

# DP3 Videreutvikling av metoder for å begrense skader

Forbedring og videreutvikling borede stag og peler -  
Metoder, utførelse og dokumentasjon

Geir Veslegard, Einar John Lande og Arne Schram Simonsen

Delrapport 3.4

## Begrensning av skader som følge av grunnarbeider

### Delprosjekt: 3 Videreutvikling av metoder for å begrense skader

## Forbedring og videreutvikling borede stag og peler

Dato: 2015-12-21

Revisjonsdato:

Revisjonsnr.: 0

Delprosjektleder: Arne Schram Simonsen, Multiconsult

Utarbeidet av: Geir Veslegard (Hallingdal Bergboring), Einar John Lande (NGI) og  
Arne Schram Simonsen (Multiconsult)

Med bidrag fra:

Steinar Giske (Statens Vegvesen),

Jenny Langford (NGI), og

Kjell Karlsrud (NGI)

Kontrollert av: Arne Schram Simonsen og Kjell Karlsrud

## Sammendrag

BegrensSkade ønsker med denne rapporten å gi et bedre grunnlag for hvordan boring for peler og stag beskrives, utføres, dokumenteres og kontrolleres for å minske risikoen for at boringen skal gi skader. Det er lagt vekt på forbedring og videreutvikling av de boremetoder og utførelser som er mest benyttet i bransjen i dag. Det vises til rapport *State of Art Boreteknikk* for detaljerte beskrivelser av boremetoder.

Det er identifisert følgende uønskede effekter knyttet til boring, som kan føre til skader:

- a) Endring av poretrykk og grunnvannsnivå, hovedsakelig som midlertidig poretrykksreduksjon, poretrykksøkning, eller langtids lekkasje opp langs stag/pel.
- b) Forstyrrelser og omrøring av leire inntil stag/pel og påfølgende re-konsolidering.
- c) Innsuging av masser og volumtap rundt stag/pel som følge av luftspyling.
- d) Utspyling av masser og volumtap rundt stag/pel som følge av trykkluft som evakuerer ut i grunnen.

Erfaringer og dokumentasjon fra fullskala feltforsøk med stagboring og nye byggeprosjekter er benyttet for å utarbeide anbefalinger knyttet til valg av boremetoder og utførelse. Styrker og svakheter med de ulike metoder gjennomgås med hensyn på videreutvikling for å redusere påvirkning fra etablering av borede stag og peler.

Boring uten bruk av luft medfører generelt mindre risiko. For å redusere negative effekter og setninger som følge av boring anbefales det å benytte boremetoder der det ikke er nødvendig med luftspyling, eksempelvis vannhammer eller topphammer. Spyleboring med vann i bløte masser (leire, silt, sand) anses som en skånsom boremetode såfremt borsynk og spyletrykk er tilpasset grunnforhold og dimensjoner. Ved boring i faste masser med senkhammer og luftspyling bør trykket reduseres til et minimum for å redusere risiko for utspyling og/eller innsuging av løsmasser (fortrinnsvis <8-10 bar). Leverandører av borhammer og borkroner oppgir 15 bar som maksimalt lufttrykk ved boring i løsmasser.

Generelt bør boring for stag og/eller peler fra nivå som er under grunnvannsnivå unngås hvis teknisk og økonomisk mulig. Omfattende bruk av forankringsstag kan fortrinnsvis erstattes med innvendig forspent avstivning.

Videreutvikling av borkroner og tilsetning av støttevæsker vil kunne redusere risiko ved boring ved sensitive grunnforhold og stor skaderisiko. Tradisjonell eksentrisk boring er den metoden som har flest svakheter og synes ikke å kunne videreutvikles med hensyn på å redusere svakheter med metoden.

Ringborkrone systemet har flere fordeler enn de andre systemene både for topp- og senkhammer boring i løsmasser. Men det er viktig å spylebore så langt som mulig der grunnforholdene gjør det mulig. Videreutvikling av borkroner pågår og forventes å kunne redusere risikoen ytterligere.

Selvborende stag og stålørspeler (opp til diameter 220 mm) har hylseskjøter. Dette gir mindre stopptid ved boring og dermed også mindre risiko for borkrangel og stopp i prosessen. Samtidig gir raskere installasjons kapasitet også kortere byggetid. Dette er særlig viktig ved byggeproper under grunnvannsnivå som kan lukkes tidligere og dermed reduseres tid for senkning av grunnvannsnivå.

Entreprenørene har også sine egne tilpasninger av metodene og borelederens erfaring og kompetanse er av avgjørende betydning for best mulig gjennomføring. Sertifisering av boreledere og operatører er derfor ett tiltak for å begrense skader. Det er også viktig at informasjon om grunnforhold og mulig skaderisiko blir vurdert ved både prosjektering, oppstart, oppfølging og gjennomføring på byggeplass.

---

BegrensSkade ser et behov for bedre og mer detaljert dokumentasjon fra entreprenørene, samt bedre oppfølging/kontroll fra byggherrer av arbeider som innebærer boring for stag og peler. Dette innebærer mer omfattende informasjon (grunnforhold, boreparametere) fra selve boringen i boreprotokoller, som fortsatt er den viktigste dokumentasjonen. I tillegg anbefales det å innføre automatisk registrering av boreparameter for stag og peler slik som ved geotekniske boringer. Instrumentering bør benyttes i større grad som dokumentasjon av installasjonseffekter fra boring, og for å bedre kontroll/oppfølging av utførelse. Måling av poretrykk og setninger i flere dybder og bruk av helningskanaler på støttekonstruksjoner vil sammen med tett oppfølging gi god dokumentasjon. Fortrinnsvis kan instrumentering kombineres med prøveboring med aktuell boremetode ved oppstart for å vurdere boremetode og prosedyrer.

## Innhold

1	Innledning.....	7
2	Uønskede effekter ved boring.....	7
2.1	Generell problemstilling.....	7
2.2	Poretrykk og grunnvann.....	8
2.2.1	Massefortrengning og poretrykksøkning.....	8
2.2.2	Poretrykksreduksjon og grunnvannssenking.....	8
2.3	Re-konsolidering av omrørt leire rundt pelar og stag.....	9
2.4	Utspyling/innsuging av masser og volumtap.....	13
2.5	Kollaps av borehull (grunnbrudd).....	14
3	Erfaringer fra feltforsøk med stagboring i leire.....	15
3.1	Generelt.....	15
3.2	Resultater.....	17
3.2.1	Poretrykk.....	17
3.2.2	Terrengsetninger.....	19
3.3	Konklusjon.....	20
4	Erfaringer fra nye byggeprosjekter.....	20
4.1	Gladengen park - Oslo.....	20
4.2	E18 Knapstad – Retvet, Hobølelva bru.....	22
4.3	BAMA – Nyland syd.....	25
5	Anbefalinger vedrørende boring.....	27
5.1	Boremetoder og prosedyrer.....	27
5.1.1	Massefortrengning og poretrykksøkning.....	27
5.1.2	Utspyling/innsuging av løsmasser og temporær poretrykksreduksjon.....	28
5.2	Tiltak for å redusere lekkasje og grunnvannssenking.....	29
5.2.1	Tetting overgang løsmasser og berg.....	29
5.3	Kontroll av tetthet mellom foringsrør og berg.....	31
6	Forbedring og videreutvikling av boremetoder.....	32
6.1	Generelt.....	32
6.2	Løsmasseboring.....	33
6.2.1	Toppammer.....	33
6.2.2	Toppammer med Odex.....	33
6.2.3	Toppammer med ringkroner.....	33
6.2.4	Toppammer med gjenga rør.....	33
6.2.5	Toppammer med selvborende stag.....	34
6.2.6	Spyleboring.....	35

---

6.2.7	Senkhammer og Odex .....	35
6.2.8	Senkhammer og vinger.....	35
6.2.9	Senkhammer og ringkroner.....	36
6.2.10	Vannhammer .....	37
6.2.11	Rørdrivingshammer og vibrasjon .....	37
6.2.12	Boring med støttevæske .....	37
6.2.13	RC-boring med hammer og spyling .....	38
6.3	Sammenligning av boremetoder .....	39
7	Forbedret dokumentasjon og kontroll .....	41
7.1	Generelt.....	41
7.2	Boreprotokoller .....	41
7.3	Automatisk datalogging.....	42
7.4	Instrumentering.....	42
7.4.1	Poretrykk og grunnvann .....	43
7.4.2	Utspyling/innsuging av masser.....	43
7.5	Prøveboring og uttesting av boreprosedyre .....	43
8	Tekniske beskrivelser for boring .....	44
9	Utførelse av borearbeider .....	46
9.1	Kompetanse og erfaring på boremannskap .....	46
9.2	Fremdrift og tidsbruk .....	46
10	Konklusjon .....	47
11	Referanser .....	48

## 1 Innledning

Det oppstår alt for ofte uventede og uønskede skader på naboeiendommer og nærliggende infrastruktur 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. BegrensSkade-prosjektet har valgt å fokusere spesielt på problemstillingen knyttet til risiko for skader ved boring for stag og peler. BegrensSkade ønsker med denne rapporten å gi et bedre grunnlag for hvordan boring for peler og stag beskrives, utføres, dokumenteres og kontrolleres for å minske risikoen for at boringen skal gi skader. Det er lagt vekt på forbedring og videreutvikling av de boremetoder og utførelser som er mest benyttet i bransjen i dag.

I delrapport 1+2.1 *State of Art Boreteknikk* (Veslegard og Simonsen, 2013) gis en relativt detaljert beskrivelse og innføring i de ulike boremetoder og virkemåter innen fundamentering, fra selvborende stag til grove pilarer. Metode beskrivelse og innholdet i State of Art rapport anbefales som bakgrunnsmateriale for denne rapporten.

Videre vises det spesielt til delprosjekt 3.1 der metodevalg, bakgrunn, gjennomføring og arbeidsprosedyrer for feltforsøk med stagboring på Onsøy beskrives, (Veslegard og Simonsen, 2013).

I delprosjekt 4 er det utført fullskala feltforsøk med stagboring gjennom leire ved Skåra i Fredrikstad kommune. Detaljert beskrivelse av feltforsøket med resultater og vurderinger er presentert i en egen rapport, (Lande, 2015). I delprosjekt 4 er det også innhentet en rekke erfaringsrapporter fra byggeprosjekter som er fulgt opp spesielt som del av BegrensSkade.

## 2 Uønskede effekter ved boring

### 2.1 Generell problemstilling

Ved boring av stag eller peler i leire påvirkes omkringliggende jord ved at det oppstår spennings- og tøyningendringer innenfor et begrenset influensområde rundt hvert stag eller pel. Hvor store endringer og i hvilken utstrekning disse oppstår er vanskelig å kvantifisere i forkant av utførelsen og avhenger av en rekke faktorer.

Det er blitt en generell oppfatning i bygge- og anleggsbransjen at boring av stag og peler i leire fører til mindre forstyrrelser i grunnen enn ramming av massefortrengende (lukkede) peler. Dette forutsetter imidlertid en ideell utførelse som reduserer massefortrengning og poretryksøkninger, samt omrøring og utspyling av masser. Eknes, Lund og Langford (2013) har i delrapport 1+2.2 *Rapportering av skadesaker og vurdering av skadeårsaker* samlet inn data og erfaringer fra en rekke skadesaker som tydelig indikerer at boring av stag og/eller peler direkte eller indirekte er hovedårsak til skadene, samt flere byggeprosjekter hvor boring har vært sentralt. I tillegg er det utført et fullskala feltforsøk med stagboring i leire og ned til berg (Lande, 2015). Resultater fra fullskala feltforsøk med stagboring, samt en rekke byggeprosjekter har gitt økt kunnskap og dokumentasjon om hvilke påvirkninger boring kan ha på poretrykk og grunnvann.

Det er identifisert følgende uønskede effekter knyttet til boring, som kan føre til skader:

- a) Endring av poretrykk og grunnvannsnivå:
  - Poretryksøkning som følge av massefortrengning og/eller ukontrollert utblåsing av trykkluft ut i grunnen.
  - Temporær poretryksreduksjon som følge av spyling med trykkluft under boring.

- Langsiktig drenasje/lekkasje langs stag/pel.
- b) Forstyrrelser og omrøring av leire med påfølgende re-konsolidering, som følge av direkte mekanisk påvirkning og massefortrengning.
- c) Innsuging/utspyling av masser og volumtap som følge av:
  - "Venturi effekt" (sug) lokalt rundt borkrone som følge av spyling med trykkluft
  - Kollaps i borehull (grunnbrudd)
  - Erosjon fra spylemedium og/eller strømming av grunnvann inn i foringsrør.

## 2.2 Poretrykk og grunnvann

### 2.2.1 Massefortrengning og poretrykksøkning

Ved boring kan massefortrengning og poretrykksøkning i leire oppstå ved at det bores ut et mindre volum løsmasser enn teoretisk volum av borestreng som installeres i grunnen. Denne effekten er tilsvarende som ved ramming av lukkede massefortrengningspeler og er i hovedsak styrt av borsynk. Boring i leire anses normalt som mer skånsomt enn ramming av (lukkede) peler med hensyn til massefortrengning. Dette forutsetter imidlertid en lav borsynk i størrelsesorden 0,5-1 m/min, samt kontinuerlig og fri retur av spyling opp i foringsrør.

Uavhengig om det benyttes luft- eller vannspyling så er borsynk avgjørende. Erfaringer fra feltforsøk og byggeplasser indikerer imidlertid at kombinasjon av høyt spyletrykk og høy borsynk kan gi større poreovertrykk med større influensområde sammenlignet med erfaringer fra peleramming for tilsvarende dimensjoner (målt opptil ca. 50-60 kPa med avstander opp til 3-4 m, se kapittel 3 og 4).

Poretrykksøkning kan også oppstå ved boring med store spyletrykk (luft eller vann) som ukontrollert evakuerer ut i grunnen, enten opp på utsiden av foringsrøret eller ut gjennom andre kanaler i grunnen. Erfaringer har vist at slike ukontrollerte utblåsninger kan oppstå dersom spylekanaler i borkronen blokkeres av finstoff (leire, silt og finsand) og det settes på høyt spyletrykk for å åpne kanalene. Problemet oppstår som regel ved stopp i boring, for eksempel ved skjøting av rør eller lengre venting.

Det blir i økende grad benyttet peler med store rørlengder, f. eks 12 m og 18 m. Det kan oppstå betydelige poretrykksøkninger i grunnen og i verste fall hydraulisk grunnbrudd ved boring av rør med store lengder som står vannfylt over terrengnivå, spesielt ved boring av det første røret. Grunnbrudd er normalt ikke største risiko ved boring.

### 2.2.2 Poretrykksreduksjon og grunnvannssenking

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. Problemstillingen med poretrykksreduksjon som følge av boring kan deles inn i:

- A. Temporær (kortvarig) poretrykksreduksjon som følge av spyling med trykkluft.
  - B. Langsiktig poretrykksreduksjon og grunnvannssenking grunnet drenasje/lekkasje langs stag/pel.
- A. Temporær (kortvarig) poretrykksreduksjon

Ved boring med luftspyling er det lite eller ikke noe stabiliserende vanntrykk inne i foringsrør. Dette skaper en forskjell mellom poretrykket i grunnen og trykket inne i foringsrør. Boring med luftspyling fører i tillegg til en "Venturi effekt" (sug) lokalt rundt borkronen som følge av at den oppadrettede

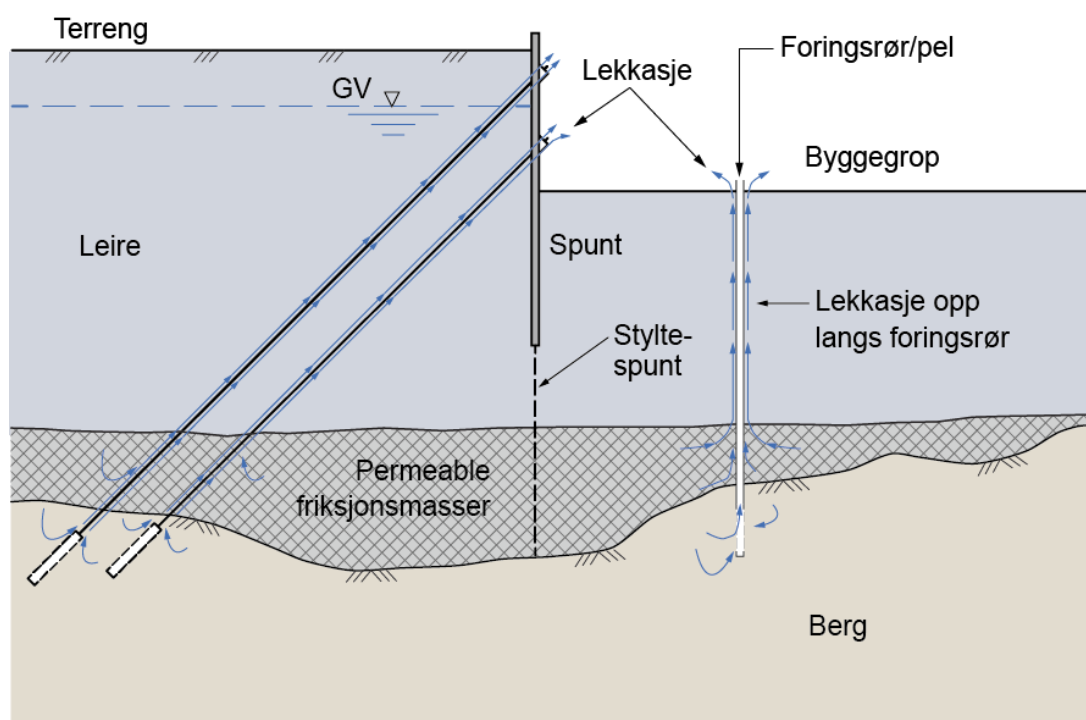


luftstrømmen (returstrøm) har større strømningshastighet ved borkronen enn området rundt. Dermed oppstår det en trykkforskjell som kan medføre en vannstrømning inn mot borkronen, som videre kan føre til at betydelige mengder vann og løsmasser "suges" inn i borkrone og skaper kaviteter rundt foringsrør. Denne problemstillingen er beskrevet av Bredenberg et.al (2014).

Ved boring i permeable løsmasser og videre inn i berg med luftspyling kan det oppstå store, kortvarige poretrykksreduksjoner. I enkelte tilfeller med betydelig influensområde, størrelsesorden ca. 10-20 m avstand. I tillegg kan effekten av vannstrømning inn mot borkrone føre til økt erosjon og innsuging av masser rundt stag/pel. Denne effekten er trolig mer avgjørende med hensyn til risiko for setninger enn tidligere antatt. Resultater og erfaringer fra flere byggeprosjekter har i stor grad bekreftet dette, noe som er beskrevet nærmere i kapittel 4. Selve poretrykksreduksjonen i faste masser over berg gir imidlertid normalt sett ikke nevneverdige bidrag til setninger.

#### B. Poretrykksreduksjon og grunnvannssenking

Dersom det bores stag og/eller peler gjennom tett leire og videre gjennom vannførende løsmasser (morene) og inn i berg fra et nivå under naturlig grunnvannsnivå i en byggegrop kan det føre til lekkasjer opp langs foringsrør, se prinsippskisse i Figur 2-1. Lekkasje kan skje på innside av foringsrør før det gyses eller støpes ut, eller i glippe på utside av foringsrør. Dersom det er boret mange foringsrør totalt og rørene virker som drenasje over lang tid (flere måneder) kan det føre til betydelige poretrykksreduksjoner i leire ned mot berg, og påfølgende konsolideringssetninger.



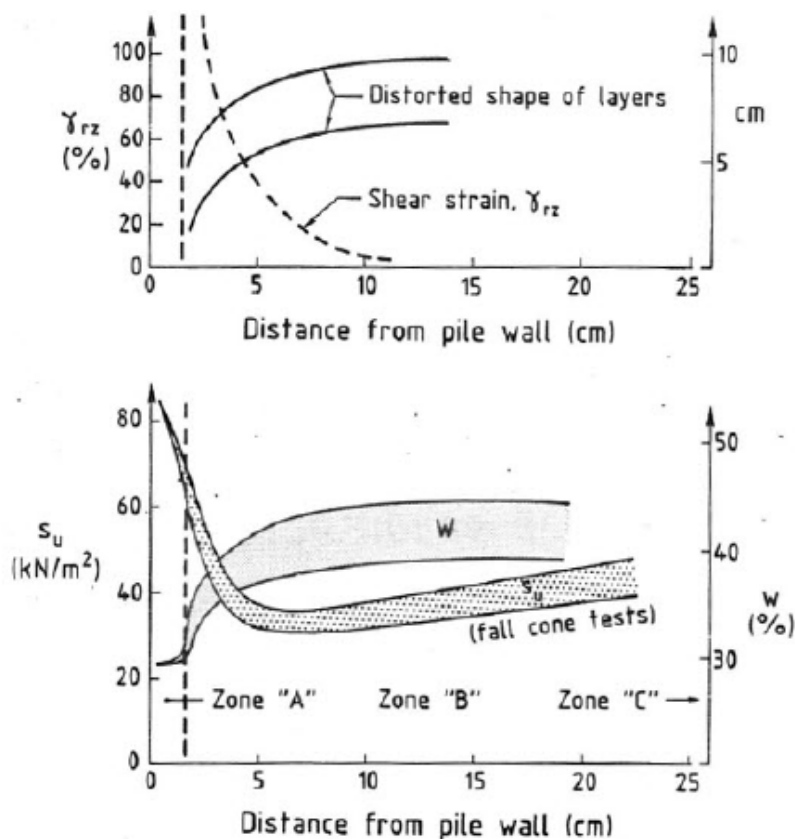
Figur 2-1: Prinsipp for potensiell drenasje/lekkasje opp langs foringsrør for stag og/eller peler.

### 2.3 Re-konsolidering av omrørt leire rundt peler og stag

Karlsruud (2012) har presentert resultater fra feltforsøk med rammede peler som har vist at leire i plastifisert (omrørt) sone gjennomgår en re-konsolidering etter hvert som poreovertrykk fra

installasjon dissiperer. 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 (Karlsrud og Haugen, 1984) viste at grad av omrøring avtar raskt med økende avstand fra pelevegg, se Figur 2-2. 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. 10-15 % i forhold til opprinnelig nivå som tilsvarer 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 rørspunt for Møllenbergtunnelen i Trondheim hvor det var en sone på ca. 3 cm rundt rørene som var fullstendig omrørt.

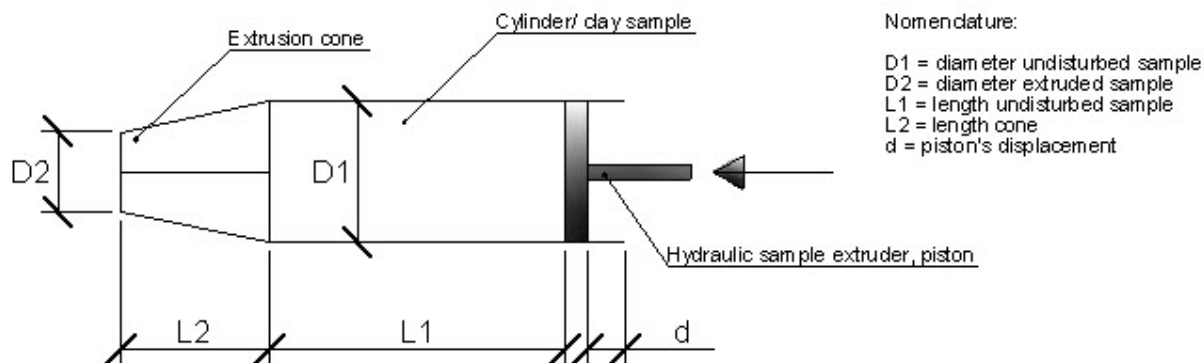


Figur 2-2: Skjærtøyning, vanninnhold og udrenert skjærfasthet (konus) i leire relatert til radiell avstand fra pelevegg fra peleforsøk på Haga (Karlsrud og Haugen, 1984).

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 som overensstemmer med resultat fra ødometerforsøk på fullstendig omrørt leire fra peleforsøk på Haga.

Borchchev (2015) har utført laboratorieundersøkelser av leire som er påført ulik grad av skjærtøyninger ( $\gamma_s$ ) ved ekstrudering, se Figur 2-3. Hensikten var å studere endring i styrke- og stivhetsparametere for ulik grad av skjærtøyning, samt potensiale for volumendring ved re-konsolidering.

Undersøkelsene omfattet relativt grunne prøver (3-5 m dybde) på bløt, lavplastisk ikke-sensitiv leire fra Tiller i Trondheim med OCR verdi mellom 2,5-3 og vanninnhold mellom 25-40 %. I tillegg ble det undersøkt prøver (6-9 m dybde) på middels fast ikke sensitiv leire fra Stjørdal med vanninnhold mellom ca. 30-35 %. Leira fra Stjørdal var noe overkonsolidert med OCR verdi lik ca. 1,5 på 14 m dybde.



Figur 2-3: Prinsippkisse for påføring av skjærtøyning i leire ved ekstrudering (Borchichev, 2015).

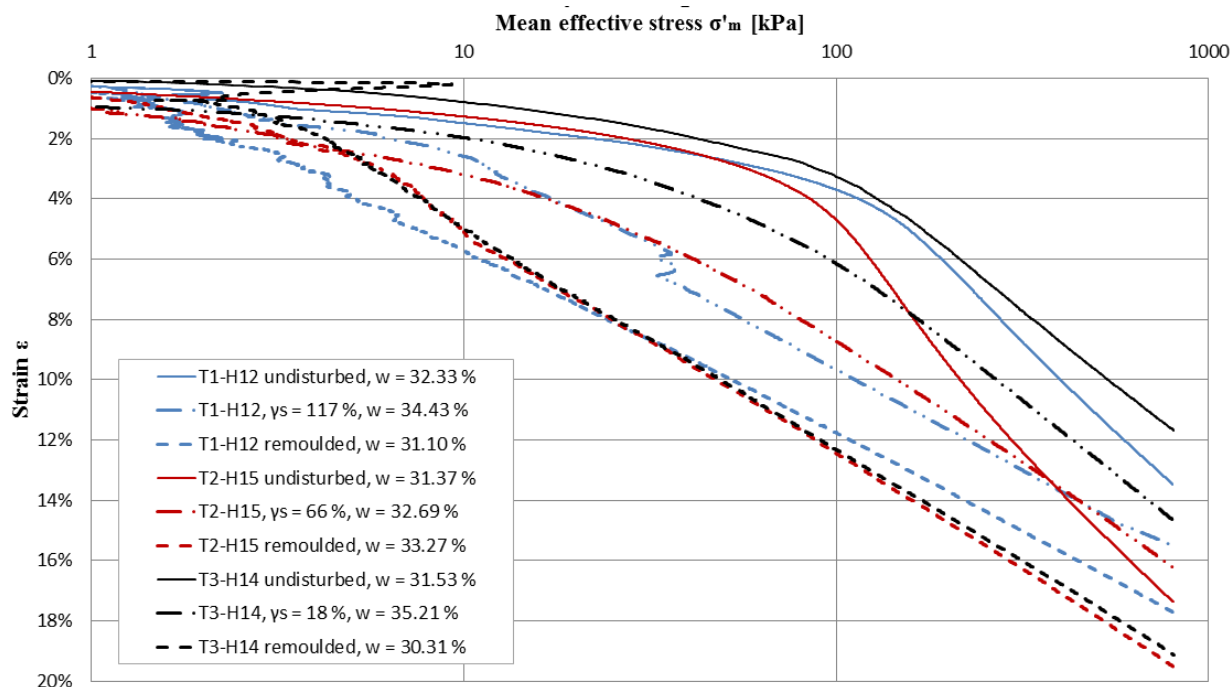
Laboratorieundersøkelsene ble utført på uforstyrret, delvis forstyrret (ekstrudert til skjærtøyning,  $\gamma_s$  lik ca. 18, 66 og 117 %) og fullstendig omrørt leire og omfattet følgende:

1. På uforstyrret leire er det utført indeks testing og CRS ødometer forsøk.
2. Ekstrudert leire er undersøkt med hensyn til vanninnhold og udrenert skjærfasthet med konus-forsøk. I tillegg er det utført CRS ødometer forsøk og re-konsolidering med ulike spenningsnivå i ødometer. Etter re-konsolidering er det på nytt målt vanninnhold og udrenert skjærfasthet.
3. På fullstendig omrørt leire er det også målt vanninnhold, udrenert skjærfasthet med konus-forsøk, samt utført CRS ødometer forsøk.

Hovedkonklusjonene fra laboratorieundersøkelsene er:

- Økende grad av påført skjærtøyning (forstyrrelse) på leira fører som forventet til reduksjon i residual skjærfasthet.
- Leire som er påført høyest grad av skjærtøyning ( $\gamma_s$  lik 117 %) får en betydelig økning i udrenert skjærfasthet etter re-konsolidering, størrelsesorden 2 til 3,6 ganger opprinnelig fasthet avhengig av konsolideringsspenning.
- Leire som er påført moderat til middels høy skjærtøyning ( $\gamma_s$  lik 18 og 66 %) viser lavere skjærfasthet enn uforstyrret materiale etter re-konsolidering for spenning lavere enn 80 kPa, men økning for re-konsolideringsspenning mellom 100-200 kPa. Dette indikerer at leire som er delvis omrørt rundt stag eller peler kan få redusert styrkeegenskaper på relativt grunne dybder.
- Betydelig reduksjon i volum og vanninnhold er målt på leire som er tilnærmet helt omrørt ved ekstrudering ( $\gamma_s$  lik 117 %) og deretter re-konsolidert for spenninger mellom 42-200 kPa. Avhengig av type leire og re-konsolideringsspenning er det målt mellom 5,3-9,4 % reduksjon i vanninnhold, som tilsvarer volumreduksjon mellom 8,5-16 %.
- Leire som er moderat forstyrret ved ekstrudering ( $\gamma_s$  lik 18 og 66 %) har vist tilnærmet samme reduksjon i vanninnhold og volum som omrørt leire ( $\gamma_s$  lik 117 %) ved re-konsolidering for spenning høyere enn 100 kPa.

- CRS ødometer forsøk viser at spenning-tøynings kurvene for leire som er delvis forstyrret ved ekstrudering legger seg mellom kurvene for uforstyrret og fullstendig omrørt leire, Figur 2-4.



Figur 2-4: Spenning-tøynings kurve fra CRS forsøk på prøver av leire fra Tiller, vanninnhold 30-35 % (Borchtchev, 2015).

Hvorvidt re-konsolidering av omrørt og forstyrret leire rundt borede stag og/eller peler kan føre til setninger og skader avhenger i stor grad av følgende faktorer:

- Leiras sensitivitet og kompressibilitet.
- Antall stag/peler som gir stort totalvolum som er forstyrret og omrørt.
- Dimensjoner på boreutstyr og bruk av eksentrisk eller sentrisk borkrone.
- Bruk av luftspyling med høyt trykk og eventuelt utblåsning i grunnen eller langs foringsrør

Resultater fra peleforsøk med rammede peler på Haga og laboratorieundersøkelser på skjærtøyd leire viser at det kan forventes i størrelsesorden 8-16 % volumreduksjon i fullstendig omrørt leire ved re-konsolidering for in-situ vertikale effektivspenninger. Resultatene indikerer også at det kan oppstå tilnærmet like store volumreduksjoner i moderat forstyrret leire på større dybder hvor vertikal overlagingstrykk blir større enn ca. 100 kPa.

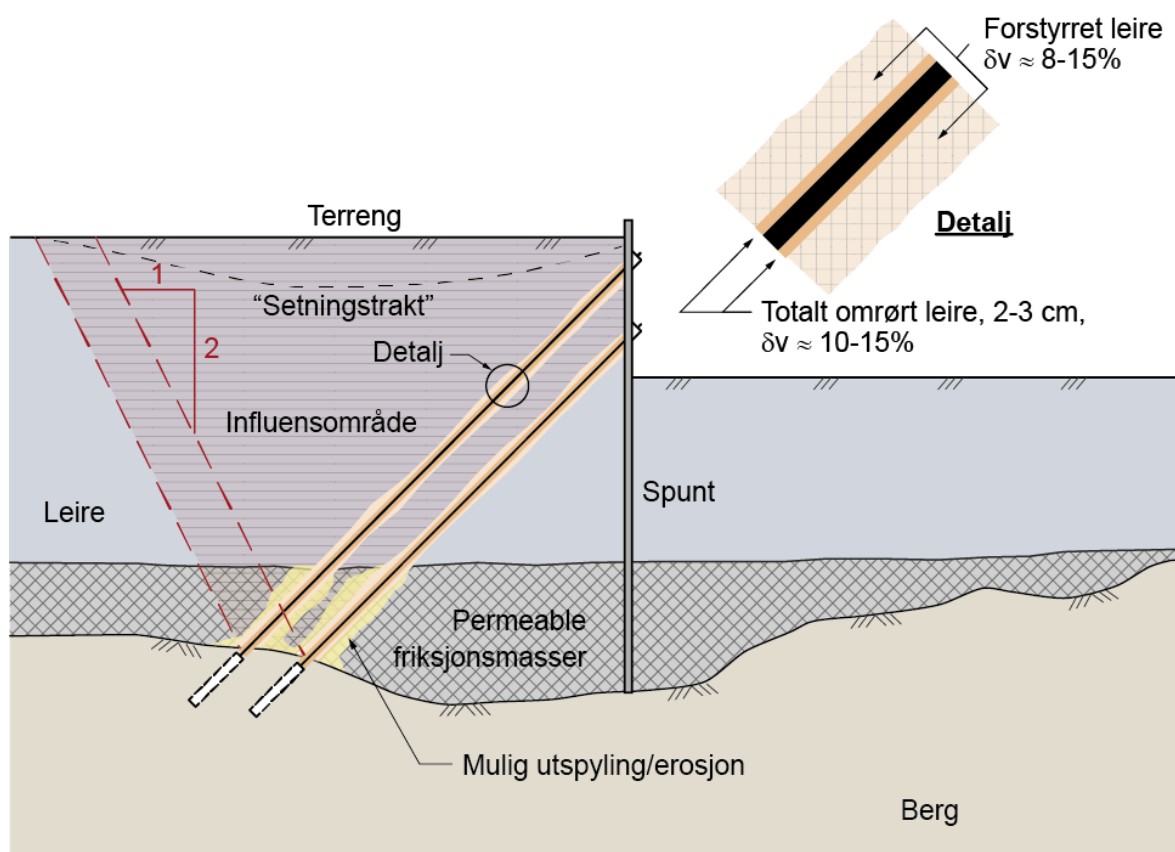
Ved å benytte resultatene fra peleforsøk og laboratorieundersøkelser er det mulig å estimere hvor store setninger som kan oppstå som følge av re-konsolidering av omrørt/forstyrret leire rundt stag og/eller peler. Dette kan illustreres gjennom et eksempel med en spunt avstivet med to rader stag som er boret og forankret i berg, se prinsippskisse i Figur 2-5. Stagenes gjennomsnittlige lengde ned til faste masser er her valgt til 20 m og senteravstand er 2 m (1 stag/m spunt). Diameter på foringsrør er her valgt til  $\varnothing 140$  mm. Det kan videre antas at influensområde i terreng som påvirkes av en eventuell volumreduksjon grunnet re-konsolidering av leire rundt stag og/eller peler er begrenset av en "setningstrakt" med helning 2V:1H som strekker seg ca. 21 m ut fra spuntvegg slik som vist i Figur 2-5.

Basert på dette kan man estimere volumtap for ulike grader av omrørt sone rundt stag og med ulik volumreduksjon, se Tabell 2-1. For en omrørt sone på 10 cm rundt hvert stag og volumreduksjon lik 10 % vil det gi en gjennomsnittlig terrengsetning på ca. 0,3 cm bak spunten.

Tilsvarende estimat av terrengsetninger kan også lages for borede peler.

Tabell 2-1: Estimert volumreduksjon som følge av re-konsolidering av omrørt leire rundt stag.

Staglengde (m)	20			
Diameter foringsrør (cm)	14			
Volumreduksjon, $\delta v$ (%)	7	10	15	
Tykkelse omrørt sone (cm)	Volum omrørt (cm <sup>3</sup> /stag)	Volumtap (cm <sup>3</sup> /stag)	Volumtap (cm <sup>3</sup> /stag)	Volumtap (cm <sup>3</sup> /stag)
2	942,5	66,0	94,2	141,4
5	2591,7	181,4	259,2	388,8
10	5968,9	417,8	<b>596,9</b>	895,3



Figur 2-5: Prinsipp for volumreduksjon av forstyrret leire rundt stag (og peler) og antatt influensområde.

## 2.4 Utspyling/innsuging av masser og volumtap

Boring med senkammer og luftspyling gjennom bløt leire og silt kan føre til betydelig omrøring og ukontrollert utblåsning av trykkluft i grunnen og utspyling av masser. Disse effektene kan forsterkes dersom leira er sensitiv. Spyletrykket vil alltid finne minste motstands vei ut, dette er ikke nødvendigvis opp inne i foringsrøret. Ofte kommer trykkluft og leirslam opp på utside av foringsrør, også fra allerede installerte nabopeler/stag. Hvis det for eksempel bores i skrånende terreng og det finnes permeable lag i grunnen kan trykket gå sideveis ut gjennom slike lag dersom trykkmotstanden der er mindre enn

opp til terrengoverflaten. Er først kanalen åpnet kan det eroderes ut betydelig volum masser uten at noen merker det før det er for sent. Disse forhold kan imidlertid kontrolleres dersom boreoperatør følger med på en kontinuerlig spylereetur.

Det har vært flere prosjekter hvor det er rapportert om skader på grunn av en slik utførelse (ref. Helland bru, Ringnes Park, Götatunnelen). Basert på tidligere hendelser har det i de senere år blitt mer vanlig å bore kun med vannspyling gjennom bløte løsmasser (leire og silt). Luftspyling har da ideelt sett først blitt benyttet ved boring i faste masser og berg.

Problemer med utspyling/innsuging av masser med påfølgende volumtap er i hovedsak knyttet til boring med luftspyling i faste masser. Det skyldes i stor grad "Venturi effekten" som skaper et sug lokalt rundt borkronen som kan suge inn store mengder masse på sin vei nedover i grunnen. Dette er dokumentert i en rekke prosjekter, og problemstillingen ser ut til å ha vært kjent en stund men har trolig vært undervurdert. Det er størst risiko for innsuging av masser og volumtap ved boring i lett eroderbare og vannførende permeable masser (silt/finsand/morene). Ved mektige lag med faste morenemasser over berg vil borsynken være lav, dermed blir den totale tiden som det bores med luft lengre og potensiale for innsuging av masser øker. Problemet blir også større dersom det bores mot et ubalansert vanntrykk (overtrykk), f. eks ved boring fra traubunn under GV-nivå i en byggegrop. Det er også større risiko for ukontrollert volumtap dersom det til tross for krav i Prosesskode 2 og relevante utførelsesstandarder benyttes luftspyling i sensitiv/kvikk leire.

Dersom det er betydelig/stor innsuging av masser bør det være mulig å kunne observere det direkte visuelt. Det er også mulig å kontrollere volum av utspylt løsmasser ved å samle opp alt boreslam og måle totalt volum og vekt som kan sammenlignes mot teoretisk volum av borehullet. Det er imidlertid vanskelig å samle opp alt boreslam og få nøyaktige resultater. Bruk av reversert sirkulasjon (RC-boring) og oppsamling i sedimentasjonsanlegg gir mest nøyaktig resultat.

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 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 peler. Det er 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 stålkernepeler. 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 tradisjonelt eksentrisk boresystem.

## 2.5 Kollaps av borehull (grunnbrudd)

Dersom det benyttes boremetoder der borehull står åpent (uten foringsrør) kun med vann eller støttevæske som stabilisering kan det oppstå kollaps av borehull (grunnbrudd) som videre kan føre til setninger. Problemstillingen er i utgangspunktet mest aktuell i bløt og sensitiv leire ved boring av selvborne stager, trekking av foringsrør eller ved boring av grove pilarer hvor borerør trekkes.

Ved stopp i boreprosessen (f. eks skjøting av rør) med luftdrevet senkehammer kan det også oppstå lokale hydrauliske grunnbrudd ved og rundt borkronen dersom det ikke er balansert mottrykk ved borkronen. Dermed kan masser trenge inn i røret/borestreng. Normalt benyttes imidlertid tilbake-slagsventil på borestreng for å hindre inntrengning av masser inn i borkronen. Problemet er størst ved boring i silt og finsand hvor innstrømning kan tette spylehull i borkronen og også borhammer. Der grunnforhold er kjent bør skjøting i slike lag unngås. Dersom foringsrørene ikke fylles opp med vann

umiddelbart ved skjøting eller stopp vil risiko for inntransport av masse øke betydelig. Dersom borkronen først tettes med finstoff er det også større risiko for ukontrollerte utblåsninger av trykkluft i grunnen.

### 3 Erfaringer fra feltforsøk med stagboring i leire

#### 3.1 Generelt

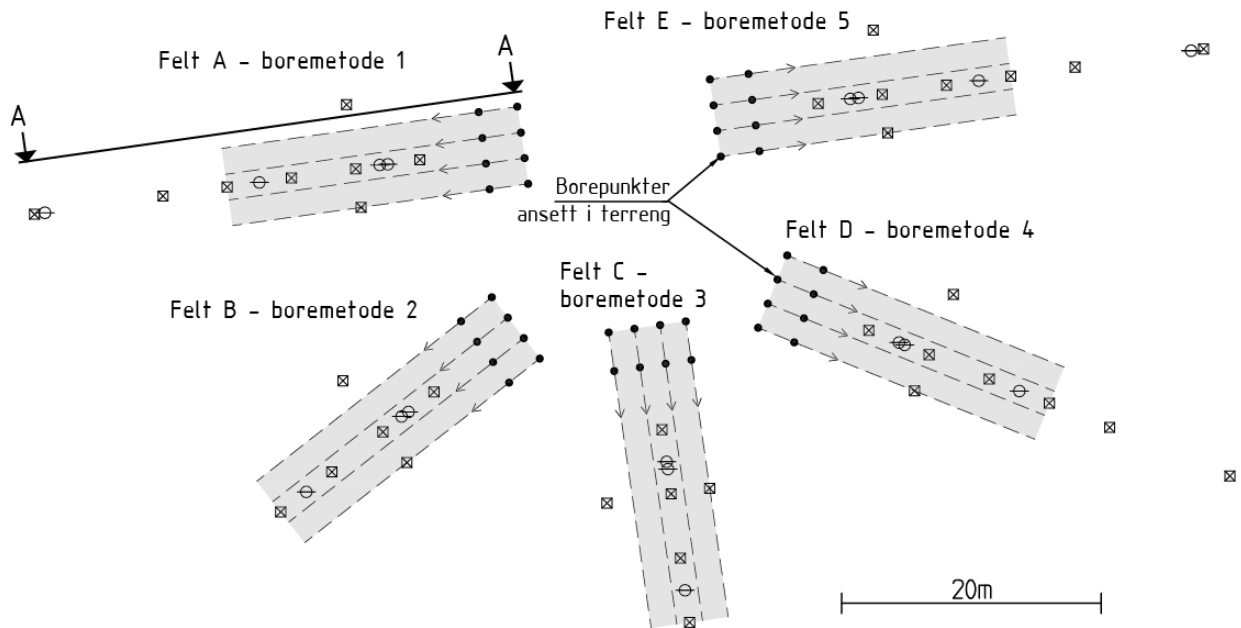
BegrensSkade utførte høsten 2013 et fullskala feltforsøk med boring av stag gjennom leire og inn i berg på et jorde ved Skåra i Onsøy, ca. 5 km nord for Fredrikstad sentrum. Forsøkene omfattet boring med 5 forskjellige boremetoder, se oversikt i Tabell 3-1 og Figur 3-1. Valg av boremetoder og prosedyrer er basert på vurderinger fra delrapport 3.1 (Veslegard og Simonsen, 2013). 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 var for å dokumentere installasjonseffekter og potensiale for å utløse setninger som følge av boringen. For hver boremetode ble det derfor installert 8 stk. setningsankere til 2 m dybde og 3 stk. elektriske poretrykksmålere til henholdsvis 4,5 m, 10 m og 17 m dybde, se snitt i Figur 3-2. I tillegg ble det også satt ned 2 poretrykksmålere på forsøksfeltet som referanse. Poretrykksmålinger og setningsnivellement ble startet i god tid før oppstart av stagboring og målt regelmessig over ca. 1 år.

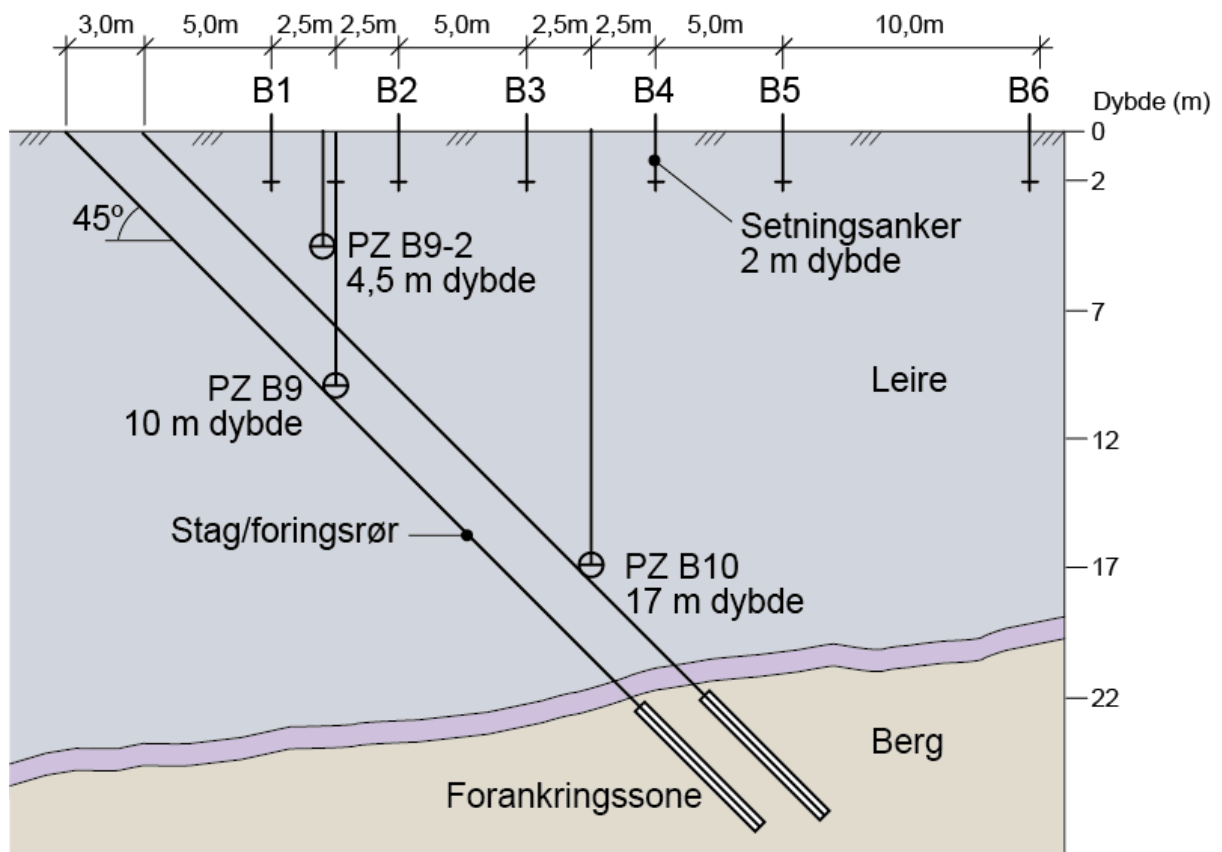
Tabell 3-1: Oversikt boremetoder prøvd ut ved feltforsøk på Skåra i Onsøy.

Felt	Boremetode	Utførende firma
A	1 - Selvborende stag, type Ischebeck 40/16	Fundamentering AS
B	2 - Odex 115 med senkhammer (luft)	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 114,3 sentrisk ringborkrone Ø120 og topphammer, gysing og trekking av foringsrør	Hallingdal Bergboring AS

Boreprosedyrene ble valgt i henhold til det boreentreprenørene på det gjeldende tidspunkt anså som "vanlig utførelse" ved boring gjennom leire og videre ned i berg. Generelt for alle boremetodene var at stagene ble boret fra terreng og ned til berg med en helning lik 45°. Det ble boret totalt 8 stag for hver metode fordelt på 2 "stagrader" med 3 m avstand. Senteravstand mellom hvert stag var 2 m. Alle boremetoder ble utført kun med vannspyling gjennom bløt leire. Det var kun ved boring med luftdrevet odex senkehammer i felt B det ble benyttet luftspyling ved boring gjennom faste masser (tynt lag med sand) og videre inn i berg. En kort oppsummering av de viktigste resultatene og vurderinger fra feltforsøkene er beskrevet i det følgende. For detaljert beskrivelse vises det til delrapport 4.1 (Lande, 2015).



Figur 3-1: Plan over forsøksfelt med instrumentering.



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

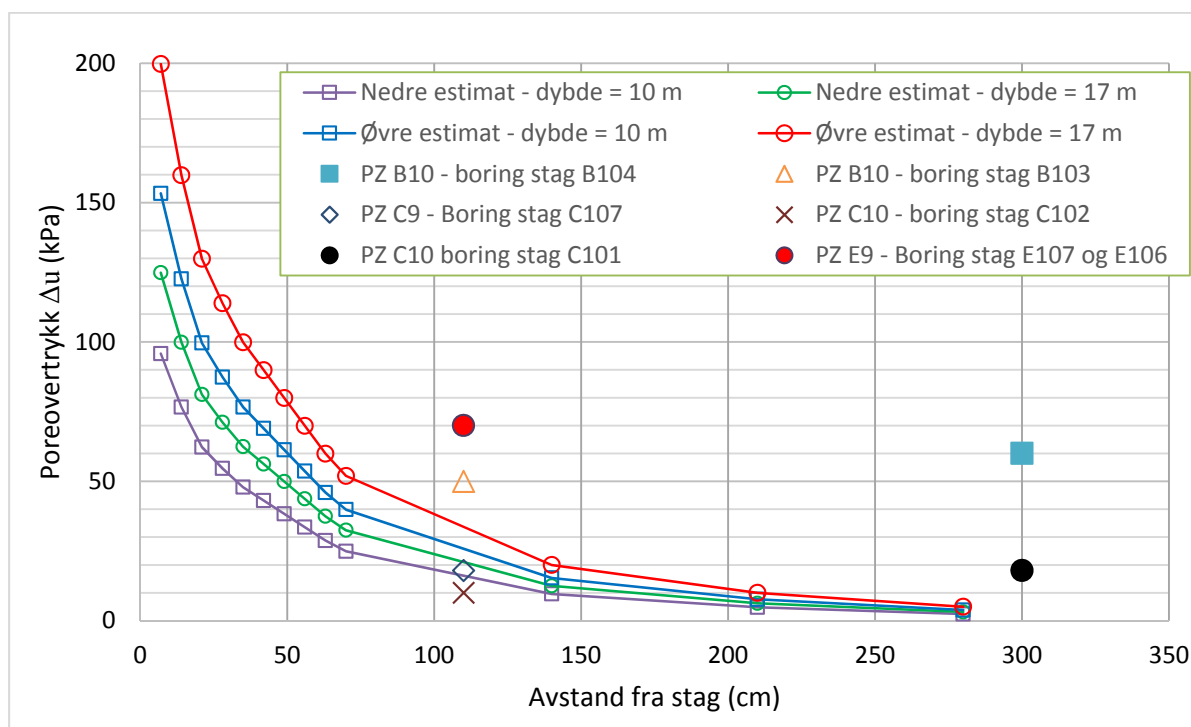


## 3.2 Resultater

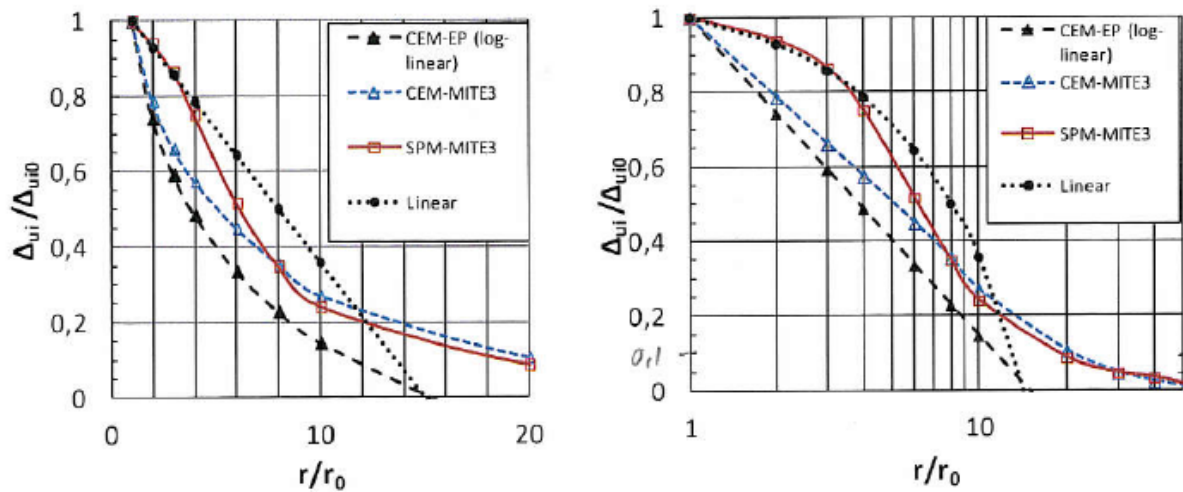
### 3.2.1 Poretrykk

Det ble målt betydelige poretrykksøkninger i leire i forbindelse med boring av stag til berg på forsøksfeltet, spesielt ved boring i felt B med luftdrevet odex senkhammer ( $\Delta U$  lik ca. 60 kPa i PZ B10) og i felt E med OD 114 gjenga rør ( $\Delta U$  lik ca. 70 kPa i PZ E9). Den teoretiske minste avstand mellom poretrykksmålerne og nærmeste stag var i begge felt ca. 1,1 m men grunnet avvik kan denne avstanden ha vært noe mindre eller større.

Figur 3-3 viser resultater av målte poreovertrykk ( $\Delta U$ ) i leire ved boring i felt B, C og E, relatert til teoretisk minste avstand fra stag. I samme figur er også vist estimert poreovertrykksfordeling rundt stag med ytre diameter lik 140 mm på henholdsvis 10 og 17 m dybde basert på erfaringer med rammede lukkede peler i leire og metodikk beskrevet av Karlsrud (2012) ved bruk av "Cavity Expansion Method" (CEM) og "Stress Path Method" (SPM). For Ønsøy leire med OCR lik ca. 1,3 viser måledata at poreovertrykket inntil pelevegg (rammet) typisk ligger mellom 5-8 ganger udrenert skjærfasthet ( $c_u$ ). Estimert poreovertrykk er redusert med økende avstand fra pelevegg iht. Figur 3-4.



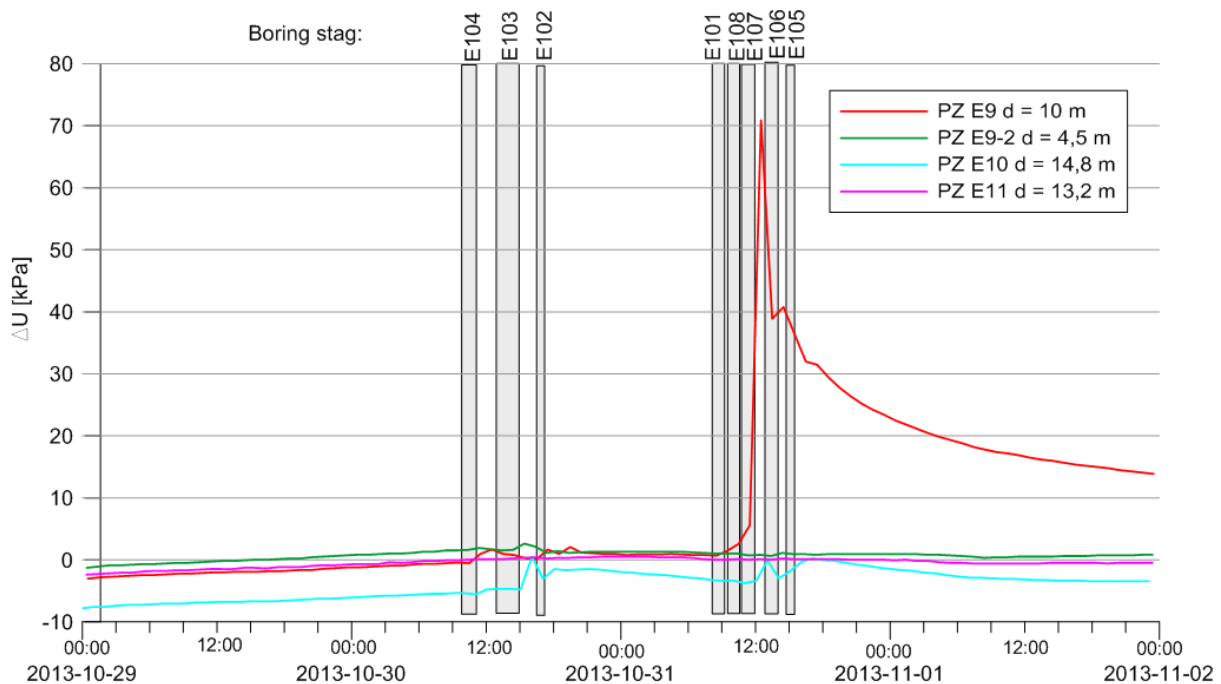
Figur 3-3: Estimert poreovertrykksfordeling rundt stag på forsøksfeltet på 10 og 17 m dybde vs. målt maksimalt poreovertrykk ved boring.



Figur 3-4: 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).

Målt maksimalt poreovertrykk i felt B og E er betydelig høyere, og påvirker et større influensområde enn det som er estimert. Dette skyldes trolig at det i felt B og E ble benyttet en meget høy borsynk ved boring i leire, ca. 15-30 sekund per 3 m lengder (ca. 6-12 m/min) som i realiteten innebar tilnærmet full massefortrengning. I felt C er imidlertid målinger noe lavere enn estimert (med unntak av PZ C10 ved boring av stag C101) som trolig forklares av at borsynk ble redusert til ca. 1 m/min for å begrense massefortrengning.

For øvrig viste målingene generelt at mesteparten av poreovertrykket hadde dissipert i løpet av noen dager og uker, se Figur 3-5 med resultat av poretrykksmålinger ved boring i felt E. I felt B var imidlertid ikke poreovertrykket i PZ B10 fullstendig dissipert selv 5 måneder etter endt boring.

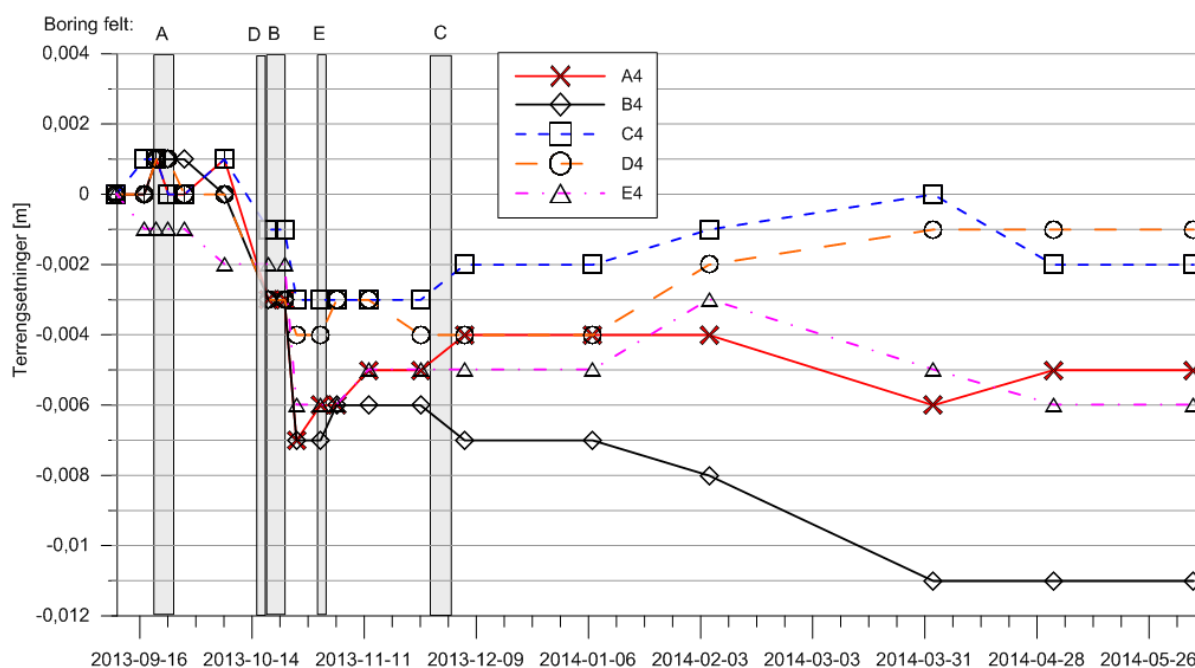


Figur 3-5: Målt poretrykksendring ( $\Delta u$ ) ved boring i felt E med OD 114,3 og topphammer, samt gysing og trekking av rør.

Resultatene fra forsøksfeltet indikerer at selve boreprosessen med kontinuerlig vannspyling gjennom borkronen kombinert med høy borsynk kan føre til større poretrykksoppbygging i leire enn ved ramming av lukkede peler og massefortrengning. Dette er noe overraskende siden boring av stag/peler generelt er ansett som mer skånsomt enn ramming av peler.

### 3.2.2 Terrengsetninger

Resultater fra setningsnivellement på forsøksfeltet har generelt vist beskjedne terrengsetninger for alle boremetoder som følge av stagboring (maksimalt 12 mm i felt B). 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. Resultat av setningsnivellement for anker nr. 4 i felt A-E er presentert i Figur 3-6. Plassering av anker nr. 4 er vist i Figur 3-1 og Figur 3-2.



Figur 3-6: Resultat av setningsnivellement anker nr. 4 i felt A-E med angivelse av boring med de ulike metodene.

Nivellement indikerer at boring i felt B (17-22.10.2013) har ført til tilnærmet umiddelbare terrengsetninger på ca. 2-5 mm over hele forsøksfeltet. Det er mulig at boring i felt D (16-17.10.2013) også har bidratt noe til setningene, men trolig kun i felt C, D og E. Avstand fra felt B til setningsanker lengst unna i felt E var opptil 50-60 m. Visuelle observasjoner og måling av utspylt leire/masse under boring indikerer at de umiddelbare setningene ikke 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 muligens forklares ved at det har oppstått relativt kortvarige poretrykkreduksjoner ved berg over et større område, som følge av boring med luftspyling i faste masser/berg i felt D og B.

Terrengsetningene i felt B økte med ca. 2-6 mm over en periode på ca. 6 måneder etter endt boring noe som indikerer at det i hovedsak var relatert til dissipasjon av poreovertrykk og re-konsolidering av delvis omrørt leire rundt foringsrør. Det er antatt at boringen i felt B har ført til terrengsetninger på et område med totalt areal lik ca. 400 m<sup>2</sup>. Med en gjennomsnittlig setning lik 3 mm over dette området tilsvarer det et totalt volum lik 1,2 m<sup>3</sup> (1200 dm<sup>3</sup>). Beregninger viser at det i gjennomsnitt må ha vært

en sone på ca. 5-10 cm rundt hvert foringsrør som har fått en volumreduksjon ( $\delta V$ ) lik 10 % som følge av omrøring i leira. De resterende boremetodene hadde mindre og nokså lik påvirkning på poretrykk og terrengetninger som i felt B, men terrengetningene har stoppet opp etter endt boring.

### 3.3 Konklusjon

Det ble ikke målt så store terrengetninger på forsøksfeltet som forventet under planleggingsfasen. Dette skyldes trolig i hovedsak følgende forhold:

- 1) Boret få stag med liten dimensjon for hver boremetode, dvs lite påvirket volum.
- 2) Boring 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 (ca. 50-70 %), og er trolig mindre utsatt for erosjon/utspyling enn mer siltige leirer.
- 4) Ubelastet terreng.

Effektene ved boring i faste masser og/eller berg med luftspyling er trolig mer avgjørende for setningsutvikling enn tidligere antatt. Basert på resultat fra forsøksfeltet anbefales det, hvis mulig, å unngå boring med luftspyling for å redusere ukontrollert omrøring og utblåsning i leire som kan skape setninger. For å begrense uønsket massefortrengning (poreovertrykk) og omrøring av omkringliggende leire rundt stag/peler viser resultat fra feltforsøk at borsynk ikke bør være høyere enn ca. 1 m/min.

## 4 Erfaringer fra nye byggeprosjekter

BegrensSkade har i delprosjekt 4, "Dokumentasjon av metoder og tiltak", fått tilgang på erfaringsrapporter fra flere nye byggeprosjekter hvor det er utført boring av stag og/eller peler. En kort oppsummering av de viktigste resultatene knyttet til boring er presentert i det følgende.

### 4.1 Gladengen park - Oslo

OBOS bygger gjennom Gladengveien DA et nytt bygg på 7 etasjer og totalt 56 leiligheter og parkeringskjeller på en tomt ved hjørnet av Bertrand Narvesens vei og Gladengveien på Ensjø i Oslo. Tomten har et areal på ca. 1500 m<sup>2</sup>. BegrensSkade har mottatt erfaringsrapport fra byggegrop med spesielt fokus på grunnarbeider og resultater fra målinger og observasjoner, (Helgason, 2015).

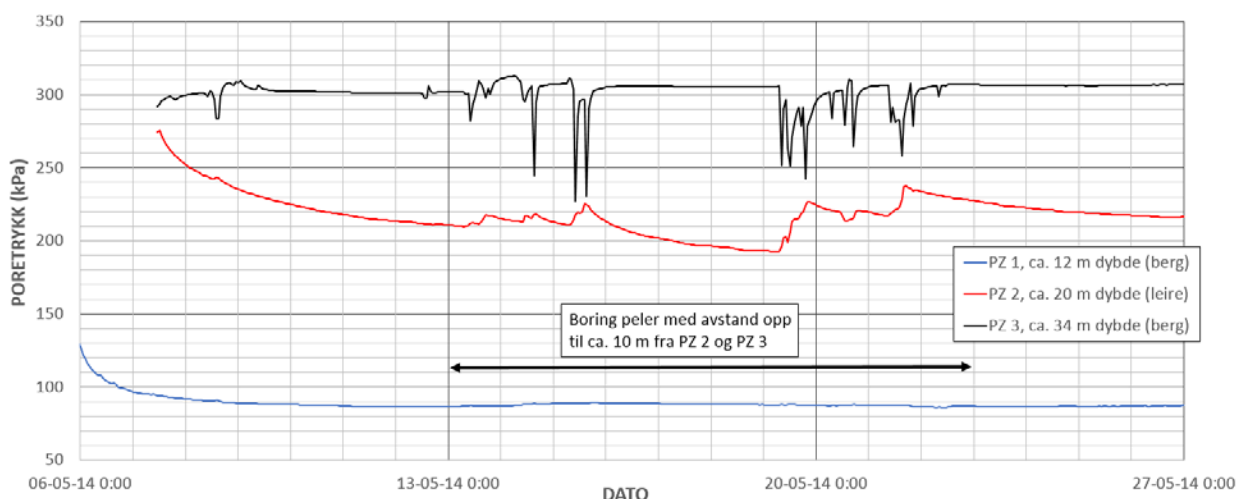
Prosjektet omfatter åpen utgraving mellom ca. 1-4,2 m mot Gladengveien i øst, samt mot vest og sør. Mot Bertrand Narvesens vei i nord ble det rammet kombinert svevespunt med stylder til berg forankret med lissestag til berg i ett nivå. Gravedybde var ca. 4,6 m langs spunten. Bygget ble fundamentert på til sammen 68 stålkjernepeler (dimensjon Ø90-180 mm) boret inn i berg. All boring ble utført med senkhammer og eksentrisk boresystem. Det ble i hovedsak benyttet luftspyling i hele dybden.

Dybde til berg varierer mellom ca. 8 til 40 m, med kraftig fall mot vest. Løsmassene på tomten består generelt av et topplag med grus, stein og tørrskorpeleire til ca. 3-3,5 m dybde. Videre i dybden er det påvist siltig leire til ca. 9 m dybde og deretter kvikkleire til fast morene. Leira er bløt til middels fast. Fast morene/sand er påtruffet mellom ca. 18-23 m dybde i den søndre og vestre del av tomten, med tykkelse mellom ca. 1-8 m, økende vestover på tomten.

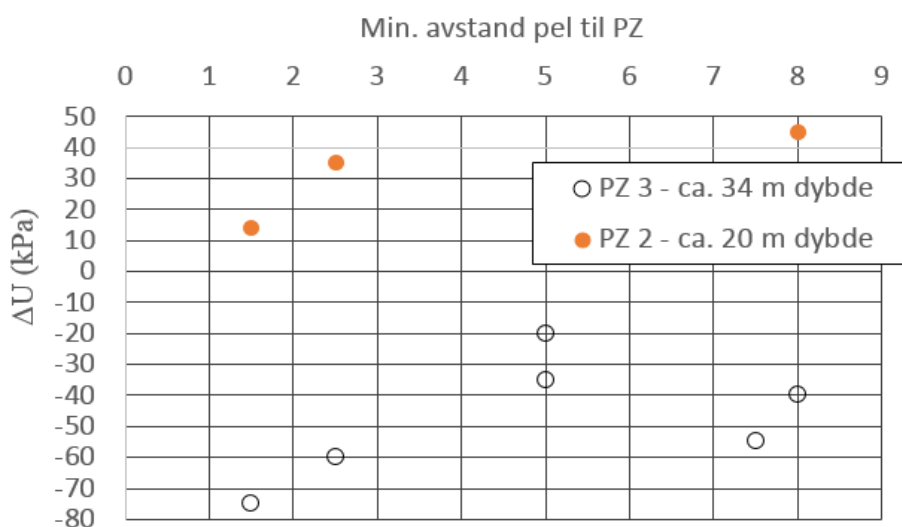
I forbindelse med oppfølging av peleboring ble det installert 3 stk. elektriske poretrykksmålere med automatisk logging (1 t loggeintervall), samt én helningskanal inntil spuntveggen. PZ 1 ble installert sørvest for byggegrop på ca. 12 m dybde under terreng. PZ 2 ble installert i leire på ca. 20 m dybde og PZ 3 ned til faste masser (morene/sand) på ca. 34 m dybde, begge like inntil utsiden av spuntvegg.

I forbindelse med boring av foringsrør til stålkernepeler ble det målt betydelige reduksjoner (maks ca. -75 kPa), samt noe mindre økninger (maks ca. +10 kPa) av poretrykk i PZ 3. De registrerte endringene var generelt kortvarige (ca. 1 t) og skyldes med stor sannsynlighet boring med luftspyling gjennom fast morene/sand og videre inn i berg, ref. effekter beskrevet i kapittel 2.2.2. Alle registrerte poretrykksendringer var relatert til boring av peler i en avstand på opptil ca. 10 m fra poretrykksmålerne, se Figur 4-1.

Det ble for øvrig også målt poretrykksøkninger på ca. 30-45 kPa i PZ 2 (19-21. mai). Målingene viser at poreovertrykket i PZ 2 ikke dissiperte fullstendig før ca. 4-5 uker etter endt boring. Figur 4-2 viser en sammenstilling av målte poretrykksendringer relatert til avstand mellom pel og PZ. Det er tydelig at boringen påvirker et relativt stort område rundt hver pel.



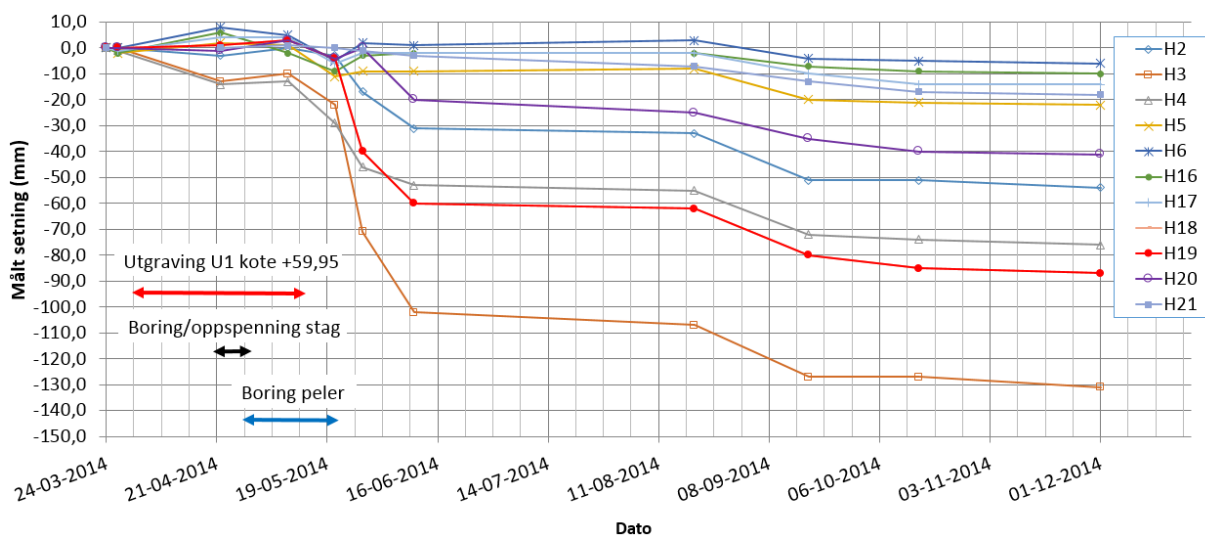
Figur 4-1: Poretrykksmålinger i perioden med boring for stålkernepeler.



Figur 4-2: Målte poretrykksendringer i PZ 2 og PZ 3 relatert til min. avstand mellom pel og poretrykksmålere.

Det ble også utført setningsnivellement på veiene rundt byggegropen, samt på nabobygg. Referansemåling ble utført før oppstart av grunnarbeider og deretter regelmessige målinger i ca. 8,5 måneder. Resultat av setningsnivellement på utside av spunt langs begge sider av Bertrand Narvesens vei er presentert i Figur 4-3. Målepunktene i den vestre delen av byggegropen (pkt. H2, H3, H4, H19 og H20) viser en markant setningsutvikling i samme periode som det ble boret peler i det aktuelle området, samt registrert poretrykksendringer (Figur 4-1). Etter endt boring av peler er det målt setninger mellom ca. 20-100 mm. Det ble også målt opptil ca. 100 mm setning på styltespunt som tilsier at den ikke var rammet til berg som antatt. I en periode på ca. 4 måneder etter endt boring og støping av dekke for bygg viser nivellementene påløpende setninger i størrelsesorden 3-5 mm/måned før de ser ut til å flate ut.

Resultatene fra poretrykkmålinger og setningsnivellement indikerer at boring av foringsrør har ført til utspyling/innsuging av løsmasser (volumreduksjon) og tilnærmet umiddelbare setninger i nærheten. En av borelederne har forklart at det for enkelte peler i nærhet av spuntveggen oppstod problemer med tetting av borkrone (innstrømning av silt) i forbindelse med skjøting av foringsrør. Dermed ble det brukt høyt lufttrykk for å blåse ren spylekanalene, noe som trolig har ført til ukontrollert utblåsning av masser. De påløpende setningene flere måneder etter endt boring og støping av dekke i byggegropen skyldes trolig re-konsolidering av omrørt leire. Lekkasje opp langs stag og peler er ikke en aktuell problemstilling siden traubunn ligger omtrent i samme nivå som grunnvann.



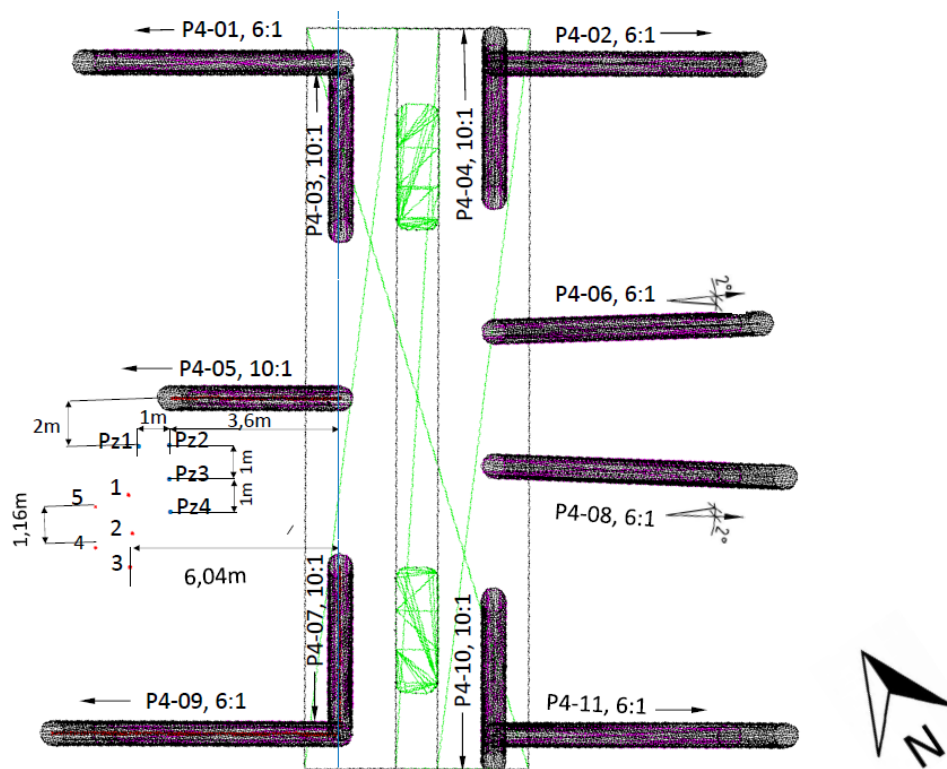
Figur 4-3: Setningsnivellement Bertrand Narvesens vei.

## 4.2 E18 Knapstad – Retvet, Hobølve bru

Staten vegvesen Region øst bygger ny fire-felts motorveg E18 Ørje-Vinterbro, hvorav den ene parsellen er mellom Knapstad og Retvet i Ski og Hobøl kommuner. Ved Elvestad skal ny E18 krysse over Hobølve i en 290 m lang betongbru bestående av 9 akser og 8 bruspenner. Alle akser fundamenteres på spissbærende utstøpte stålrørspeler (dimensjon  $\varnothing 711 \times 12,5$  mm) som er boret ned til berg. BegrensSkade har fått utarbeidet erfaringsrapport fra boring av stålrørspeler, (Haugen m. flere, 2015) og en kort oppsummering er gitt i det følgende.

BegrensSkade og SVV installerte 4 stk. elektriske poretrykksmålere med automatisk logging og 5 stk. setningsankere inntil pelefundament i akse 4 spesifikt for å dokumentere installasjonseffekter knyttet til boring av stålrørspeler, se Figur 4-4 for beliggenhet. Det var i tillegg til en rekke poretrykksmålere som var installert på området. To av poretrykksmålerne ble installert til ca. 36 m dybde i leire (PZ 2 og

PZ 3) og to ned til faste masser (morene) på ca. 42/43 m (PZ 1 og PZ 4), alle med ulik avstand fra den nærmeste pel nr. 4-05. Setningsankerene ble installert til henholdsvis 16, 26, 31, 36 og 41 m dybde.



Figur 4-4: Plan instrumentering akse 4 Hobøelva bru.

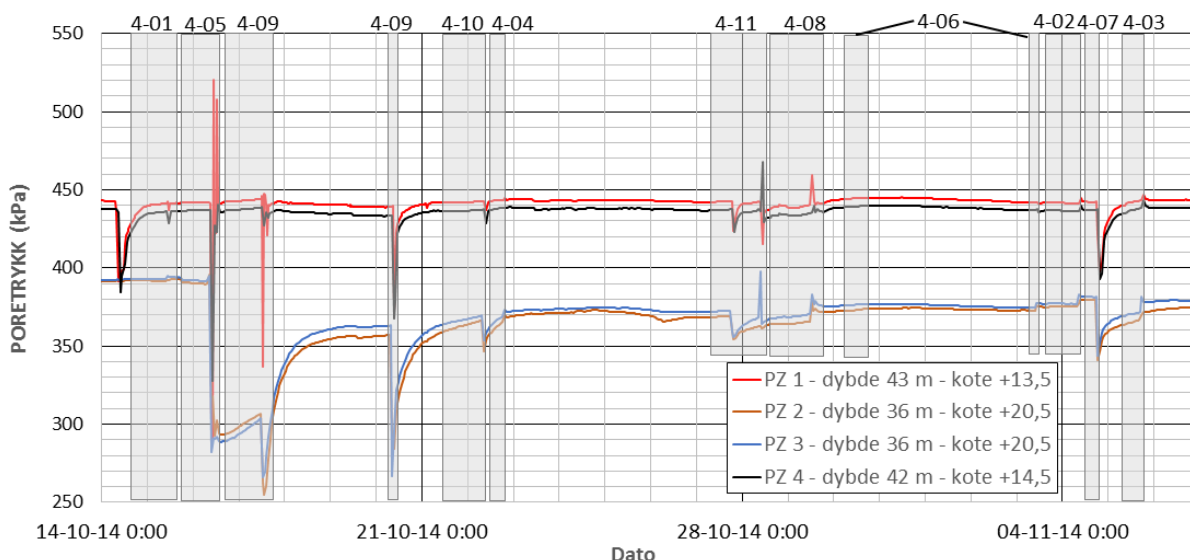
Ved Hobøelva og over elveslettene består løsmassene generelt av tørrskorpeleire (typisk 2-4 m) over middels fast leire over bløt og sensitiv/kvikk leire. Ned mot berg er det påtruffet fast morene med tykkelse på ca. 5-6 m på det meste. Dybden til berg er 5-15 m ved akse 1 i vest, økende til ca. 55 m ved akse 5 like vest for elva. Ved landkar i øst er det registrert dybder til berg på 20-30 m. Grunnvannstanden i området varierer fra 1 m til 4 m under dagens terreng, grunnest nærmest Hobøelva. Poretrykksmålinger viser noe poreovertrykk i forhold til hydrostatisk trykk, ca. 15 % overtrykk ned mot Hobøelva.

Boring av stålrørspeler ble utført med bruk av ringkrone og pilotkrone av typen Robit DTH-ROX+711/16, se Figur 4-5. Det er videre benyttet en kombinasjon av vann- og luftspyling gjennom hele pelenes lengde, med typisk spyletrykk ca. 5-10 bar i leire og 10-20 bar i morene (anvendt høyere trykk enn anbefalt i løsmasser) og berg. Boresynk ved boring i leire var ca. 70-100 cm/minutt. Av hensyn til stabilitet i kvikkeiresonen ble det spesifisert bruk av RC-boresystem og utførelse som ikke skulle føre til ukontrollert massefortrengning og poretrykksoppbygging. For øvrig var det ikke spesielle hensyn å ta i forhold til setninger på området.



Figur 4-5: Bilde av pilotkrone type Robit DTH ROX+711/16 benyttet til boring av peler for Hobølelva bru med angivelse av spyleretning.

I forbindelse med boring av peler i akse 4 ble det målt betydelige reduksjoner og økninger i poretrykk. Ved boring av pel 4-05 ble det målt maksimal poretrykksreduksjon på opptil 100-120 kPa i PZ 2 og PZ 3 på 36 m dybde i leire, samt ca. 150 kPa i PZ 1 og PZ 4, på henholdsvis 42 og 43 m dybde i morene. Det ble også målt trykkøkning på opptil 80 kPa i morene. Teoretisk minste avstand mellom pel 4-05 og nærmeste poretrykksmålere, PZ 1 og PZ 2, var ca. 1,7 m. Generelt har poretrykksresponsen vært rask og kortvarig i morene (1-2 timer), mens målere i leire har vist en mer langvarig poretrykksreduksjon gjennom hele perioden med boring i akse 4, se Figur 4-6.



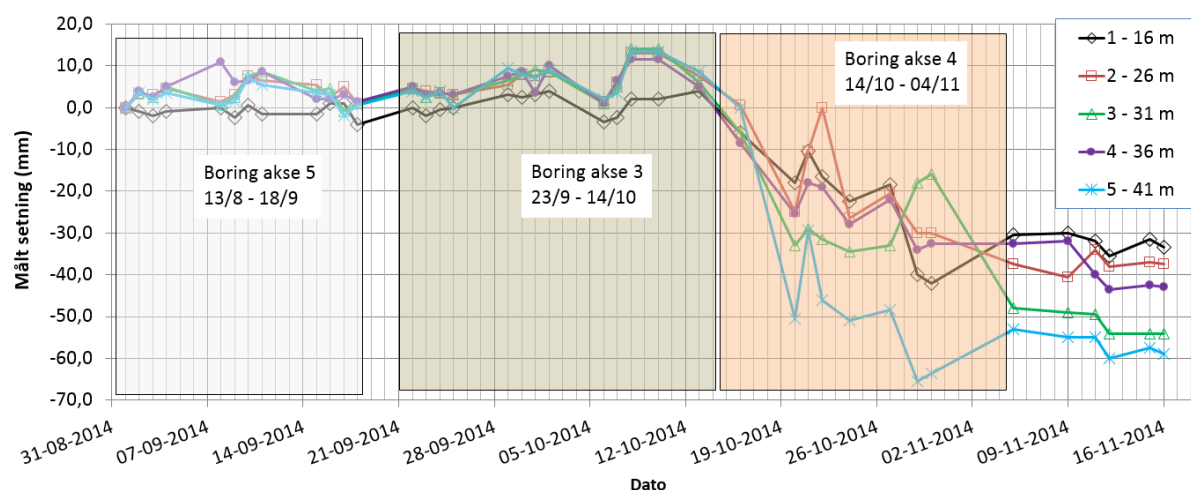
Figur 4-6: Resultat poretrykksmålinger ved boring av stålrørspeler i akse 4 Hobølelva bru.

Resultat fra setningsnivellement viser en tilnærmet umiddelbar setningsutvikling i alle anker i forbindelse med boring i akse 4. Etter boring av de tre første pelene (4-01, 4-05 og 4-09) som er nærmest ankerene (avstand ca. 3-13 m) ble det målt en maksimal setning på ca. 45-50 mm i anker S5 som ble installert ned til faste masser på 41 m dybde. Samtidig har de øvrige ankerene satt seg mellom ca. 15-30 mm. Setningene fortsetter for øvrig å øke i alle anker frem til boringen er avsluttet i akse 4,



og da er setningene i størrelsesorden 30-55 mm, se Figur 4-7. Målinger etter endt boring i akse 4 indikerer at setningene fortsetter å utvikle seg, ca. 20 mm i anker S4 og ca. 10 mm i anker S5 over en periode på ca. 3,5 måneder.

Setningene som er målt inntil akse 4 skyldes trolig i hovedsak lokal erosjon og innsuging av finstoff rundt borkrone (volumtap) som følge av spyling med trykkluft ved boring i morenemasser. Den overliggende leira har satt seg gradvis over lengre tid noe som trolig kan forklares av spennings-spredning og at det oppstår sug i leira. Dette underbygges av poretrykksreduksjonene som er målt både i morene og leire.



Figur 4-7: Resultat nivellement setningsanker S1-S5 i periode med peleboring i akse 5, 3 og 4. Målenøyaktighet ca.  $\pm 5$  mm.

### 4.3 BAMA – Nyland syd

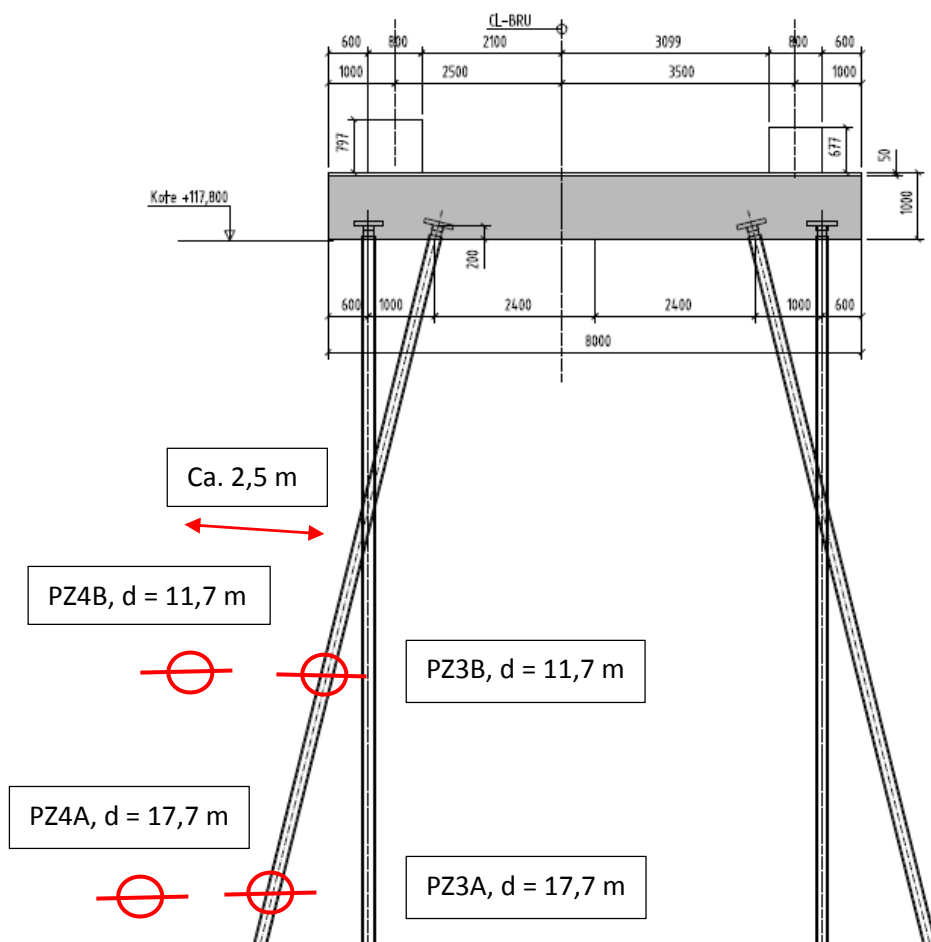
BAMA bygde sommeren 2013 adkomstbru til nytt hovedlager på Nyland syd over eksisterende godstogspor. I forbindelse med oppfølging av boring av stålkernepeler ble det installert 4 stk. elektriske poretrykksmålere med automatisk logging inntil brufundament i akse 1. Poretrykksmålerne ble installert slik at de havnet tilnærmet midt mellom to parallelle peler med 2 m avstand, dvs. ca. 1 m teoretisk avstand mellom måler til hver pel. Alle målerne ble installert i leire, to på 11,7 m dybde (kote +108) og to på 17,7 m dybde (kote +102), hvorav en av målerne i hver dybde ble installert med ca. 2,5 m teoretisk avstand fra pelene, se prinsippskisse i Figur 4-8.

Boring av foringsrør ble utført med tradisjonelt eksentrisk boresystem der rømmer ble trukket inn i foringsrøret og "låst" ved boring i leire, se Figur 4-9. Ved boring i faste morenemasser og inn i berg ble rømmer kjørt ut igjen. Under oppfølging ble det registrert at selve boringen av hvert foringsrør gikk veldig raskt, spesielt gjennom leira. Borsynk var typisk i størrelsesorden 3-6 m/min (10-20 sek/m).

Ved boring av de to pelene som lå nærmest poretrykksmålerne (9. juli 2013) ble det registrert en betydelig poretrykksøkning i alle målerne, se Figur 4-10. Den maksimale trykkøkningen var ca. 120 kPa i PZ3A på 17,7 m dybde og ca. 70 kPa i PZ4B på 11,7 m dybde. Poretrykket gikk imidlertid raskt ned igjen i løpet av noen dager, men omtrent halvparten av den maksimale trykkøkningen dissiperte til dels meget sakte i den tette leiren. Resultatene indikerer for øvrig at poretrykket ikke var fullstendig utjevnet etter installasjon før boring ble påbegynt.

Ved boring av peler i akse 3 registrerte boreentreprenør at det kom opp luft og leire på utsiden av pelene i akse 2 på andre siden av jernbanen. Dette skjedde når det ble benyttet trykkluft gjennom faste morenemasser og luften fant veien opp langs installerte peler.

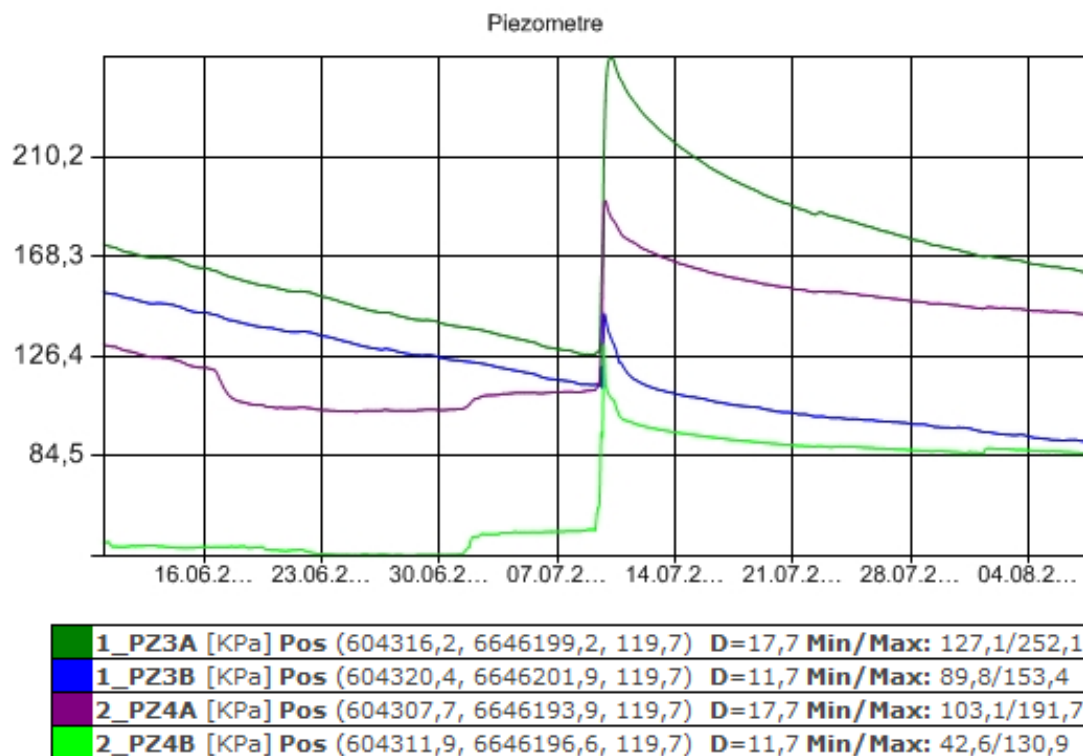
Poretrykksmålingene viste en relativt stor trykkøkning i en sone på ca. 1-3 m rundt de nærmeste pelene. Dette indikerer at boring med rømmer låst inne i foringsrør kombinert med høy borsynk har ført til massefortrengning. At det har vært mer fortrengning enn utboring av masser er muligens en årsak til at det ikke ble målt setninger på jernbanen (på kort sikt) men i stedet indikasjon på 2-3 mm heving.



Figur 4-8: Snitt som viser prinsipp for installerte poretrykksmålere inntil pel fundament BAMA.



Figur 4-9: Venstre: Odex borkrone med eksentrisk rømmer og pilot. Høyre: Rømmer "låst" fast inne i foringsrør.



Figur 4-10: Resultat av poretrykksmålinger ved boring av foringsrør for stålkjernepeler for ny adkomstbru til BAMAs hovedlager. PZ3A og PZ3B var installert ca. 1 m unna pelene, PZ4A og PZ4B var installert ca. 2,5 m unna pelene.

## 5 Anbefalinger vedrørende boring

### 5.1 Boremetoder og prosedyrer

BegrensSkade har samlet inn store mengder med resultater og erfaringer knyttet til boring av stag og/eller peler fra en rekke byggeprosjekter. Basert på nærmere analyser av disse prosjektene er det utarbeidet anbefalinger for hvordan boring av peler og/eller stag beskrives, utføres og dokumenteres for å minske risikoen for at boringen skal gi skader. Det er imidlertid viktig å presisere at det er generelle anbefalinger som gis i denne rapport, og det vil alltid være behov for egne vurderinger i hvert enkelt prosjekt. Det finske Vegdirektoratet (Finnish Road Administration, 2003) har for øvrig utarbeidet en veiledning for design og utførelse av borede peler, som også kan gi nyttig informasjon vedrørende utførelse og beskrivelse av boring. I tillegg er det viktig å være klar over at boring er et håndverk som krever høy kompetanse og erfaring for å redusere negative effekter og skader.

#### 5.1.1 Massefortrengning og poretrykksøkning

For å redusere risiko for massefortrengning og poretrykksøkninger ved boring i leire anbefales følgende:

##### Boremetode:

Det bør fortrinnsvis benyttes boremetode som muliggjør boring kun med vannspyling både i løsmasser og berg, eksempelvis vannhammer eller topphammer. Det er imidlertid begrensninger i dimensjon opptil  $\varnothing 323$  mm foringsrør (10" hammer) for vannhammer, og  $\varnothing 140$  mm foringsrør for topphammer.

### **Borsynk:**

Borsynk må tilpasses dimensjon på boreutstyr og grunnforhold slik at volum av masser som bores ut er tilnærmet likt volumet av foringsrør. For stag og mikropeler ( $\varnothing < 300$  mm) bør borsynk ikke være høyere enn eksempelvis 1 m/min ved boring i leire. For grove peler kan det være nødvendig med enda lavere borsynk. For lav borsynk ( $< 0,5$  m/min) i sensitiv og kvikk leire kan imidlertid føre til økt "overboring" og volumtap dersom det ikke er tilstrekkelig stabiliserende mottrykk fra vannsøyle i foringsrør, eller det benyttes luftspyling.

Borsynk i friksjonsmasser er i stor grad avhengig av fasthet, dimensjon og type boresystem, samt hvilke spyletrykk som benyttes. Normalt velger entreprenør utførelse som øker fremdriften.

### **Spylemedium og trykk:**

Det skal kun benyttes vannspyling for å løfte ut borkaks av foringsrør ved boring i leire, silt og sand (løs). Spyletrykk og volum vann tilpasses dimensjon på boreutstyr og stedlige grunnforhold.

Det er hovedsakelig vannmengden (l/min) som er avgjørende for å sikre tilfredsstillende hastighet på spylevannet og transport av boreslam opp gjennom rør. Vanntrykk bør ligge mellom ca. 3-15 bar og vanntilførsel på ca. 60-350 l/min avhengig av boredimensjon og dybder. Bruk av tilsetningsstoff (skum) kan forbedre transport av masse opp av borehullet.

### **Borkaks og borslam:**

Kontinuerlig oppfølging av spylemasser (borslam) som kommer i retur opp i foringsrør. Kommer det ikke masse opp gjennom foringsrøret så er det noe galt. Da må boringen umiddelbart stoppes og tiltak iverksettes. Som for eksempel å stoppe og få i gang uttak av masse i rør i stedet for ut i grunnen. Om dette ikke oppnås bør boringen avbrytes, røret trekkes opp og masser fylles tilbake.

### **Alternative tiltak:**

Boring av første rør med redusert lengde, f. eks. maksimalt 5-6 m eller ved hulltaking i 1-2 ulike nivå av pelerør for å unngå høy vannsøyle. Hull sveises igjen når de er ca. 1 m over terrengnivå.

#### *5.1.2 Utspyling/innsuging av løsmasser og temporær poretrykksreduksjon*

For å redusere risiko for utspyling/innsuging av masser og volumtap rundt borkrone, samt temporær poretrykksreduksjon i friksjonsmasser over berg anbefales følgende:

### **Boremetode:**

Det bør fortrinnsvis benyttes boremetode som muliggjør boring kun med vannspyling både i løsmasser og berg for å opprettholde et kontinuerlig vanntrykk i foringsrør (vannhammer eller topphammer kun med vannspyling). Eventuelt kan det benyttes reversert sirkulasjon (RC-boring).

Dersom det velges luftdrevet senkhammer bør det benyttes ringborkroner spesielt utformet for å redusere negative effekter fra luftspyling, eksempelvis type Atlas Copco Elemex, Mitsubishi Venture Flow Control, Robit Flow Control, PPV Finlands "spiral flush" eller tilsvarende.

### **Spylemedium og trykk:**

Ved bruk av luftdrevet senkhammer for boring i faste løsmasser (morene/sand) bør spyletrykk reduseres til et minimum som er tilstrekkelig for å kunne drive hammeren og sikre penetrasjon. Det bør ikke benyttes høyere spyletrykk enn ca. 8-10 bar, og maksimalt 15 bar ved boring i løsmasser.

Spyletrykk må tilpasses dimensjoner, dybder og grunnforhold. Det bør generelt alltid startes med lavt trykk og gradvis øke dersom det er behov for høyere slageffekt. Fortrinnsvis bør spyletrykk vurderes ved oppstart og i tilknytning til instrumentering.

#### **Alternative tiltak:**

For å redusere risiko for ukontrollert innstrømming av masser (grunnbrudd) ved stopp i boreprosessen kan det benyttes støttevæske med høyere egenvekt og som danner en filterkake i forkant av borkronen. Som et minimum skal imidlertid borerigger ha vannpumpe og tilstrekkelig vanntilførsel som muliggjør hurtig oppfylling av foringsrøret før stopp, samt tilbakeslagsventil i borhammeren.

## 5.2 Tiltak for å redusere lekkasje og grunnvannssenking

For å kunne vurdere potensiale for grunnvannssenking bør borprotokoll/installasjonsprotokoll inneholde registreringer om lagdelinger og forekomst av morenelag og vannførende lag over berg, samt kvalitet av berg. I prosjekter hvor det er vurdert å være (høy) risiko for at foringsrør til stag og/eller peler kan føre til lekkasjer og grunnvannssenking kan det iverksettes ulike tiltak for å unngå eller redusere disse negative effektene:

- a) Dersom det er teknisk og økonomisk mulig bør det ved prosjektering vurderes å velge løsninger som reduserer eller utelukker bruk av stag og/eller peler. (Eksempelvis innvendig avstivning for å unngå stag som bores under GV-nivå, rammede peler)
- b) Bore foringsrør til peler fra terrengnivå. NB! Nødvendig med tetting av glippe utside foringsrør.
- c) Utføre tetting av glippe på utside av foringsrør.
- d) Installere lissar og/eller stålkjernepeler fortløpende for å redusere tid som rør står og lekker.
- e) Etablere infiltrasjonsbrønner i berg for å opprettholde nødvendig poretrykk (kombinert med måleprogram for poretrykksmåling).

De metodene som er mest aktuelle og prøvd ut per i dag er hovedsakelig for å tette glippe på utside av foringsrør ved overgang mellom løsmasser og berg. Dersom det benyttes boresystem der foringsrør trekkes etter boring til planlagt dybde (gjenga rør), gyses/injiseres borehullet og overgangen løsmasser/berg fortløpende ved montering av materiell. Dermed elimineres problemet med lekkasjer opp langs borehullet. For selvboende stag er det også injeksjon med sementmørtel ved boring og dermed er injeksjon inkludert i arbeidsoperasjonen. Tetting av overgang mellom løsmasser og berg kan bidra til bedre sikring av bergfot, redusere uønsket lekkasje og eventuell innstrømning av løsmasser ved videre boring i berg.

I det følgende er det gitt eksempel på spesielle beskrivelser av mulige tiltak for å redusere lekkasje og grunnvannssenking opp langs stag og/eller peler.

### *5.2.1 Tetting overgang løsmasser og berg*

#### **Alternativ 1: Sementmørtel fylt i bunn av foringsrør**

1. Foringsrør bores gjennom løsmasser og størrelsesorden 1 m ned i "godt" berg. Boring utføres fortrinnsvis fra terrengnivå og med sentrisk boresystem som kun benytter vannspyling for å redusere potensiell glippe på utside av foringsrør.
2. Foringsrør trekkes deretter opp ca. 0,5-1 m og borestreng trekkes ut av rør, hele tiden med vannfylt rør.

3. Pumpeslange føres til bunnen av hullet og det pumpes inn sementmørtel med V/C forhold lik ca. 0,4 (AUV og eventuelt sulfatresistent mørtel) til hullet fylles minimum 3 m over bunnen av hullet.
4. Foringsrøret bankes/presses ned til bunn av hull f. eks ved hjelp av borhammer.
5. Etter herding (avhengig av sementtype, men minimum 3 døgn) bores hullet opp igjen og tettingen testes med vanntapsmåling ved at foringsrøret fylles med vann og det settes på 5 m overtrykk i forhold til terrengnivå i 5 minutter. Mengde vann registreres i boreprotokoll, og vurderes om det er over grenseverdi.
6. Dersom det ikke registreres lekkasjer ved testing anses overgangen av foringsrør og berg som tett.
7. Videre boring i berg til endelig dybde.

### **Alternativ 2: Injisering med sementmørtel**

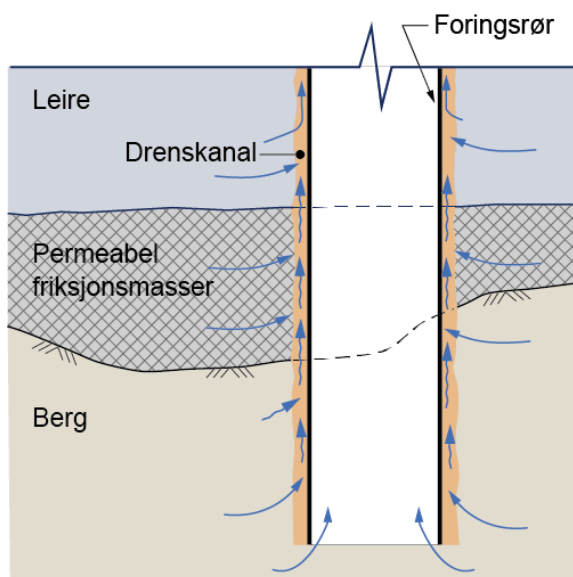
1. Foringsrør bores gjennom løsmasser og størrelsesorden 1 m ned i "godt" berg (Figur 5-1). Boring utføres fortrinnsvis fra terrengnivå og med sentrisk boresystem som kun benytter vannspyling for å redusere potensiell glippe på utside av foringsrør.
2. Foringsrør trekkes deretter opp ca. 0,5-1 m og borestreng trekkes ut av rør, hele tiden med vannfylt rør (Figur 5-2).
3. Pakker installeres nært bunn av foringsrør og det injiseres med egnet sementmørtel (event. sulfatresistent mørtel). Det skal benyttes lavt trykk (1-3 bar) og V/C forhold mellom ca. 0,4-1,0 med gradvis reduksjon av V/C forhold etter hvert som det injiseres ved stor inngang og kommunikasjon til terreng (Figur 5-3).
4. Pakker trekkes opp samtidig som foringsrør fylles opp med vann.
5. Foringsrøret bankes/presses ned til bunn av hull f. eks ved hjelp av borhammer før mørtel er herdet.
6. Når injiseringsmassen er herdet (avhengig av sementtype, men minimum 3 døgn) bores hullet opp igjen og tettingen testes med vanntapsmåling ved at foringsrøret fylles med vann og det settes på 5 m overtrykk i forhold til terrengnivå i 5 minutter. Mengde vann registreres i boreprotokoll, og vurderes om det er over grenseverdi.
7. Dersom det ikke registreres lekkasjer ved testing anses overgangen av foringsrør og berg som tett.
8. Videre boring i berg til endelig dybde med fjellkrone.

### **Alternativ 3: Tetting av overgang løsmasser/berg som ved brønnboring**

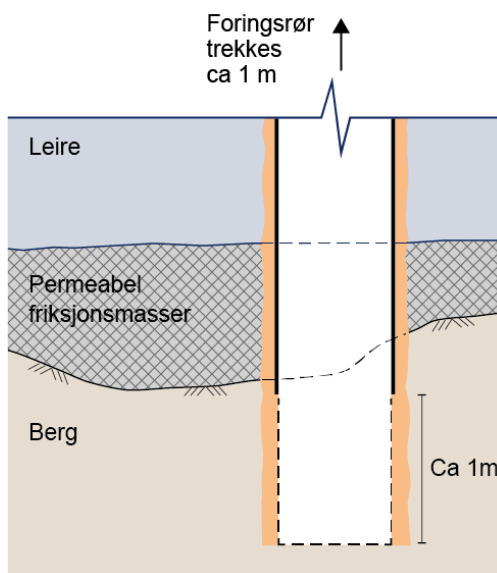
1. Foringsrør bores gjennom løsmasser og minimum 1 m ned i "friskt" berg. Boring utføres fortrinnsvis fra terrengnivå og med sentrisk boresystem som kun benytter vannspyling for å redusere potensiell glippe på utside av foringsrør.
2. Foringsrør trekkes deretter opp ca. 0,5 m og borestreng trekkes ut av rør, hele tiden med vannfylt rør.
3. Sementpatron og Lecaplugg med akselerator senkes ned til bunn av hull (Figur 5-4).
4. Borestreng kjøres ned og presser ut blanding av sement og leca mellom utside av foringsrør og berghull slik at det dannes en tett barriere som hindrer vannstrømning.
5. Når injiseringsmassen er herdet (avhengig av sementtype, men minimum 3 døgn) bores hullet opp igjen og tettingen testes med vanntapsmåling ved at foringsrøret fylles med vann og det

settes på 5 m overtrykk i forhold til terrengnivå i 5 minutter. Mengde vann registreres i boreprotokoll, og vurderes om det er over grenseverdi.

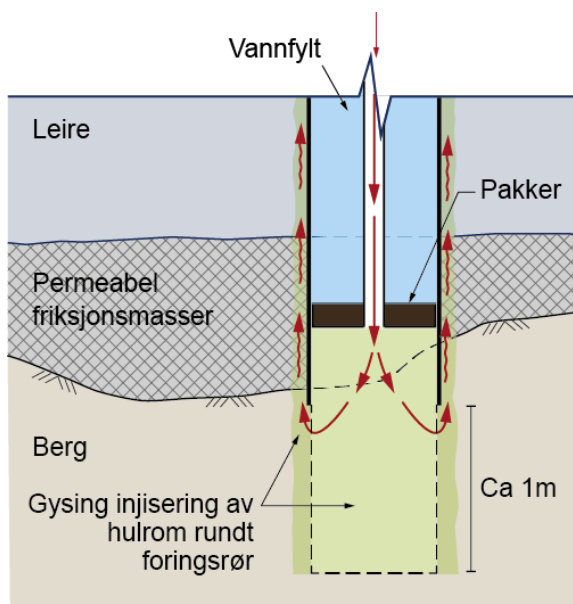
6. Dersom det ikke registreres lekkasjer ved testing anses overgangen av foringsrør og berg som tett.
7. Videre boring i berg til endelig dybde med fjellkrone.



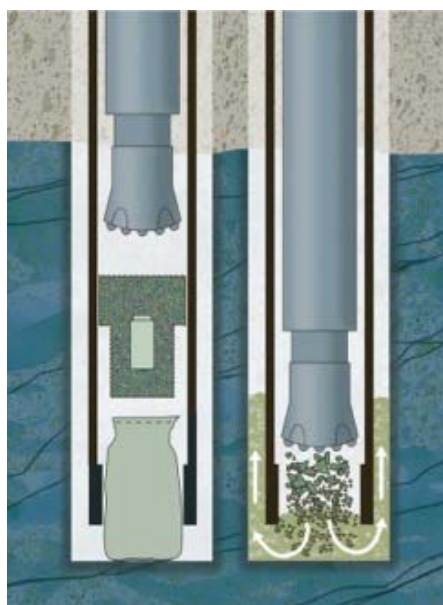
Figur 5-1: Boring foringsrør ca. 1 m ned i godt berg.



Figur 5-2: Foringsrør trekkes ca. 1 m opp.



Figur 5-3: Injisering (med pakker) eller gysing med sementmørtel i bunn av borehull.



Figur 5-4: Tetting overgang foringsrør og berg med sementpatron og Lecaplugg med akselerator.

### 5.3 Kontroll av tetthet mellom foringsrør og berg

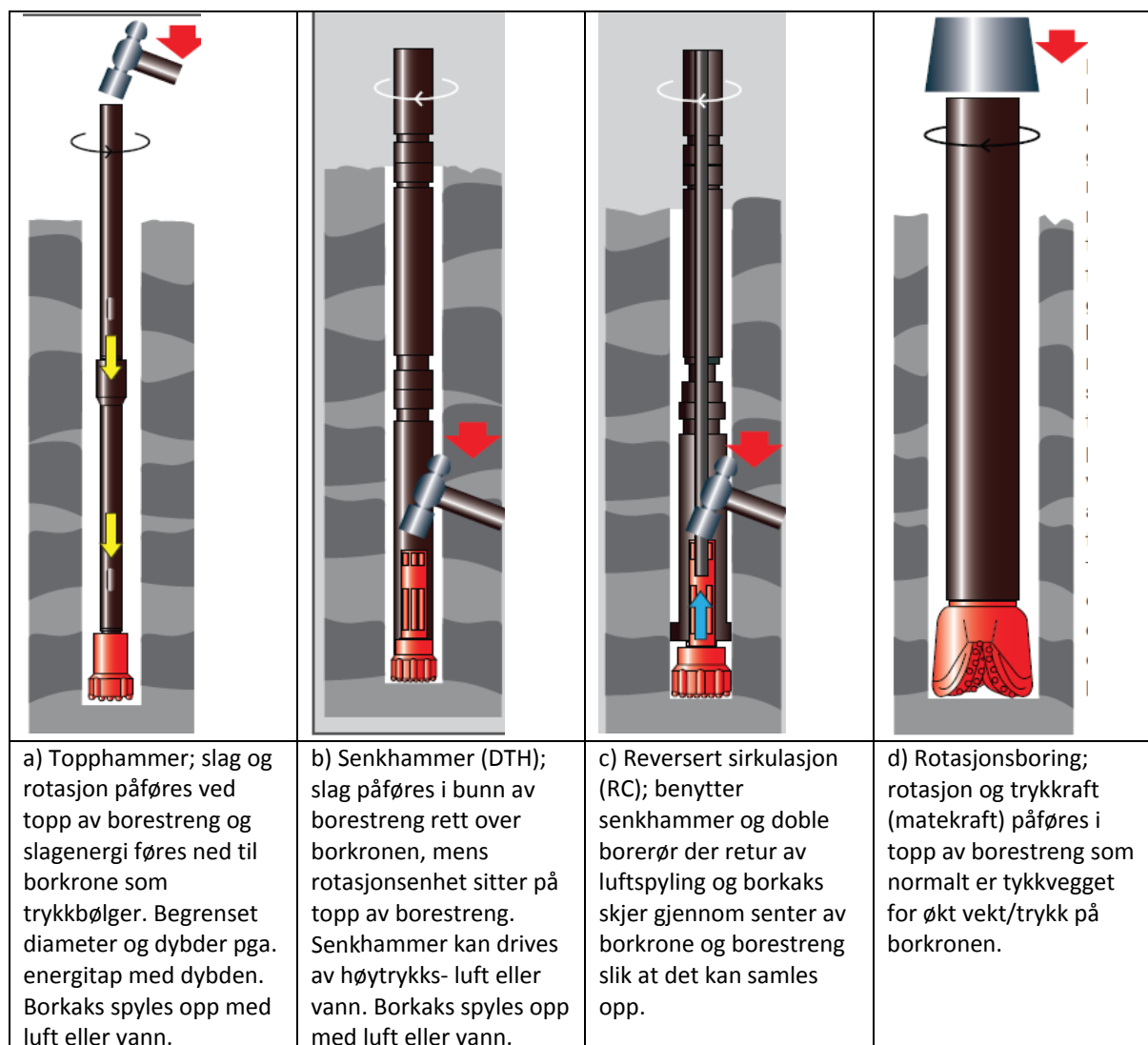
Kontroll av tetthet mellom foringsrør og berg utføres etter at spalten mellom foringsrør og berg er tettet og før videre boring av hull (uforet) i berg. Tetting mellom foringsrør og berg kontrolleres med vanntapsmåling ved at foringsrør fylles med vann og det settes på 5 m overtrykk i forhold til terrengnivå i 5 minutter. Mengde vann registreres i boreprotokoll, og vurderes om det er over

grenseverdi. Etterkontroll kan også utføres ved å montere en mansjett ved underkant av avsluttet foringsrør i berg og foreta ny vannstandsregistrering. Alternativt kan det utføres inspeksjon med videokamera.

## 6 Forbedring og videreutvikling av boremetoder

### 6.1 Generelt

Uavhengig av hvilken boremetode som benyttes er hensikten med boring for stag og peler å etablere et hull gjennom løsmasser uten massefortrengning eller uttak av mer løsmasser enn det som er hulldiametere (foringsrør). Boremetoder beskrives som regel etter hvordan borehullet etableres, eksempelvis ved slag, rotasjon, hammer, vibrering eller skruing, og som ofte samtidig med rørdriving gjennom løsmasser og inn i berg. I tillegg beskrives gjerne boremetoden med hvordan transport av borkaks opp av borehullet utføres, som kan være ved spyleboring (vann), trykkluftboring eller sugeboring. Prinsipiell beskrivelse av virkemåte for de mest benyttede boremetodene er vist i Figur 6-1.



Figur 6-1: Prinsipiell virkemåte for de mest benyttede boremetodene (kilde: [www.halcorocktools.com](http://www.halcorocktools.com)).



## 6.2 Løsmasseboring

Boring i løsmasser utføres enten med topphammer, spyleboring, senkhammer eller rørdrivningshammer med tilhørende borkroner og utstyr. I det følgende er ulike boremetoder og produkter beskrevet og vurdert med hensyn på styrker og svakheter samt muligheter for videreutvikling.

### 6.2.1 Topphammer

Ved topphammerboring tilføres slagenergien oppe ved boreriggen og hammeren er innebygd med rotasjonsmotorer. Slaget fra hammeren overføres gjennom borestrengen og ned til borkronen. Normalt bores det foringsrør med diameter 90-140 mm. Disse hydrauliske topphammere har i dag normalt hammer med størrelse tilsvarende KD 1011 dreiemoment 11 kNm og 11,5 kg stempel eller KD 1215R med dreiemoment 13,5 kNm og stempel 14,3 kg.

Større hammere som KD 1624 (17,9 kNm - 24,0 kg) og opp til KD 3128R (30,6 kNm – 28 kg) er tilgjengelige. Dette gir muligheter for boring av større diameter opp til 170 mm og til større dybder enn det som er vanlig i dag.

Hoveddelen av utstyr for topphammerboring er utviklet for gjengede stålrør som bores inn og trekkes for stag. Disse hammere skulle være mulig for å anvende/videreutvikle til borede peler og som foringsrør til stålkjernepeler. For eksempel med diameter 168-219 mm for borede peler. Fortrinnsvis for tykkvegga gjengede rør og eventuelt for tynnvegga rør som sveiseskjøtes for stålkjernepeler.

Spyling ved topphammer boring gjøres med luft eller vann. Ved vann er det enkelt å blande inn for eksempel polymer slik at en får en støttevæske i foringsrør og på utsiden. Tilsvarende er mulig med luft som spyling men da trolig i mindre mengder enn ved vannspyling.

### 6.2.2 Topphammer med Odex

Eksentrisk (Odex) boreutstyr består av tre deler: slagstyring, pilotkrone og rømmerkrone som er eksentrisk og borer hull med diameter 5-20 mm større enn rørdiameter. Topphammer Odex finnes nå i dimensjonene 76, 90 og 127 (stålrør 89, 114 og 140 mm) Dette produktet er ikke endret vesentlig de siste år og selv om det har vært arbeidet med 3. generasjon av produktet er det lite sannsynlig at det vil gi vesentlige forbedringer med hensyn på risiko for overboring.

### 6.2.3 Topphammer med ringkroner

Ringborkrone (engangskrone) består av to deler, pilotkrone og ringborkrone. Ringborkronen har større diameter enn røret (ca. 5-10 mm) og det bores da ett hull direkte som gir rettere hull, bedre borbarhet i blokk og stein og inn i berg enn eksentersystemet (odex).

Ringkroner er tilgjengelig for stålrør med diameter 114 og 140 mm med 10 mm veggtykkelser og med T45 gjenger på borestreng. Videreutvikling av ringborkroner er mulig å produsere og prøve ut større diameter av disse for eksempel for diameter fra 168-219 mm stålrør.

### 6.2.4 Topphammer med gjenga rør

Boring med topphammer og tykkvegget gjenga rør (OD = Overburden Drilling) anvendes nå med foringsrør med diameter på 102, 114 og 133 mm som gir muligheter for installasjon av midlertidige stag opp til 12 lisser, se bilde til venstre i Figur 6-2.

OD med hammer og rotasjonskasse er metoder som anvendes mye ved stagboring i andre land. Vanlige grunnforhold er grus, sand og fast leire. Boremetoden anvendes både for løsmasse og bergstag.

Metoden gir muligheter for boring gjennom løsmasser med tykkvegga stålrør, ringborkroner og gjenbruk av rør og kroner som trekkes ut etter at stag er montert (Figur 6-2). Borehullet injiseres fortløpende med sementmørtel ( $V/C = 0,6-0,7$ ) etter hvert som røret trekkes for å stabilisere og etterfylle teoretisk volum etter boringen.



Figur 6-2: Til venstre, bilde av topphammerrigg med tykkvegget gjenga rør og sentrisk ringborkrone (OD 114) fra feltforsøk i Onsøy (Kilde: Einar John Lande). Til høyre, stagboring i Sveits med «double head» hammer og rotasjon (Kilde: Geir Veslegard).

### 6.2.5 Topphammer med selvborende stag

Selvborende stag (self-drilling anchor system) består av hule gjengede borestenger som hylseskjøtes og bores inn hovedsakelig gjennom løsmasser uten bruk av foringsrør. Det kan også bores direkte inn i berg for bolting eller for stagforankring. Produktet anvendes både til jordnagler, løsmassestag, bergstag og mikropeler, både friksjon og spissbærende i berg.

Selvborende stag installeres med topphammer og med vann eller luft spyling. Ved å anvende vannspyling og topphammer er det en skånsom boremetode. I løsmasser er det mulig å tilsette støttevæske eller utføre sement injeksjon f. eks. med v/c forhold lik 0,7 for å erstatte det teoretiske volumet som tas ut, dvs. forskjellen i diameter mellom borkrone og borstang.

Større diameter opp til 111/113/127 millimeter sammen med mindre sprang gjør det nå enklere å tilpasse det til de aktuelle laster. Stag kan også installeres med kjellerrigger opp til ca. diameter 50 mm stag.

Boring med topphammer og uten bruk av luft er en skånsom metode og de selvborende stag er også raske å installere og gjøres ferdig i en arbeidsoperasjon. Dermed kan byggetiden og total tid før ferdigstillelse av byggegroper ideelt sett reduseres. Større diameter har større stivhet og kombinert med større topphammer rigger er det mulig å bore på større dybder og mer kompliserte grunnforhold enn med små diameter og små rigger.

Videreutvikling bør være utprøving i byggegroper med leire og PE-rør/krympeplast i fri sone for kontroll av oppspenning og forlengelse.

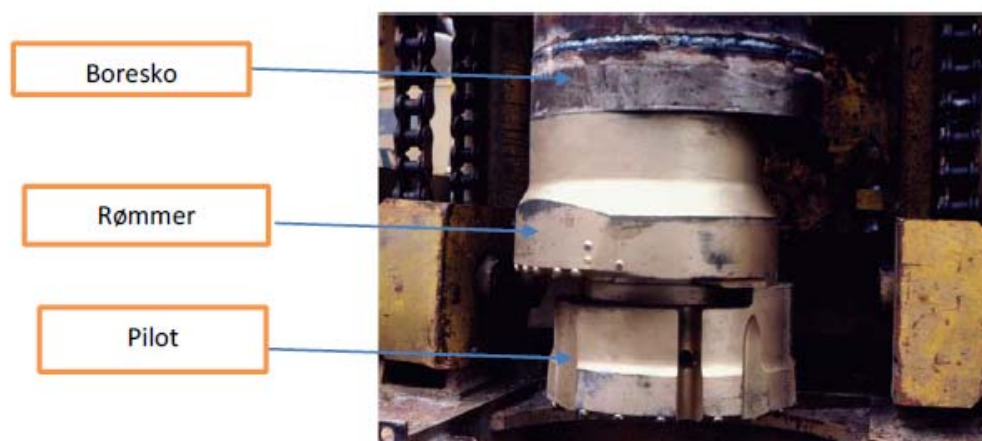
### 6.2.6 Spyleboring

Dette er en mye brukt metode i kohesjons jordarter og etterfølges med hammerboring gjennom friksjonsjord og inn i berg.

Spyleboring utføres med vanntrykk og rotasjon. Vann som pumpes inn bidrar til utvasking foran borkrone og transport av borkaks (løsmasse) opp innvendig i stålrøret. Men også på utsiden, der en må være oppmerksom ved boring i løse og vannførende lag. Luftspyling bør ikke benyttes sammen med denne metoden siden det kan medføre overtrykk og forstyrrelse av grunnen. Uten polymer er det den mest brukte metoden ved boring i leire og brukes også ved installasjon av stag. Metoden forutsetter rotasjonskasser med høgt vrilmoment og kraftfulle vannpumper. Begrensing er boring i faste løsmasser og inn i berg som kun kan gjøres med slagboring

### 6.2.7 Senkhammer og Odex

Senkhammer Odex finnes nå i dimensjonene 90-240 (stålrør med diameter fra 114 til 273 mm) Dette produktet er ikke endret vesentlig de siste år og selv om det har vært arbeidet med 3. generasjon av produktet er det lite sannsynlig at det vil gi vesentlige forbedringer med hensyn på risiko for overboring.



Figur 6-3: Eksentrisk boresystem med pilot, rømmer og boresko sveiset til stålrør (Kilde: Veslegard og Simonsen, 2014).

### 6.2.8 Senkhammer og vinger

Tilsvarende virkemåte som Odex, men med vinger som svinges eller også presses ut på siden og gjør det mulig å bore hull som er større enn rørdiameteren gjennom steinholdige løsmasser og også inn i berg, se Figur 6-4. Leverandører av dette boreutstyret er for eksempel: Numa (Super Jaws), Robit (SF) og Winner (XK/XY).

Dette er ett relativt nytt produkt som det er noe begrenset erfaring med. Det borer ett sentrisk hull og gir mindre borhullsavvik enn eksenter (Odex) der rømmeren kun går ut til den ene siden som roteres rundt og på den måten borer opp hullet. Dette gjør at boresystemet har begrensninger ved boring i stein og blokkrik løsmasse. Innboring på skrå bergoverflate er bedre enn ved eksentrisk boring. Framstikk av vinger vil måtte forbli like mye som nå på Odex, slik at luft lettere vil kunne gå ut i grunnen enn ved ringborkroner der piloten kan trekkes tilbake for bedre å snu luften tilbake og hindre at den går ut i løsmassene.



Figur 6-4: Pilot med vinger, Steel Fist fra Robit.

Boretstyret er mest i bruk på grunne hull og for diameter fra 273 millimeter og oppover til 1220 fordi at det muliggjør gjenbruk. Dette gjør at metoden har en lavere pris enn boring med ringkroner som er engangskroner og dermed gir høy pris spesielt ved stor diameter og grunne boringer. Videre utprøving og dokumentasjon av boremetoden behøves for å sammenligne det med ringborkrone systemet.

#### 6.2.9 Senkhammer og ringkroner

Ringkrone systemet har vært i utvikling i noen år, og det er nå kommet flere typer og utforminger av borkroner som skal takle ulike grunnforhold bedre enn det tidligere standard produkter kunne. Flere leverandører har utviklet forbedrede borkroner som ifølge dem selv skal redusere negative effekter fra spyling med høytrykksluft, og som skal være bedre egnet for boring bløte og utfordrende grunnforhold.

Atlas Copco har utviklet "Elemex systemet", anvendt med gode resultater blant annet ved boring av rørspuntvegg på Møllenberg i 2010, (Rønning og Haugen, 2015). Bredenberg (2014) har også presentert resultater fra boring av stålkjernepeler i Stockholm hvor Elemex systemet gav ca. 30-50 % mindre setninger enn ved bruk av tradisjonelt odex system. Bilde av Elemex borkrone og illustrasjon av hvordan spylekanaler er utformet for å redusere spyling ut i grunnen er vist i Figur 6-5. Det finnes også tilsvarende borkroner fra andre leverandører som for eksempel Robit "Flow control", Mitsubishi UMB (Venture) og "Spiral flush" fra PPV Finland.



Figur 6-5: Venstre: eksempel Elemex borkrone (Kilde: [www.atlascopco.com](http://www.atlascopco.com)). Høyre: bilde som viser pilotkrone trukket inn i forhold til ringkrone og fordeler spylingen framover (Kilde: Geir Veslegard).

### 6.2.10 Vannhammer

Vannhammer har tilsvarende utforming og virkemåte som tradisjonell senkhammer men drives av vann med høyt trykk i stedet for luft. Dette gjør at en alltid har vannfylt hull og siden det ikke brukes luft er det heller ingen risiko for at luft går ut i løsmassene.

Finnes nå i diameter 3-8" som gir hulldiameter fra 114-324 mm. Kan være mulig å videreutvikles med større diameter, eksempelvis 10-12". Men utfordring til nå har vært å løse håndtering av store vannmengder på byggeplass, spesielt vinterstid. Dette blir ikke mindre etter hvert som eventuelt diameter økes fra 6-8" som har vært det største til nå fra LKAB Wassara. Også virkningsgrad og tilgang på reserve utstyr er dårligere fordi det er mindre anvendelse.

### 6.2.11 Rørdrivingshammer og vibrasjon

Rørdrivingshammeren slår på stålrøret oppe og dette gjør det mulig å bore uten boresko og med senkhammer og krone trukket inn i røret. Boring i faste masser gjøres normalt med senkhammer og URD/Ringkrone i tillegg til rørdrivingshammer. Dette gir tilnærmet samme boring som de andre metodene.

Boremotoden ble første gang anvendt på Arteid Bru i 1992, men viste seg å gi større borehulls avvik i leire enn Odex for stålkjerner på ca. 50- 60 meters dybde. Den er nå tatt i bruk igjen sammen med RC hammer ved boring av stor diameter. Fordel med metoden er en annen måte å tilføre energi til stålrøret enn bare ved slag nede. Som gjør det mulig å ta opp borkaks uten bruk av senkhammer tilsvarende som ved spyleboring. I tillegg kan hammeren bore trukket inn i røret også om grunnforholdene muliggjør det.

Det er også utviklet vibrasjonsenheter i tilknytning til rotasjonskasser og topphammer. Dette gir mulighet for å redusere vrilmoment og bruk av slagenergi ved boring.

Boremotoden og særlig vibrasjon i tilknytning til slag er aktuell for utprøving og videreutvikling i forbindelse med de mindre diameter for borede stag og pelar.

### 6.2.12 Boring med støttevæske

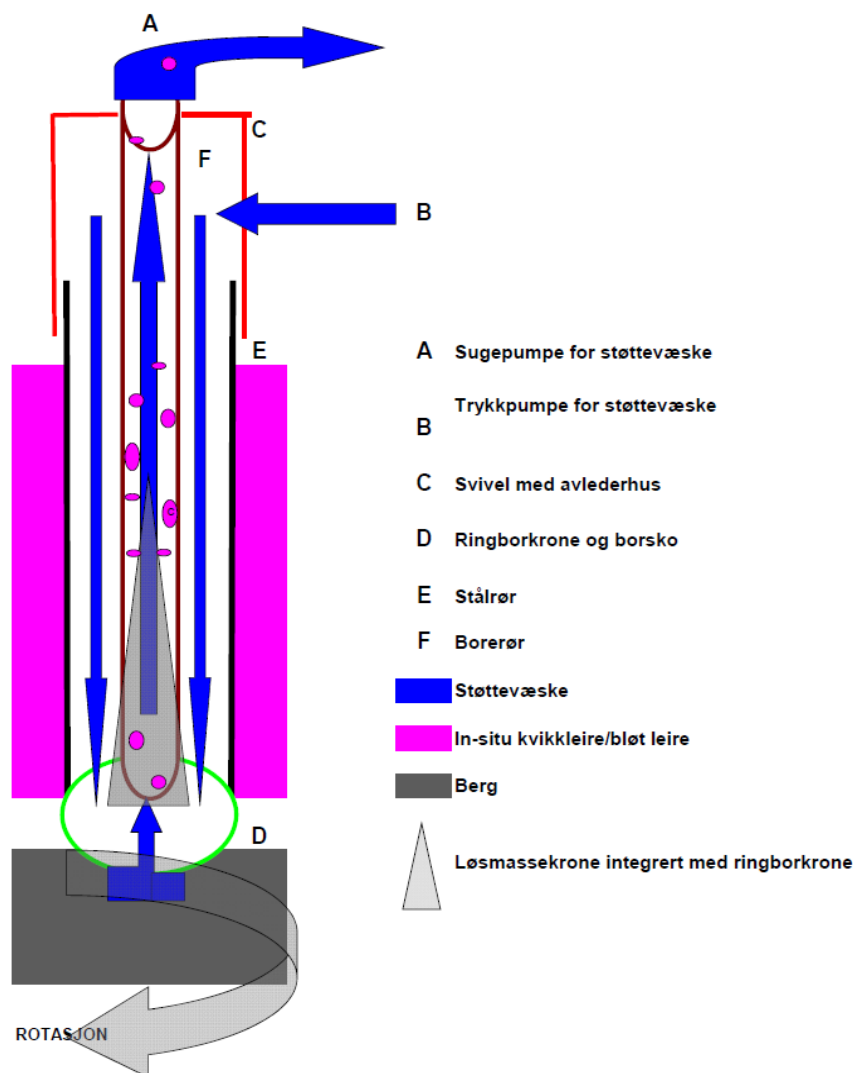
Støttevæske brukes normalt for boring i løsmasser uten foringsrør. Nye støttevæsker som består av polymer kan tilsettes via doseringspumpe med vann eller luft. De lager en "kake" foran borkrone og opp langs røret. Mengder må tilpasses boremetode og grunnforhold. De kan også anvendes ved bruk av senkhammer og innblanding i luft med mengder på ca. 2-3 promille. Tilsetning kan også forbedre transport av borkaks opp fra borehull.

Tilsetning av polymer har ved spesielle grunnforhold vist seg å være mye bedre enn bare bruk av vann, (National Highway Institute, 2005). Polymer har ikke de samme negative forhold som bruk av bentonitt støttevæske med hensyn på miljø og binding til løsmasse. Eksempler der denne metoden er brukt med gode resultater er Sandesund bru, Krosby bru, Havnelageret og Julsrud bru. For ny Sandesund bru ble det i 2005 etablert foringsrør med boring med polymer og ringkrone (diameter 324 mm) gjennom kvikkleire og inn i berg for stålkjernepeler. Det vises til erfaringsrapport fra Statens Vegvesen Region Øst (2005) og artikkel i Ground Engineering (2006) for boremetode og gjennomføring.

Boringen i bløte masser utføres med løsmassekrone (drag bit), spylepumpe, sugepumpe, tanker og polymer. Ved boring i bløt og sensitiv leire utføres arbeidet med ett lukket sirkulasjons boresystem med spyle og sugepumper, se prinsipp i Figur 6-6. Kontroll og dokumentasjon av balansert uttak av løsmasser er mulig ved å måle egenvekt på borevæske og boreslam i containere/tanker. For tilsetning

av støttevæske eller polymer kan det gjøres enklere via egen doseringspumpe. Videre boring i harde masser og inn i berg gjøres med borsystem bestående av ringborkrone og luftdrevet senkhammer.

Metoden har vist seg egnet for dimeter fra 200-300 mm, men bør prøves ut også ved mindre og større dimeter.



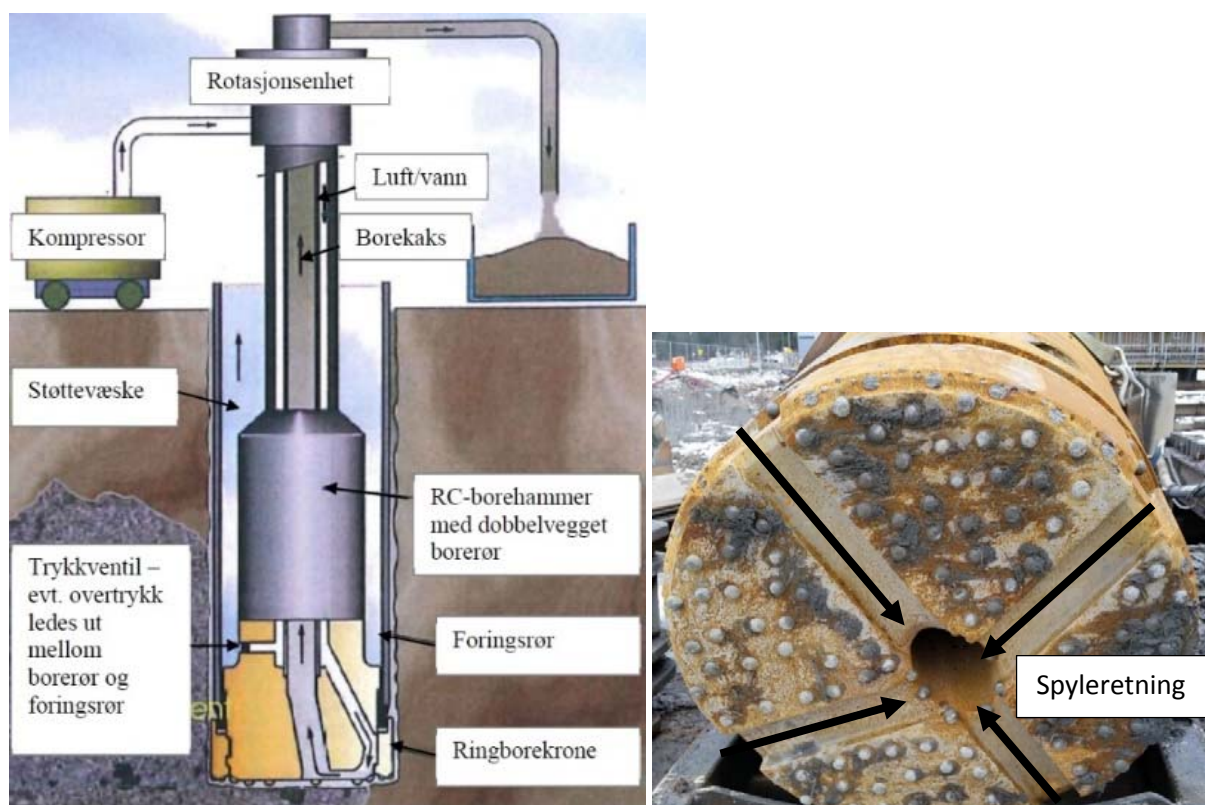
Figur 6-6: Prinsippkisse for boring med støttevæske og lukket sirkulasjonssystem (kilde: Geir Veslegard).

### 6.2.13 RC-boring med hammer og spyling

Boremetoden er hovedsakelig anvendt for prøvetaking i berg for prospekteringsboring, og finnes da for diameter i området 4-6 tommer. Prinsippet for virkemåte på borkronen er vist i Figur 6-7, der spyleluften snus tilbake i sentrum. Systemet krever doble rør og rotasjonskasse med svivel som massen kan gå gjennom opp.

En fordel med denne metoden er at borkaks går opp innvendig i borerørene og vannivå i rør kan holdes høyt med pakker over hammeren og ved tilførsel av vann fra topp. Risiko er tetting av returhull og uttak av vann og masse ved "overboring" som ved konvensjonell hammer. Effekten fra hammeren (reduert penetrasjon i faste masser) er normalt mindre enn ved konvensjonelle hammere.

RC metoden er aktuell å prøve ut mer og kan gi mindre påvirkning. Dersom ikke små spylehull gjør at leire tetter den og luft likevel går ut i grunnen. Dette bør prøves ut og dokumenteres i forbindelse med prøveboring, instrumentering og uttak av jordprøver fra massen utenfor boringen, tilsvarende som er utført for eksempel fra prøveboring av rørspunt på Møllenberg (Rønning og Haugen, 2015) og boring av stålørspeler for Hobølvelva bru (Haugen m. flere 2015).



Figur 6-7: Til venstre: prinsipp for boring med reversert sirkulasjon (RC-krone), hammer, doble borerør og rotasjonskasse med oppsamling av borekaks (Kilde: Peleveiledningen 2012). Til høyre: eksempel pilotkrone for RC-boring (Ø813 mm) fra Holte med retur av spyling i senter av borekrone (Kilde: Einar John Lande).

### 6.3 Sammenligning av boremetoder

En oversikt over fordeler og ulemper med ulike boremetoder med hensyn til å redusere negative effekter, samt forslag til videreutvikling/tiltak er presentert i Tabell 6-1 på neste side.

Tabell 6-1: Oversikt boremetoder.

<b>Toppammer:</b>		
FORDEL	ULEMPE	TILTAK/VIDEREUTVIKLING
Mulig å bore uten luftspyling (kun vann). Ingen senkning av vannivå i foringsrør. Redusert risiko for utspyling/ innsuging av masser.	Begrenset dybde 30-50 m. Diameter 90-140 mm. Borehullsavvik pga slag oppe. Skrens i blokk og skrått fjell.	Større topphammer. Prøve ut Double head eller vibrasjonshammer. Større borediameter.
<b>Selvborende stag/peler</b>		
FORDEL	ULEMPE	TILTAK/VIDEREUTVIKLING
Som topphammer. Løsmasse-/ bergstag. Rask installasjon. Mulig med kontinuerlig injeksjon (sementmørtel) under boring. Redusert lekkasje opp langs stag.	Begrenset dybde og diameter. Størrelse og utbredelse av injeksjons sone/kropp. Begrenset erfaring i Norge som bergstag.	Injeksjon i løsmasser. Injeksjonsplattform. Datalogging av injeksjon. PE-rør og krympelast i frisone. Mer dokumentasjon av bergstag i byggegroper i leire.
<b>Spyle- og rotasjonsboring</b>		
FORDEL	ULEMPE	TILTAK/VIDEREUTVIKLING
Ingen luftspyling (kun vann). Ingen senkning av vannivå i foringsrør. Redusert risiko for utspyling/ innsuging av masser. Redusert omrøring/forstyrrelser.	Kan ikke bore i harde lag og blokk. Begrenset diameter med normale senkborerigger, men kan løses med større rotasjons-kasse.	Pumpemengde og trykk
<b>Spyle-/RC boring med løsmassekroner + Polymer</b>		
FORDEL	ULEMPE	TILTAK/VIDEREUTVIKLING
Polymer lager tettende sjikt på utsiden av stålrør og foran borkrone.	Pris. Begrenset anvendelse, egnert seg ikke i harde lag.	Større og mindre diameter. Mer dokumentasjon og erfaring.
<b>Senkhammer, luftdrevet</b>		
FORDEL	ULEMPE	TILTAK/VIDEREUTVIKLING
Store dybder, 50-100 m. Stor diameter og utvalg. Lik energi uavhengig av dybde. Redusert borehullsavvik. Ringborkrone redusert påvirkning og borer fullt tverrsnitt. Eksenter og vinger lavere pris enn ringborkrone.	Økt risiko for utspyling/ utsuging av masser (volumtap). Ukontrollert utblåsning i grunnen. Vannivå senkes til hammer. Odex kan gi skrens og økt erosjon fordi borkrone sitter foran røret. Vingssystem har begrenset erfaring i Norge.	Mindre Odex-boring. Videreutvikling av ringborkronesystemet. Mer dokumentasjon og erfaring med forbedrede ringborkroner. Automatisk logging av boreparameter.
<b>Vannhammer</b>		
FORDEL	ULEMPE	TILTAK/VIDEREUTVIKLING
Ingen luftspyling. Ingen senkning av vannivå i foringsrør. Redusert risiko for utspyling/ innsuging av masser.	Krever store vannmengder på byggeplass. Vinterdrift. Tung borstreng.	Større diameter. Utvikle rensesystemer for gjenbruk av borevann.
<b>Reversibel senkhammer og rørdrivings-hammer</b>		
FORDEL	ULEMPE	TILTAK/VIDEREUTVIKLING
Høgt vannivå i rør Rørdrivingshammer slår oppe Uttak av masse ved spyling eller hammer i røret Snur luftstrøm Oppsamling av borekaks Flere diameter på en borestreng	Tetting av små kanaler i borekronen. Om boring i morene over berg tar tid pga redusert slagenergi i forhold til konvensjonell hammer kan metoden ta ut mer masse	Utprøving på mindre diameter. Mer dokumentasjon og erfaring med metoden ved ulike grunnforhold. Dataregistrering



## 7 Forbedret dokumentasjon og kontroll

### 7.1 Generelt

BegrensSkade ser et behov for bedre og mer detaljert dokumentasjon fra entreprenørene, samt bedre oppfølging/kontroll fra byggherrer av arbeider som innebærer boring for stag og peler. Det er vurdert som nødvendig for å kunne redusere antall og omfang av skader. Dagens praksis er veldig varierende med tanke på dokumentasjon og kontroll, og i for stor grad avhengig av erfaring hos byggherre, prosjekterende (RIG) og entreprenør.

Bedre og mer detaljert dokumentasjon vil bidra til økt kunnskap knyttet til boring, og gjøre det lettere å kontrollere at utførelsen er slik som beskrevet og med tilfredsstillende kvalitet. Ved eventuelle skader vil det være lettere å vurdere årsaksforhold.

BegrensSkade anbefaler at det bør angis konkrete krav til logging under boringen, som både er gjennomførbare for entreprenøren og målbare for dokumentasjon og oppfølging.

### 7.2 Boreprotokoller

Boreprotokoller har vært, og er fortsatt den klart viktigste dokumentasjonen fra utførelse av boring. De kan gi verdifull informasjon om grunnforholdene (løsmasser og berg) og eventuelle problemer og avvik som kan ha betydning for design og dimensjonering, samt verifisere kvalitet. Det er derfor bekymringsverdig at dagens generelle praksis har blitt slik at boreprotokoller har begrenset innhold og ikke oppfyller de krav som stilles i standarder og beskrivelser.

I henhold til gjeldende standard, Eurokode 7 (Norsk standard, 2008a), stilles det i Kapittel 7.9 "Utførelseskontroll" krav om peleprotokoll for hver enkelt pel, med referanser til ulike utførelsesstandarder. Beskrivelsesstandard NS 3420-G:2008 (Norsk Standard, 2008b) og Håndbok R762 Prosesskode 2, (Statens Vegvesen, 2014) setter i utgangspunktet omfattende krav til utfylling av boreprotokoller, men det er ulik praksis i bransjen. Det er til dels store forskjeller i krav fra ulike byggherrer og geoteknisk prosjekterende.

Byggherrer, prosjekterende og utførende har alle nytte av forbedret kvalitet og detaljering av dokumentasjon fra boring. For at protokollene og informasjonen skal komme til nytte er det viktig med fortløpende oversendelse under utførelse slik at byggherren og geoteknisk prosjekterende kan fange opp eventuelle avvik og vurdere behov for tiltak.

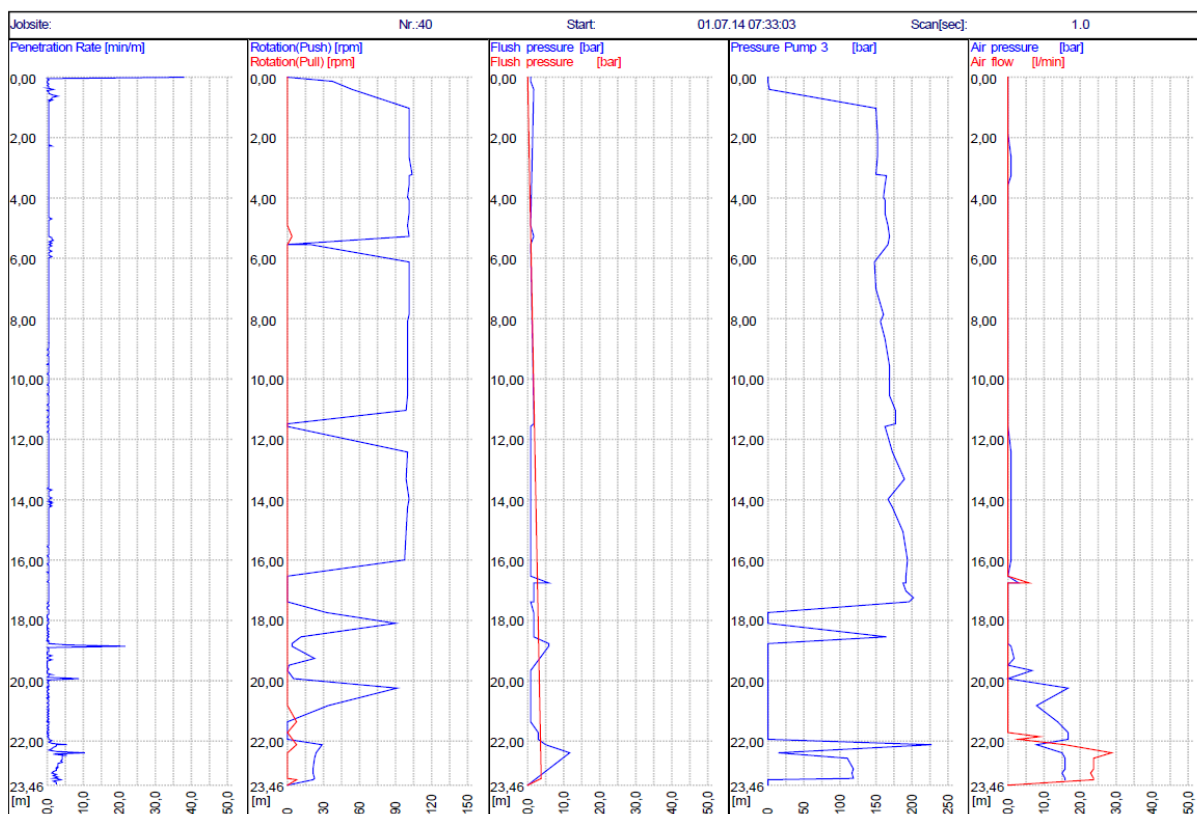
I Eurokode 7 og Prosesskode 2 er det listet opp og beskrevet hvilken informasjon som minimum skal være med i boreprotokoller for borede peler. Det er ikke tilsvarende detaljerte krav til borede stag. I tillegg til denne generelle informasjonen bør boreprotokoller inneholde følgende informasjon:

- Tidspunkt for start/stopp boring (skjøting av rør, pauser osv.), samt boring i faste masser over berg og inn i berg.
- Registrering og beskrivelse av lagdeling i hele borprofilet, eventuelle vannførende lag og sprekker i berg.
- Boresynk gjennom hele borprofilet, både boring i løsmasser og i berg (m/min eller sek/m).
- Rotasjonshastighet (rpm).
- Vanntrykk og mengde gjennom hele borprofilet (bar og liter).
- Lufttrykk og mengde gjennom hele borprofilet (bar og liter).
- Matetrykk (trykkraft) (kN eller bar).

### 7.3 Automatisk datalogging

Automatisk datalogging og registrering av relevante parametere bør i større grad innføres for boring av stag og peler, tilsvarende som ved geotekniske grunnboringer, for eksempel totalsondering. Det anbefales at automatisk datalogging fra boring inneholder tilsvarende informasjon som beskrevet i kapittel 7.2. Borelogg kan dermed presenteres for hver pel eller stag, se eksempel på logg i Figur 7-1 etter samme prinsipp som for en geoteknisk borerigg.

Det finnes utstyr for datalogging tilgjengelig, men det er inntil videre kun et fåtall prosjekter hvor det er benyttet i Norge. Aktuelle leverandører av utstyr er eksempelvis Bauer, Jean Lutz og Lim.



Figur 7-1: Eksempel automatisk datalogging ved boring av peler (Kilde: Hallingdal bergboring).

### 7.4 Instrumentering

For å bedre dokumentasjon og kontroll av installasjonseffekter knyttet til boring bør tilstrekkelig og korrekt instrumentering benyttes i større grad enn det som har vært vanlig praksis. Erfaringer viser en tendens til at "mindre" prosjekter som ikke vurderes som spesielt utfordrende eller risikofylte relativt ofte fører til uventede skader. I slike tilfeller er det sjeldent planlagt et tilstrekkelig måleprogram.

I tillegg til å ha tilstrekkelig og korrekt instrumentering må hyppighet på målinger/logging tilpasses ulike arbeidsaktiviteter og fremdriften i hvert enkelt prosjekt slik at man får nødvendig data for å vurdere ulike effekter og årsakssammenhenger.

I det følgende er gitt anbefalinger vedrørende instrumentering spesielt for å dokumentere og følge opp eventuelle effekter fra boring av stag og/eller peler i henhold til beskrivelse i kapittel 2.

### 7.4.1 Poretrykk og grunnvann

For å følge opp eventuelle endringer i poretrykk og grunnvannsnivå, ref. kapittel 2.2, bør det installeres elektriske poretrykksmålere med automatisk logging i flere nivåer og med ulik avstand fra byggegrop eller pelegruppe. Det er meget viktig at man ikke bare setter poretrykksmålere i leire, men også ned til faste masser (morene/sand) og eventuelt i berg. Dette for å dokumentere både temporære endringer, samt eventuell langtids senkning av poretrykk ned mot berg. Bruk av innstøpte poretrykksmålere i flere nivå i ett og samme borehull kan være gunstig. Poretrykksmålere med automatiske logging kan med fordel benyttes som varsling dersom det måles verdier under/over grenseverdier som er bestemt ved prosjektering. Resultatene bør fortløpende brukes til å vurdere eventuelle tiltak som tetting mot lekkasje langs rør, infiltrasjonsbrønner eller endring av boremetode og prosedyre.

Poretrykksmålinger i flere nivåer vil også gi verdifull informasjon vedrørende omfang og potensiale for omrøring av leire, ref. kapittel 2.3, og om valgt boremetode og prosedyre kan føre til utspyling/innsuging av masser, ref. kapittel 2.4, ved bruk av boresystem med luftspyling.

Poretrykksmålere bør generelt ikke installeres for tett inntil planlagte peler eller stag da det er fare for konflikt under boring grunnet retningsavvik. Minimum avstand bør være ca. 1-2 m avhengig av dybde og dimensjoner.

### 7.4.2 Utspyling/innsuging av masser

For å dokumentere om boring fører til utspyling/innsuging av masser som kan føre til setninger, f. eks ved boring med luftspyling i faste masser over berg, anbefales følgende prinsipp for instrumentering:

- Det bør utføres setningsmåling i ulike dybder og avstander fra byggegrop eller pelegrupper. Fortrinnsvis kan det installeres ekstensometre for måling av setninger med gitt intervall i dybden. Alternativt kan det installeres setningsankere i flere nivåer som nivelleres med totalstasjon el. lignende.
- Det bør utføres helningsmåling av støttekonstruksjoner for oppfølging og sammenligning mot forventede deformasjoner. Inklinometre kan også installeres i nærhet til borede peler ved spesiell risiko for massefortrengning eller utspyling av masser.
- Ideelt sett bør borkaks og spylevann fra hvert stag/pel samles opp for å vurdere om det er oppstår volumtap. Dette er imidlertid utfordrende så lenge man ikke benytter boresystem med reversert sirkulasjon (RC-boring).

## 7.5 Prøveboring og uttesting av boreprosedyre

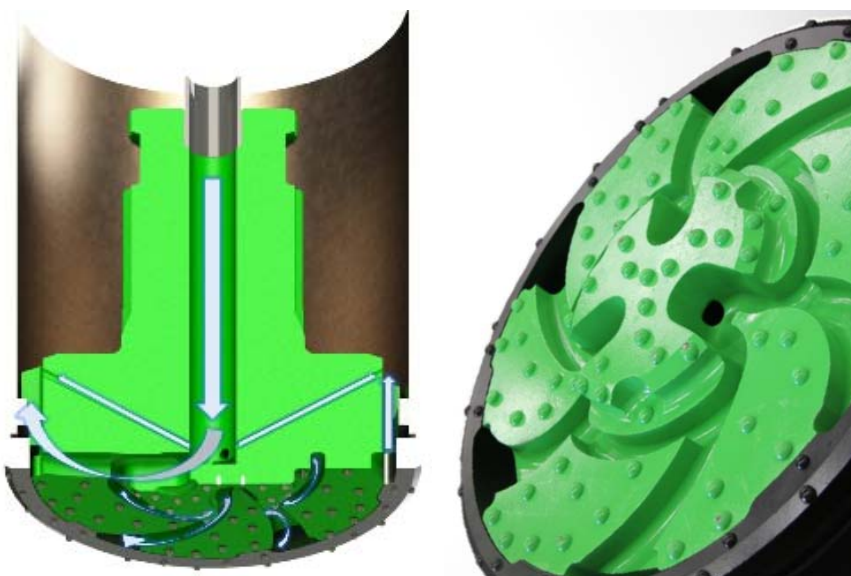
I enkelte prosjekter hvor det er sårbare konstruksjoner i nærhet og stor risiko forbundet med boring av stag og/eller peler kan det være aktuelt å utføre prøveboring for å vurdere om valgt boremetode og boreprosedyre er tilfredsstillende eller om det bør gjøres endringer tilpasset de stedlige grunnforhold. Prøveboring bør fortrinnsvis utføres i forbindelse med oppstart av borearbeidene slik at man kan tilpasse utførelsen ved behov før produksjonsboring starter. Det er imidlertid helt avgjørende at prøveboring kombineres med et godt planlagt måleprogram som også kan benyttes for oppfølging videre i byggeperioden.

Mer prøveboring og bedre dokumentasjon av arbeidene med datalogging av boreparameter vil på sikt gi mer kunnskap og kunne bidra til å redusere skader.

I forbindelse med boring av rørsput (Ø610 mm rør) for Strindheimtunnelen i Trondheim i 2010 ble det utført prøveboring med relativt omfattende instrumentering som omfattet poretrykkmåling i ulike dybder og avstander fra pel, totaltrykkcelle på rør, samt trykksoneering og prøvetaking inntil pel. Det ble i tillegg registrert boredata. Erfaringsrapport fra prosjektet beskriver utførelsen og presenterer resultater fra målinger under prøveboring og produksjon (Rønning og Haugen, 2015).

Statens Vegvesen har også utført prøveboring og instrumentering i forbindelse med boring av grove stålørspeler (Ø813 mm) for Skaudalsbrua på Fosen i Nord-Trøndelag, beskrevet av Giske (2015) under Påldagen. Det var spesielt fokus på skråningsstabilitet og risiko for massefortrengning og ukontrollert utblåsning i kvikkleire. Det ble derfor benyttet "Spiral Flush" borkrone (Figur 7-2) som ifølge leverandøren har spylekanaler som er spesielt utformet for å bedre strømming av luft og retur av borkaks i front av borkronen, og samtidig redusere risiko for ukontrollert utblåsning av trykkluft i grunnen.

Ved prøveboring kom man fram til en boreprosedyre med kun vannspyling og lav borsynk gjennom leire som gav tilnærmet ingen påvirkning på poretrykket i leira.



Figur 7-2: Eksempel "Spiral flush" borkrone fra PPV Finland (Kilde: [www.ppvfinland.com](http://www.ppvfinland.com)).

## 8 Tekniske beskrivelser for boring

En viktig del av prosjektering og planlegging av arbeider som innebærer boring av stag og/eller peler er utarbeidelse av detaljerte tekniske beskrivelser der valg av boresystem og utførelse er tilpasset grunnforhold og skaderisiko. Disse dokumentene er i stor grad avgjørende for å sikre tilstrekkelig kvalitet i det som bygges. I delrapport 1+2.3 har Øiseth et.al (2014) gjennomgått eksisterende standarder og veiledninger med hensyn på beskrivelser og krav i forhold til reduksjon av skader. De viktigste konklusjonene er kort oppsummert her. I tillegg er det gitt anbefaling om forbedring av dagens praksis for utarbeidelse av beskrivelse av boring for peler og stag.

Normalt benyttes enten NS 3420-G:2008 eller Håndbok R762 Prosesskode 2 for utarbeidelse av beskrivelser. Generell beskrivelsestekst i NS 3420-G:2008 gir lite detaljert informasjon om hvordan ulike arbeidsprosesser skal utføres. Prosjekterende må selv vurdere om det skal legges til en "spesiell beskrivelse" utover det generelle. Videre henvises det generelt til standarder eller veiledninger som kan gi en detaljert beskrivelse av utførelsen og hva det må følges med på. En observasjon er likevel at

NS 3420-G:2008 ikke henviser til utførelsesstandard for poster som beskriver boring av foringsrør, hverken i løsmasse eller berg.

Håndbok R762 Prosesskode 2 stiller krav til boreutstyr for boring av foringsrør og om det skal bores med luft eller vann. For stag stiller den krav til registrering av matetrykk, synk mm for boring både i løsmasser og berg, noe som imidlertid ikke kreves for foringsrør til peler.

NS-EN 1536:2010 *Borede peler* (Norsk standard, 2010) dekker i prinsippet boring av foringsrør for stålkjernepeler, men er hovedsakelig vinklet mot borede peler/pilarer. Standarden tar for eksempel opp boring ved artesisk trykk og boring under grunnvannstand, men kun i generelle føringer.

NS-EN 1537:2013 *Stagforankring* (Norsk standard, 2013) omtaler faren for erosjon ved boring. Dette er den nyeste av utførelsesstandardene som omhandler boring, og den har et oppdatert fokus på skade av boring. En generell observasjon i NS-EN 1537:2013 *Stagforankring* er at standarden kun fokuserer på mulig skader som kan svekke eller ødelegge staget, mens den i liten grad omtaler faren for at stagboringen eller stagplasseringen kan forringe massene rundt staget og på den måten både svekke konstruksjonen det er en del av, samt grunnen under tilstøtende areal.

Dagens beskrivelsestekster er fokusert på teknisk utførelse og krav til produktet. De har i dag mindre fokus på skadeforebygging, men det er kommet inn noen standard poster/prosesser, samt noe tekst, som går direkte på å forebygge skader. Det finnes imidlertid flere veiledninger som langt på vei peker på farene som ligger i ulike utførelser og gir råd om beste praksis. Det er også mange utførelsesstandarder som beskriver riktig framgangsmåte, men dette må videreføres inn i spesiell beskrivelse av den som prosjekterer.

BegrensSkade ser at det er mulig å forbedre dagens praksis for utarbeidelse av teknisk beskrivelse av boring for peler og stag:

- Krav til utførelse og dokumentasjon i NS 3420-G:2008 og Håndbok R762 Prosesskode 2 bør koordineres og være i samsvar for like arbeidsoperasjoner. Dette for å sikre generelt høyere kvalitet og mindre variasjon i fra ulike prosjekt.
- Eksisterende krav og relevant tekst fra de ulike utførelsesstandardene bør legges inn som "veiledning" eller "anbefalt spesiell beskrivelse" for de aktuelle postene/prosessene i NS 3420-G:2008 og Prosesskode 2. Dette kan legges inn i program for beskrivelser, for eksempel "G-prog".
- Beskrivelse bør sette krav til valg av boremetode og prosedyre, f. eks iht. anbefalinger i kapittel 5. Ved fravik fra krav til boremetode og prosedyre kan ansvar for eventuelle skader falle på entreprenør.
- Beskrivelse bør sette detaljerte krav til utførelse for å redusere lekkasje og poretrykkreduksjon ved berg. Det bør settes krav til maksimal lekkasje opp gjennom stag/pel som kriterium for eventuelle tettetiltak, samt maksimal tid fra boring til installasjon av lissestag og/eller pel.
- Beskrivelse bør sette krav til relevant erfaring med metode og grunnforhold, f. eks "Boreleder skal ha minimum 5 års erfaring". Fortrinnsvis bør det settes krav til sertifikat for boring i løsmasser.
- Ved utarbeidelse av beskrivelser og kontrakter bør det også sees på mulighet for at entreprenøren kan få "gevinst" av god utførelse av boring for å redusere risiko for skader og setninger.

## 9 Utførelse av borearbeider

### 9.1 Kompetanse og erfaring på boremannskap

BegrensSkade ser et behov for å innføre kompetansekrav og sertifisering av alt personell som leder og utfører borearbeider for stag og peler. Det er ikke tilstrekkelig å kun øke krav til boreutstyr og metoder, eller å stille generelle kompetansekrav til boreentreprenøren som firma. Her bør entreprenører og byggherrer ta et felles ansvar for å opprette et slikt kompetanse og sertifiseringssystem.

Det er for øvrig ikke byggherrens ansvar å ivareta opplæring av entreprenørens personell dersom det er prosjekt med vanskelige grunnforhold og manglende erfaring og kompetanse hos entreprenør. Byggherrer er normalt ikke bemannet til å ivareta slik funksjon. Det må derfor kunne forventes at entreprenørens operatør har den nødvendige kompetanse til å utføre jobben på en korrekt måte i henhold til de stedlige grunnforholdene og kravene i den tekniske beskrivelsen.

Erfaringer fra nyere byggeprosjekter har vist at de forbedrede borkronene (ref. kapittel 6) som er utviklet i de senere år ikke nødvendigvis er bedre dersom ikke utførelse og prosedyrer er tilpasset grunnforholdene og aktuelle dimensjoner. Utviklingen går for øvrig mot stadig kraftigere ("bedre") borerigger og utstyr. Dette innebærer økende fare for ukontrollert omrøring og utblåsninger i løsmassene, samt innsuging av masser som kan føre til betydelige setningsskader eller i verste fall grunnbrudd. Skal boreoperatør kunne finne den riktige balansen og gjennomføre hele boringen innenfor akseptable grenser krever det at operatøren har kompetanse både på styring av selve riggen og i relasjon til de aktuelle grunnforholdene og geotekniske utfordringene.

### 9.2 Fremdrift og tidsbruk

Observasjoner fra nyere byggeprosjekter (og forsøksfelt) viser at det generelt er stort fokus på høy produksjon ved utførelse av borearbeider. Det har en naturlig sammenheng med prosjekters stramme fremdriftsplaner og dagens oppgjørsform hvor lønnsomhet for boreentreprenør og boreleder i hovedsak avhenger av produksjon og i liten grad av reduksjon av risiko for skader. Boring med for stort fokus på produksjon og høy borsynk øker imidlertid risikoen for uønsket massefortrengning og omrøring i leire, samt ukontrollert utblåsning av trykkluft ved boring i faste masser siden det normalt benyttes større spyletrykk for å øke produksjon. Det er også økt risiko for tetting av spylekanaler i borkrone og generell borkrangel.

I forbindelse med bygging av jernbanestrekningen Sandvika-Asker utførte Baardvik og Braaten (2002) tidsstudier ved boring av foringsrør for stålkernepeler. Studiene viste at det ikke var nevneverdig forskjell på det totale tidsforbruket per meter pel ved å bore raskt (høy borsynk), for det var tiden som gikk med til andre arbeidsoperasjoner som entring, skjøting og rengjøring som var utslagsgivende. Dette viser at det er mulig å utføre selve boringen med lavere borsynk for å redusere risiko for skader uten at det påvirker den totale fremdriften nevneverdig. BegrensSkade anser det som meget viktig at slik informasjon formidles til boreledere og operatører, samt alle parter i et prosjekt (byggherrer, prosjekterende, entreprenører) og legges til grunn for utførelsen.

En annen problemstilling knyttet til fremdrift og tidsbruk i byggeprosjekter er risiko for uønsket drenering/ lekkasje av grunnvann opp langs stag og/eller peler som er installert under grunnvannsnivå. I slike tilfeller er det gunstig å redusere den potensielle lekkasjetiden. Derfor bør det være fokus på tekniske løsninger, metodevalg og reduksjon av tid mellom arbeidsoperasjoner. Dette gjelder spesielt for trange og små byggeplasser der krav til sikkerhetsavstander og logistikk påvirker fremdriften slik at byggeprosjektet blir stående åpen lenger enn "nødvendig". Det går ofte lang tid (dager/uker) fra boring til montering og gysing av stag og stålkjerner. For å begrense mulig senkning av grunnvannsnivå er det

viktig å ha fokus på dette og sette krav til maksimal tid fra boring til ferdigstillelse av stag og pel, eksempelvis maksimalt 2 døgn. Eventuelt kan det iverksettes spesielle tettetiltak som beskrevet i kapittel 5.2.

Valg av metoder kan ha betydning for tidsbruk for borearbeider og bør derfor vurderes. Nye produkter som selvborende stag og peler med gjengeskjøt har færre arbeidsoperasjoner og høyere produksjon per dag.

## 10 Konklusjon

BegrensSkade-prosjektet har samlet inn og sammenstilt store mengder med måledata og erfaringer knyttet til boring av stag og/eller peler fra feltforsøk og en rekke byggeprosjekter. Basert på nærmere analyser av disse måledataene er det utarbeidet anbefalinger for hvordan boring av peler og/eller stag bør beskrives, utføres og dokumenteres for å minske risikoen for at boringen skal gi skader. I det påfølgende beskrives de viktigste konklusjonene med hensyn på å redusere risiko for skader.

Boring som omfatter bruk av luftspyling gir økt risiko for setninger og skader i nærliggende områder. Det bør fortrinnsvis benyttes boremetode som muliggjør boring kun med vannspyling både i bløte og faste løsmasser, samt i berg, eksempelvis vannhammer eller topphammer. Da reduseres risiko for ukontrollert omrøring og utblåsninger i grunnen, samt innsuging av masser rundt borkrone/foringsrør siden det er kontinuerlig vanntrykk i foringsrør (mottrykk). Det er imidlertid per i dag begrensninger i dimensjon opptil  $\varnothing 323$  mm foringsrør (10" hammer) for vannhammer, og  $\varnothing 140$  mm foringsrør for topphammer.

Alternativt kan det vurderes bruk av selvborende stag (topphammer) eller eventuelt reversert sirkulasjon (RC-boring) med eller uten støttevæske. Spyleboring med vann i bløte masser (leire, silt og sand) er en skånsom metode såfremt borsynk og spyletrykk er tilpasset grunnforhold og dimensjoner. Støttevæske kan fortrinnsvis benyttes ved sensitive grunnforhold og stor skaderisiko.

Borsynk må tilpasses dimensjon på boreutstyr og grunnforhold slik at volum av masser som bores ut er tilnærmet likt volumet av foringsrør. For stag og mikropeler ( $\varnothing < 300$  mm) bør borsynk ikke være høyere enn eksempelvis 1 m/min ved boring i leire. For grove peler kan det være nødvendig med enda lavere borsynk. For lav borsynk ( $< 0,5$  m/min) i sensitiv og kvikk leire kan imidlertid føre til økt "overboring" og volumtap dersom det ikke er tilstrekkelig stabiliserende mottrykk fra vannsøyle i foringsrør, eller det benyttes luftspyling.

Ved boring i faste masser med senkhammer og luftspyling bør trykket reduseres til et minimum for å redusere risiko for utspyling og/eller innsuging av løsmasser (fortrinnsvis  $< 8-10$  bar), og maksimalt 15 bar. Trykket er normalt lavere ved større diameter. Nye ringkroner med forbedrede spylekanaler kan benyttes for å redusere negative effekter ved boring. Tradisjonelt eksentrisk boresystem (odex) har flest svakheter og bør derfor unngås i prosjekter der det er risiko for skade på nærliggende konstruksjoner eller ved vanskelige grunnforhold.

Uavhengig av hvilken boremetode som velges er det viktig å være klar over at boring er et håndverk og at borelederens erfaring og kompetanse har avgjørende betydning for å redusere negative effekter og skader. Opplæring og sertifisering av boreledere og operatører er derfor ett tiltak for å begrense skader.

Utførelsen og hvilken borprosedyre som benyttes er avgjørende for et godt resultat. Tekniske beskrivelser bør være mer detaljert og sette krav til utstyr og utførelsen av borearbeider for å redusere risiko for skader. Det bør også omfatte konkrete prosedyrer for utførelse.

Generelt bør boring for stag og/eller peler fra nivå som er under grunnvannsnivå unngås hvis teknisk og økonomisk mulig. For å redusere lekkasje av grunnvann opp langs stag og/eller peler bør det i større grad utføres fortløpende tetting på utsiden av foringsrør ved overgang løsmasser og berg ved egen operasjon. Alternativt bør det vurderes å benytte selv borende stag/peler eller gysing og trekking av foringsrør der tetting utføres fortløpende. Raskere installasjonskapasitet gir kortere byggetid. Dette er særlig viktig ved byggegrøper under grunnvannsnivå som kan lukkes tidligere og dermed reduseres tid for senkning av grunnvannsnivå.

Det er behov for bedre og mer detaljert dokumentasjon fra entreprenørene, samt bedre oppfølging/kontroll fra byggherrer av arbeider som innebærer boring for stag og peler. Det anbefales derfor å innføre automatisk registrering av boreparameter for stag og peler slik som ved geotekniske boringer. Instrumentering bør benyttes i større grad som dokumentasjon av installasjonseffekter fra boring, og for å bedre kontroll/oppfølging av utførelse. Fortrinnsvis kan instrumentering kombineres med prøveboring med aktuell boremetode ved oppstart for å vurdere boremetode og prosedyrer.

## 11 Referanser

Baardvik, G. og Braaten, A. (2002) "Boring av stag og stålkjernepeler i tettbygd strøk – Erfaringer fra nytt dobbeltspor Sandvika – Asker." Foredrag 27 Geoteknikkdagen 2002

Bredenberg, H., Jönsson, M., Isa, R., Larsson, M., Larsson, L.E. (2014)  
"Borrteknik för minimering av marksättningar vid borrad grundläggning." Bygg & Teknik 1/14.

Finnish Road Administration, FINNRA (2003)  
"Instructions for drilled piling. Design and execution guide." ISBN 951-803-027-8

Giske, S. (2015)  
"Borede stålrørspeler i sensitiv geologi", Påldagen 21. mai 2015 Gøteborg.

Ground Engineering (2006)  
"Innovation Feat of Clay", Ground Engineering December 2006.

Haugen, T., Ahmed, T., Olsson, A. og Lande, E.J. (2015)  
DP 4 Dokumentasjon av metoder og tiltak. "E18 Knapstad – Retvet. Erfaringer fra boring av stålrørspeler", datert 20. april 2015.

Helgason, E. (2015)  
DP 4 Dokumentasjon av metoder og tiltak. "Gladengveien 10, Erfaring fra byggegrøp", datert 18. august 2015.

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.



Lande, E.J. (2015)

DP 4 Dokumentasjon av metoder og tiltak. Delrapport 4.1 "Feltforsøk stagboring. Dokumentasjon av effekter ved boring i leire", datert 20. august 2015.

Langford, J., Karlsrud, K., Lande, E.J og Baardvik, G. (2015)

DP 1+2 Erfaringsinnsamling og analyse av skadeårsak. Delrapport 1+2.4 "Vurdering av skader og deformasjoner knyttet til utførelse av stagforankring og borede peler i byggegroper".

National Highway Institute (2005)

"Micropile Design and Construction Guidelines. Publication No. FHWA NHI-05-039". Federal Highway Administration, NHI course 132078, December 2005. (updated and revised version of Publication no. FHWA-SA-97-070 from June 2000.)

Norges Geotekniske Institutt (1964)

"Triaksialforsøk CAU på omrørt Manglerudleire. Fremgangsmåte og resultater." Intern rapport F.264.4, 10. desember 1964.

Norges Geotekniske Institutt (1984)

"Cyclic loading of piles and pile anchors-phase II. Final report". Report 40018-11, july 31. 1984.

Norsk Standard (2008a)

"NS-EN 1997-1:2004+NA:2008 Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering. Del 1: Allmenne regler"

Norsk Standard (2008b)

"NS 3420-F/G:2008 Beskrivelsestekster for bygg, anlegg og installasjoner – Del F Grunnarbeider del 1 og Del G Grunnarbeider del 2"

Norsk Standard (2010)

"NS-EN 1536:2010 Utførelse av spesielle geotekniske arbeider – Borede peler"

Norsk Standard (2013)

"NS-EN 1537:2013 Utførelse av spesielle geotekniske arbeider – Stagforankringer"

Rønning, S. og Haugen, T. (2015)

DP 4 Dokumentasjon av metoder og tiltak. Rapport "SVV Region Midt – Strindheimtunnelen, dagsone vest. Rørspunt Møllenberg", datert 27. mars 2015.

Statens Vegvesen Region Øst (2005)

Teknisk sluttrapport grunnarbeider og fundamentering. Årum – Alvim, ny Sandesund bru E6 i region øst, datert 27. november 2013.

Statens Vegvesen (2014)

"Håndbok R762 - Prosesskode 2, Standard beskrivelse for bruer og kaier. Hovedprosess 8." Vegdirektoratet juni 2014.

<http://www.vegvesen.no/Fag/Publikasjoner/Handboker>

Veslegard, G. og Simonsen, A.S. (2014)

DP 1+2 Erfaringsinnsamling og analyse av skadeårsak. Delrapport 1+2.1 "State of the art boreteknikk", Rev 01, 23. mars 2014.

Veslegard, G. og Simonsen, A.S. (2014)

DP 3 videreutvikling av metoder for å begrense skader. Delrapport 3.1 "Prosedyre for stagboring feltforsøk, Onsøy", Rev. 02, 23. mars 2014.

Øiset, E., Berger, H. og Baardvik, G. (2014)

DP 1+2 Erfaringsinnsamling og analyse av skadeårsak. Delrapport 1+2.3 "Skadebegrensning i eksisterende standarder og veiledninger", Rev 01, datert 21. november 2014.