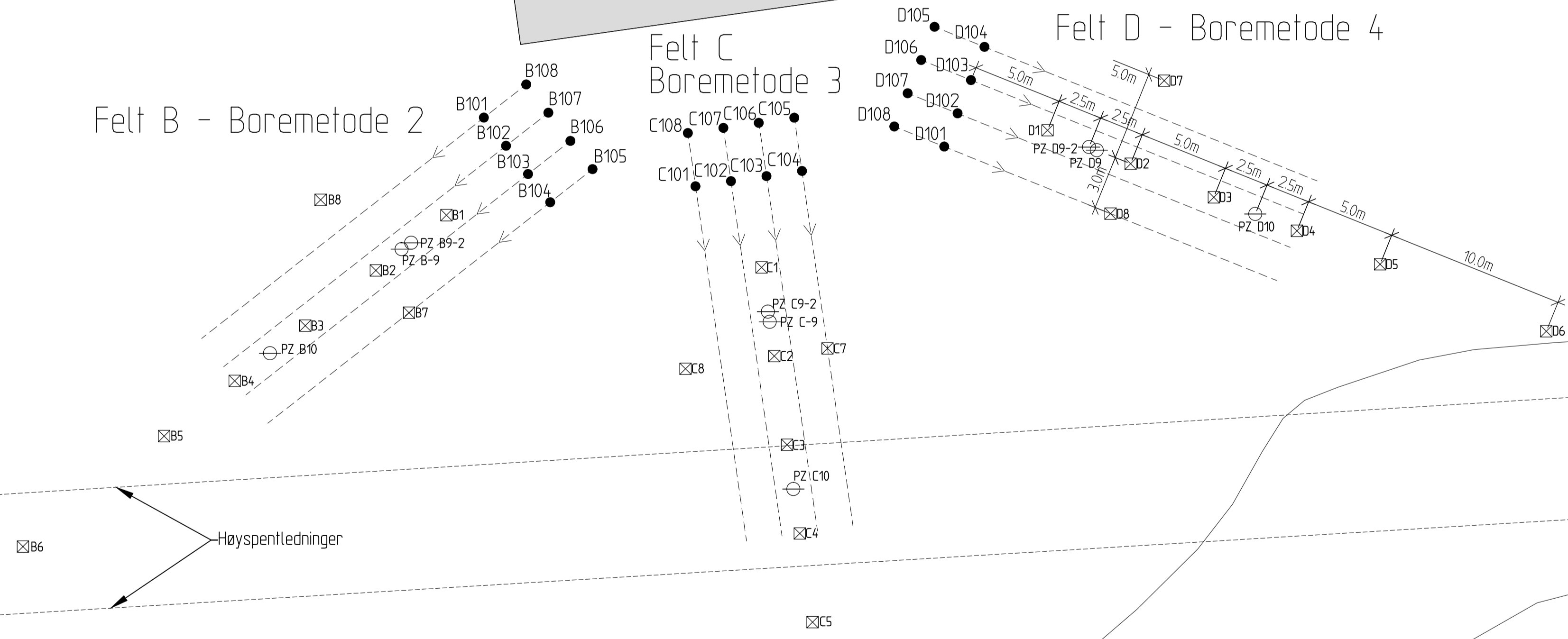
Felt A - Boremetode 1



Felt B - Boremetode 2

Felt C Boremetode 3

Felt D - Boremetode 4



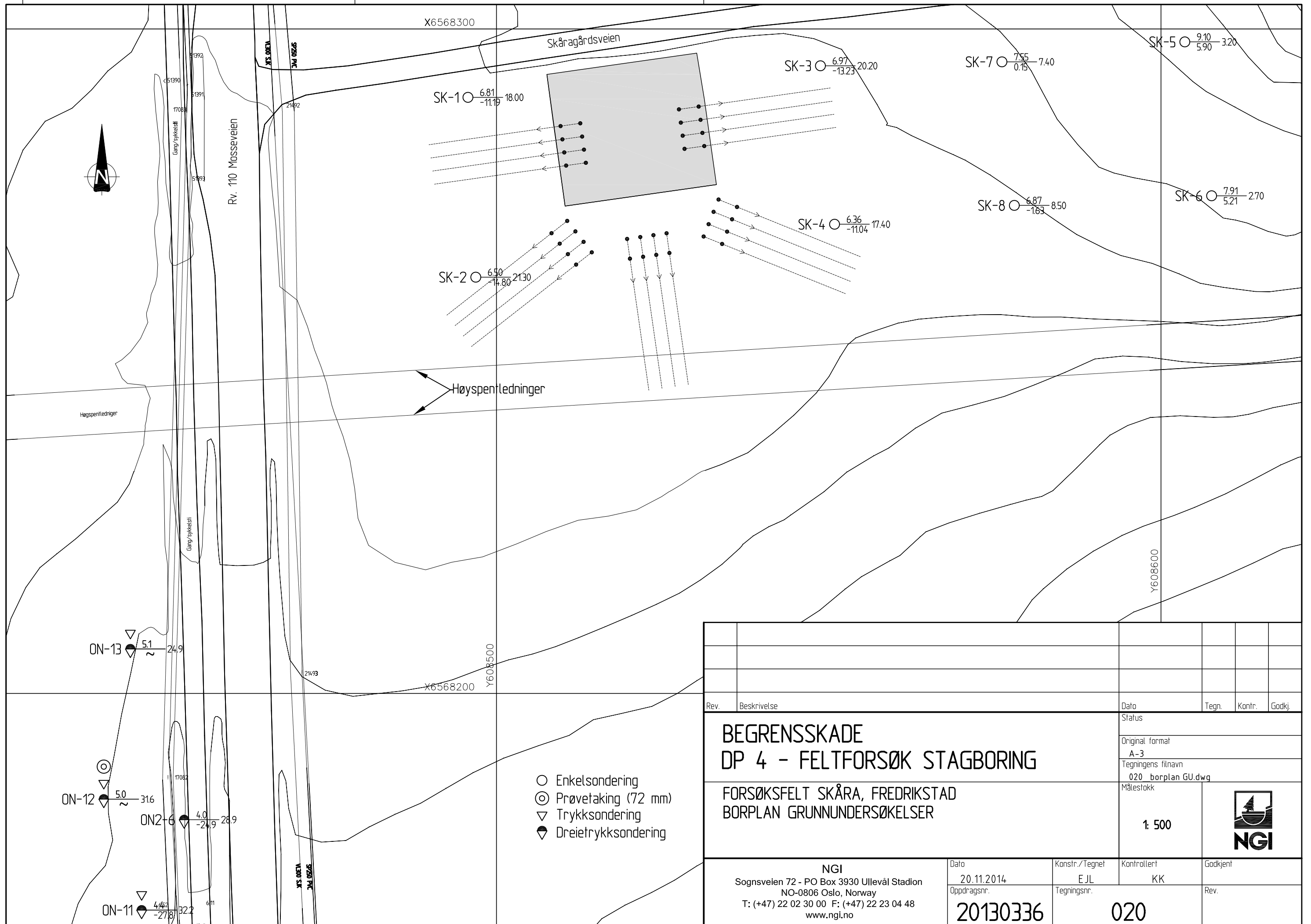
FORKLARINGER:

○ Poretrykkmåler

⊠ Setningsmåler

Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontroll.	Godkj.
0					
BEGRENSSKADE DP 4 - FELTFORSØK STAGBORING					Status Arbeidstegning Original format A-1 Tegningens tittel 010_plan_forsøksfelt
FORSØKSFELT SKÅRA, FREDRIKSTAD PLAN BORING OG INSTRUMENTERING					Målestokk 1:200 (A1) 1:400 (A3)
NGI Sognsveien 72 - PO Box 3930 Ullevål Stadion NO-0806 Oslo, Norway T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48 www.ngi.no		Dato 20.11.2014 Oppdragnr. 20130336	Konstr./Tegnet E.JL Tegningsnr. 010	Kontrollert KK	Godkjent Rev.





Rev.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
BEGRENSSSKADE DP 4 - FELTFORSØK STAGBORING		Status Original format A-3 Tegningens filnavn 020_borplan GU.dwg Målestokk 1: 500			
FORSØKSFELT SKÅRA, FREDRIKSTAD BORPLAN GRUNNUNDERSØKELSER					
NGI Sognsveien 72 - PO Box 3930 Ullevål Stadion NO-0806 Oslo, Norway T: (+47) 22 02 30 00 F: (+47) 22 23 04 48 www.ngi.no		Dato 20.11.2014	Konstr./Tegnet E JL	Kontrollert KK	Godkjent Rev.
		20130336	020		