



# Begrensning av skader som følge av grunnarbeider

Sluttrapport

## Granneloven § 2:

Ingen må ha, gjera eller setja i verk noko som urimeleg eller uturvande er til skade eller ulempe på granneeigedom. Inn under ulempe går òg at noko må reknast for farleg.

I avgjerda om noko er urimeleg eller uturvande, skal det leggjast vekt på kva som er teknisk og økonomisk mogleg å gjera for å hindra eller avgrensa skaden eller ulempa.

# Begrensning av skader som følge av grunnarbeider

## Sluttrapport

Gunvor Baardvik, NGI

Arne Engen, Norconsult

Bjørn Kalsnes, NGI

Kjell Karlsrud, NGI

Einar John Lande, NGI

Jenny Langford, NGI

Arne Simonsen, Multiconsult

Grete Tvedt, Statens vegvesen

Geir Veslegard, Hallingdal bergboring

---

**Revisjon 0**

**Oslo, mars 2016**

## Forord

BegrensSkade er et bransjeomfattende forskningsprosjekt som samlet totalt 23 aktører for å heve kompetansen og minske risikoen for skader i forbindelse med grunn- og fundamenteringsarbeider. Prosjektet er finansiert av Norges forskningsråd innen BIA-programmet (Brukerstyrt innovasjonsarena) og prosjektmedlemmene.

Prosjektet har hatt en unik mulighet til å samle byggherrer, entreprenører, bore- og spesialentreprenører, konsulenter og forskningsinstitutt og universitet, for å samle erfaringer fra ulike aktører og bidra med en økt felles forståelse for problemstillingen. I tillegg er det representanter fra forsikringsselskap og eiendomsselskap.

### Følgende bedrifter har bidratt finansielt til prosjektets gjennomførende:

<i>Norconsult (prosjekteier)</i>	<i>Brødrene Myhre</i>
<i>Norges geotekniske institutt</i>	<i>Entreprenørservice</i>
<i>Multiconsult</i>	<i>Kynningsrud fundamentering</i>
<i>Rambøll Norge</i>	<i>Fundamentering AS</i>
<i>Geovita</i>	<i>Züblin Norge</i>
<i>Sweco</i>	<i>Statens vegvesen</i>
<i>NCC Construction</i>	<i>Jernbaneverket</i>
<i>Skanska Norge</i>	<i>Rom eiendom</i>
<i>Veidekke entreprenør</i>	<i>Finans Norge</i>
<i>Hallingdal bergboring</i>	<i>Sintef Byggforsk</i>
<i>Nordisk fundamentering</i>	<i>NTNU</i>
	<i>Seierstad Pelemaskiner</i>

### Arbeidet har omfattet fem delprosjekter, hver med sin delprosjektleder:

1. DP1+2 Kartlegging av årsaker til skader – Anders Eknes, Norconsult og Jenny Langford, NGI
2. DP3 Videreutvikling av metoder for å begrense skader – Arne Schram Simonsen, Multiconsult
3. DP4 Dokumentasjon av nye metoder – Einar John Lande, NGI
4. DP5 Verktøy for risikovurdering – Bjørn Kalsnes, NGI
5. DP6 Forbedret samhandling i BA-prosessen – Grete Tvedt, Statens Vegvesen

Denne rapport oppsummerer resultatene fra prosjektet og gir retningslinjer og tiltak for å redusere risiko for skader ved grunnarbeid, knyttet til planlegging, prosjektering og gjennomføring. I tillegg er det publisert 24 delrapporter som er listet i sammendraget av denne rapporten. Alle rapporter er tilgjengelige på <http://www.ngi.no/no/Prosjektnett/BegrensSkade/>.

Oslo, mars 2016

**Arne Engen**  
*Norconsult, Prosjektleder*

**Jenny Langford**  
*NGI, Prosjektleder*



## Sammendrag

Bakgrunnen for forskningsprosjektet BegrensSkade er at det ofte oppstår uventede og uønskede skader på naboeiendommer og nærliggende infrastruktur, som følge av grunn- og fundamenteringsarbeider. I dag er det forsikringsselskaper, byggherrer (private og offentlige), entreprenører og konsulenter som må bære kostnadene for skader som oppstår. Årsaker til skader er ofte en kilde til konflikter som krever mye tid og ressurser og som kan ende opp som skadesaker i retten, hvor ikke bare sakspartene må betale en pris, men hvor samfunnet betaler sluttregningen.

Grunn- og fundamenteringsarbeider påvirker omgivelsene og det er nødvendig at konsekvensen av arbeidene vurderes for å kunne planlegge og iverksette eventuelle tiltak. Krav i Eurocode sikrer prosjektering av konstruksjoner med tilstrekkelig sikkerhet. I tillegg må skadepotensiale grunnet installasjonsmetoder for spunt, peler og stag vurderes i prosjekteringsfasen. Kartleggingen som er utført i BegrensSkade-prosjektet viser at installasjonseffekter vanligvis ikke vurderes i tilstrekkelig omfang eller trolig undervurderes.

Risiko for å få skader på naboeiendom som følge av grunnarbeid avhenger av mange faktorer. Valg av type bygg og fundamenteringsmåte, grunnforhold og spesielt marginen til leirens forkonsolideringstrykk, massenes sensitivitet, hydrogeologi og poretrykksnivåer, dybde av byggegroppen (antall kjellernivå), valg av utførelsesmetode, hvilken prosedyre som entreprenøren benytter og byggetid er eksempler på variabler som påvirker tilstøtende arealer til et byggeprosjekt. I tillegg vil forståelsen for problemstillingen, avhengig av kompetanse og erfaring, hos de innblandede aktørene (byggherre, rådgiver, entreprenør og underentreprenør) spille avgjørende rolle for prosjektet. Utover dette vil kommunikasjon og samarbeid styres av de kontrakter og de økonomiske rammer som aktørene arbeider under.

Denne sluttrapporten for prosjektet BegrensSkade oppsummerer resultater fra de ulike delprosjektene og består av følgende hoveddeler:

- Vurdering av skadegrenser
- Kartlegging og vurdering av skadeårsaker
- Utprøving og forslag til forbedrede boremetoder og –prosedyrer
- Verktøy for risikovurdering
- Forbedret samhandling i bygg- og anleggsprosessen

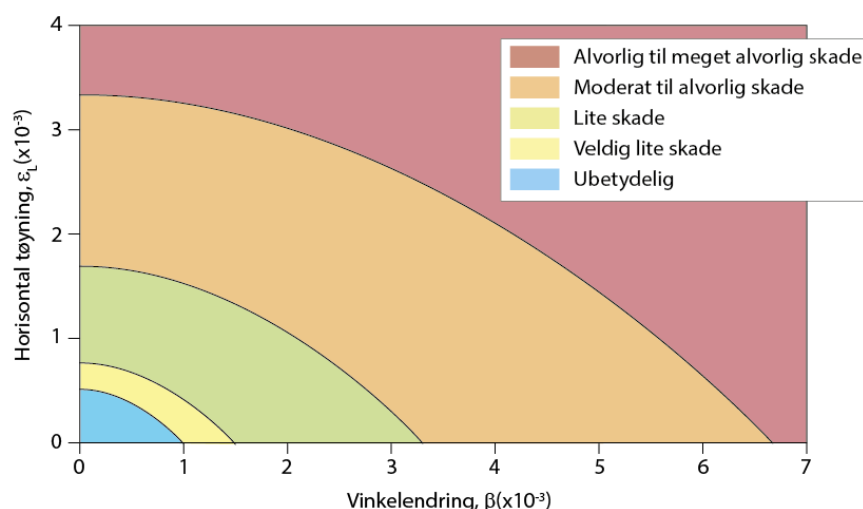
I det etterfølgende er de viktigste konklusjonene og anbefalingene for de ulike temaene oppsummert. Hovedkonklusjonen fra prosjektet er også oppsummert i kapittel 7.

### Vurdering av skadegrenser

Det har vært en klar utvikling fra enkle skadekriterier på bygningskonstruksjoner knyttet opp mot kun differensialsetning, til å ta inn det komplette setningsbildet og hvordan det varierer under et bygg, samt ikke minst også å få med hva som skjer når bygget også utsettes for differensielle horisontale deformasjoner, det vil si horisontale tøyninger i konstruksjonen. Figur 1 etter Son & Cording (2005) viser et eksempel på skadekategorier definert ut fra en kombinasjon av vinkelendring og horisontal tøyning.

Det er verd å merke seg at horisontale tøyninger kan oppstå både som direkte følge av forventede skjærtøyninger og horisontaldeformasjoner som følge av uttak av en byggegrop, men mindre påaktet har det kanskje vært at også konsolideringssetninger utløst i grunnen kan utløse horisontale deformasjoner.

Type bygningskonstruksjon har også betydning for hvor alvorlige skader som oppstår. I denne sammenheng er det ikke overraskende at rene murbygg og elementbygg er mer utsatt enn bygg der alle bærende konstruksjonselementer er i stål eller armert betong. Bygg som er lange og lave er også generelt mer utsatt for skade enn høye og smale bygg. Bygg fundamentert på peler kan få betydelige skader som følge av påhengslaster utløst av setninger i grunnen, og horisontale deformasjoner mot en byggegrop. I begge sammenhenger er bygg på betongpeler langt mer utsatt enn bygg på stålpeleler.



Figur 1. Skadeklasser basert lateral tøyning  $\epsilon_L$  og vinkelendringen,  $\beta$ , foreslått av Son and Cording (2005).

### Kartlegging og vurdering av skadeårsaker

Innen rammen for BegrensSkade er det gått igjennom omfattende erfaringsdata basert på dokumentasjon fra eldre prosjekter, samt nye prosjekter som er blitt utført i løpet av FoU-prosjektet, for å vurdere skadeårsaker (kapittel 3). Konklusjonen fra arbeidet er at det er vanlig at registrerte deformasjoner overskrider estimert deformasjon og de viktigste faktorene som har gjort at setningene på terreng og nærliggende bygg/konstruksjoner er blitt vesentlig større enn forventet er kort oppsummert som følger:

1. Det er anvendt spuntvegg avstivet med utvendige stag forankret i berg (i motsetning til innvendig avstivning). Setningspotensialet (utover forventet) øker tydelig med antall stager og med dybden det bores fra i forhold til terreng og ytre grunnvannstand.
2. Alle undersøkte tilfeller der det er installert borede peler fra traubunn. Også i denne sammenheng øker potensialet for uventede setninger med dybden under terreng det bores fra og antall peler som bores. Det synes også å være større potensiale for setninger der det bores peler inntil en spuntvegg som ikke går ned til berg, slik at boringen direkte kan påvirke leira på utsiden av byggegropen.
3. Alle byggegropen som kommer i nær kontakt med berg har potensiale for å skape grunnvannsslekasje opp gjennom berget og derved poretryksreduksjon og setninger. Dette forsterker de forannevnte negative konsekvenser av lekkasje knyttet til boring for stag og peler.

Ut fra foreliggende dokumentasjon fra de byggegropene som er behandlet er det ikke så enkelt å skille klart i hvilken grad de ulike faktorene har påvirket. I de aller fleste tilfellene synes imidlertid effekten av innlekkasje av grunnvann på poretrykk å være en gjennomgående faktor med relativt sett stor betydning. I sammenstillingen av data er det observert påvirkning av poretrykk på 300-400 m avstand fra byggegropen.

Setningsbidragene som skyldes poretrykksreduksjon og konsolideringssetninger som følge av drenering direkte inn i byggegropen og eller lekkasje opp langs borede peler og stag, lar seg rimelig godt beregne på grunnlag av konvensjonell konsolideringsteori hvis poretrykksreduksjonen er kjent eller kan anslås og leiras setningsegenskaper er godt bestemt. Setninger som følge av en gitt poretrykksreduksjon blir klart størst når overkonsolideringsgraden er minst og nærmer seg 1,0, slik det kan være i oppfylte områder.

De setningsgivende effekten av boring i form av "overboring" og forstyrrelse/rekonsolidering kan være betydelig, men er vanskeligere å anslå. Effekten er både sterkt avhengig av grunnforhold, boremetode og operatør av boreriggen. Potensialet for både overboring og forstyrrelse av leira rundt et borehull øker med økende sensitivitet, og kan gi spesielt store konsekvenser ved uforsiktig boring.

Det har også vist seg at man lett får ekstra utspyling/massetap når det er tykkere lag av silt- eller sandholdige masser i overgangen mellom leire og berg. Potensialet for poretrykksreduksjon øker også generelt hvis det er gjennomgående lag av silt-, sand- eller grusholdige masser i overgangen til berg eller høyere opp i leiravsetningen.

For å kunne begrense eller unngå uventede/uønskede setninger må metoder og tiltak for grunn- og fundamenteringsarbeider vurderes i alle prosjektfaser (forprosjekt-, detaljprosjekt- samt bygg/anleggfase).

Det er registrert at det er vanlig at grunn- og fundamenteringsarbeider ikke følges opp med instrumentering og overvåking. Det finnes per dags dato ikke krav til målinger av poretrykk og deformasjoner ved grunn og fundamenteringsarbeider.

### **Utprøving og forslag til forbedrede boremetoder og -prosedyrer**

I BegrensSkade er det spesielt fokusert på effekter av boring av stag og peler og hvordan deformasjoner som følge av boringen kan begrenses. Prosjektet har samlet inn store mengder med måledata og erfaringer knyttet til boring av stag og/eller peler fra feltforsøk samt en rekke byggeprosjekter.

De viktigste mekanismer som medfører uventede konsekvenser av boring for stag eller peler kan kort beskrives som:

- "Overboring" (uttak av mer masse enn volum av borestrengen)
- Forstyrrelse av leira og etterfølgende konsolidering/volumtap i den forstyrrede leira
- Reduksjon av poretrykk med etterfølgende konsolideringssetninger

Sammenstillingen av data viser at valg av boremetode og prosedyre har stor betydning for hvilke deformasjoner som oppstår. I kapittel 4 er det gitt anbefalinger til beskrivelse og utførelse av boring ved ulike boremetoder og prosedyrer. I tillegg er det gitt anbefalinger til oppfølging, dokumentasjon og kontroll av arbeidene, med fokus på å redusere risiko for skader.

For å redusere risikoen for setninger anbefales følgende med hensyn til valg av metode og prosedyre (utdypet i kapittel 4):

- Vurdere løsninger som ikke omfatter boring (i.e. innvendig avstiving av spunt samt rammede peler)
- Unngå eller begrense bruk av luftspyling ved boring (hvis teknisk mulig)
- Hvis det bores med luftdreven senkhammer bør det benyttes ring- og borekroner utformet for å redusere negative effekter
- Bruke boring basert på "reversert sirkulering" (RC-boring) med oppsamling og kontroll av volum returmasser
- Tilpassing av borsynk til grunnforhold
- Tilpassing av spyletrykk og volum til grunnforhold
- Kontrollere at det er kontinuerlig transport opp av returmasser under boringen
- Oppfylling av vann i foringsrør før stopp i boring for å unngå tetting av borekroner
- Begrense/minimere innlekkasje, samt fokus på tiltak for tetting, for å minske risiko poretrykkssenking

Gode og detaljerte tekniske beskrivelser der valg av boremetode og utførelse er tilpasset grunnforhold og skaderisiko er i stor grad avgjørende for å sikre et godt resultat og for å begrense deformasjoner. Dagens beskrivestekster i NS3420 og Prosesskode 2 er fokusert på teknisk utførelse og krav til produktet, men har liten fokus på skadebegrensning som følge av boringen. Det finnes anbefalinger til utførelse i veiledninger og utførelsestandarder, men det er den prosjekterende som er ansvarlig for å angi spesifikke krav til utførelsen i den spesielle beskrivelsen. Det er en forutsetning at de krav som defineres i beskrivelsen er gjennomførbare, målbare og mulig for entreprenøren å prise.

Det er behov for bedre og mer detaljert dokumentasjon av for å kontrollere at utførelse er slik som beskrevet og med tilfredsstillende kvalitet. For å forbedre dokumentasjonen anbefales det at krav til automatisert logging av relevante borparametere innføres for boring av stag og peler, i prosjekter hvor det stilles strenge krav til omgivelsespåvirke.

I prosjekter hvor det er strenge krav til deformasjoner eller stor risiko forbundet med å bore kan det være aktuelt å utføre en prøveboring for å vurdere om valgt metode og prosedyre er tilfredsstillende. Dette er gjennomført i flere prosjekt av Statens vegvesen med vellykkede resultat.

Det er i BegrensSkade kartlagt at det er behov for å innføre kompetansekrav og sertifisering av personell som leder og utfører borearbeid for stag og peler. Dagens praksis er preget av stor variasjon i kompetanse og forståelse av konsekvenser ved boring i ulike grunnforhold. I tillegg prises borearbeider vanligvis med enhetspriser for hvert enkelt stag eller pel. Denne prising belønner rask utførelse av store volum, og er lite forenlig med å unngå uheldig påvirkning fra økt trykk fra boring, spesielt med luft.

### Verktøy for risikovurdering

Vurdering av størrelse på forventede deformasjoner og setninger knyttet til grunnarbeider utføres i byggeprosjekter i dag og resultater presenteres i rapporter og tekniske notater. Men, det utføres skjelden noen systematisk risikovurdering knyttet til grunnarbeid. En mer systematisk bruk av risikovurderinger i prosjekter hvor det er potensiale for skader på naboeiendom, i samtlige prosjektfaser (forprosjekt, detaljprosjekt og utførelsesfasen) vil kunne minske risiko for skader.





utført grove vurderinger av løsninger. Når et bedre prosjekteringsgrunnlag foreligger kan det være vanskelig å få igjennom kostbare og mer robuste løsninger. Det er derfor viktig å utføre mer omfattende og relevante forundersøkelser i en tidlig fase for å kunne estimere realistiske kostnader.

Ønske om rask framdrift og bygging kan også presse fram metoder som ikke er gunstige i forhold til skadepotensiale, for eksempel bruk av forankringsstag for spunt istedenfor innvendig avstiving, for å forenkle for armerings- og betongarbeider.

## Innhold

<b>Forord</b>	<b>4</b>
<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>Innhold</b>	<b>11</b>
<b>1 Innledning</b>	<b>13</b>
1.1 Bakgrunn	13
1.2 Målsetning	14
1.3 Organisering	15
1.4 Innhold i sluttrapporten	16
<b>2 Skadegrenser</b>	<b>17</b>
<b>3 Oppsummering og vurdering av skadeårsaker</b>	<b>19</b>
3.1 Innledning	19
3.2 Byggegroper og skadeproblematikk	20
3.3 Kartlegging av skadesaker	24
3.4 Erfaringer fra byggegroper hvor det er utført boring av peler og/eller stag	25
3.5 Konklusjoner og anbefalinger	32
3.6 Erfaringer av uønskede effekter ved ramming av spunt og peler	36
<b>4 Utprøving og videreutvikling av boremetoder</b>	<b>39</b>
4.1 Bakgrunn og hensikt	39
4.2 Uønskede effekter ved boring	39
4.3 Erfaringer fra feltforsøk	46
4.4 Erfaringer fra nye byggeprosjekter	49
4.5 Anbefalinger vedrørende boring	53
4.6 Forbedret dokumentasjon og kontroll av borearbeider	62
4.7 Tekniske beskrivelser for boring	66
4.8 Utførelse av borearbeider	67
<b>5 Verktøy for risikovurdering</b>	<b>69</b>
5.1 Innledning	69
5.2 Metodikk	70
5.3 Risikometode utviklet i BegrensSkade	73
5.4 Eksempel på gjennomføring av risikohåndtering i byggeprosjekt	80
5.5 Workshop – feiltreanalyse	81
<b>6 Forbedret samhandling i bygg- og anleggsprosessen</b>	<b>85</b>
6.1 Standarder og regelverk for anskaffelse av entrepriser og rådgiveravtaler	86
6.2 Entreprise- og kontraktsformer	89
6.3 Fordeling og håndtering av risiko	91
6.4 Utførelsesstandarder	93
6.5 Samhandling og tillit	94

6.6	Kommunikasjon	95
6.7	Tekniske hjelpemidler	98
6.8	Oppsummering av faktorer som påvirker samhandling	100
6.9	Forslag til tiltak	106
<b>7</b>	<b>Konklusjoner og anbefalinger</b>	<b>109</b>
7.1	Hovedkonklusjoner i BegrensSkade-prosjektet	109
7.2	Generelt om skadebegrensning	110
7.3	Skadebegrensning med fokus på boring for stag og peler samt drenasje til byggegrop	110
7.4	Håndtering av risiko	111
7.5	Samhandling, fremdrift og økonomi	111
7.6	Bransjeutfordringer	112
<b>8</b>	<b>Forslag til videre arbeid</b>	<b>114</b>
8.1	Overordnede endringer i lovverket	114
8.2	Risikovurdering for påvirkning	114
8.3	Kompetansehevning i bransjen	114
8.4	Felles opplæring og sertifiseringsordning for boreledere	114
8.5	Revisjon av anbudsbeskrivelser	114
8.6	Byggegruppsveileder	115
8.7	Veileder for stålkjernerpeler	115
8.8	Videre uttesting av boremetoder i full skala	116
8.9	Hydrogeologisk kompetanse	116
<b>9</b>	<b>Referanser</b>	<b>117</b>
	Miljøverndepartementet. 2009. Forskrift om konsekvensutredninger	119

## Vedlegg

Vedlegg A	Oversikt delrapporter
-----------	-----------------------

# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn

Forskningsprosjektet BegrensSkade startet 2012 etter initiativ fra NGI til søknad om forskningsmidler fra Norges Forskningsråd. Søknaden ble støttet fra mange aktører i bransjen. Prosjektet har en bred tilslutning fra den norske BA-bransjen med 23 partnere, med representanter fra alle aktører (bygghefter, entreprenører, underentreprenører, rådgivere, eiendoms- og forsikringsselskaper samt forskningsinstitutt og universitet).

Bakgrunnen for forskningsprosjektet BegrensSkade er at det ofte oppstår uventede og uønskede skader på naboeiendommer og nærliggende infrastruktur, som følge av grunn- og fundamenteringsarbeider. I dag er det forsikringsselskaper, bygghefter (private og offentlige), entreprenører og konsulenter som må bære kostnadene for skader som oppstår. Årsaker til skader er ofte en kilde til konflikter som krever mye tid og ressurser og som kan ende opp som skadesaker i retten, hvor ikke bare sakspartene må betale en pris, men hvor samfunnet betaler sluttregningen.

Foruten å unngå de store, praktiske ulempene for de som blir utsatt for skadene, ligger det et betydelig potensiale i å videreutvikle utførelsesmetoder og forbedre prosedyrer for å unngå eller begrense slike skader innenfor bygge-, anleggs- og eiendomsbransjen. Forbedret utførelse gir besparelse ved redusert antall skader, raskere gjennomføring, mindre forsinkelser og færre tvistesaker.

### 1.1.1 *Utfordringer knyttet til grunn- og fundamenteringsarbeider*

I tillegg til direkte skader knyttet til utførelse av grunnarbeider, er det ikke uvanlig at det oppstår forsinkelser og overskridelse av budsjett som følge av geotekniske utfordringer. I tillegg er det innen bransjen identifisert mangel på geoteknisk kompetanse. I det siste er det også vært stor fokus på samhandling, samt ineffektiv planlegging og gjennomføring av prosjekter. I Figur 1-1 er eksempel på overskrifter fra artikler i Aftenposten og Byggeindustrien som angår grunnarbeid i løpet av det siste året.



**Enorme synkehull oppsto da Vegvesenet bygget bru i kvikkleire på E18**

**På synkende grunn**

**- Rådgiverne må skjerpe seg innen geoteknikk**

**«Det som kunne gå galt ser ut til å ha gått galt»**

**«Det lå noe skjult i grunnen»**

Forklaringene på tids- og budsjettsprekker

**Synkehull i Drammen**

**Finnes ikke nok erfarne geoteknikere**

**Krever millionerstatning etter omfattende skader på Oslo S**

Figur 1-1. Eksempel på overskrifter til artikler i Byggeindustrien og Aftenposten 2014-2015.

### 1.1.2 Kostnader knyttet til skader og feil i forbindelse med grunnarbeider

I Sverige har SGI (Statens geotekniske institutt) utført et litteraturstudium for å vurdere hvor store kostnader som årlig skyldes skader ved geotekniske arbeider (SGI, 2013). Basert på studier i Sverige og Norge er skadekostnader i bygge- og anleggsprosjekt vurdert til ca. 10% av den totale projektkostnaden. Av skadene er det vurdert at ca. 1/3 er relatert til grunnarbeider. I Sverige gir det at skadekostnaden relatert til geotekniske arbeider årlig beregnes til 9 milliarder svenske kroner. I vurderingen er det ikke tatt hensyn til at det sannsynligvis er enda større feil knyttet til geotekniske arbeider, grunnet at skader og feil kan oppstå lang tid etter prosjektets ferdigstilling, og dermed ikke rapporteres. Tallene tilsier at det er et stort potensiale for kostnadsbesparelser innenfor bygge- og anleggsbransjen dersom skaderisikoen knyttet til grunnarbeider reduseres.

## 1.2 Målsetning

BegrensSkade har hatt som mål å videreutvikle utførelsesmetoder og forbedre samhandlingsprosesser, for å begrense skader som kan tilbakeføres til grunn- og fundamenteringsarbeider innenfor bygg- og anleggsbransjen. I prosjektet er det sett på hele kjeden av årsaker og forbedringsmuligheter fra prosjektering av grunn- og fundamenteringsarbeider til utførelse og oppfølging.

Prosjektet fokuserer på uventede setninger og skader som kan forårsakes av valgt metode for gjennomføringen av ulike typer fundamenteringsarbeider. Dette gjelder primært arbeider som er knyttet til boring for peler og stag, installasjon av rammede peler, og utførelse av dype byggegroper. Prosjektet tar ikke for seg mer forutsigbare setninger og skader knyttet til prosjektering, herunder valg av prinsipper for fundamentering eller utførelse av en byggegrop.

Bildene i Figur 1-2 viser noen eksempler på skader utløst av uventede store setninger. Sammenheng mellom setninger og skader på bygningskonstruksjoner er oppsummert i Kapittel 2.



Figur 1-2. Eksempel på setningsskader (venstre bilde: NGI, høyre bilde: SBV-consult).

Det er prioritert syv delmål i prosjektet som vil lede frem til hovedmålet:

1. Finne frem til skadeårsaker som følge av ulike former for fundamenteringsarbeider
2. Finne ut hvorfor det noen ganger går overraskende bra under ellers vanskelige forhold
3. Utvikle og dokumentere nye metoder og tiltak som kan begrense skader
4. Utarbeide retningslinjer (best praksis) for å unngå eller begrense skader i fremtiden
5. Utvikle verktøy for risikovurdering og valg av optimal løsning
6. Forbedre samhandling i bygg- og anleggsprosessen, inkludert samhandling mellom byggherre, rådgiver, entreprenør og de som utfører arbeidet
7. Øke kompetansen på alle nivåer på hvordan bygg- og anleggsvirksomhet påvirker grunnen

### 1.3 Organisering

Arbeidet i BegrensSkade har blitt gjennomført innen fem delprosjekter:

1. DP1+2 Kartlegging av årsaker til skader
2. DP3 Videreutvikling av metoder for å begrense skader
3. DP4 Dokumentasjon av nye metoder
4. DP5 Verktøy for risikovurdering
5. DP6 Forbedret samhandling i BA-prosessen

Innen delprosjektene er det totalt blitt publisert 17 delrapporter og 7 rapporter fra oppfølging av byggeplasser. Vedlegg A viser liste over samtlige rapporter.

## 1.4 Innhold i sluttrapporten

Denne sluttrapporten for prosjektet er delt inn i fem hovedkapittel, som oppsummerer konklusjonene fra de fem delprosjektene i BegrensSkade.

I kapittel 2 er kriterier for vurdering av skadegrenser presentert.

I kapittel 3 er det presentert kartlegging av skadeårsaker basert på en spørreundersøkelse sendt til samtlige prosjektpartnere. Det er også oppsummert vurderinger av skadeårsaker sammen med anbefaling av tiltak for å redusere skaderisiko, ved valg av løsninger og prosjektering av avstivede byggegrøper.

I kapittel 4 er det fokusert på borede løsninger for forankringsstag og peler, som potensielt kan forårsake skader. Det er presentert effekter av boring basert på et fullskala feltforsøk, samt oppfølging av byggeprosjekter innen rammen for BegrensSkade. Det er også presentert forskjellige boremetoder med fordeler og ulemper relatert til risiko for skader, sammen med forslag til forbedrede prosedyrer og tiltak for å begrense risiko for skader.

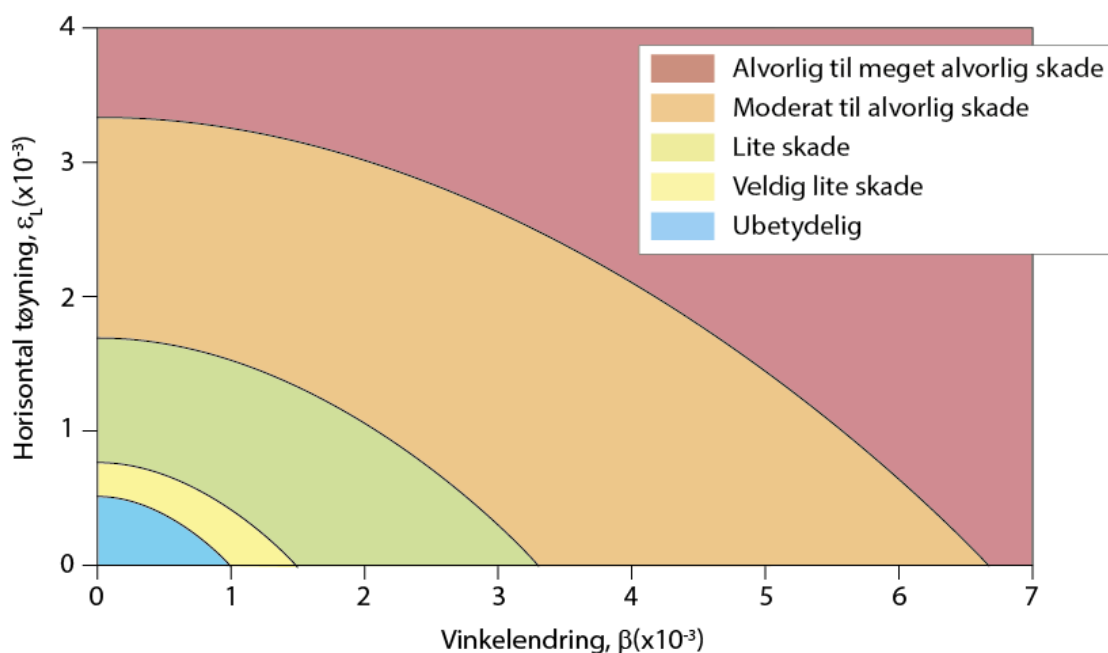
Kapittel 5 omhandler bruk av risikovurderinger i bygg- og anleggsprosjekter. Det er presentert et risikoverktøy som anbefales brukt i alle prosjekter hvor det er risiko for å påføre tredje part kostnader som følge av skade. Verktøyet kan brukes i tidlig fase ved valg av optimal løsning samt i prosjekteringsfasen og utførelsesfasen for å identifisere behov for tiltak og følge opp planlagte arbeider.

Kapittel 6 omhandler samhandling og hvordan denne påvirker kvalitet, økonomi og risiko for skader. Det er fokusert på eksisterende lovverk og kontrakter, samt hvordan disse påvirker prosjektet med hensyn til samarbeid og kvalitet. Det er oppsummert resultater fra et intervjustudium, hvor samhandling og suksess i fire forskjellige bygg- og anleggsprosjekter med ulike kontraktstyper er analysert. Til sist er det spesifikt sett på opplæring av boreleder som utfører installasjon av forankringer og peler, samt hvordan dette arbeidet påvirker potensielle skader.

Til sist er konklusjoner fra de forskjellige avsnittene trukket sammen for å komme med anbefalinger til hvordan risiko for skader kan reduseres og forebygges i forbindelse med grunn- og fundamenteringsarbeider. Det er også gitt forslag til videre arbeide innen temaet.

## 2 Skadegrenser

BegrensSkade-rapport delrapport 2.5 *Metoder for vurdering av skader på bygninger som følge av deformasjoner i grunnen* (Karlsruud, 2015), tar for seg hvilke deformasjoner i grunnen som kan medføre skader av ulik alvorlighetsgrad på bygningskonstruksjoner. Dette er utelukkende basert på skadekriterier som har vært utviklet internasjonalt over lang tid. Det har vært en klar utvikling fra enkle skadekriterier knyttet opp mot kun differensialsetning til å ta inn det komplette setningsbildet og hvordan det varierer under et bygg, samt ikke minst også å få med hva som skjer når bygget også utsettes for differensielle horisontale deformasjoner, det vil si horisontale tøyninger i konstruksjonen. Figur 2-1 etter Son & Cording (2005) viser et eksempel på skadekategorier definert ut fra en kombinasjon av vinkelendring og horisontal tøyning.



Figur 2-1. Skadeklasser basert lateral tøyning  $\epsilon_l$  og vinkelendringen,  $\beta$ , foreslått av Son and Cording (2005).

Effekt av horisontale tøyninger har vært lite fokusert i Norge til nå. Det er verd å merke seg at dette kan oppstå både som direkte følge av forventede skjærtøyninger og horisontaldeformasjoner som følge av uttak av en byggegrop, men mindre påaktet har det kanskje vært at også konsolideringssetninger utløst i grunnen kan utløse horisontale deformasjoner som varierer med avstand fra en byggegrop og derved forårsaker horisontale tøyninger i et bygg som blir berørt.

Type bygningskonstruksjon har betydning for hvor alvorlige skader som oppstår. I denne sammenheng er det ikke overraskende at rene murbygg og elementbygg er mer utsatt enn bygg der alle bærende konstruksjonselementer er i stål eller armert betong. Bygg som er lange og lave er også generelt mer utsatt for skade enn høye og smale bygg.

Bygg fundamentert på leire har tendens til å tåle mer deformasjoner enn bygg på sand. Dette antas å ha delvis sammenheng med at setninger ofte utvikler seg saktere for bygg på leire enn på sand, noe som gjør at bygget får mer tid til å tilpasse seg deformasjonene gjennom kryp og plastiske deformasjoner.

Bygg fundamentert på peler kan få betydelige skader som følge av påhengslaster utløst av setninger i grunnen, og horisontale deformasjoner mot en byggegrop. I begge sammenhenger er bygg på

betongpeler langt mer utsatt enn bygg på stålpeler. Dette fordi betongpeler har større overflateareal i forhold til aksiell bæreevne enn en stålpel, det vil si at påhengslaster relativt sett vil gi et vesentlig større bidrag til last i pelen enn for en stålpel. Betongpelers momentkapasitet er også vesentlig mindre enn stålpelers og fører lettere til overbelastning hvis de blir utsatt for horisontalforskyvninger enn hva tilfellet vil være for en stålpel.



### 3 Oppsummering og vurdering av skadeårsaker

#### 3.1 Innledning

Et bygg- eller anleggsprosjekt starter vanligvis med at det utføres grunnundersøkelser som tolkes for å beskrive jordens egenskaper i det aktuelle området. Videre utføres prosjektering av løsninger ved at det etableres en regnemodell som modellerer jordens egenskaper samt samvirke med konstruksjonselementer som stag, peler og spunt. Med de beregningsverktøy og modeller som vanligvis brukes er det mulig å beregne størrelse på forventede deformasjoner, og hvilke spenninger og krefter som vil oppstå i de ulike konstruksjonselementene. Slike beregninger tar normalt ikke hensyn til mulige effekter av installasjonen av konstruksjonselementene (peler, stag og spunt) kan ha for grunnens oppførsel. Disse vurderinger må gjøres separat basert på erfaringer med ulike tekniske løsninger.

Når grunnarbeidene starter, er det ikke uvanlig at setninger i byggefasen overskrider forventede setninger som er estimert ved prosjekteringen av løsninger.

I vurdering av årsaker til skader eller uventet store deformasjoner har BegrensSkade spesielt fokusert på utførelse av (dype) byggegropen i leire og bruk av stagforankring eller installasjon av stålkernepeler eller borede stålørspeler fra bunnen av byggegropen. Disse installasjonseffektene kan bidra til at de totale deformasjonene blir større enn beregnet og bidrar til at omgivelsene (nabobygg, konstruksjoner og infrastruktur) blir påført skader. Per i dag er det manglende kunnskaper i bransjen om hvilke installasjonseffekter som oppstår, og om hvilke metoder som bør velges for å oppnå beste resultat ved forskjellige grunnforhold. I tillegg er det sett på grunnvannsløkkasje direkte gjennom og inn under spuntvegg eller opp gjennom blottlagt bergoverflate i bunn av gropen og konsekvenser av dette ved poretryksreduksjon og setninger. Til slutt i kapittelet er det også oppsummert noen erfaringer med skader utløst av ramming av peler og spunt.

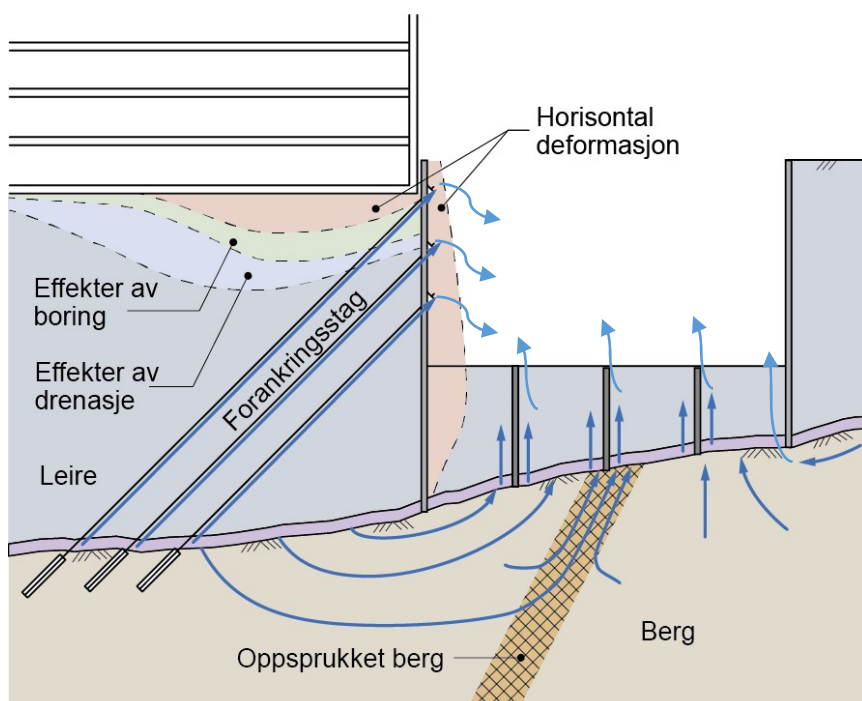
Det er benyttet følgende grunnlagsmateriale:

- Delrapport 1+2.2, *Rapportering av skadesaker og vurdering av skadeårsaker* (Eknes, A. Ø., Lund A. K. & Langford, J., 2014), hvor det er utført en kartlegging av skadeårsaker basert på en spørreundersøkelse innen BegrensSkade-prosjektet og resultatene er oppsummert i kapittel 3.3, 3.4 og 3.5.
- Delrapport 1+2.4, *Vurderinger av skader og deformasjoner knyttet til utførelse av stagforankring og borede peler i byggegropen* (Karlsruud, K., Langford, J., Lande, E.-J., Baardvik & G., 2015), hvor det er vurdert skadeårsaker for 17 byggegropen basert på målinger og informasjon om utførelsen og resultatene er oppsummert i kapittel 3.2
- Delrapport 3.3, *Effekter av rammede peler i leire – litteraturstudie og erfaringsrapport* (Langford, J. & Sandene, T., 2015), hvor det er oppsummert erfaringer av effekter av massefortrengning samt mulige tiltak for å begrense effektene og resultatene er oppsummert i kapittel 3.6.
- Delrapport 3.2, *State of the art – Pele- og spuntramming* (Rønning, S. & Imset, T., 2015), oppsummerer tilgjengelige peletyper og rammeutstyr for å beskrive praksis med ramming, med fokus på redusering av risiko for skader og resultatene er oppsummert i kapittel 3.6.

## 3.2 Byggegroper og skadeproblematikk

De tre viktigste årsakerne til forventede deformasjoner som følge av avstivede byggegroper i leire er som illustrert i Figur 3-1:

- Horisontalforskyvning av spuntvegg eller annen støttekonstruksjon som anvendes. Slike deformasjoner er utløst av økede skjærspenninger og tilhørende skjærtøyninger i leira under konstant volum.
- Byggegropens drenerende virkning, det vil si reduksjon av poretrykk som oftest skjer ved overgangen til berg, og som over tid utløser konsolideringssetninger (volumreduksjon) i leira. Setninger som skyldes lekkasje og poretrykksreduksjon vi kunne ha en helt annen utbredelse enn hva som skyldes horisontalforskyvning av støttekonstruksjonen.
- Effekter av boring for stag og/eller peler. Denne problemstillingen er spesiell belyst i kapittel 4 i denne rapport.

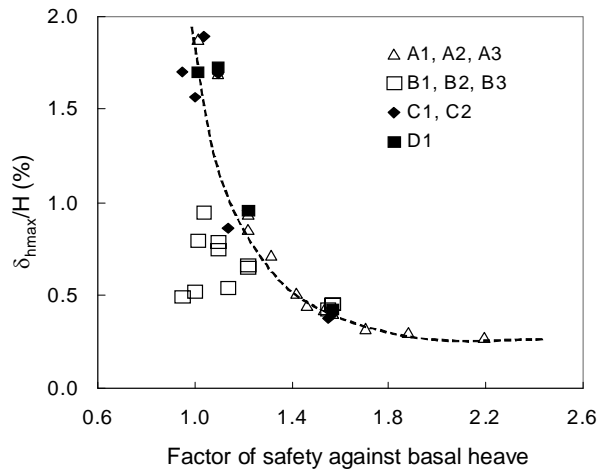


Figur 3-1. Illustrasjon av årsaker til forventede deformasjoner i forbindelse med byggegroper. Effekter av horisontalforskyvning av spuntvegg og av drenering må forventes og kan estimeres. I tillegg kan det forventes setninger som følge av boring.

### 3.2.1 Skjærinduserte deformasjoner som følge av spuntens horisontalforskyvning

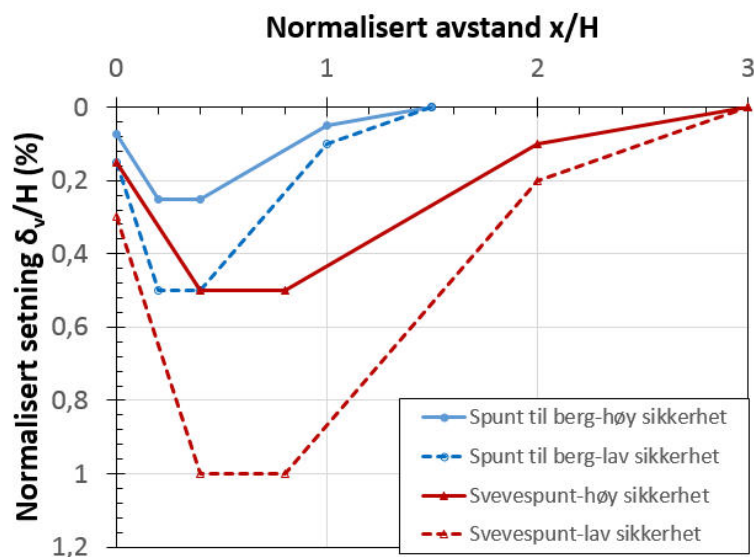
Det foreligger omfattende erfaringsmateriale vedrørende deformasjoner knyttet til dype byggegroper i leire, blant annet fra bygging av de første parsellene av tunnelbanen i Oslo mellom Jernbanetorget og Tøyen. Peck (1969) antydte at det er en sammenheng mellom terrengsetninger og type grunnforhold og at størst deformasjoner må forventes når det var høy mobilisering av leiras skjærstyrke under traubunn. Dette har senere blitt bekreftet ved FEM analyser av byggegroper (Karlsrud & Andresen, 2005). Figur 3-2 viser som et eksempel sammenheng mellom maksimal horisontalforskyvning av en innvendig avstivet spuntvegg og sikkerhet mot bunnoppressing beregnet for typiske Oslo-leire. Den stiplede kurven gjelder tilfeller med svevespunt og relativt stor dybde til berg. Den stemmer godt med data og tidligere analyser presentert av Mana and Clough (1981).

Figur 3-2 viser at normalisert maksimal horisontalforskyvning øker fra ca. 0,3 % ved høy sikkerhet mot bunnoppressing til vel 2 % når sikkerhetsfaktoren nærmer seg 1,0. Merk at de åpne firkantede symbolene i Figur 3-2 gjelder tilfeller med spunt til berg og bergnivå fra 0 til 5 m under traubunn.



Figur 3-2. Beregnet normalisert maksimal horisontal forskyvning,  $\delta_v/H$ , for byggegrop i leire (fra Karlsrud & Andresen, 2005)

Karlsrud (1997) foreslo en sammenheng mellom formen på forventet horisontalforskyvning og formen på setning av terrenget. På dette grunnlaget viser Figur 3-3 hva som typisk kan forventes av terrengsetning for en innvendig avstivet byggegrop, som ikke er påvirket av poretryksreduksjon. De blå kurvene viser verdier for tilfeller med spuntvegg rammet til berg som ligger omtrent i nivå med traubunn. De røde kurvene gjelder et tilfelle med svevespunt med dybde til fast grunn tilsvarende minst 2 ganger gravedybden. De heltrukne kurvene viser anslått tilnærmet nedre grense for hva som kan forventes hvis det er meget god sikkerhet mot grunnbrudd og/eller benyttet relativt stiv vegg med forholdsvis liten avstand mellom stivernivåer. De stiplede kurvene dekker tilnærmet øvre grense der det er benyttet relativt myk vegg og stor avstand mellom stivere. For tilfellet med svevespunt er det imidlertid lagt til grunn at minstekravet til sikkerhet mot bunnoppressing ( $\gamma_m = 1,4$ ) er ivaretatt.



Figur 3-3. Typisk forventet terrengsetning normalisert setning,  $\delta_v/H$  for innvendig avstivet spuntvegg som funksjon av normalisert avstand fra vegg,  $x/H$ .

Mulige tiltak for å begrense skjærinduserte deformasjoner og horisontal forskyving av en spuntvegg eller annen støttekonstruksjon er:

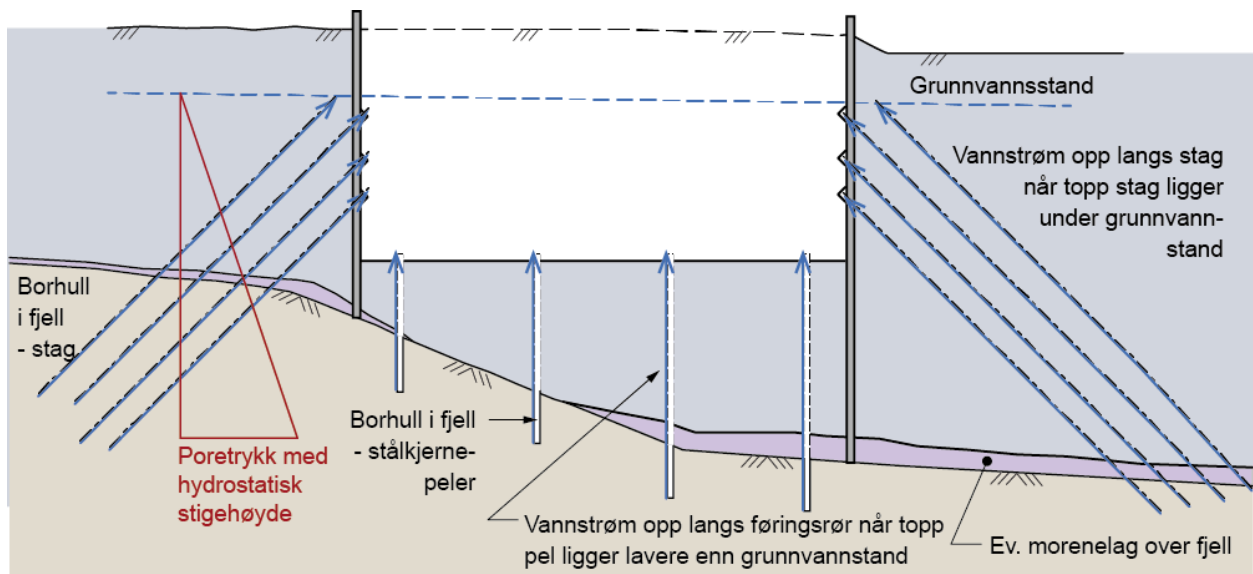
- Stiv og dyp veggkonstruksjon
- Liten avstand mellom stivernivåer
- Forspenning av stivere
- Seksjonsvis graving og avstiving
- Bruk av dypstabilisering med kalksement
- Jetinjiserte ribber eller plater under traubunn
- Utgraving og utstøping av bunnplate under vann
- Bruk av slissevegger med innvendige tverrvegger

For nærmere detaljer omkring slike tiltak henvises det til Delrapport 1+2.4.

### 3.2.2 Setninger som følge av innlekkasje av grunnvann og reduserte poretrykk

Årsaken til innlekkasje og at poretrykket kan reduseres ved store spuntede utgravninger er mange og sammensatte. Det vil alltid være spesielle hydrogeologiske forhold knyttet til en hver byggegrøp som det må tas hensyn til og som vil påvirke poretrykket. Den viktigste fellesnevneren er likevel direkte innlekkasje i byggegrøpen. De vanligste lekkasjeveiene er listet opp nedenfor, og illustrert i Figur 3-4:

- Gjennom utette spuntlåser, staggjennomføringer eller riss i spunten
- I glippen mellom spunt og berg, spesielt når det er grovere masse over bergoverflaten eller skrått berg
- Gjennom oppsprukket berg i såle og bergskjæringer
- Lekkasje ved stagboring, opp langs foringsrør eller opp av borehullet (før stagsetting)
- Lekkasje ved boring for peler, langs foringsrør eller opp av borehullet



Figur 3-4. Mulige lekkasjescenarioer til en byggegrop.

De mest vanlige tiltakene som benyttes for å redusere risiko for lekkasje inn i en byggegrop er:

- Tette mellom spunt og stag ved hulltaking i spunten
- Injeksjon i overgang løsmasse/berg
- Injeksjonsskjerm i berg under gravenivå
- Bruk av midlertidig pakker i føringsrør ved synlig lekkasje
- Injeksjon ved setting av borede stag og peler
- Jet-injeksjon langs spuntfot
- Støpning av betongdrager ved spuntfot
- Vanninfiltrasjon

### 3.2.3 Installasjonseffekter ved boring

En vesentlig bakgrunn for BegrenSkade prosjektet har vært manglende kunnskap og forståelse for skader som kan utløses ved boring av for stag og peler til eller inn i berg. De erfaringsdata som er innsamlet og presentert i Delrapport 1+2.2 (Eknes et al., 2014), viser at boring for stag og/eller peler direkte eller indirekte er hovedårsak til uventet store setninger og skader som er oppstått.

Det er identifisert følgende uønskede effekter knyttet til boring, som kan føre til setninger og skader (se videre kapittel 4):

- a) Lekkasje av grunnvann opp langs borestrengen (se eksempelet i Figur 3-4), som fører til redusert poretrykk konsolidering av leiren
- b) Forstyrrelser og omrøring av leire rundt føringsrør for stag/pel som fører til re-konsolidering og volumtap langs borestrengen
- c) "Overboring" knyttet til innsuging/utspyling av masser og volumtap som følge av erosjon og sug rundt borkronen



### 3.2.4 Andre årsaker til deformasjoner

Ved hulltaking i en spuntvegg for setting av stag kan det oppstå innskvising av leire. Spesielt utsatt for dette er bløt og sensitiv (kvikk) leire, og spesielt hvis hullene er store og blir stående åpne ved boring av nabostag. Faren øker for dyptliggende stagnivå. Aktuelle tiltak for å unngå dette er å ta minst mulig hull og kun ta hull rett før boring av stag. Hullene må tettes etter boring av stag ved sveising av stålplate rundt foringsrøret. Det finnes også prosjekter hvor det er brukt pakkerløsninger av gummi for å unngå innskvising av leire. En annen mulighet er å presse foringsrøret ned til nivå for morene/berg, for å unngå effekt av spyling og omrøring som skjer i forbindelse med boring.

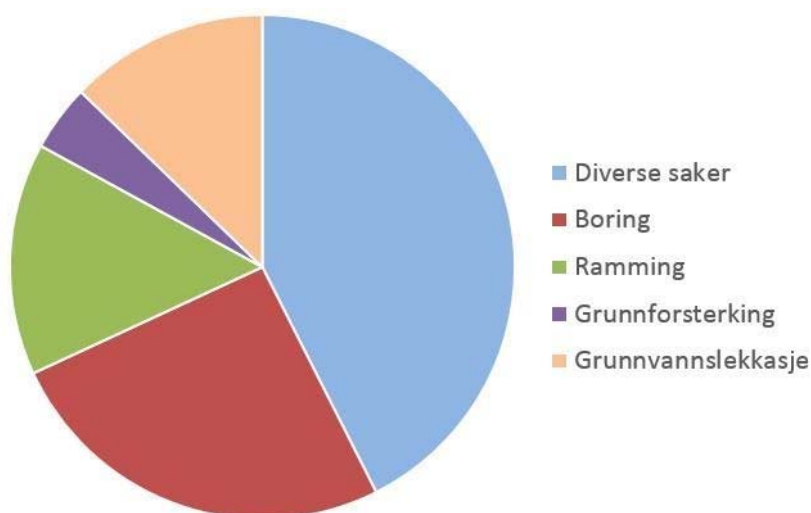
Det finnes også flere eksempler på at leire har blitt skviset inn under spunfot som ikke er kommet i god kontakt med berg, eller gjennom glipper mellom spuntprofiler som ikke er i lås. Også i denne sammenheng er spuntvegger satt i sensitiv leire mest utsatt.

### 3.3 Kartlegging av skadesaker

Delrapport 1+2.2, *Rapportering av skadesaker og vurdering av skadeårsaker*, sammenstiller innmeldte prosjekter hvor det er blitt registrert skader. Kartleggingen utgjør en spørreundersøkelser hvor samtlige partnere i prosjektet har meldt inn skadesaker som firmaet har kjennskap til. Totalt er det rapportert inn 47 prosjekter som har blitt kategorisert med hensyn til årsaken for skaden.

De fire viktigste årsakene til skade som følger og fordelingen er illustrert i Figur 3-5:

1. Ramming / vibrering av spunt eller peler – effekt av installasjonsprosess
2. Boring for stag eller peler
3. Innlekkasje av grunnvann
4. Grunnforsterking (manglende effekt)



Figur 3-5 Fordeling av årsak til skade blant de 47 innmeldte skadetilfellene.

I tillegg er det 20 skadetilfeller som karakteriseres som "Diverse saker". I mange tilfeller er årsaken til skaden åpenbar, og kunne vært unngått dersom kjente standarder, metoder og prosedyrer ble fulgt. Slike unødvendige feil koster antagelig samfunnet vel så mye som de geoteknisk sett mer utfordrende typer prosjekter. Ny teknisk forskrift TEK10 med økt krav til kontroll og uavhengig kontroll vil forhåpentligvis redusere unødvendige prosjekterings- og utførelsesfeil.

De innrapporterte skadesakene gir et bilde av hvilke utfordringer bransjen har i forbindelse med utførelse av grunnarbeider i områder med sårbare omgivelser og det ble konkludert at BegrensSkade skulle fokusere på skader på grunn av boring og drenasje samt ramming av spunt eller peler.

I kartleggingen har det også blitt rapportert inn mange vellykkede prosjekter hvor det til tross for utfordrende forutsetninger (krevende grunnforhold, meget dype utgravinger eller sårbare omgivelser) har blitt gjennomført bygging uten skadekonsekvens. Det disse prosjekter har til felles er et godt samarbeid mellom byggherre, prosjekterende og utførende, der man har vært observant på de geotekniske utfordringene på et tidlig stadium i planleggingen. Under prosjektering og utførelse har det vært et stort fokus på utfordringene i prosjektet og på å benytte løsninger som er trygge og i liten grad påvirker omgivelsene.

### 3.4 Erfaringer fra byggegrøper hvor det er utført boring av peler og/eller stag

For å videre analysere skadeårsaker er det samlet inn måledata og observasjoner fra 17 byggegrøper. Målte setninger og poretrykk er forsøkt systematisert i forhold til utførte aktiviteter i byggegrøpene. Felles for samtlige prosjekter er at grunnforholdene består av tilnærmet normalkonsolidert bløt leire og at det er brukt tradisjonell spunt for avstiving av byggegrøpen. Det etterfølgende underkapittel 3.4.1 oppsummerer de viktigste observasjoner knyttet til de enkelte byggegrøpene, mens spesifikke måledata vedrørende poretrykk og setninger er behandlet i underkapittel 3.4.2 og 3.4.3. Delprosjekt rapport DP1+2.4, *Vurderinger av skader og deformasjoner knyttet til utførelse av stagforankring og borede peler i byggegrøper* presenterer nærmere detaljer om den enkelte byggegrøp og hva man har av målinger og erfaringer knyttet til hver enkelt av dem.

#### 3.4.1 Generell oversikt over observasjoner

I det følgende vil vi oppsummere resultatene fra gjennomgangen av byggegrøpene. De spesifikke byggegrøpene er betegnet med BG4, BG5 osv. og hver byggegrøp er nærmere beskrevet i delrapport 1+2.4 (Karlsrud et al., 2015).

Graden av negative konsekvenser er avhengig av de lokale geotekniske og hydrogeologiske forholdene. For leirlag er spesielt forkonsolideringsgraden (OCR) og leiras sensitivitet av vesentlig betydning. Negative konsekvenser av lekkasje og poretryksreduksjon blir klart størst når overkonsolideringsgraden er minst og nærmer seg 1,0, slik som i oppfylte områder. Potensialet for både overboring og forstyrrelse av leira rundt et borehull øker med økende sensitivitet, og kan gi spesielt store konsekvenser ved uforsiktig boring.

De lokale hydrogeologiske forhold er vesentlige for effekten av innlekkasje av grunnvann. Spredningen lateralt ut fra en byggegrøp må forventes å være størst der en byggegrøp er etablert i et område med mektige lag med leire med stor horisontal utbredelse, eller det er gjennomgående lag med av silt/sand/grus med vesentlig høyere permeabilitet enn leire under leirlaget. Vice versa, forventes det mindre lateral utbredelse hvis byggegrøpen ligger i en lokal dyprenne, og leira ligger rett på berg. For utbredelsen av en poretryksreduksjon være påvirket av vannførende soner i berg. Med fire unntak (BG3, BG4, BG14 og BG17) ble det boret for stag og peler ved bruk av tradisjonelt Odex utstyr med vann og luftspyling. Det er ikke for alle tilfeller kjent om det ble brukt senk- eller- topphammer, og i hvilken grad det ble bare brukt vann under nedboring gjennom løsmasser til berg.

Et forhold som ytterligere kompliserer vurdering av årsaksforhold for de enkelte tilfellene, er at negative konsekvenser er sterkt avhengig av boroperatøren. Boroperatøren gjør valg med hensyn til rotasjons- og matehastighet, spyletrykk, og spylemengder (enten det er luft eller vann), og når han

skifter mellom vann og luft etc. Detaljer vedrørende boreutsyret som er anvendt kan også ha betydning. Blant annet borkronas utforming og spesielt utforming av slisser/kanaler for utspyling i borkrona. I kapittel 4 er ulike boremetoder og mekanismer som fører til uønskede konsekvenser beskrevet i mer detalj.

I det etterfølgende gis en mer detaljert oppsummering og drøfting av de innsamlede data med hensyn til målte poretrykk og setninger.

### 3.4.2 Poretrykk

Figur 3-5 sammenstiller observert poretrykk i overgangen mellom leire og berg for de aktuelle byggegropene, men den inkluderer også data presentert tidligere av Karlsrud (1990), Johansen (1990), Baardvik og Braaten (2002) og NGI (2009). Figuren presenterer målt normalisert poretrykksreduksjon ved berg,  $\Delta u_b/H_{max}$ , mot avstanden fra byggegropen ( $\Delta u_b$  er poretrykksreduksjon i meter stighøyde og  $H_{max}$  er dyden av traubunn under ytre grunnvannstand). Årsaken til å bruke poretrykket ved overgangen til berg som basis er at dette reagerer raskest på effekten av innlekkasje til en byggegrop. Merk også at de målte verdier er største reduksjon målt under utførelsen av en gitt byggegrop.

I Figur 3-6 er det brukt fargekoder for å skille mellom ulike tiltak som ble anvendt for å forsøke å begrense poretrykksreduksjon:

- Rosa: ikke utført noe forsøk på tetting/injeksjon av løsmasser i overgang til berg eller av berget dypere ned under spuntfot
- Grønn: utført injeksjon ved spuntfot og/eller i berget under
- Blå: utført både noe injeksjon og vanninfiltrasjon

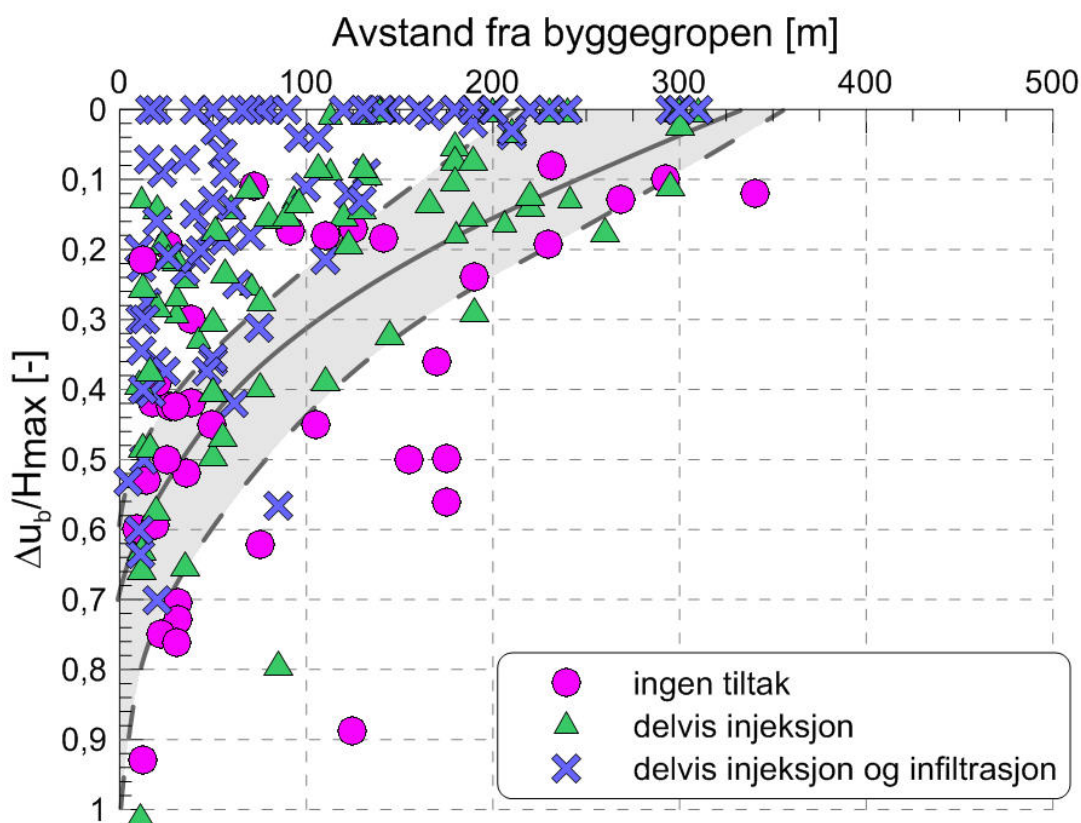
Figur 3-6 viser typisk øvre og nedre grense for forventet poretrykksreduksjon. Den nedre grensen er for tilfeller hvor det er utført både injisering og vanninfiltrasjon. Den øvre grensen er en type "worst case" senario. Likevel er det viktig å notere seg at en del målinger ligger enda lavere og representerer ekstreme tilfeller med ugunstige forhold.

Figur 3-6 bekrefter tidligere observasjoner om at det er vanskelig å oppnå en tett byggegrop og helt unngå eller vesentlig redusere mulig poretrykksreduksjon kun ved injisering i overgangen løsmasser/berg eller ved skjerminjeksjon av berget under spuntfot. (e.g. Karlsrud, 1990).

Når det både er utført injisering og vanninfiltrasjon er det tydelig at vanninfiltrasjon kan bidra til å redusere poretrykksreduksjon. Dette samsvarer med erfaringer fra driving av bergtunneler under leirfylte dyprenner. Erfaringer, også fra tunnelanlegg, viser at en forutsetning for at vanninfiltrasjon skal ha noen vesentlig gunstig effekt er at det etableres infiltrasjonshull i berg som:

- a) Påtreffer vannførende soner i berget som for hvert infiltrasjonshull gir en infiltrasjonskapasitet under moderat overtrykk (2-4 bar) som oversiger 5-10 l/min.
- b) Det er utført noe skjerminjeksjon av berget som reduserer den hydrauliske konduktivitet (permeabilitet) av de mest vannførende sprekker/slepper som går inn under byggegropen.

For mer detaljert beskrivelse av erfaringer med og utførelse av vanninfiltrasjonsbrønner refereres det til blant annet Karlsrud (1987) og (Wold Magnussen & Kveldevik, 2003).



Figur 3-6. Registrert relativ poretrykksreduksjon (normalisert mot største grunnvannsreduksjon mht. gravedybde) i relasjon til avstand fra byggegrop. Røde symboler er tilfeller uten injeksjonsskjerm, grønne symboler viser tilfeller med injeksjonsskjerm og blå symboler viser tilfeller med injeksjonsskjerm og vanninfiltrasjon ( $\Delta u_b$  er poretrykksreduksjon ved berg i meter stighøyde og  $H_{max}$  er dyden av traubunn under ytre grunnvannstand)

Det er relativ stor spredning i dataen i Figur 3-6 som blant annet kan forklares ved:

- Ulike geologiske og hydrogeologiske forhold
- Ulike typer av byggeaktivitet og omfang på prosjekter
- Ulike type og omfang av tiltak
- Varighet av lekkasje over tid og utførelsen/effekten av iverksatte tiltak

Risikoen for å redusere poretrykket som følge av en byggegrop er størst når det er liten dybde til berg under traubunn, eller berget i bunn av byggegropen blottlegges helt.

Etterfølgende sammenstilling av setninger for de aktuelle byggegropene viser en tendens til at boring av peler fra bunn av en byggegrop har et større potensial for å forårsake innlekkasje og poretrykksreduksjon enn boring av forankringsstag. Den vesentligste årsaken til dette er antagelig at pelene bores fra et lavere nivå enn stagene. Ved setting av stag blir det imidlertid alltid foreskrevet vanntapmåling og utført injeksjon før staget settes hvis lekkasjen overstiger et gitt kriterium. Slik injeksjon er ikke vanlig før setting av stålkernepelers (unntatt for strekkpelers), og kan gjøre at potensialet for lekkasje rundt staghull blir mindre enn for stålkernepelers.

Et annet viktig tiltak for å begrense poretrykksreduksjon ved installasjon av peler og stag er å bruke midlertidig pakker i foringsrør hvor det er registrert lekkasje av vann ut gjennom røret, inntil staget eller pelen blir utført injeksjon for å stoppe lekkasjen.

For noen av de studerte prosjektene var størrelsen og spredningen på poretrykksreduksjonen spesielt omfattende. Felles for disse var forekomst av et mektig vannførende sand-, silt eller grusholdig lag med stor utbredelse over berg.

Sammenstillingen i Figur 3-6 viser en slags forventet senkningstrakt. Men det er viktig å notere seg at også dyprenner et godt stykke unna tunnelen eller byggegropen kan bli påvirket dersom det finnes sprekkesystemer med god kontakt til drenasjekilden (for eksempel byggegropen).

Ved harde bergarter eller fast grusig morene kan det være vanskelig å oppnå god kontakt mellom spuntfot og berg. Det er derfor ved spuntramming viktig å nøye protokollere rammet spuntdybde mot kartlagt bergoverflate, for å vurdere om eller i hvilken grad god kontakt er oppnådd. Ved dårlig kontakt mellom spunt og berg vil jet-injsering kunne være spesielt effektivt for å unngå større innlekkasje av vann under spuntfoten.

Ved et prosjekt (BG10) ble det utført systematisk skjerminjeksjon av berget gjennom vertikale borehull satt langs spuntveggen, men det var liten inngang av masse og dermed liten tetteeffekt. Det oppsprukne berget, som til dels ble avdekket i byggegropen, hadde her for det meste vertikale sprekker. Det kan ha medvirket til at injeksjon gjennom vertikale borehull gav liten effekt (man traff ikke de vannførende sprekke). Når det ble etterinjisert en skjerm boret på skrå fra byggegropen gav det tilsynelatende en langt bedre inngang av injeksjonsmasse og tetteeffekt. Dette viser at det er nyttig å kartlegge både bergets permeabilitet og sprekke retning i forkant.

I Sverige har det de seneste 5-10 år blitt ganske vanlig praksis å utføre prøvepumping i en byggegrop etter at spuntvegg og injeksjonsskjerm er på plass, men før det graves ut. Opplegg for dette er blant annet beskrevet av (Carlson & Gustafson, 1997). Det vil vanligvis kreve mer enn en pumpebrønn boret minst 10-20 m ned i berget, men antallet er avhengig av byggegropens størrelse. Poretrykk må måles ved berg i en rekke punkter på utsiden av grope, men også på innsiden. Dette vil vise om tettingen fungerer som ønsket.

Et viktig forhold å ta inn over seg er at den innlekkasje som skal til for å skape en betydelig reduksjon av poretrykket ved berg er meget liten når berget er dekket av en leiravsetning. Dette har vært godt dokumentert i forhold til tunnelanlegg, hvor poretrykksreduksjon i overgang leire/berg for alvor begynner å gjøre seg gjeldende når innlekkasjen til tunnelen er større enn tilsvarende ca. 2-5 l/min pr. 100 m tunnel (Karlsruud et al., 2003). Et tilsvarende tall vil gjelde for en byggegrop med grunnareal på noen tusen kvadratmeter  $m^2$ . Såvidt beskjedent samlet innlekkasje i en stor byggegrop kan knapt sees med det blotte øyet, særlig hvis det er fordelt på mange punkter (hull for stag og peler).

Hvis samlet lekkasje inn i byggegropen overstiger ca. 20 til 50 l/min, avhengig av de lokale forhold, må det forventes at poretrykket rett på utsiden av spuntveggen synker til nivå med traubunn, dvs.  $\Delta_{ub}/H_{max}=1,0$ . Og fortsatt kan det være vanskelig å fysisk se noen steder at det renner inn vann.

Måling av poretrykk gjennom flere måneder (helst ett år) i forkant av prosjektet er nødvendig for å bestemme den naturlige poretrykkstilstanden. Dette for å avdekke normale svingninger, og om eller i hvilken grad poretrykkene kan være påvirket av andre eksisterende eller pågående anlegg i området. I trange dyprenner eller dyprenner som allerede er påvirket av andre anlegg er det en generell erfaring at poretrykket ved berg kan variere med flere meter med gjennom årstidene.

Måling av poretrykk må konsentreres om overgangen mellom leire og berg, eller i vannførende lag, hvor responsen på innlekkasje vil være størst og raskest.



Det er et klart inntrykk fra de gjennomgatte prosjekter at det etableres for få målepunkter for observasjon av poretrykk. Mer komplette og omfattende målinger vil gjøre det langt lettere å avdekke årsaken til poretryksreduksjon og medførende konsolideringssetninger. Også for prosjekter der det er mindre sannsynlighet for lekkasje bør poretrykket følges opp under byggefasen. Dersom det oppstår setninger er det viktig å kunne dokumentere at disse ikke grunnes lekkasje.

I prosjekteringsfasen bør det vurderes å benytte innvendig avstiving for å redusere risikoen for lekkasje ved boring for stag og peler boret fra traubunn. Innlekkasjen vil også øke med antall stag og peler som settes. Det vil si at samlet innlekkasje og mulige poretryksreduksjon øker ikke bare med byggegrupens dybde, men også dens arealmessige utstrekning.

### 3.4.3 Setninger

Observerte setning for samtlige byggegrupper er sammenstilt i Figur 3-7. Setningen og avstanden er normalisert mot aktuell gravedybde,  $H$ , for samtlige byggegrupper. Figuren viser for sammenlikningens skyld også setningskurver basert Figur 3-3 og som primært skyldes spuntdeformasjon alene. For det siste tilfellet er det vist forventet setning tilsvarende 0,5 % av gravedybden hvis det er spuntet til berg, og 1 % av gravedybden for svevespunt. Dette vil som nevnt tidligere være en omtrent øvre grense for setning av terreng hvis byggegruppens sikkerhet mot bunnoppsetting er i henhold til normale krav ( $\gamma_m > 1,4$ ) eller det er spuntet til berg.

I Figur 3-7 er de ulike byggegruppene identifisert ved fire forskjellige fargekoder:

- Grønn: byggegrupper med stagforankringer
- Rosa: byggegrupper med stagforankringer og borede peler
- Blå: byggegrupper med innvendig avstiving
- Oransje: byggegrupper med innvendig avstiving og borede peler

Det er stor variasjon i målingene og derfor er det også presentert egne figurer for alle prosjekter med innvendig avstiving (Figur 3-8, blå og oransje punkter) samt prosjekter med stagforankringer (Figur 3-9, rosa og grønne punkter). Merk at målestokken er justert i Figur 3-8 for å tilpasse størrelsen på setningsmålingene.

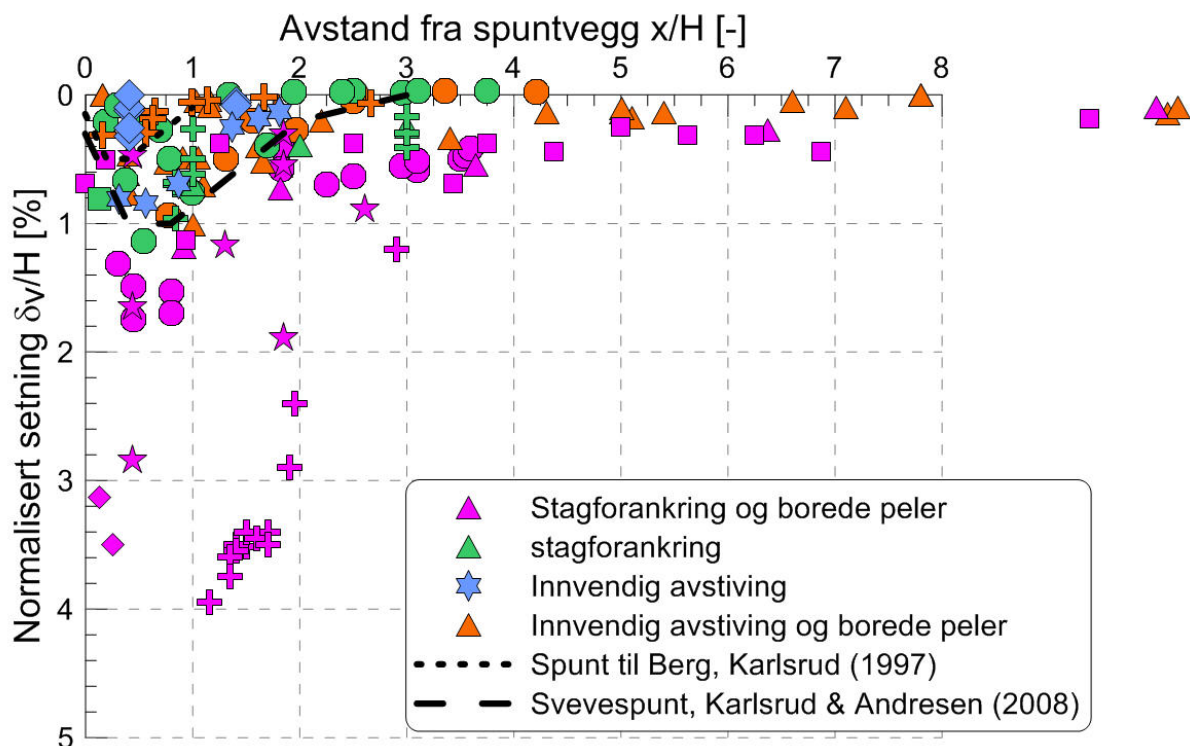
Til tross for den store spredningen i data, er det likevel mulig å konkludere med at det nesten uten unntak er registrert størst setning i forhold til gravedybde, for de prosjekter hvor det er boret både stagforankringer og peler (Figur 3-7). For disse prosjekter er det i stort sett for samtlige målepunkter registrert større setninger enn forventet ut fra erfaringsdata. Dataene antyder også at det er større potensiale for poretrykkssenkning ved berg og derved også større setninger, ved boring for peler fra traubunn sammenlignet med boring for stag.

I de prosjekter hvor det har blitt betydelig setning i store avstander ( $x/H > 3$ ) utenfor byggegruppen (byggegrupp BG3, BG9, og BG10) er det sannsynligvis primært drenasjeeffekter og konsolidering som følge av poretryksreduksjon som forårsaket setningene. Unntaket er byggegrupp BG8A hvor det var en relativt dyp byggegrupp med store problemer med tetting under spuntfot og piping som oppstod ved vanninfiltrasjon.

Det er en tendens til at setningene utenfor byggegruppen strekker seg noe lengre ut fra byggegruppen enn erfaringsdataene basert Peck (1969) og Karlsrud (1997), også for de prosjekter hvor det er brukt innvendig avstiving og borede peler (untatt byggegrupp BG8B). Dette har antagelig også primært sammenheng med drenasjeeffekt. Der det er dypt til berg og bakforankret vil imidlertid effekt av

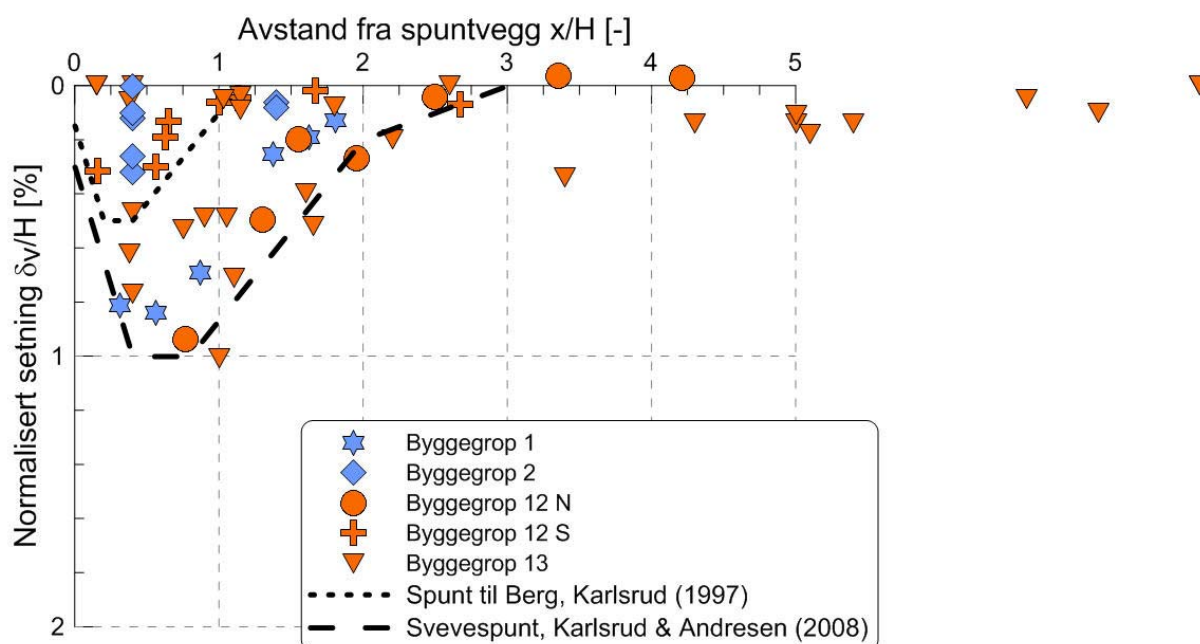
stagboring (overboring og forstyrrelse av leira) også kunne bidra til setninger i større avstand enn hva som bare skyldes horisontaldefromasjon av spuntvegg som Peck's og Karlsrud's kurver primært er knyttet til.

Det skal også bemerkes at det kan være forskjeller mellom prosjekter hvor det er brukt svevespunt eller styltespunt, sammenlignet med spunt som er installert til berg. Når spuntveggen er installert til berg er byggegropen tettere og eventuell forstyrrelse av leiren ved boring av peler vil primært være begrenset til jordmassene innvendig i byggegropen. Ved bruk av styltespunt eller svevespunt kan boringen av peler gi forstyrrelse av leiren på utsiden av byggegropen.



Figur 3-7. Registrerte setninger for samtlige byggegropen, ulike symboler viser måleresultater fra forskjellige prosjekter ( $\delta_v$  = setning,  $H$  = gravedybde,  $x$  = avstand fra byggegrop).

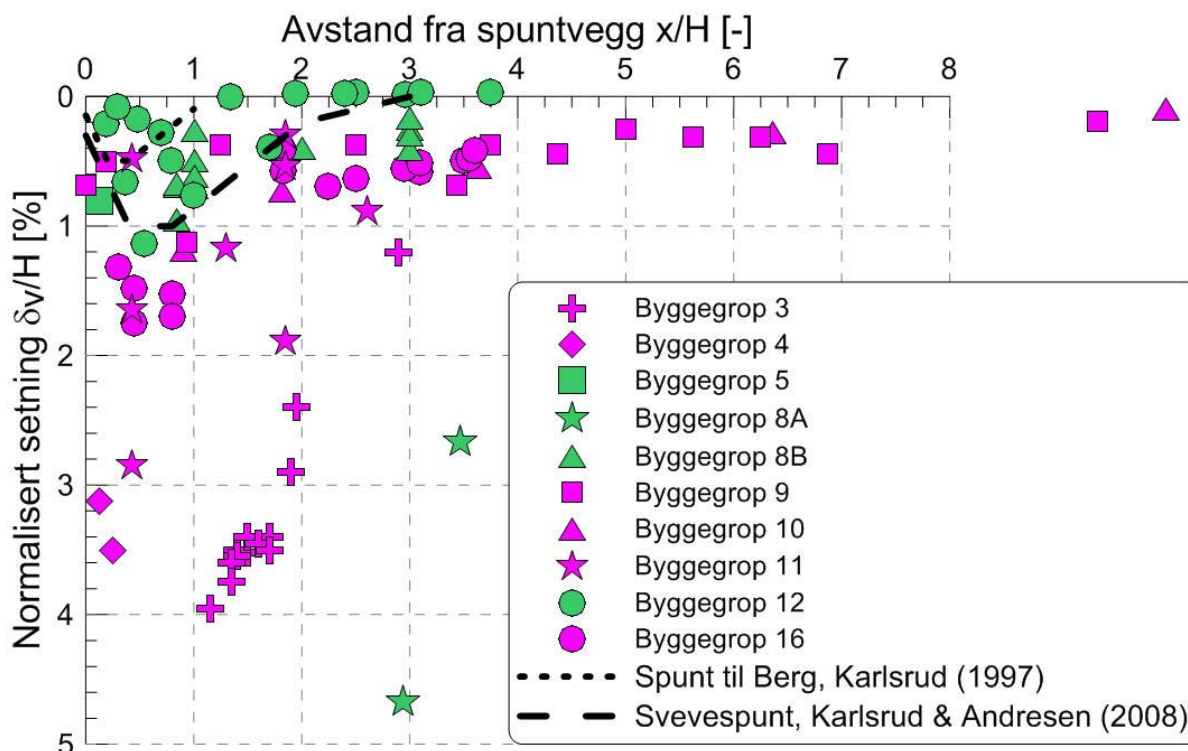
Figur 3-8 viser at i de tilfeller hvor det er brukt innvendig avstiving og ikke borede peler, faller måledata nærmere erfaringskurvene basert Figur 3-3 (for innvendig avstivning og uten nevneverdig påvirkning fra endrede poretrykk). Data for innvendig avstivede byggegropen uten borede peler er imidlertid begrenset til to prosjekter, så grunnlaget er litt tynt for å trekke entydige konklusjoner i denne sammenheng. Der det er større setninger enn erfaringene skulle tilsa, i avstand større enn tre ganger dybden på byggegropen, skyldes dette antagelig i hovedsak lekkasje av grunnvann direkte inn i byggegropen.



Figur 3-8. Registrerte setninger for byggegrupper med innvendig avstiving. Blå symbol: byggegrupper med innvendig avstiving, oransje symbol: byggegrupper med innvendig avstiving og borede peler ( $\delta v$  = setning,  $H$  = gravedybde,  $x$  = avstand fra byggegrupp).

I Figur 3-9, hvor alle prosjekter med stagforankringer er presentert, er det tydelig at deformasjonene er mindre for de prosjekter hvor det ikke også er boret for peler. For de byggegruppene hvor det relativt sett er målt størst setninger er det målt spesielt stor reduksjon av poretrykk (BG3 og BG8B) eller boret forankringsstag i kvikkleire (BG4 og BG11).

For byggegrupp BG9 er det registrert setning i spesielt stor avstand fra byggegruppen. Dette skyldes delvis at det var pågående setninger i området, men også at det ble registrert poretrykksreduksjon i relativt store avstander fra byggegruppen. Det kan også bemerkes at det ikke er vanlig å måle setninger i så store avstander fra en byggegrupp. Manglende data i avstand større enn  $x/H=3$  for mange av byggeprosjektene behandlet i denne rapporten kan derfor gi et litt feilaktig samlet bilde av spredning av setning over større avstander.



Figur 3-9. Registrerte setninger for byggegrupper med stagforankringer. Grønn symbol: byggegrupper med stagforankringer avstiving, rosa symbol: byggegrupper med stagforankringer og borede peler ( $\delta v$  = setning,  $H$  = gravedybde,  $x$  = avstand fra byggegrupp).

Fra figurene med sammenstilling av setningsdata har det vært mulig å trekke noen generelle konklusjoner om hva som bidrar til de største "uventede" setningene og hvor langt de brer seg utover. Den negative effekten av boring for stag og peler er ganske åpenbar, og er sammen med byggegruppens direkte drenerende virkning den vesentligste årsaken til at setninger er blitt vesentlig større enn hva som kan skyldes horisontal innpressing av spuntveggen alene.

Der det er utført KS-stabilisering i ribbemønster for å ivareta stabilitet kan imidlertid også manglende overlapp mellom pelene og dårlig kontakt mellom KS-peler og spuntvegg også ha bidratt noe til at innpressing av spuntveggen er blitt noe større enn man teoretisk ville ha forventet basert på beregninger.

### 3.5 Konklusjoner og anbefalinger

#### 3.5.1 Viktigste erfaringer fra innsamlede data

De viktigste faktorene som har gjort at setningene på terreng er blitt vesentlig større enn forventet for de 17 byggegruppene som er behandlet i denne rapporten er kort oppsummert som følger:

1. Det er anvendt spuntvegg avstivet med utvendige stag forankret i berg (i motsetning til innvendig avstivning). Setningspotensialet (utover forventet) øker tydelig med antall stager og med dybden det bores fra i forhold til terreng og ytre grunnvannstand.
2. Alle undersøkte tilfeller der det er installert borede peler fra traubunn. Også i denne sammenheng øker potensialet for uventede setninger med dybden under terreng det bores

fra og antall peler som bores. Det synes også å være større potensiale for setninger der det bores peler inntil en spuntvegg som ikke går ned til berg, slik at boringen direkte kan påvirke leira på utsiden av byggegroppen.

3. Alle byggegroper som kommer i nær kontakt med berg har potensiale for å skape grunnvannsl lekkasje opp gjennom berget og derved poretryksreduksjon og setninger. Dette forsterker de forannevnte negative konsekvenser av lekkasje knyttet til boring for stag og peler.

De viktigste mekanismer som medfører uventede konsekvenser av boring for stag eller peler er sammensatte som kort beskrevet i kapittel 3.2.3. Stikkordene er:

- "Overboring" (uttak av mer masse enn volum av borestrengen)
- Forstyrrelse av leira og etterfølgende konsolidering/volumtap i den forstyrrede leira
- Reduksjon av poretrykk med etterfølgende konsolideringssetninger

Ut fra forliggende dokumentasjon fra de byggegroppene som er behandlet er det ikke så enkelt å skille klart i hvilken grad de ulike faktorene har påvirket. I de aller fleste tilfellene synes imidlertid effekten av innlekkasje av grunnvann på poretrykk å være en gjennomgående faktor med relativt sett stor betydning.

Forventet horisontalforskyvning eller innpressing av en spuntvegg skyldes primært skjærdeformasjoner i leira, og kan begrenses ved valg av løsninger. Nøkkelaspektene er god sikkerhet mot bunnoppressing, stiv spunt, relativt liten vertikal avstand mellom stivere/stag, forspenning av stivere/ stag, minst mulig graving under stivere/stag før de monteres og at de kommer på plass fortløpende. Bruk av slissevegger med tverrvegger under traubunnsnivå har vist seg spesielt effektivt for å begrense horisontale deformasjoner til et minimum. Setninger som følge av skjærdeformasjoner beregnes vanligvis relativt nøyaktig ved elementmetode baserte programmer og tilgjengelige jordmodeller forutsatt at leiras styrke og stivhet er bestemt med rimelig god pålitelighet.

Setningsbidragene som skyldes poretryksreduksjon og konsolideringssetninger som følge av drenasje direkte inn i byggegroppen og eller lekkasje opp langs borede peler og stag, lar seg rimelig godt beregne på grunnlag av konvensjonell konsolideringsteori hvis poretryksreduksjonen er kjent eller kan anslås og leiras setningsegenskaper er godt bestemt. Setninger som følge av en gitt poretryksreduksjon blir klart størst når overkonsolideringsgraden er minst og nærmer seg 1,0, slik det kan være i oppfylte områder.

De setningsgivende effekten av boring i form av "overboring" og forstyrrelse/rekonsolidering kan være betydelig, men er vanskeligere å anslå. Effekten er både sterkt avhengig av grunnforhold, boremetode og operatør av boreriggen. Potensialet for både overboring og forstyrrelse av leira rundt et borehull øker med økende sensitivitet, og kan gi spesielt store konsekvenser ved uforsiktig boring.

Det har også vist seg at man lett får ekstra utspyling/massetap når det er tykkere lag av er silt- eller sandholdige masser i overgangen mellom leire og berg.

Potensialet for poretryksreduksjon øker også generelt hvis det er gjennomgående lag av silt-, sand- eller grusholdige masser i overgangen til berg eller høyere opp i leiravsetningen.

I flere av de gjennomgåtte prosjektene ble det installert KS-ribber for å ivareta stabilitet. Det kan virke som slike ribber kan medføre til større deformasjoner enn det som beregningsmessig var forventet. Dette på grunn av ufullstendig overlapp mellom KS-peler og ikke fullverdig kontakt mot spuntvegg.

Jetinjering av kontaktsonen mellom KS-ribber og spuntvegg kan bidra sterkt til å eliminere det siste årsaksforholdet, og bør seriøst vurderes å inngå i løsningen det stilles strenge krav til deformasjoner. Det er også mulig at KS-stabilisering kan ha en viss drenerende effekt og bidra til reduksjon av poretrykk inne i byggegropen, spesielt hvis KS-pelene kommer i nær kontakt med berg eller vannførende lag. Dette er imidlertid et aspekt man per i dag har liten spesifikk dokumentasjon knyttet til.

I det etterfølgende diskuteres metoder og tiltak for å begrense uventede/uønskede setninger i de ulike prosjektfasene (forprosjekt-, detaljprosjekt- samt bygg/anleggsfase).

### *3.5.2 Valg av metoder i forprosjektfase (skisseprosjektfase)*

I de prosjekt hvor det er strenge krav til setninger i området rundt byggegropen må metoder og løsninger for å begrense setninger vurderes allerede i forprosjektfasen. I forbindelse med dette er det viktig å kartlegge fundamentering og tilstand på nærliggende bygninger og infrastruktur. I forprosjektfasen velges løsninger for prosjektet og det er relativt store muligheter for å styre hvor stor omgivelsespåvirkning byggegropen vil kunne få.

Det er viktig å ta hensyn til omfang av tidligere byggevirksomhet i nærheten, som kan gi mindre marginer og større konsekvenser med hensyn til omgivelsespåvirkning. Eksempel på dette er påvirkning fra poretrykksreduksjon som følge av drenasje til eksisterende tunneler eller byggegrop, samt tilleggsbelastning av oppfylling på terreng. Effekten av allerede økt effektivspenning kan være at det ikke lenger er noen margin i forhold til det naturlige forkonsolideringsstrykket en leiravsetning normalt har oppbygget som følge av lang-tids kryp, eventuelt ved fysisk avlastning eller forbelastning.

I denne rapport er det konkludert med at boring av stag og peler medfører større risiko for setninger på nabobygg enn løsninger med innvendig avstiving og rammede peler. Dette må formidles til byggherren, og kostnader og framdriftsmessige konsekvenser av ulike løsningsalternativer må veies opp mot risiko for skader på naboeiendom og kostnader (samt andre konsekvenser) som det kan medføre.

I tillegg til valg av utførelsesmetode vil antall kjellernivåer/byggegropens dybde og avdekking av berg i traubunnsnivå være viktige faktorer som innvirker på risiko for å få større setninger enn forventet. I denne sammenheng er det også vesentlig å prøve å begrense tidsrommet som byggegropen står åpen ved å begrense byggetiden.

Andre forhold som kan bidra til økt risiko for skade på naboeiendommer er vanskelige grunnforhold, som for eksempel kvikkleire eller vannførende lag over berg eller lag i leirprofilet (risiko for drenasje og erosjon/utspyling av materiale ved boring) samt artesiske poretrykk (økt risiko for drenasje og erosjon).

### *3.5.3 Tiltak i prosjekteringsfasen (detaljprosjektfase)*

Hvis det ikke er mulig å unngå borede løsninger, eller det vurderes at den mest optimale løsningen for byggegropen er utførelse med forankringsstag og/eller borede peler, kan det for å redusere negative effekter beskrives spesielle tiltak knyttet til selve utførelsen.

Det er for eksempel mulig å begrense antallet stag og peler for å få færrest mulig punkteringer. Ved dimensjonering av støttekonstruksjonen kan det ved bruk av færre stag være nødvendig å bruke relativt kraftig dimensjon på spunt og puter.



Det bør primært velges skånsomme boremetoder som beskrevet i kapittel 4. Ved konvensjonell boring kan et alternativ være å forskrive tetting ved injeksjon i bunn av foringsrøret. Dette for å sikre at det ikke oppstår lekkasje opp langs mulig glippe på utsiden av foringsrørene. Tettingen bør utføres i forbindelse med boring av hver enkelt pel for å sikre at ikke flere peler står og drenerer vannførende lag samtidig. Ved lekkasje opp gjennom foringsrør skal midlertidig pakker brukes for å stoppe lekkasjen inntil det er utført injeksjon. I tillegg kan boring av stålkernepelers utføres fra terreng istedenfor fra traubunnsnivå. Dette gir mindre potensiale for drenasje og poretrykksreduksjon.

Det er viktig å skape forståelse for at det det bare skal meget små innlekkasjer til for å forårsake poretrykksreduksjon og konsolideringssetninger i leiravsetninger. Ved tunneldriving er det vanlig å sette krav til maksimalt tillatt innlekkasje til <math><3-7 \text{ l/min/100 m}</math> (Karlsrud et al, 2003) for å unngå poretrykksreduksjon og risiko for setninger i dyprenner med bløt normalkonsolidert leire. For byggegroper i løsmasser med samme grunnforhold, bør kravet på innlekkasje være i samme størrelse. Dette tilsier at mengden vann som kan forårsake poretrykksreduksjon mellom leire og berg knapt er synlig i en byggegrop. Potensialet for lekkasje er naturlig størst for byggegroper som kommer ned til berg eller i nær kontakt med dette. Denne rapporten avdekker imidlertid at betydelig lekkasje og poretrykksreduksjon også forårsakes av boring for stagforankring i berg eller boring for peler fra traubunn. Dette skjer selv om det er stor mektighet av leire mellom traubunn og berg.

Hvis lekkasje og medfølgende poretrykksreduksjon skal begrenses for byggegroper som kommer i nær kontakt med berg kan berget forhåndsinjiseres. Skal dette gi noen vesentlig effekt må det bores systematisk for en skjerm som går minst ned til en dybde på 10 m under traubunn. Tetting av overgangen spunt og berg ved jet-injeksjon kan også være nødvendig. Slik forhåndsinjeksjon vil ikke alene være noen garanti for at ingen poretrykksreduksjon vil oppstå på utsiden av en byggegrop. Det må derfor påregnes i tillegg også å legge opp til infiltrasjon av vann i berget på utsiden av byggegropen. Slik vanninfiltrasjon vil også kunne begrense effekt av innlekkasje fra stag og borde peler.

For å kunne vurdere effekten av lekkasje, samt planlegge behov for tetting og infiltrasjonsbrønner, bør det i forkant gjøres hydrogeologiske vurderinger av området. Det er god tradisjon for å gjøre dette for tunnelprosjekter, og det bør være en del av prosjekteringen også knyttet byggegroper. En hydrogeologisk kartlegging bør blant annet omfatte:

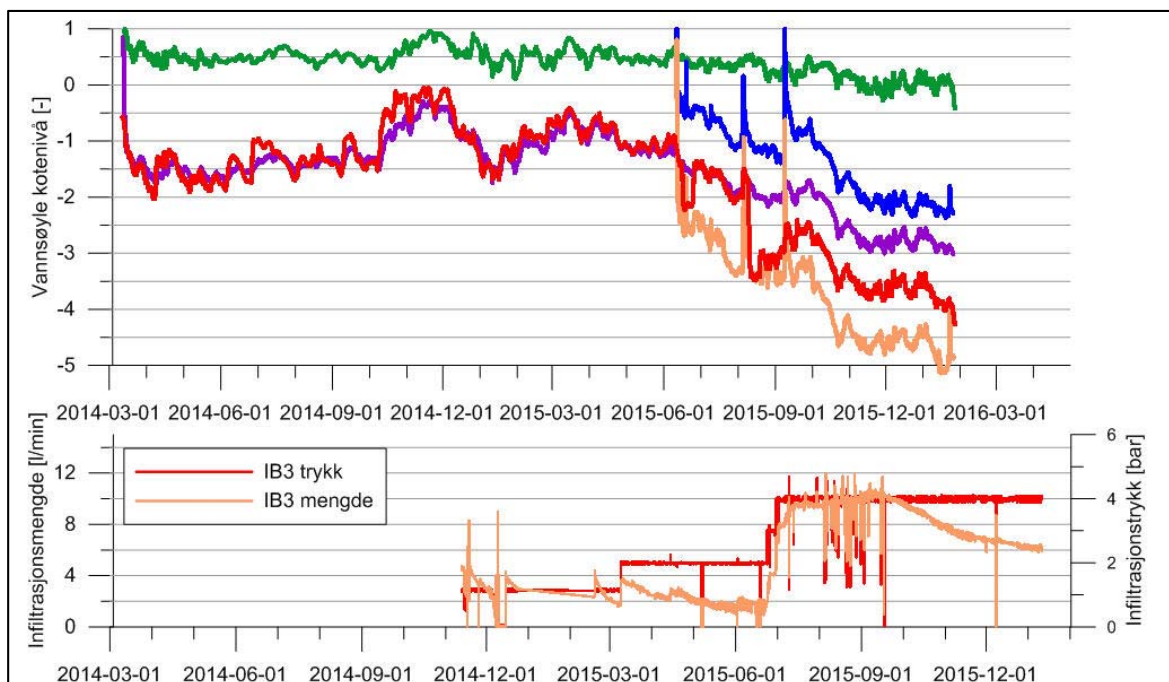
- Kartlegging av dybde og utstrekning av leiravsetninger i området ut til noen hundre meters avstand fra byggegropen.
- Detalkartlegging av bergets lokale topografi og typer masser som ligger over berget langs spuntfot (for vurdering av risiko for lekkasje ved spuntfot og behov for tetting her).
- En generell ingeniørgeologisk kartlegging av berget ut fra tilgjengelige data (bergrunnskart, data fra tidligere tunnelanlegg etc.), og med spesiell fokus på mulige vannførende forkastninger, bergarter (e.g. intrusivganger) og sprekkesystemer.
- Kjerneboring og vanntapsmåling for bestemmelse av hydraulisk konduktivitet og dominerende sprekkeretninger (for vurdering av hvor vannførende berget er og med hvilken metode berget best kan tettes).

#### 3.5.4 Oppfølging og måleprogram (bygg- og anleggsfase)

Ved utførelse av grunn- og fundamenteringsarbeider med risiko for skader på naboeiendommer er det helt nødvendig å etablere et målopplegg for å dokumentere eventuelle effekter av arbeidene. Måleprogrammet vil også tidlig kunne fange opp deformasjoner og poretrykksreduksjon som kan forårsake skader, slik at tiltak kan iverksettes i tide. Måleopplegget må etableres i forkant, og det må

måles over tid før prosjektstart for å fange opp årstidsvariasjoner i poretrykk samt eventuelle pågående setninger. Noen av målepunktene bør være i så stor avstand fra byggegropen at man ikke vil forvente noen endring av poretrykk eller setninger.

Ved måling av poretrykk er det helt avgjørende å etablere målepunkter i overgangen løsmasse/berg. Det er i slike permeable lag forandringer i trykknivåer fanges tidligst og gir klareste beskjed om faren for å utløse konsolideringssetninger. For prosjekter hvor det er stor risiko for skade bør det på forhånd settes alarmgrenser, knyttet til poretrykksreduksjon eller setning. Eksempel på poretrykksovervåking er vist i Figur 3-10.



Figur 3-10. Eksempel på poretrykksovervåking (Bilde: NGI).

Oppfølging på byggeplass av geoteknikker eller annen kvalifisert personell er nødvendig i tilfeller hvor skader på naboeiendom er kritisk for prosjektet. Ved boring av stag og peler bør det være spesielt fokus på entreprenørens prosedyre og utførelse for boring og tetting. Prosedyrene må gjennomgås med boremanskapene i et oppstartsmøte der både prosjekterende, hovedentreprenør, underentreprenør og eventuelt byggherre er tilstede.

### 3.6 Erfaringer av uønskede effekter ved ramming av spunt og peler

#### 3.6.1 Effekter av peleramming i leire

Installasjon av massefortrengende peler vil forårsake udrenerte deformasjoner ved heving av terreng og eller sideforskyving, samt poreovertrykkoppbygging. Over tid vil poreovertrykkene dissipere og konsolideringen resulterer ofte i en nettosetning i forhold til terrengnivå før peleinstallasjon. I nærhet av skråninger kan massefortrengingen gi redusert stabilitet. Effektene av installasjon av fortrenningspeler må vurderes i prosjekteringsfasen for å unngå skader på omkringliggende bebyggelse.

Det foreligger ikke noen felles retningslinjer på hvordan effektene av massefortrengningen skal vurderes, men det finnes teoretiske metoder og erfaringer fra gjennomførte prosjekter som kan benyttes for å vurdere konsekvensene av installasjon. Erfaringene tilsier at det er store variasjoner i størrelse på heving og horisontalforskyvinger, samt poretrykksoppbygging ved peleinntallasjon. Grunnet usikkerheter og variasjon i grunnforhold kreves det robust en prosjektering som tar hensyn til disse usikkerheter.

I BegrensSkade delrapport 3.3 (Langford & Sandene, 2015) er det presentert metoder for å estimere terrengheving samt poreovertrykk ved ramming, som kan brukes ved vurdering av omgivelsespåvirke ved prosjektering av rammede peler. I tillegg er det presentert mulige metoder for å ta hensyn til effekter av ramming ved vurderinger av konsekvenser for stabilitet av skråninger.

### 3.6.2 Tiltak for å redusere effekter av peleramming

Tiltak for å minske effekten av peleramming og risiko for skader i forbindelse må vurderes ved prosjekteringen av peler. Mulige tiltak for å begrense effektene er:

- Valg av peletype som gir liten massefortrengning
- Forgraving av faste toppmasser alternativt doring
- Vurdering av loddstørrelse og fallhøyde
- Naverboring eller pølsetrekking
- Vertikaldren installert mellom eller på peler
- Vurdering av rammerekkefølge

Hvis stabiliteten er kritisk ved ramming kan det være nødvendig å utføre stabilitetsforbedrende tiltak før ramming kan starte.

Det kan inkluderes poster for ventetid i beskrivelsen av peleinntallasjon, men flertallet prosjekter viser at poretrykkdissipasjonene etter ramming kan ta lang tid. I tillegg til at ventetiden kan bli lang er det også risiko for at peler "gror fast" og etterramming med tilgjengelig utstyr kan være vanskelig å få utført. Alternativer til ventetid er flytting mellom pelegrupper for å ha muligheten å ha kontroll på poretrykksoppbyggingen, dette ble blant annet gjennomført vellykket ved Øvre Sund bru i Drammen (Tefera et al., 2011).

Det er nødvendig med overvåking av bygninger og konstruksjoner i forbindelse med peleramming på nær avstand. Det er vanlig å installere setningsdubber på konstruksjoner. Poretrykksmålere er nødvendige hvis det er vesentlig å følge opp konsolideringstiden for et profil etter ramming. I tilfeller hvor skråningsstabiliteten er kritisk i forbindelse med peleinntallasjon er det aktuelt å installere helningskanaler for å følge opp horisontalforskyvinger, samt poretrykksmålinger for å vurdere stabiliteten. Ved installasjon av poretrykksmålere må det utføres kontinuerlige målinger med korte intervaller i forbindelse med pelearbeidene.



Figur 3-11. Ramming av betongpeler ved Dronning Eufemias gate (Bilde: Geovita) til venstre og massefortrengning sensitiv leire ved ramming av peler ved Bama, Alfaset til høyre (Bilde: NGI).

I friksjonsjordarter vil det gjerne være komprimeringseffekten av peleramming som kan gi potensiale for setninger og horisontalbevegelser, samt at rystelser kan gi setninger under bygg/konstruksjoner lenger fra pelearbeidet. Valg av feil kombinasjon av peletype, loddtype og loddstørrelse kan i visse sammenhenger gi unødvendig store rystelser og påvirkning på naboområdene. I andre tilfeller vil stor rammemotstand gi potensiale for store rystelser i et stort område rundt arbeidene. Risikoen for skader kan ofte påvirkes av å velge riktig loddtype eller loddstørrelse (Rønning & Imseth, 2015).

## 4 Utprøving og videreutvikling av boremetoder

### 4.1 Bakgrunn og hensikt

Dette kapittelet gir en beskrivelse av hvilke uønskede effekter boring for stag og/eller peler kan føre til med hensyn til setninger og skader. Videre oppsummeres de viktigste resultater og erfaringer som er rapportert fra forsøksfelt med stagboring, samt oppfølging av flere nyere byggeprosjekter. Avslutningsvis gis det anbefalinger for hvordan boring for peler og stag bør 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 er i hovedsak benyttet følgende grunnlagsmateriale:

- Delrapport 1+2.1 *State of Art Boreteknikk* (Simonsen & Veslegard, 2013), der det gis en relativt detaljert beskrivelse og innføring i de ulike boremetoder og virkemåter innen fundamentering, fra selvborende stag til grove pilarer.
- Delrapport 3.1 *Prosedyre for stagboring feltforsøk* (Veslegard & Simonsen, 2013), der metodevalg, bakgrunn, gjennomføring og arbeidsprosedyrer for feltforsøk med stagboring på Onsøy beskrives.
- Delrapport 4.1 *Feltforsøk stagboring. Dokumentasjon av effekter ved boring i leire* (Lande, 2015), der beskrivelse av feltforsøket med resultater og vurderinger presenteres.
- Delrapport 1+2.3 *Skadebegrensning i eksisterende standarder og veiledninger* (Øiseth, et al., 2014).
- Erfaringsrapporter fra en rekke byggeprosjekter som er fulgt opp spesielt som del av BegrensSkade, blant annet: *Gladengveien 10. Erfaringer fra byggegrop* (Helgason, 2015) og *E18 Knapstad – Retvet, Hobølelva bru. Erfaringer knyttet til boring av stålrørspeler* (Haugen et al., 2015). I tillegg er det utarbeidet en erfaringsrapport fra prosjektet *SVV Region midt – Strindheimtunnelen, dagsone vest. Rørspunt Møllenberg* (Rønning & Haugen, 2015)

### 4.2 Uønskede effekter ved boring

#### 4.2.1 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 som blant annet grunnforhold, boremetode og utførelse.

Før oppstart av dette prosjektet var det generelt manglende forståelse i bygge- og anleggsbransjen for at boring for stag og peler i leire kan medføre setninger og skader på terreng og nærliggende konstruksjoner, og at eksempelvis ramming av massefortrengende (lukkede) peler kunne medføre større problemer. Dette forutsetter imidlertid en ideell utførelse av borearbeider for peler og stag slik at arbeidet ikke medfører noen vesentlig massefortrengning, forstyrrelse/omrøring av leire langs borestrengen, eller ukontrollert utspyling av masser. I kapittel 3 er det derimot klart dokumentert at "uventede" betydelige setninger og skader ofte har vært utløst som følge av slike borearbeider for stag og eller boring for peler fra bunn av byggegrop. Resultater fra fullskala feltforsøk med stagboring i leire (Lande, 2015), samt vurderinger av data fra en rekke nyere byggeprosjekter har gitt økt kunnskap



om, og dokumentasjon av, hvilke påvirkninger boring kan ha med hensyn til å utløse setninger og skader. De viktigste identifiserte skadeutløsende faktorene er:

- a) Endring av poretrykk og grunnvannsnivå:
  - Poretrykksøkning som følge av massefortrengning og/eller ukontrollert utblåsing av trykkluft ut i grunnen.
  - Temporær poretrykksreduksjon som følge av spyling med trykkluft under boring.
  - Langsiktig drenasje/lekkasje langs stag/pel.
- b) Forstyrrelser og omrøring av leire inntil stag/pel med påfølgende re-konsolidering, som følge av direkte mekanisk påvirkning eller 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.

#### 4.2.2 Poretrykk og grunnvann

##### 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/borkaks 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 (målt opptil ca. 50-60 kPa med avstander opp til 3-4 m, se kapittel 4.4).

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 imidlertid normalt ikke største risiko ved boring.



## Poretrykksreduksjon og grunnvannssenking

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.

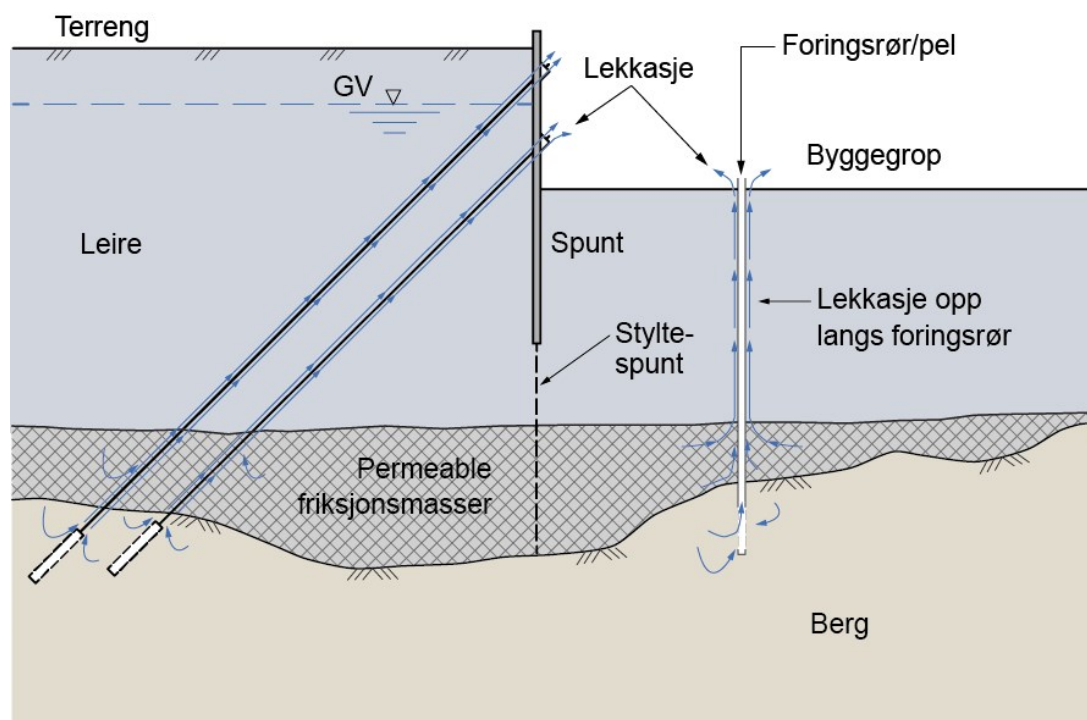
### A. Temporær (kortvarig) poretrykksreduksjon

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 4.4. Poretrykksreduksjoner i faste masser over berg gir normalt sett ikke nevneverdige 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 4-1. Lekkasjen kan skje på innside av foringsrør før det gyses eller støpes ut, eller i en 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.

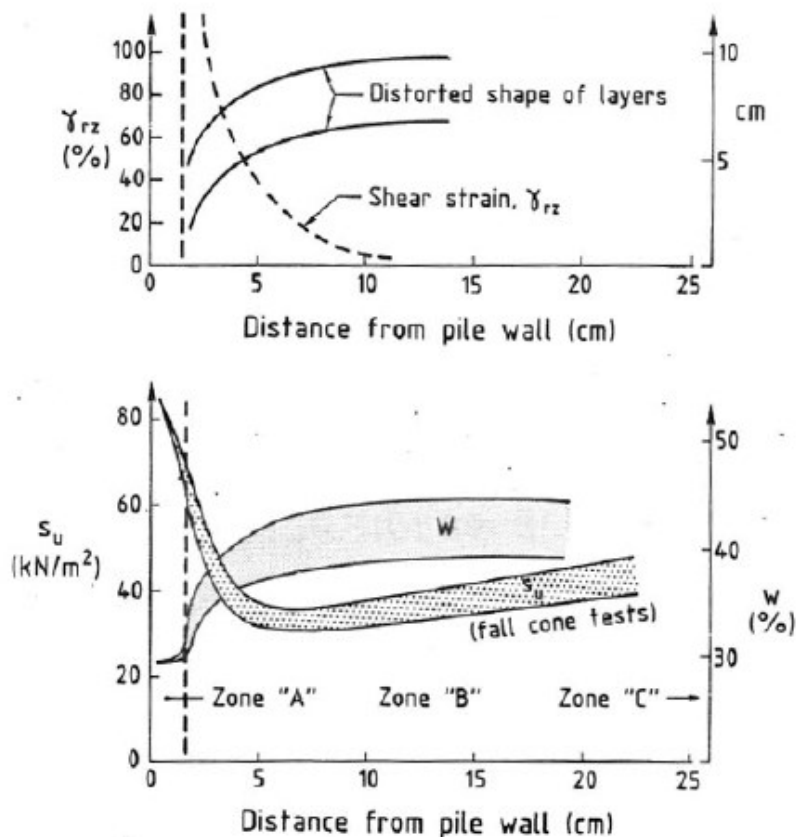


Figur 4-1: Prinsipp for potensiell drenasje/lekkasje opp langs foringsrør for stag og/eller peler.

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

Karlsrud (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 & Haugen, 1984) viste at grad av omrøring avtar raskt med økende avstand fra pelevegg, se Figur 4-2. 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. 25 % 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 & Haugen (2015) i forbindelse med installasjon av boret rørsputt for Møllenbergtunnelen i Trondheim hvor det var en sone på ca. 3 cm rundt rørene som var fullstendig omrørt.



Figur 4-2: Skjærtøyning, vanninnhold og udrenert skjærfasthet (konus) i leire relatert til radiell avstand fra pelevegg fra peleforsøk på Haga (Karlsruud 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.

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 (Borchtchev, 2015) viser at det kan forventes i størrelsesorden 8-16 % volumreduksjon i fullstendig omrørt leire ved rekonsolidering 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.

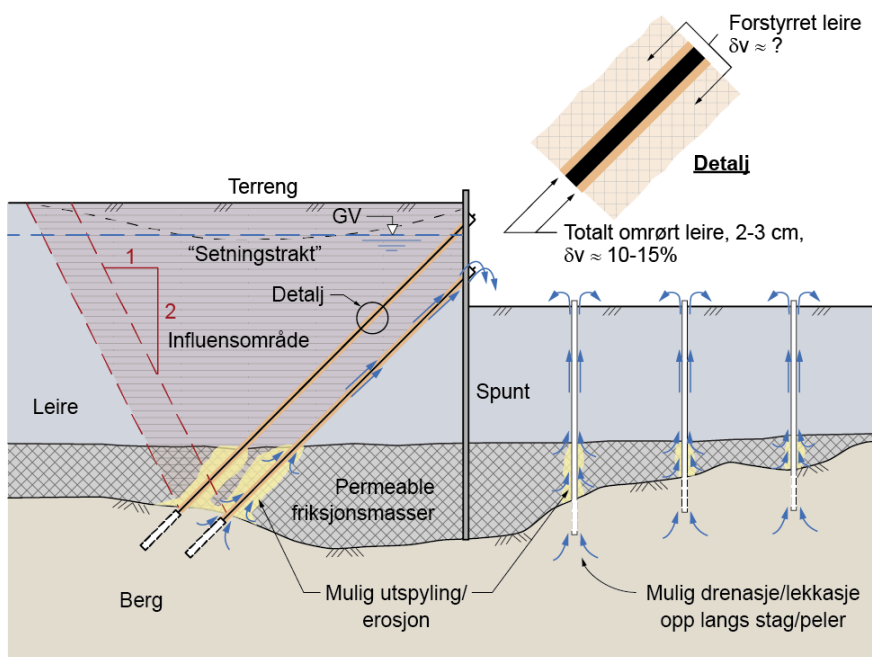
Ved å benytte resultatene fra peleforsøk og laboratorieundersøkelser er det mulig å estimere hvor store setninger som kan oppstå som følge av re-konsolidering av omrørt/forstyrret leire rundt stag

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 4-3. 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 Ø140 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 4-5. Basert på dette kan man estimere volumtap for ulike grader av omrørt sone rundt stag og med ulik volumreduksjon, se Tabell 4-1. 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 kan også lages for borede peler.

Tabell 4-1: 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 forstyrret sone (cm)	Volum forstyrret ( $\text{cm}^3/\text{stag}$ )	Volumtap ( $\text{cm}^3/\text{stag}$ )	Volumtap ( $\text{cm}^3/\text{stag}$ )	Volumtap ( $\text{cm}^3/\text{stag}$ )
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 4-3: Prinsipp for volumreduksjon av forstyrret leire rundt stag (og peler) og antatt influensområde.

#### 4.2.4 Utspyling/innsuging av masser og volumtap

Boring med senkhammer 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 meget lett kontrolleres dersom boreoperatør følger med på en kontinuerlig spylereetur.

Det har vært flere prosjekter hvor det er rapportert om skader eller deformasjoner 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 benyttes luftspyling i sensitiv/kvikk leire (i strid med krav i prosesskode 2 og NS3420).

Statens vegvesen oppgir at denne effekten er erfart ved flere nyere prosjekter med grove borede stålrørspeler (Fv 715 Skaudalsbrua og E18 Hobølelva bru). Dersom det er betydelig/stor innsuging av løsmasser 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 et al. (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 stålkjernepeler. Metoden ble benyttet for å redusere trykkforskjeller ved borkronen og dermed potensiale for utspyling av masser.

#### 4.2.5 Kollaps av borehull (grunnbrudd)

Dersom det benyttes boremetoder der borehull står åpent 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 selvborende stag, trekking av foringsrør eller ved boring av grove pilarer hvor borerør trekkes.

Ved stopp i boreprosessen (f. eks skjøting av rør) med luftdrevet senkhammer 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/borestrengen. Normalt benyttes imidlertid tilbakeslagsventil på borestrengen 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.

#### 4.3 Erfaringer fra feltforsøk

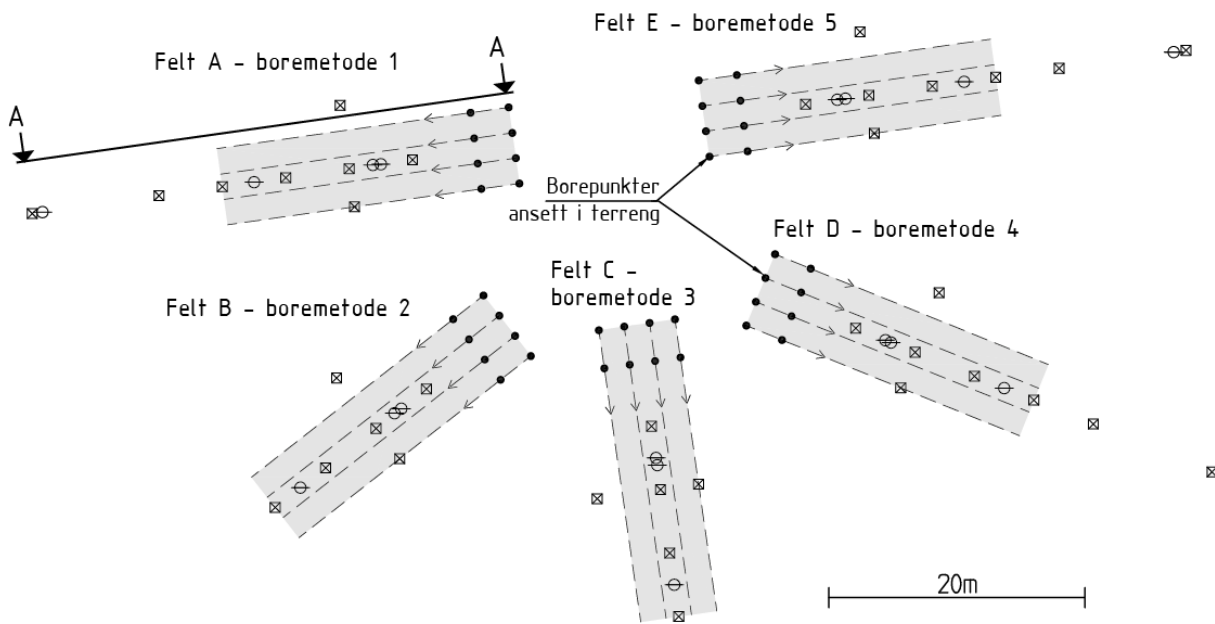
BegrensSkade utførte høsten 2013 et fullskala feltforsøk med boring av stag gjennom leire og inn i berg på et jorde ved Skåra i Onsøy, ca. 5 km nord for Fredrikstad sentrum. Forsøkene omfattet boring med fem forskjellige boremetoder, se oversikt i Tabell 4-2 og Figur 4-4. Valg av boremetoder og prosedyrer er basert på vurderinger i rapport 3.1 (Veslegard & 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. Det vises til kapittel 4.5 samt delrapport 3.4 (Veslegard et al., 2015) for detaljert beskrivelse av metodene.

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 åtte setningsankere til 2 m dybde og tre elektriske poretrykksmålere til henholdsvis 4,5 m, 10 m og 17 m dybde, se snitt i Figur 4-5. I tillegg ble det også satt ned to poretrykksmålere på forsøksfeltet som referanse. Poretrykksmålinger og setningsnivellement ble startet i god tid før oppstart av stagboring og målt regelmessig over ca. 1 år.

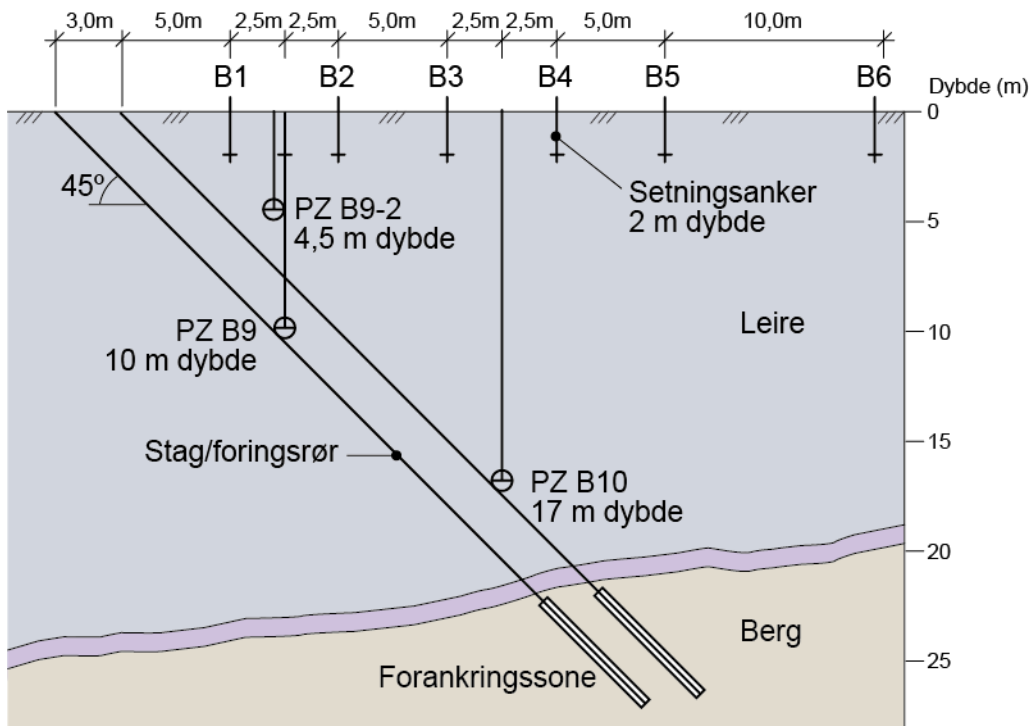
Tabell 4-2: Oversikt boremetoder prøvd ut ved feltforsøk på Skåra i Onsøy.

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 114,4 sentrisk ringborkrone Ø120 og topphammer, gysing og trekking av foringsrør	Hallingdal Bergboring AS





Figur 4-4: Plan forsøksfelt med instrumentering (Lande, 2015).



Figur 4-5: Prinsipp for instrumentering med setningsankere og poretrykksmålere for hver boremetode på forsøksfelt (Lande, 2015).

Borprosedyrene ble valgt i henhold til det boreentreprenørene på det gjeldende tidspunkt anså som "normal 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 og videre inn i berg. For detaljert beskrivelse vises det til delrapport 4.1 (Lande, 2015).

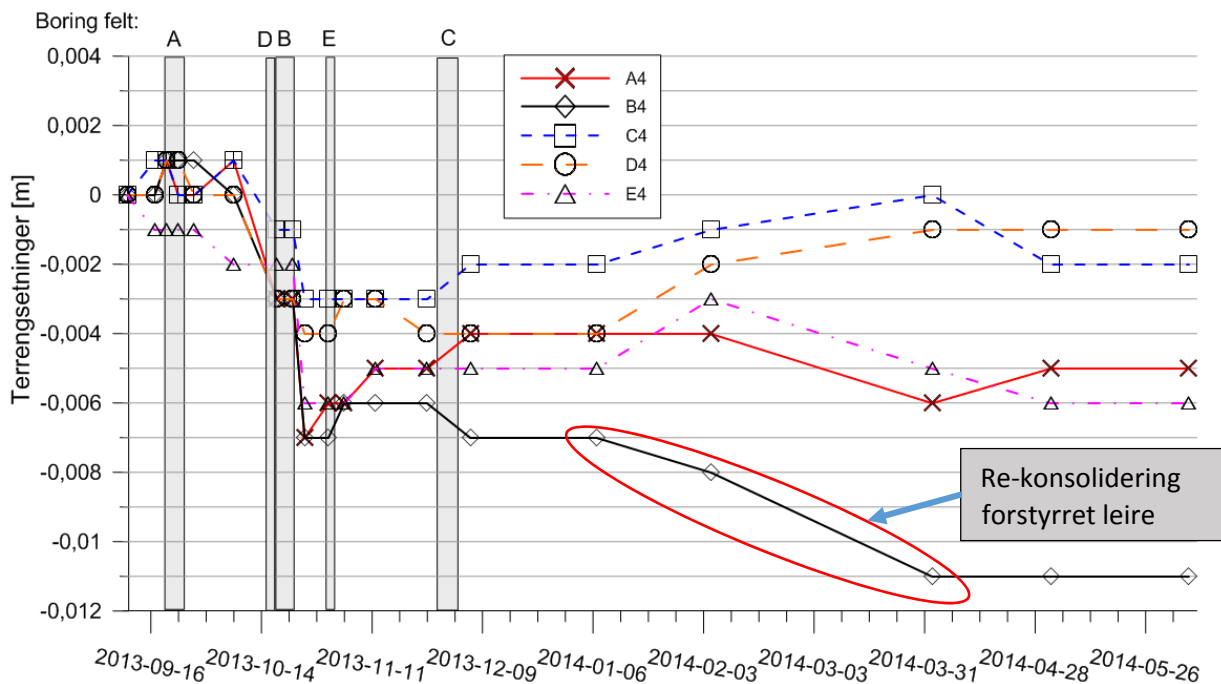


Figur 4-6. Rør boret for et av feltene ved forsøksfeltet (bilde: NFTAS/Ingunn Veimo).

#### 4.3.1 Resultater og konklusjon

Resultater fra setningsnivellement på forsøksfeltet har generelt vist beskjedne terrengsetninger for alle boremetoder som følge av stagboring med maksimalt 12 mm i felt B, se Figur 4-7. 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 (opptil 60 kPa og avstand ca. 3 m) og terrengsetninger enn for alle andre boremetoder. Setningsnivellement indikerer for øvrig en tilnærmet umiddelbar setningsutvikling over hele forsøksfeltet ved boring i felt B. Basert på observasjoner under utførelse og resultat fra poretrykksmålere kan disse setningene skyldes en midlertidig poretrykksreduksjon ved berg. At terrengsetningene i felt B fortsatte å øke over en periode på ca. 6 måneder etter endt boring indikerer at det i hovedsak var relatert til dissipasjon av poreovertrykk og re-konsolidering av delvis omrørt leire rundt foringsrør. De resterende boremetodene hadde mindre og nokså lik påvirkning på poretrykk og terrengsetninger som i felt B, men terrengsetningene har stoppet opp etter endt boring.

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



Figur 4-7: Resultat av setningsnivellement anker nr. 4 i felt A-E med angivelse av boring med de ulike metodene.

De relativt små terrengetningene som ble målt på forsøksfeltet står i stor kontrast til de store setninger som er rapportert av Karlstud et al. (2015) i forbindelse med analyser av en rekke byggegrøper i bløt leire. Hovedårsakene til denne forskjellen skyldes trolig følgende forhold:

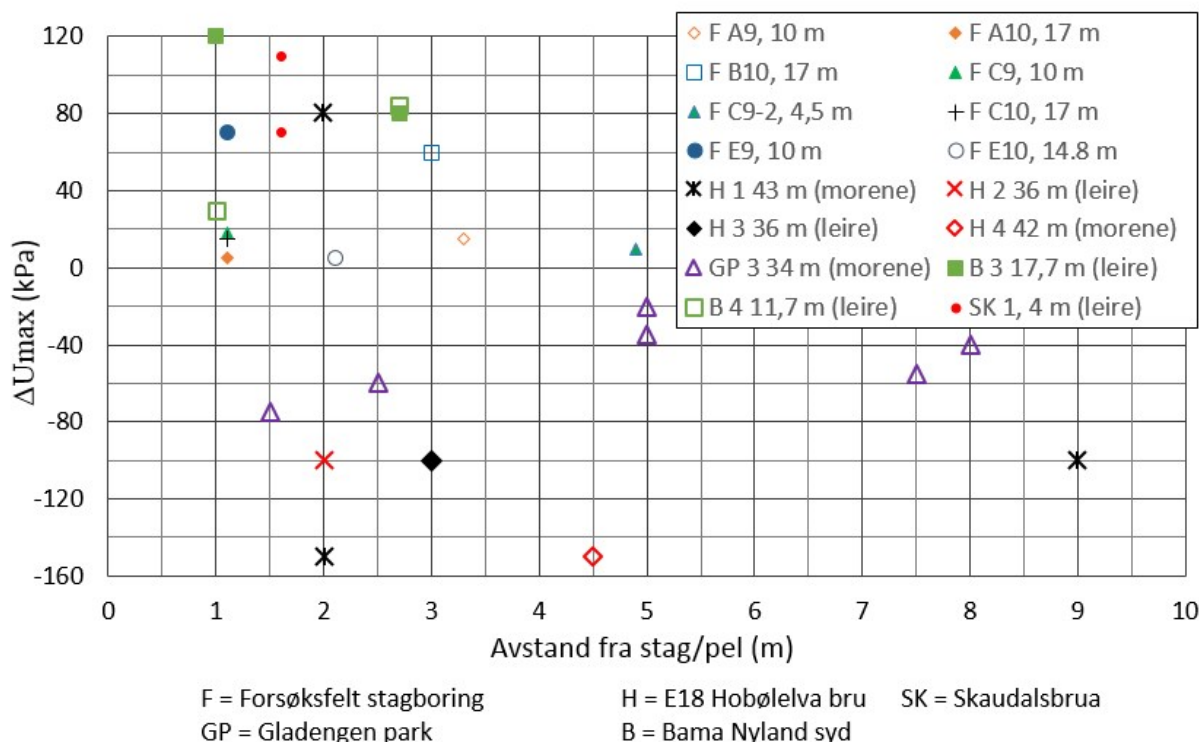
1. Boret få stag med liten dimensjon for hver boremetode, dvs lite påvirket volum.
2. Boring utført fra terrengnivå (over GV) uten effekt fra destabiliserende grunn- og vanntrykk ved borkronen.
3. Leiren på forsøksfeltet (Onsøy leire) har høyt leirinnhold og høy plastisitet (ca. 50-70 %), og er trolig mindre utsatt for erosjon/utspyling enn siltige og lavplastiske 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.

#### 4.4 Erfaringer fra nye byggeprosjekter

BegrensSkade har samlet inn resultater og erfaringer fra flere nye byggeprosjekter hvor det er utført boring for stag og/eller peler. I enkelte av prosjektene har det blitt instrumentert spesielt for å kunne dokumentere effekter av boring. Instrumenteringen har i hovedsak omfattet elektriske poretrykksmålere med automatisk logging installert til ulike dybder og med ulik avstand fra stag eller peler, kombinert med setningsnivellement på terreng eller setningsankere. Dette kapitlet oppsummerer de viktigste resultatene og erfaringene fra disse prosjektene med fokus på boring.

I Figur 4-8 er det sammenstilt resultater av maksimale målte poretrykkendringer ( $\Delta U_{max}$ ) mot teoretisk avstand fra stag/pel. Resultatene viser både målte trykkøkninger (+) trykkreduksjoner (-).



Figur 4-8: Sammenstilling poretrykksmålinger inntil stag eller peler fra nyere byggeprosjekt (Veslegard, Lande og Simonsen, 2015).

Gjennom nærmere analyser av måleresultater og utførelse i de ulike prosjekt er det funnet følgende generelle trender:

1. Boring i bløt leire utføres ofte med så høy borsynk at det oppstår massefortrengning og påfølgende poretrykksøkninger lokalt rundt stag og/eller peler. Denne effekten er vist ved alle positive (+) verdier av  $\Delta U_{\max}$  i Figur 4-8. Målinger viser at trykkøkning og influensområdet rundt borede stag og peler kan bli betydelig større enn det som er erfart ved rammede lukkede peler beskrevet av Karlsrud (2012). Mesteparten av pore-overtrykket dissiperer imidlertid som regel i løpet av noen dager.
2. Boring som omfatter bruk av luftspyling har generelt høyere risiko for å føre til setninger og skader i nærliggende områder. Luftspyling gjennom bløt leire og silt kan føre til betydelig omrøring, samt ukontrollert utblåsning av trykkluft i grunnen og utspyling av masser.
3. Boring med luftspyling i faste masser (sand/grus/morene) over berg gir økt risiko for innsuging av masser rundt borkrone som følge av "Venturi effekten" som videre kan føre til setninger. Målte poretrykksreduksjoner i nærhet av stag/pel gir en indikasjon på denne effekten, som i enkelte tilfeller kan registreres flere meter fra borkronen, se negative (-) verdier av  $\Delta U_{\max}$  i Figur 4-8.
4. Utførte setningsnivellelement har vist tilnærmet umiddelbare setninger som følge av boring, noe som i stor grad underbygger effekten beskrevet i punkt 2. I tillegg viser nivellelement at setningene fortsetter flere måneder etter endt boring noe som indikerer re-konsolidering av omrørt leire.
5. Risiko for at boring av stag og/eller peler fører til setninger og skader er generelt høyere dersom det bores fra et nivå som er godt under grunnvannsnivå.



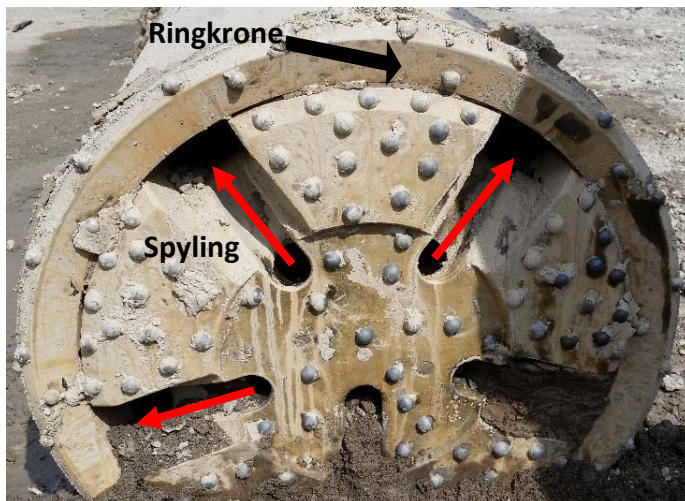
#### 4.4.1 E18 Knapstad – Retvet, Hobølelva bru

For å illustrere de observerte trendene som er beskrevet ovenfor er det i det følgende gitt en kort oppsummering av utførelse og resultater fra boring av stålrørspeler for fundamentering av Hobølelva bru (290 m) i Hobøl kommune (Haugen et al., 2015). For å dokumentere effekter av boring ble det installert fire elektriske poretrykksmålere med automatisk logging inntil pelefundament i akse 4, to i leire på 36 m dybde og to til faste masser (morene) på 42 og 43 m dybde. I tillegg ble fem setningsankere installert til henholdsvis 16, 26, 31, 36 og 41 m dybde.

Boring ble utført med bruk av ringkrone og pilotkrone av typen Robit DTH-ROX+711/16, se Figur 4-9. Det ble videre benyttet en kombinasjon av vann- og luftspyling gjennom hele pelenes lengde. Boresynk ved boring i leire var ca. 0,7-1 m/minutt. Noen nøkkeldata angående boringen er gitt under, men noe variasjon er det avhengig av ulike situasjoner som oppstår:

- Spyletrykk ca. 5-10 bar i leire og 10-20 bar i morene og berg.
- Vann leveres alltid til maskinen med 10 bar trykk.
- Vanntilførsel 250-350 l/min.
- Ca. 250 l/min vannmengde ved "normal boring" i leire.
- Ca. 350 l/min vannmengde og redusert lufttilførsel ved boring i silt og siltig sand.
- Ca. 300-350 l/min vannmengde under boring i berg.
- Rotasjon ca. 3-4 omdreininger pr minutt ved bergboring
- Matekraft 15-16 kN ved bergboring.

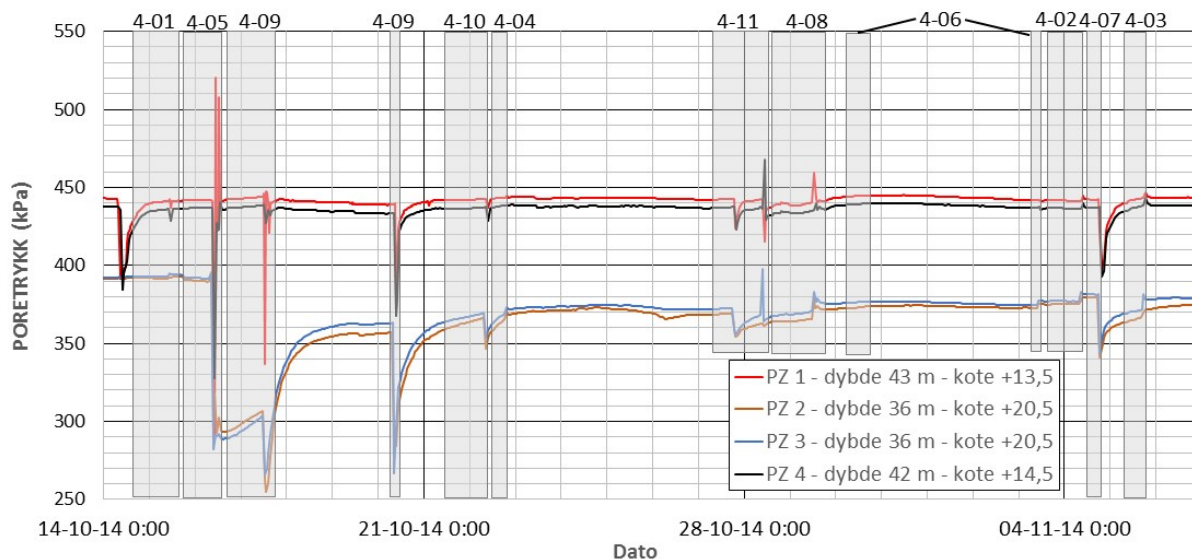
Av hensyn til stabilitet i kvikkleiresone på området ble det spesifisert bruk av "RC-boresystem" (reversert sirkulasjon) og utførelse som ikke skulle føre til ukontrollert massefortrengning og poretrykksoppbygging. For øvrig var det ikke spesielle hensyn å ta i forhold til setninger på området.



Figur 4-9: Bilde av pilotkrone type Robit DTH ROX+711/16 og ringkrone benyttet til boring av peler for Hobølelva bru, vist med spyleretning.

I forbindelse med boring av peler i akse 4 ble det målt betydelige reduksjoner og økninger i poretrykk, se Figur 4-10. 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, og 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 var poretrykksresponsen rask og kortvarig i morene (1-2 timer), mens målere i leire viste en mer langvarig poretrykksreduksjon gjennom hele perioden med boring i akse 4.

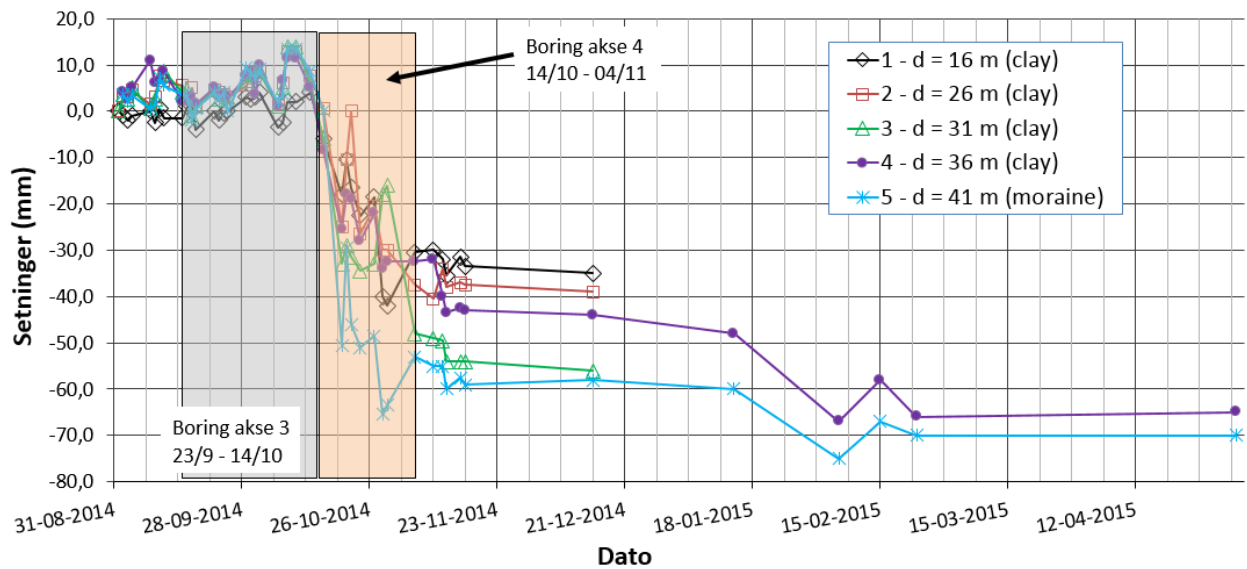


Figur 4-10: Resultat poretrykksmålinger ved boring av stålørspeler i akse 4 Hobølelva bru (Haugen et al., 2015).

Resultat fra setningsnivellelement viser en tilnærmet umiddelbar setningsutvikling i alle ankere i forbindelse med boring i akse 4, se Figur 4-11. 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 ankere frem til boringen er avsluttet i akse 4, og da er setningene i størrelsesorden 30-55 mm. 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 spenningsspredning og at det oppstår sug i leira. Dette underbygges av poretrykksreduksjonene som er målt både i morene og leire.



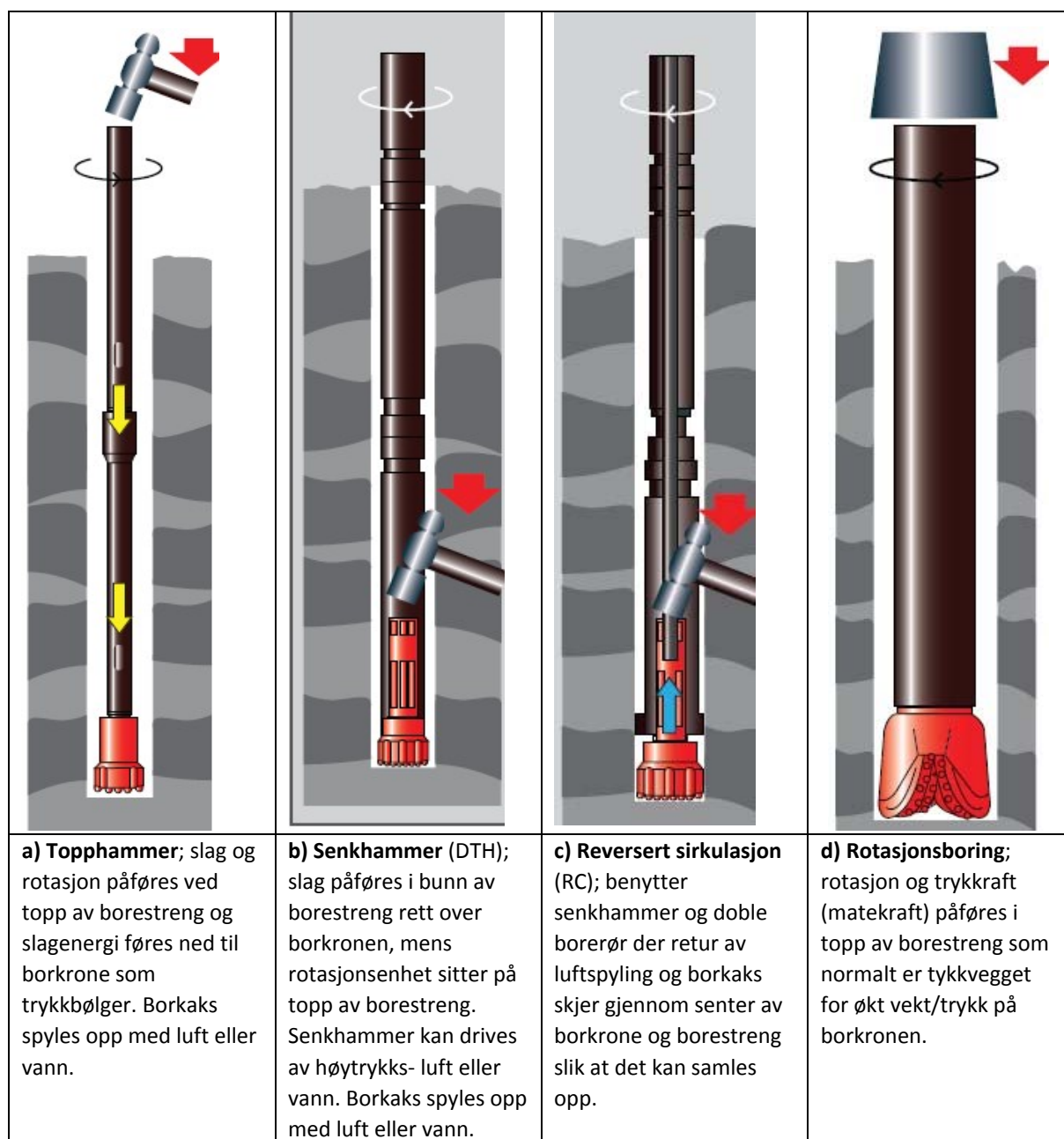


Figur 4-11: Resultat nivellement setningsanker S1-S5 i periode med peleboring i akse 5, 3 og 4. Målenøyaktighet ca.  $\pm 5$  mm (Haugen et al., 2015).

## 4.5 Anbefalinger vedrørende boring

### 4.5.1 Boremetoder

Uavhengig av hvilken boremetode som benyttes er hensikten med boring for stag eller peler å etablere et hull 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 rørdriking 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 4-12.



Figur 4-12: Prinsipiell virkemåte for de mest benyttede boremetodene (kilde: [www.halcorocktools.com](http://www.halcorocktools.com)).

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.

Ved boring i bløte løsmasser som leire, silt og løs sand er det i Norge blitt vanlig å benytte rotasjons- og spyleboring med vann uten slag fra hammer. Normalt kan ikke metoden slik den praktiseres ved fundamentering komme gjennom faste friksjonsmaterialer (sand/grus/morene) og videre inn i berg. Det er da nødvendig med bruk av hammer (topp/senk) som påfører nødvendig slagenergi ned til borkronen for å øke penetrasjonsevne. Ved boring i faste friksjonsmaterialer og inn i berg benyttes det per i dag i hovedsak luftspyling.

#### 4.5.2 Boring med topphammer

Boring med topphammer er mye benyttet for boring av forankringsstag, både løsmassestag og lissestag til berg. Metoden har begrensninger i diameter og dybder pga. tap av slagenergi i borestreng ved økende dybder. Normalt bores foringsrør med diameter 90-140 mm. Avhengig av grunnforhold, type hammer, borestreng og diameter begrenses dybder til ca. 20-50 m.

Hydrauliske topphammere har i dag normalt hammer med størrelse tilsvarende KD 1011 med 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 kan være mulig å anvende/videreutvikle til borede peler og 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, men det er mulig å bore kun med vannspyling i faste masser og berg for å redusere negative effekter som beskrevet i kapittel 4.2. Ved bruk av vann er det enkelt å blande inn for eksempel polymer slik at en får en støttevæske i foringsrør og på utsiden.

Toppammerboring kan utføres med tradisjonelt eksentrisk (Odex) boreutstyr i dimensjonene 76, 90 og 127 (stålrør 89, 114 og 140 mm). Eksentrisk rømmer borer et hull med diameter 5-20 mm større enn rørdiameter. Alternativt kan det benyttes ringborkrone som har 5-10 mm større diameter enn rør, og som er tilgjengelig for stålrør med dimensjon 114 og 140 mm med 10 mm veggtykkelse. Metoden bør videreutvikles ved å produsere og prøve ut større diameter for eksempel fra 168-219 mm stålrør.

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. 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, se Figur 4-14. 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.

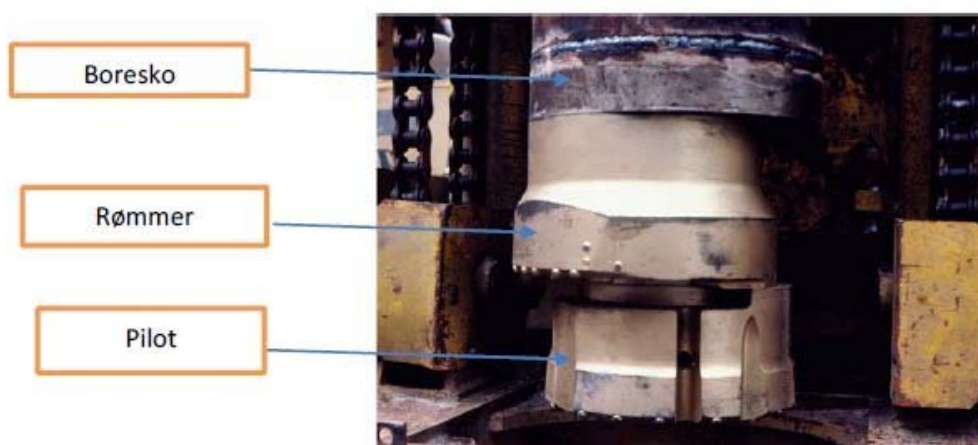
Selvborende stag består av hule gjengede borestenger som hylseskjøtes og bores inn hovedsakelig gjennom løsmasser uten bruk av foringsrør (Figur 4-13). Det kan også bores direkte inn i berg for bolting eller for stagforankring. I løsmasser er det mulig å tilsette støttevæske eller utføre sement injeksjon 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.



Figur 4-13: Venstre: Toppammer og tykkvegget gjenga foringsrør (OD 114) med sentrisk ringkrone (Ø120 mm) benyttet ved boring i felt E på forsøksfelt for stagboring. Høyre: Toppammer og selv borende stag med bergkrone benyttet ved boring i felt A på forsøksfelt (Lande, 2015).

#### 4.5.3 Boring med senkhammer

Boring med luftdrevet senkhammer og eksentriske borkroner (Odex) har hatt stor anvendelse og finnes nå i dimensjonene 90-240 mm (stålrør med diameter fra 114 til 273 mm). Systemet består av tre deler: slagstyring i form av boresko, rømmerkrone og pilotkrone, se Figur 4-14. Siden pilotkronen sitter ca. 10 cm foran foringsrør er det større risiko for omrøring og ukontrollert utblåsning av høytrykksluft ut i løsmassene. Metoden bør unngås dersom man ønsker å redusere setninger og skader.



Figur 4-14: Eksentrisk boresystem med pilot, rømmer og boresko sveiset til stålrør (Veslegard og Simonsen, 2014).

Et alternativ til eksentriske borkroner er sentriske ringkroner som har vært i utvikling i noen år. 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 i bløte og utfordrende grunnforhold.



Atlas Copco har utviklet "Elemex systemet", anvendt med gode resultater blant annet ved boring av rørsputtvegg på Møllenberg i 2010 (Rønning & 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 4-15. Det finnes også tilsvarende borkroner fra andre leverandører som for eksempel Robit "Flow control", Mitsubishi UMB (Venture) og "Spiral flush" fra PPV Finland.



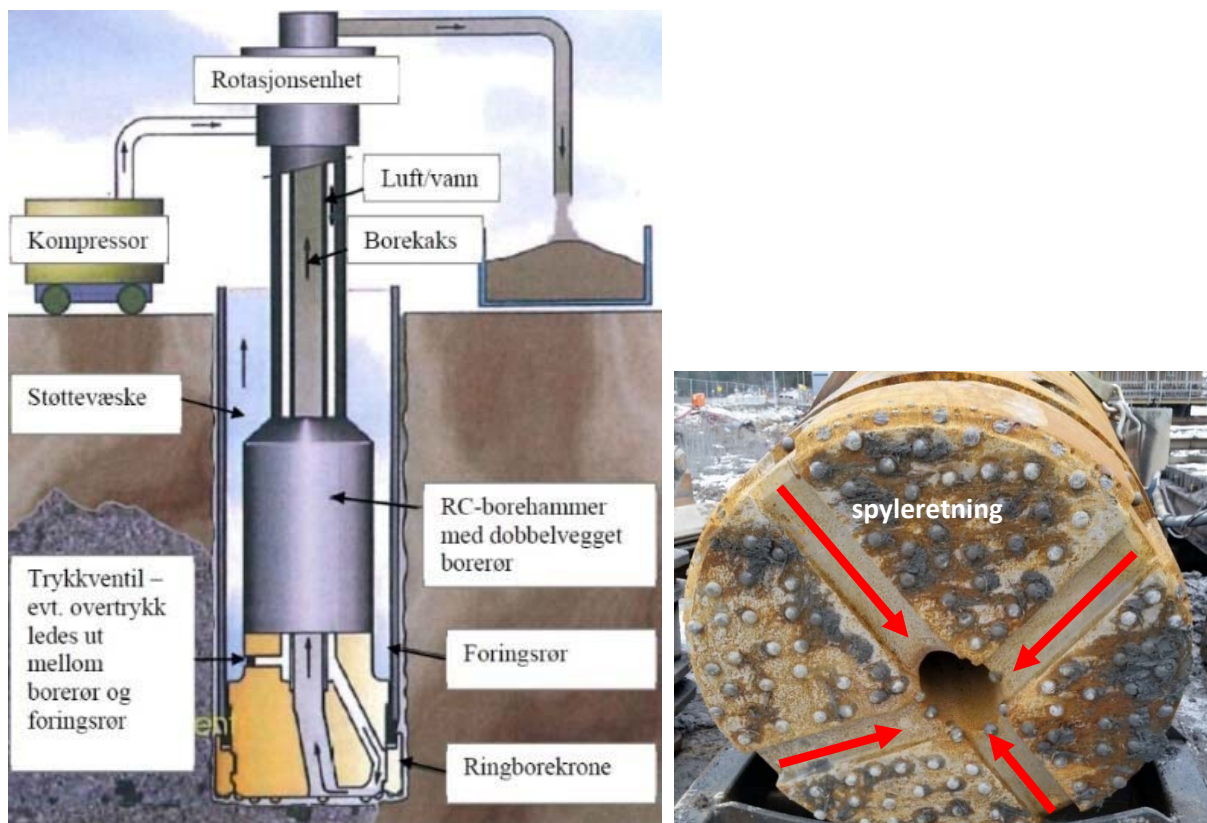
Figur 4-15: Venstre: eksempel Elemex borkrone (Kilde: [www.atlascopco.com](http://www.atlascopco.com)). Høyre: bilde som viser pilotkrone trukket inn i forhold til ringkrone og fordeler spylingen framover (Kilde: Geir Veslegard).

Støttevæske brukes normalt for boring i løsmasser uten foringsrør. Nye støttevæsker som består av polymer kan tilsettes via doseringspumpe med vann eller luft. Tilsetning av polymer har ved spesielle grunnforhold vist seg å være mye bedre enn bare bruk av vann (Bruce, 1992). Det danner en "kake" foran borkrona og opp langs røret. Polymer har ikke de samme negative forhold som bruk av bentonitt støttevæske med hensyn på miljø og binding til løsmasse. 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. Eksempler der denne metoden er brukt med gode resultater er Sandesund bru, Krosby bru, Havnelageret og Julsrud bru.

For å unngå de negative effektene som er knyttet til boring med høytrykksluft er det eneste alternativet per i dag å benytte vannhammer. Den 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 foringsrør og siden det ikke brukes luft er det heller ingen risiko for at luft går ut i løsmassene. Vannhammerer finnes nå i diameter 3-10" som kan bore foringsrør fra 114-273 mm. Hovedutfordringen til nå har vært å løse håndtering av store vannmengder på byggeplass, spesielt vinterstid. Avhengig av dimensjon på hammer kreves det mellom 100-650 l/min ved boring i berg. Ved spyleboring i bløte løsmasser kreves det i prinsippet ikke større mengde vann enn å holde spyledyser åpne.

Et alternativ for å redusere risiko for ukontrollert innsuging/utspyling av løsmasser er "RC-boring" med hammer (reversibelt boresystem). Prinsippet for virkemåte på borkronen er vist i Figur 4-16, der luften 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 bruk av konvensjonell hammer. Effekten fra hammeren (reduert penetrasjon i faste masser) er normalt mindre enn ved konvensjonelle

hammer. RC metoden er aktuell å prøve ut mer og kan potensielt 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 på Møllenberg (Rønning og Haugen, 2015) og ved boring av stålørspeler for Hobølvele bru (Haugen et al., 2015).



Figur 4-16: Til venstre: prinsipp for boring med reversert sirkulasjon (RC-krone), hammer, doble borerør og rotasjonskasse med oppsamling av borekaks (Pelevleiledningen 2012). Til høyre: eksempel pilotkrone for RC-boring ( $\varnothing 813$  mm) fra Holte med retur av spyling i senter av borekrone.

En oversikt over aktuelle boremetoder med fordeler, ulemper og forslag til videreutvikling/tiltak er presentert i Tabell 4-3. For mer detaljert beskrivelse av ulike boremetodene vises det til delrapport 1+2.1 (Simonsen & Veslegard, 2014) og delrapport 3.4 (Veslegard et al., 2015).



Tabell 4-3: Oversikt boremetoder.

**Toppammer**

FORDEL	ULEMPE	TILTAK/VIDEREUTVIKLING
Kan bores uten luftspyling. Redusert/ingen senkning av vannivå i foringsrør. Redusert risiko for utspyling/ innsuging av masser.	Begrenset dybde 20-50 m. Diameter 90-140 mm. Borehullsavvik pga slag oppe. Skrens i blokk og skrått fjell.	Større topphammer. Prøve ut Double head eller vibrasjonshammer. Større bordiameter.

**Toppammer, selvborende stag/peler**

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. Kollaps i jord rundt stag. Størrelse og utbredelse av injeksjons sone/kropp. Begrenset erfaring som bergstag.	Injeksjon i løsmasser. Injeksjonsplattform. Datalogging av injeksjon. PE-rør og krympelast i frisone. Mer dokumentasjon av bergstag i byggeproper i leire.

**Spyle- og rotasjonsboring**

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 rotasjonskasse.	Pumpemengde og trykk. Rotasjonsboring med rullekrone i faste masser og berg.

**Spyle-/RC boring med løsmassekrone + Polymer**

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.

**Senkhammer, luftdrevet**

FORDEL	ULEMPE	TILTAK/VIDEREUTVIKLING
Store dybder, 50-100 m. Stor diameter og utvalg. Lik energi uavhengig av dybde. Redusert borhullsavvik. 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. Begrenset erfaring med vinger.	Mindre Odex-boring. Videreutvikling av ringborkronesystemet. Mer dokumentasjon og erfaring med forbedrede ringborkroner. Automatisk logging av boreparameter.

**Senkhammer, vandrevet (Vannhammer)**

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.

**Reversibel senkhammer og rørdrivings-hammer**

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 streng	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

#### 4.5.4 Valg av boremetode og boreprosedyre

BegrensSkade-prosjektet har samlet inn 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 (Veslegard et al., 2015). Det er imidlertid viktig å understreke at det er behov for egne vurderinger i hvert enkelt prosjekt. Alternativer til boring av stag og peler, for eksempel innvendig avstivning og rammede peler, bør vurderes nærmere i prosjekter hvor det er spesielt fokus på å redusere risiko for setninger. Dette er vurdert og beskrevet av Karlsrud et.al (2015).

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. Behov for opplæring og sertifisering av boreledere er i den sammenheng fremhevet som et viktig tiltak av Veimo et.al (2015).

Tekniske beskrivelser for borede stag og peler har normalt ikke omfattet detaljerte krav vedrørende borprosedyrer, som i all hovedsak har vært overlatt til boreentreprenører. Det bør tas med krav i spesiell beskrivelse hvor forhold gjør det viktig. Borsynk må tilpasses dimensjon på boreutstyr og grunnforhold slik at volum av masser som bores ut er tilnærmet likt volumet av foringsrør. Normalt velger entreprenør utførelse som øker fremdrift/penetrasjon, noe som kan øke risiko for å skape setninger og skader.

I forbindelse med valg av boremetode og prosedyre anbefales følgende:

- a) Dersom det er teknisk mulig bør det fortrinnsvis velges boremetode som muliggjør boring kun med vannspyling både gjennom bløte og faste masser, samt inn i berg. Per i dag kan topphammer bore foringsrør med diameter  $\varnothing 90$ -140 mm, og vannhammer  $\varnothing 114$ -324 mm.
- b) Hvis det anvendes luftdrevet senkhammer bør det benyttes ringbor- og pilotkroner som er spesielt utformet for å redusere risiko for "overboring" og at trykkluft evakuerer ut i grunnen og fører til ukontrollert utspyling av masser opp langs utsiden av stålrør, men også innsuging av masser rundt borkronen. Ringborkroner kan bore stålrør med diameter  $\varnothing 114$ -1016 mm.
- c) Reversert sirkulasjon (RC-boring) med dobbel borestreng med kontinuerlig oppsamling og kontroll av volum borkaks kan være et godt alternativ ved boring i utfordrende grunnforhold med bløt leire og faste masser over berg som krever bruk av luftspyling for å bore inn i berg. Det kan også benyttes støttevæske.
- d) Borsynk bør tilpasses dimensjon på boreutstyr og grunnforhold for å unngå uønsket massefortrengning og omrøring rundt borestreng ved boring i bløt leire og silt. For stag og mikropeler ( $\varnothing < 300$  mm) bør borsynk ikke være høyere enn eksempelvis 1 m/min ved boring i leire. For grovere 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.
- e) Ved boring i bløt leire, silt og sand bør (skal) det kun benyttes vannspyling for å løfte ut borkaks av borehullet for å redusere omrøring og utspyling på utsiden av stålrør. 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.

- f) 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.

Utstyrsleverandører oppgir normalt anbefalte spyletrykk og nødvendig kapasitet på luftkompressorer for ulike borhammere og dimensjoner. Det er viktig å være klar over at disse tall i hovedsak er tilpasset bergboring og høy fremdrift/penetrasjon.

- g) Ved all boring skal det være kontinuerlig opptransport av spylemasser (borkaks og borslam) som kommer i retur opp i foringsrør. Kommer det ikke masse opp gjennom foringsrøret bør boringen umiddelbart stoppes og tiltak iverksettes for å unngå ukontrollert utblåsning ut i grunnen. Om dette ikke oppnås bør boringen avbrytes, røret trekkes opp og masser fylles tilbake.
- h) For å redusere risiko for ukontrollert innstrømming av masser ved stopp i boreprosessen skal stålrør fylles med vann før stopp i boreprosessen. Dersom det bores i spesielt utfordrende grunnforhold (silt, finsand) bør det vurderes å benytte støttevæske/polymer med høyere egenvekt, og som danner en filterkake i forkant av borkronen.

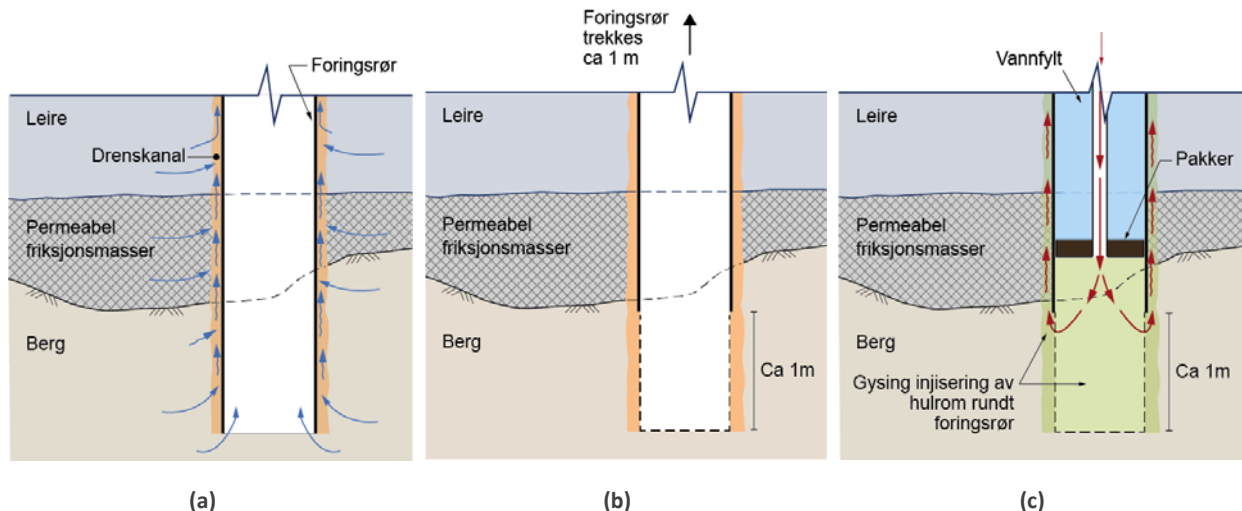
Det finske Vegdirektoratet (Finnish Road Administration, 2003) har for øvrig utarbeidet en veiledning for design og utførelse av borede peler, som også kan gi nyttig informasjon vedrørende utførelse og beskrivelse av boring.

#### 4.5.6 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 (høy) risiko for at foringsrør til stag og/eller peler kan føre til lekkasjer med påfølgende reduksjon av poretrykk ved berg kan det iverksettes ulike tiltak for å unngå eller redusere disse negative effektene:

1. Dersom det er teknisk og økonomisk mulig bør det ved prosjektering vurderes å velge løsninger som reduserer eller utelukker bruk av borede stag og/eller peler. (Eksempelvis innvendig avstivning for å unngå stag som bores under GV-nivå, eller rammede peler)
2. Boring av foringsrør til peler (og stag) fra nivå over GV, eller et nivå ikke vesentlig dypere enn GV-nivå for å redusere fare for å skape drenerende "glippe" opp langs utsiden av foringsrør uansett boremetode. Foringsrør bores ca. 1 m inn i godt berg (Figur 4-17a).
3. Foringsrør trekkes ca. 0,5-1 m opp og borestreng trekkes ut av rør, hele tiden med vannfylt rør. Deretter utføres mørtelinjeksjon med pakker i bunn av foringsrør for tetting av glippe på utsiden av foringsrør ved overgang mellom rør og berg (Figur 4-17b og Figur 4-17c). Ved boring fra nivå under GV bør mørtelinjeksjon utføres fortløpende i forbindelse med boring for å unngå at flere rør står og drenerer vannførende lag samtidig.

4. Foringsrør bankes ned til bunn av borehull 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 terreng i 5 minutter. Mengde vann registreres i bore-protokoll og vurderes om det er over grenseverdi.
6. Sette midlertidig pakker dersom det oppdages lekkasje gjennom foringsrør
7. Installere lisser og/eller stålkjernepeler fortløpende for å redusere tid som rør eventuelt står og drenerer innvendig. Utføres installasjon av stag/stålkjerner fra nivå over GV er drenering ikke et problem, såfremt det ikke er artesisk trykk i området, og flere/alle kan installeres samtidig. En annen fordel med å installere stålkjerner fra nivå over GV er at oppføring av kjeller og resten av bygget kan starte umiddelbart når traubunn er nådd.
8. Infiltrasjonsbrønner i berg kan etableres for å opprettholde nødvendig poretrykk (kombinert med måleprogram for poretrykksmåling).
9. Dersom det benyttes topphammer med selvboende stag eller tykkvegget gjenga rør som trekkes vil fortløpende mørtelinjeksjon av borehull eliminere problem med lekkasje opp langs stagene.



Figur 4-17: (a) boring av foringsrør ca. 1 m inn i godt berg, (b) foringsrør trekkes ca. 0-5-1 m opp, (c) mørtelinjering med pakker fra bunn av foringsrør.

#### 4.6 Forbedret dokumentasjon og kontroll av borearbeider

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. 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.

#### 4.6.2 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. 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. I enkelte tilfeller har boreprotokoller begrenset innhold som ikke oppfyller de krav som stilles i standarder og beskrivelser.

I henhold til gjeldende standard NS-EN 1997-1:2004+NA:2008 (Eurokode 7) Kapittel 7.9 "Utførelseskontroll" stilles det krav om peleprotokoll for hver enkelt pel, med referanser til ulike utførelsesstandarder. Beskrivelsesstandard NS 3420-G:2008, og Statens Vegvesen Håndbok R762 Prosesskode 2, 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.

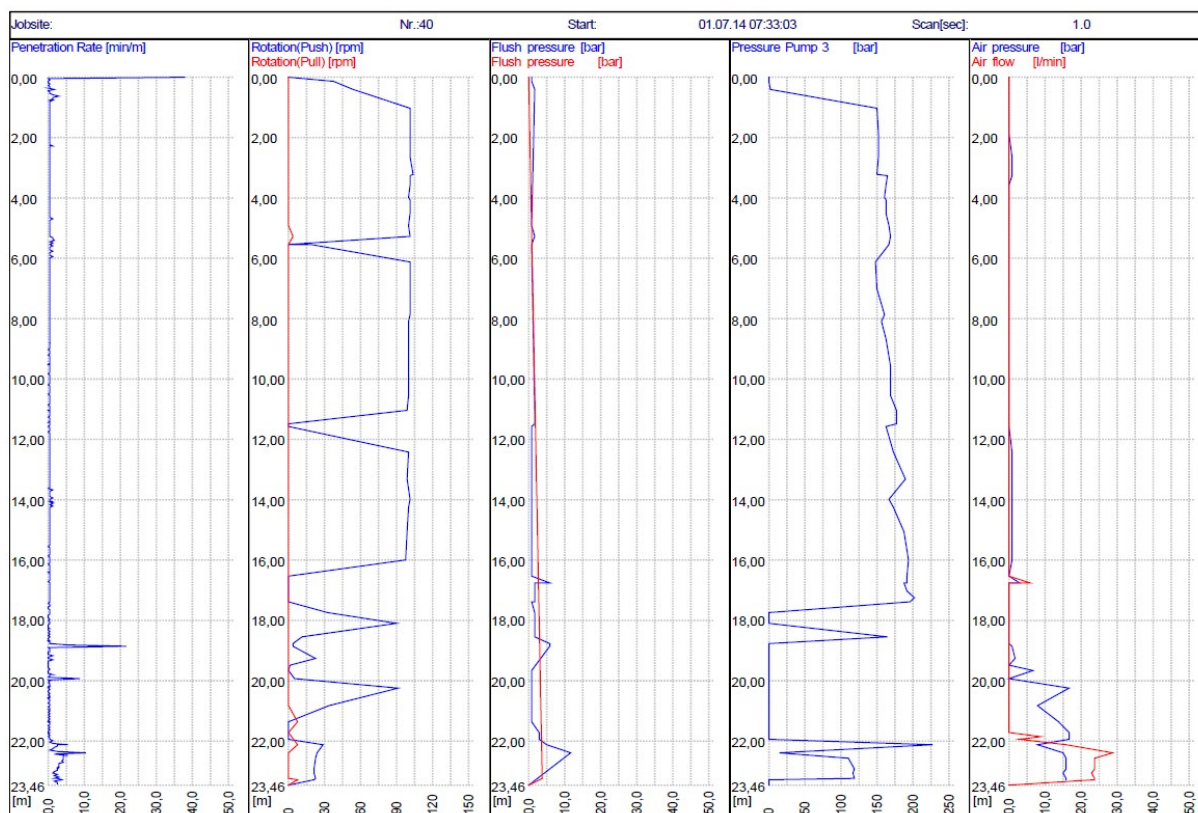
I Eurokode 7 og Prosesskode 2 er det listet opp og beskrevet hvilken informasjon som minimum skal være med i boreprotokoller for borede peler. Det er ikke tilsvarende detaljerte krav til borede stag. I tillegg til denne generelle informasjonen bør boreprotokoller inneholde følgende informasjon:

- 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).

#### 4.6.3 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 4.5.2. Borelogg kan dermed presenteres for hver pel eller stag, se eksempel på logg i Figur 4-18 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 Bauer, Jean Lutz og Lim.





Figur 4-18: Eksempel automatisk datalogging ved boring av peler (Kilde: Hallingdal bergboring).

#### 4.6.4 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 4.2.

#### Poretrykk og grunnvann

- For å måle og dokumentere endringer i poretrykk og grunnvann som følge av boring bør det installeres elektriske piezometere (PZ) med automatisk logging. Måleintervall kan da tilpasses underveis etter behov, avhengig om man vil måle umiddelbare endringer ved installasjon og/eller over lengre tid.
- PZ bør fortrinnsvis installeres i ulike dybder og med ulike avstander fra det aktuelle området hvor det utføres boring, og være tilpasset den aktuelle problemstillingen.
- PZ installert i leire kan benyttes for å vurdere poretrykksøkning som følge av massefortrengning og/eller ukontrollert utblåsning av trykkluft i leira forutsatt at avstanden mellom stag/pel og PZ ikke er for stor. Poretrykksmålere bør generelt ikke installeres for tett inntil



planlagte peler eller stag da det er fare for konflikt under boring grunnet ukontrollert retningsavvik. Minimum avstand bør være ca. 1,5-2 m avhengig av dybde og dimensjoner.

- PZ bør installeres ned til faste masser/berg for å kunne dokumentere eventuelle temporære endringer av poretrykk under boring. Reduksjoner av poretrykk kan gi en indikasjon på risiko for innsuging/erosjon av masser ved luftspyling. I tillegg kan man måle langtids reduksjoner av poretrykk grunnet lekkasje/drenasje.

Resultatene bør fortløpende brukes til å vurdere eventuelle tiltak som tetting mot lekkasje langs rør, infiltrasjonsbrønner eller endring av boremetode og prosedyre.

### Setninger og forskyvinger

- For å måle og dokumentere om boring fører til utspyling/innsuging av masser som kan føre til setninger, anbefales det å måle setninger i ulike dybder og avstander fra det aktuelle området hvor det utføres boring. Dette kan fortrinnsvis gjøres ved bruk av ekstensometre eller setningsankere.
- For støttekonstruksjoner bør det utføres helningsmåling for å dokumentere forskyvning og sammenligne mot beregnede/forventede verdier. Helningsmåling kan alternativt kombineres med ekstensometer.
- Ideelt sett bør volum av borkaks og spylevann måles for å kunne vurdere om boringen fører til volumtap. Slike målinger er imidlertid utfordrende såfremt det ikke benyttes boresystem med reversert sirkulasjon (RC-boring).

#### 4.6.5 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. 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 rørsjunt (Ø610 mm rør) for Strindheimtunnelen i Trondheim i 2010 ble det utført prøveboring med relativt omfattende instrumentering som omfattet poretrykksmåling i ulike dybder og avstander fra pel, totaltrykkcelle på rør, samt trykksondering og prøvetaking inntil pel. Det ble i tillegg registrert boredata. Rønning & Haugen (2015) beskriver i erfaringsrapport fra prosjektet utførelsen og presenterer resultater fra målinger under prøveboring og produksjon.

Statens Vegvesen (SVV) har også utført prøveboring og omfattende instrumentering i forbindelse med boring av grove stålrørspeler (Ø813 mm) for Skaudalsbrua på Fosen i Nord-Trøndelag vinteren 2015. Det var spesielt fokus på skråningsstabilitet og risiko for massefortrengning og ukontrollert utblåsning i kvikkleire. Det ble derfor benyttet "Spiral Flush" ringborkrone som ifølge leverandøren er mer skånsom med hensyn på forstyrrelser fra luftspyling. Det ble først boret i en bruakse der det ikke var kvikkleire for å vurdere boreprosedyre. Boringen ble utført med luftspyling gjennom leire noe som førte til betydelige poretrykksøkninger i leira (opptil 110 kPa på 4 m dybde og 2 m avstand fra senter pel) og ukontrollert utblåsning av leire på utsiden av rør. På bakgrunn av dette besluttet SVV at boreprosedyren måtte endres og testes ut ved prøveboring før boring av peler i kvikkleire. Ved å

benytte vannspyling og meget lav borsynk gjennom leira lyktes man å redusere påvirkning fra boring til et akseptabelt nivå.

#### 4.7 Tekniske beskrivelser for boring

Gode og detaljerte tekniske beskrivelser der valg av boremetode og utførelse er tilpasset grunnforhold og skaderisiko er i stor grad avgjørende for å sikre et godt resultat og for å begrense skader. Delrapport 1+2.3 (Øiset et al., 2015) oppsummerer hva som er skrevet i eksisterende standarder med hensyn til skadebegrensning ved boring.

Normalt benyttes enten NS 3420 (2008) eller Statens vegvesen Håndbok R762 Prosesskode 2 (2012) for utarbeidelse av beskrivelser. Generell beskrivelsestekst i NS 3420 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. I NS 3420 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 ikke henviser til utførelsesstandard for poster som beskriver boring av foringsrør, hverken i løsmasse eller berg.

Håndbok R762 Prosesskode 2 er noe mer detaljert enn NS 3420 og stiller krav til boreutstyr for boring av foringsrør, samt 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 gjøres for foringsrør til peler.

NS-EN 1536:2010 Borede peler 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 omtaler faren for erosjon ved boring. Dette er den nyeste av utførelsesstandardene som omhandler boring, og den har et oppdatert fokus på skade som følge av boring. En generell observasjon er at standarden imidlertid 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 og Håndbok R762 (Prosesskode 2) bør koordineres og være i samsvar for like arbeidsoperasjoner. Dette for å sikre generelt høyere kvalitet, samt 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 og Prosesskoden. Dette kan legges inn i program for beskrivelser, for eksempel "G-prog".

- Beskrivelser bør sette krav til valg av boremetode og prosedyre, f. eks iht. anbefalinger i kapittel 4.5. Det er en forutsetning at krav i spesielt beskrivelse er gjennomførbare, målbare, samt mulige for entreprenøren å prise. 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 poretrykksreduksjon ved berg. Det bør settes krav til maksimal lekkasje opp gjennom stag/pel som kriterium for eventuelle tett tiltak, 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.

## 4.8 Utførelse av borearbeider

### 4.8.1 *Kompetanse og erfaring på boremannskap*

BegrensSkade ser et behov for å innføre kompetansekrav og sertifisering av personell som leder og utfører borearbeider for stag og peler. Dagens praksis er preget av for stor variasjon i kompetanse og utførelse, samt generell forståelse av konsekvenser ved boring i ulike grunnforhold.

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 kan ikke være 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.

Utviklingen går for øvrig mot stadig kraftigere ("bedre") borerigger og utstyr (pumper, kompressorer og lignende). Dette kan øke sannsynligheten for ukontrollert omrøring og utblåsninger i løsmassene, samt innsuging av masser som kan føre til betydelige setningsskader eller i verste fall grunnbrudd. Erfaring fra nyere byggeprosjekter har vist at nye og "forbedrede" borkroner (eksempelvis Atlas Copco Elemex, Robit Flow Control, PPV Spiral Flush) ikke nødvendigvis er bedre med hensyn på å redusere skader dersom ikke utførelse og prosedyrer er tilpasset grunnforholdene og aktuelle dimensjoner.

### 4.8.2 *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 & Braaten (2002) tidsstudier ved boring av foringsrør for stålkjernepeler. Studiene viste at det ikke var nevneverdig forskjell på det totale tidsforbruket per løpemeter 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 optimal borsynk, (0,5 – 1,0 m/min ifølge kapittel 4.2 og 4.3) 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 (bygherrer, prosjekterende, entreprenører) og legges til grunn for utførelsen.

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

## 5 Verktøy for risikovurdering

### 5.1 Innledning

#### 5.1.1 Risiko i BegrensSkade

Gjennom de senere årene har risikovurderinger i økende grad blitt brukt innen mange forskjellige virksomheter. For byggenæringen kan dette sies å være implisitt inkludert i dimensjoneringsprinsippene, men risikovurderinger i form av en systematisk metode er i liten grad blitt gjennomført. For BegrensSkade ble derfor risiko inkludert som et eget delprosjekt (DP5) for å se på hvordan man kan inkorporere risikovurderinger i prosjekteringen og gjennomføringen av byggeoppdrag generelt, og for grunn- og fundamenteringsarbeider spesielt.

I BegrensSkade inkluderte delprosjekt 5 om risiko tre delemner, med en delrapport for hver av delemnene:

- Delrapport 5.1 *Risiko – litteraturstudie* (Kalsnes, Eidsvig & Zhongqiang, 2015), som blant annet beskriver bruk av ulike metoder for risikovurderinger.
- Delrapport 5.2 *Risikoveiledning* (Vangelsten, Haugen & Kalsnes), som omfatter en veiledning for bruk av risikohåndteringsverktøy for konkrete byggeoppdrag. Verktøyet kan lastes ned fra BegrensSkades nettside: <http://www.ngi.no/no/Prosjektnett/BegrensSkade/>.
- Delrapport 5.3 *Work shop risiko* (Kalsnes & Eidsvig, 2015), som oppsummerer gjennomføring av en workshop med utførelse av en risikovurdering for en konkret byggeprosjekt.

#### 5.1.2 Hva er risiko?

Innen faglitteraturen finnes det et utall forskjellige definisjoner av risiko. Ordet *risiko* kommer fra italiensk og har sitt utspring i ordet *risicare* som betyr å våge. Aven og Renn (2010) deler definisjonene av risiko inn i to hovedkategorier:

Risiko er et mål på sannsynlighet og alvorlighet av uønskede effekter på helse, eiendom eller miljøet, gjerne som et produkt av sannsynlighet og konsekvens.

Risiko er uttrykt gjennom hendelser/konsekvenser og usikkerheter.

Som uttrykk for disse to hovedkategoriene kan definisjonene fra NS5814 og ISO 31000 siteres: "Risiko uttrykker en kombinasjon av *sannsynligheten for og konsekvensen av* en uønsket hendelse" (NS5814); "Risiko er effekt av usikkerhet på målsetninger" (ISO 31000).

Ved risikohåndtering kan man stille seg noen enkle fundamentale spørsmål:

Hva kan gå galt?

Hva er sannsynligheten for at det går galt?

Hva er konsekvensen av at det går galt?

Er risikoen akseptabel, hvis ikke; hva kan gjøres?

Risikohåndtering er en betegnelse for koordinerte aktiviteter for å vurdere, kontrollere og takle risikoen forårsaket av farer som samfunnet er omgitt av. Formålet med risikohåndteringen er følgelig

å vurdere og eventuelt redusere risikoen hvis nødvendig. Når konteksten for risikohåndtering er etablert, er følgende trinn viktige i risikohåndteringsprosessen i samsvar med ISO 31000:

Trinn 1: Risikoidentifikasjon: Potensielle trusler og farer identifiseres. Hva kan skje?

Trinn 2: Risikoanalyse: Sannsynligheter, potensielle konsekvenser og usikkerheter kombineres. Hvor sannsynlig er det og hvis det skjer, hva er konsekvensene?

Trinn 3: Risikoevaluering: Risikoen vurderes i forhold til kriterier for akseptabel eller tolerabel risiko. Er risikoen akseptabel?

Trinn 4: Risikoreduserende tiltak: Hva kan gjøres for å få risikoen ned på et akseptabelt nivå?

### 5.1.3 Risikostandarder

Av standarder som kan rådføres ved risikovurderinger nevnes følgende:

NS-ISO 31000:2009. Risikostyring – Prinsipper og retningslinjer.

NS-ISO 31010:2009. Risikostyring – Metoder for risikovurdering.

NS 5814. Krav til risikovurderinger.

NS 5815. Risikovurderinger av anleggsarbeid.

Mens de tre første er generelle standarder for bruk i risikovurderinger er NS 5815 fagspesifikk for anleggsarbeid og er utarbeidet for å gi veiledning for å kunne utføre risikovurderinger for ulike anleggsarbeider.

## 5.2 Metodikk

### 5.2.1 Generelt

Det finnes en mengde verktøy som kan benyttes i risikohåndteringsprosessen. Metodene kan være både rent kvalitative, kombinasjon av kvalitative og kvantitative eller rent kvantitative. Enkelte metoder kan benyttes av personell uten spesiell ekspertise innen risikovurderinger, mens det for andre metoder trengs en slik spesialisering. De ulike metodene kan være effektive verktøy i ulike stadier i et prosjekt. Ved metodevalg bør man også vurdere datatilgang, tilgjengelig ekspertise, kompleksitet av problemstilling samt formålet med analysen og hvem som skal bruke resultatene. Når det er besluttet å utføre en risikovurdering og målsetting og omfang er definert, bør følgende vurderes ved valg av metodikk:

- (1) Formålet med studiet. Formålet med risikovurderingen vil ha en direkte innvirkning på metodikken som benyttes. Hvis for eksempel hensikten med studiet er en sammenlikning mellom ulike alternativer, kan det være hensiktsmessig å bruke mindre detaljerte konsekvensmodeller for de deler av systemet der det er små forskjeller mellom alternativene.
- (2) Informasjonsbehovet til beslutningstakerene. I noen tilfeller er et høyt detaljeringsnivå nødvendig for å fatte gode beslutninger, mens i andre tilfeller vil en mer generell forståelse være tilstrekkelig.
- (3) Typen og spekteret av risiki som skal analyseres.



- (4) Det potensielle omfanget av konsekvensene. Hvor dyptgående analyser det skal satses på, bør reflektere den initielle oppfatningen av konsekvensene (selv om modifikasjon av denne kan bli nødvendig utover i evalueringsprosessen).
- (5) Tilgjengelighet på ressurser, både tilgang på ekspertise, menneskelige og andre nødvendige ressurser. En enkel metode som er anvendt på en god måte kan gi bedre resultater enn en mer sofistikert metode som er mangelfullt utført, så lenge førstnevnte tilfredsstillende hensikten med og omfanget av vurderingen.
- (6) Tilgjengelighet på data: I en tidlig fase av prosjektet kan grovere metoder benyttes. Utover i prosjektet, når større datamengder er tilgjengelig, bør mer sofistikerte metoder benyttes.
- (7) Risikoakseptkriterier og prosedyrer for risikohåndtering definert i prosjektet.

### 5.2.2 Oversikt over metoder

Nærmere beskrivelser av aktuelle metoder for risikovurderinger er gitt mange steder, for eksempel i ISO 31010:2009, eller Rausand og Utne (2009). Metodene kan i grove trekk deles inn i kvalitative, semikvantitative og kvantitative metoder, avhengig av presisjonsnivået. De kvalitative metodene er beskrivende av natur og benyttes ofte med den hensikt å identifisere hvilke uønskede hendelser som bør studeres videre ved hjelp av kvantitative metoder. Kvantitative metoder sikter mot å estimere både sannsynlighet og konsekvens av uønskede hendelser, mens de semi-kvantitative metodene rangerer risiko ved bruk av relative tall. Eksempler på kvalitative metoder i anleggsprosjekter er bruk av sjekklister, grovanalyser, fare- og opererbarhetsanalyser (HAZOP) og "Hva hender hvis" analyser (swift). Vanlige kvantitative metoder er feiltre-, beslutnings- og hendelsestre-analyser, FMEA (Failure Modes and Effect Analysis) og MORT (Management Oversight and Risk Tree). Tabell 5-1 gir en oversikt over anvendbarhetsområder for enkelte metoder.

Tabell 5-1. Oversikt over metoder for risikovurderinger

Metode	Hensikt	Anvendelse	Kvalitativ	Semi- kvantitativ	Kvantitativ
Sjekklister	Fare identifisering	Konseptfase	+	-	-
Grovanalyse	Foreløpig fare identifisering og risikoestimat	Konseptfase	+	+	-
Opererbarhetsstudie (HAZOP)	Fare og risiko identifisering	Designfase	+	+	-
Hva-hender-hvis (Swift)	Fare identifisering og tiltak	Hele prosjektet	+	-	-
Observasjons metode	Foreta korrigeringer basert på overvåkningsdata	Design og driftsfasen	+	-	-
Scenarie analyser	Fare og risiko identifisering	Designfase	+	+	-
Feilmode- og feileffektanalyse (FMEA)	Identifisere kilder til og effekter av svikt i utstyr	Designfase	+	+	+
Feiltrær	Fare og hendelses identifisering	Designfase	+	+	+
Hendelsestrær	Beskrivelse av hendelser og konsekvenser	Design- og driftsfase	+	+	+
Beslutningstrær	Rangering av beslutnings alternativer	Designfase	+	+	+
Bayesisk analyse	Risiko-evaluering	Designfase	-	+	+
MORT	Barriereanalyse	Designfase	+	+	+
Monte Carlo simulering	Stokastiske beregninger	Designfase	-	-	+

## 5.3 Risikometode utviklet i BegrensSkade

### 5.3.1 Oversikt over metoden

I BegrensSkade er det utviklet en egen metode for risikohåndtering. Den foreslåtte metoden baserer seg konseptuelt på ISO 31000's rammeverk, ved at metodikken deles inn i fem faser tilsvarende det ISO 31000 gjør; Fase 1: Etablere grunnlag. Fase 2: Risikoidentifikasjon; Fase 3: Semi-kvantitativ risikoanalyse; Fase 4: Risikoevaluering; Fase 5: Risikoreduserende tiltak. **Metoden er implementert i regnearket BegrensSkadeRisikohandtering.xlsm.** Dette kapittelet gir en veiledning til bruk av regnearket.

Regnearket består av totalt tre ark:

- 01-Grunnlag
- 02-Risikoidentifikasjon
- 03-Risikoanalyse

Arkene brukes som følger i de ulike fasene av risikohåndteringen:

Fase 1: Etablere grunnlag. Brukeren fyller data i arkene *01- Grunnlag* og *02-Risikoidentifikasjon*.

Fase 2: Risikoidentifikasjon. Brukeren fyller data i arket *02-Risikoidentifikasjon*.

Fase 3: Semi-kvantitativ risikoanalyse. Gjennomføres i arket *02-Risikoidentifikasjon* og *03Risikoanalyse*.

Fase 4: Risikoevaluering. Gjennomføres i arket *03-Risikoanalyse*.

Fase 5: Risikoreduserende tiltak. Analyse av effekt av alternative tiltakspakker kan gjennomføres som en revisjon av arkene *02-Risikoidentifikasjon* og *03-Risikoanalyse*.

Det anbefales at bruken av metoden og regnearket utføres av en gruppe hvor fagekspertise på ulike nivåer og relevant for ulike faser av prosjektet, samarbeider. Etter hvert som prosjektet skrider fram og ny informasjon foreligger, bør regnearket revideres.

### 5.3.2 Fase 1: Etablere grunnlag

Innledningsvis må formålet med analysen klargjøres, hvilket vil si at man definerer hvilke konsekvenstyper man er interessert i å vurdere, samt at man strukturerer prosjektet slik at man lettere kan identifisere kilder til usikkerhet og potensielle årsaker til uønskede hendelser. Hovedpunkter som skal gjennomføres inkluderer bestemmelse av hvilke typer usikkerheter og hvilke konsekvenstyper som skal inkluderes i regnearket. Eksempelet inkludert i regnearket inneholder fem typer av usikkerhet og fire konsekvenstyper, men brukeren står fritt til å fjerne og legge til egne typer. For eksempel definerer NS 5815 "Risikovurdering av anleggsarbeid" følgende fire konsekvenstyper: Liv og helse (H), Miljø (M), Økonomi/materielle verdier (Ø) og Omdømme (O). Konsekvenstypene bør være av en slik natur at det for hver av dem er mulig å definere fem konkrete alvorlighetsklasser. To viktige kriterier for valg av alvorlighetsklasser er (a) at de er mest mulig konkrete og (b) at det senere i risikoanalysen er praktisk mulig for brukeren å vurdere hvilken alvorlighetsklasse en konsekvens havner i. Konkrete klassegrenser gjør risikoanalysen mer repeterbar og uavhengig av hvem som utfører analysen. Klassene må tilpasses prosjektet, det vil si at klassegrensene som settes er relevante for prosjektet. NS 5815 "Risikovurdering av anleggsarbeid" foreslår bruk av følgende generelle klassegrenser: K1 =

Ufarlig, K2 = Farlig, K3 = Kritisk, K4 = Meget kritisk, K5 = Katastrofal. Disse adjektivene kan brukes som rettesnor når mer konkrete klassegrenser skal defineres, se Tabell 5.2 for forslag gitt i regnearket.

Tabell 5-2 Alvorlighetsklasser definert i eksempelet inkludert i regnearket.

Alvorlighets- Klasse (NS 5815)	Konsekvenstype			
	Liv og helse	Miljø	Fremdrift	Økonomi
<b>K1 (ufarlig)</b>	Skader uten fravær	Små miljøskader	Forsinkelse < 1 uke	<50 000 kr
<b>K2 (farlig)</b>	Fravær < 10 dager	Miljøskader. Rest. Tid < 1 år	Forsinkelse på 1 uke til 1 måned	50-250 000 kr
<b>K3 (kritisk)</b>	Fravær > 10 dager	Betydelig. Rest tid 1-3 år	Forsinkelse på 1 måned til 3 måneder	250 000 - 1 mill kr
<b>K4 (meget kritisk)</b>	Alvorlige skader	Alvorlig. Rest tid 3-10 år	Forsinkelse på 3 måneder til 1 år	1-5 mill kr
<b>K5 (katastrofal)</b>	Dødsfall	Rest tid > 10 år	Forsinkelse > 1 år	> 5 mill kr

Sannsynlighetsklasser for de ulike hendelsene skal også defineres. Som for konsekvensklassene er kriteriene (a) at de er mest mulig konkrete og (b) at det senere i risikoanalysen er praktisk mulig for brukeren å vurdere hvilken sannsynlighetsklasse en uønsket hendelse havner i. Eksemplet gitt i regnearket bruker følgende adjektiver som veiledning for brukeren (Tabell 5-3): S1 = Ekstremt lite sannsynlig, S2 = Svært lite sannsynlig, S3 = Meget lite sannsynlig, S4 = Lite sannsynlig, S5 = Noe sannsynlig. I eksempelet inkludert i regnearket er det valgt å bruke årlig sannsynlighet for hendelsen, fra mindre enn 0.1% per år for klasse S1 til mer enn 10% per år for klasse S5. NS 5815 opererer med sannsynlighets kategorier fra lite sannsynlig til svært sannsynlig med beskrivelse av hyppighet for 3 eksempler. SGF (2014a) opererer også med sannsynlighets kategorier, der de gir sannsynligheter for at en hendelse skal skje i et prosjekt fra < 1% (S1) til > 50% (S5).

Tabell 5-3 Sannsynlighetsklasser definert i eksempelet inkludert i regnearket.

(Adjektiver sannsynlighet)	Klasse	Beskrivelse sannsynlighet
<b>(S1 = Ekstremt lite sannsynlig)</b>	<b>1</b>	< 0.1% per år
<b>(S2 = Svært lite sannsynlig)</b>	<b>2</b>	0.1-1% per år
<b>(S3 = Meget lite sannsynlig)</b>	<b>3</b>	1-3% per år
<b>(S4 = Lite sannsynlig)</b>	<b>4</b>	3-10% per år
<b>(S5 = Noe sannsynlig)</b>	<b>5</b>	> 10% per år

NS 5815 (risikovurdering av anleggsarbeid) gir diverse eksempler på hyppighet relevante for anleggsarbeid for de fem sannsynlighetskategori. Det kan være fornuftig å konsultere disse før sannsynlighetsklassene bestemmes i regnearket for det enkelte prosjekt som skal risikovurderes.

For at det skal bli lettere å finne kilder til usikkerhet og potensielle årsaker til uønskede hendelser, er regnearket bygget opp slik at hovedprosessene i prosjektet identifiseres, nummereres og listes opp. Hvordan prosjektet deles opp, er opp til brukeren. Prosessene kan for eksempel ordnes kronologisk og/eller i henhold til hvem som er utførende/ansvarlig for prosessen. Tabell 5-4 gir et eksempel på prosjektprosesser for en byggegrop med spunting og stagforankring der en risikovurdering med fordel kan inkluderes.

Tabell 5-4 Eksempel på prosjektprosesser for byggegrop med stagforankring/spunting

Prosess	Kommentar
Vurdering av byggegrop	På konseptnivå. Grunnlag for å vurdere byggegropens utforming og mulig dybde (grunnforhold, influenssone, evt. skader på tilsvarende byggeproper i nærheten, sårbarhet for deformasjoner, fundamentering av nabobygg...).
Prosjektering og planlegging	Usikkerheter ift grunnforhold, vanskelige masser og poretrycksforhold, ressursbehov, kontrollregime, avklaring med myndigheter, sikring av nærliggende bygg, valg av avstivingsmetode, trafikk utenfor byggepropa,..
Forberedende arbeider	Arbeider knyttet til forberedelser av anleggsarbeid (tetting, kabler, ledninger, naboer..).
Forgraving før spuntarbeid	Fare for funn av rester av gamle konstruksjoner, uventede masser, grunnforurensning,..
Spuntarbeid	Problemer ved ramming, komplisert spunting, problemer med nåler, drenasjepunkter...
Utgraving byggegrop	Økte deformasjoner, poretrycksendringer, bæreevne...
Avstiving med stagforankring	Metodikk for utførelse, stagforankring under nabobygg og infrastruktur, forankring i berg, drenasjepunkter, tetting,..

Risikokilder som kan vurderes ved flere tilfeller i arbeidsflyten er knyttet til usikkerheter med grunnforhold og mulig vanskelige masser (spesielt sensitive masser), hydrogeologiske forhold, kompetanse hos alle parter i byggeoppdraget, anleggstid, utførelsesmetoder etc.

### 5.3.3 Fase 2: Risikoidentifikasjon

Risikoidentifikasjon innebærer å gå gjennom alle hovedprosessene i prosjektet slik de er definert, og identifisere risikokilder og mulige årsaker til uønskede hendelser (se Tabell 5-4). En semi-kvantitativ risikoanalyse starter med å legge inn tallverdier for sannsynligheter og konsekvens for alle risikokilder. Disse dataene presenteres så i en risikomatriksen (Figur 5.1) hvor sannsynlighet (på skala 1 til 5) plottes mot konsekvens (på skala 1 til 5) for hver av risikokildene. Brukeren har også muligheter til å bestemme hvilke risikokilder som skal tas med i matriksen.

Sannsynlighet	5					
	4					
	3					
	2					
	1					
		1	2	3	4	5
		Konsekvens				

Figur 5-1 Eksempel på risikomatrix hvor sannsynlighet er plottet mot konsekvens. Fargekodene illustrerer risikonivå fra meget lav (grønn) til meget høy (rød).

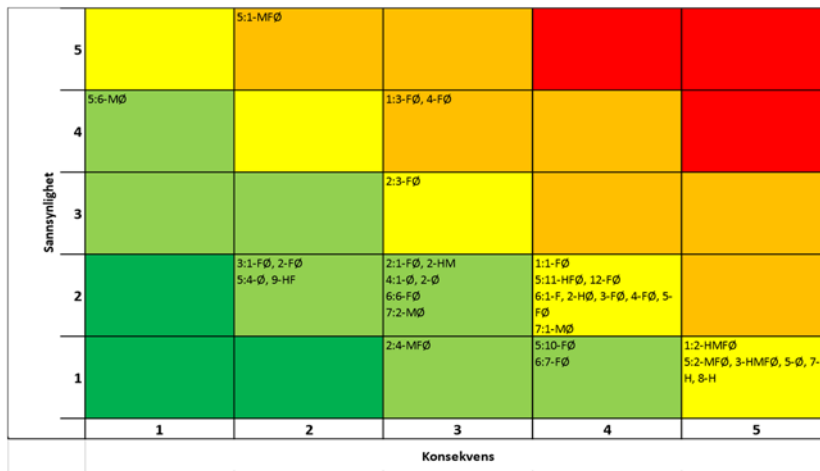
### 5.3.4 Fase 3: Risikoevaluering

I risikoevalueringen sammenlignes beregnet risiko med risikokriterier for å avgjøre om risikoreducerende tiltak er nødvendig. I regnearket er det bygget inn noen enkle verktøy for å bistå i denne prosessen. Hvilken risikomodel som skal brukes vil være opp til brukeren.

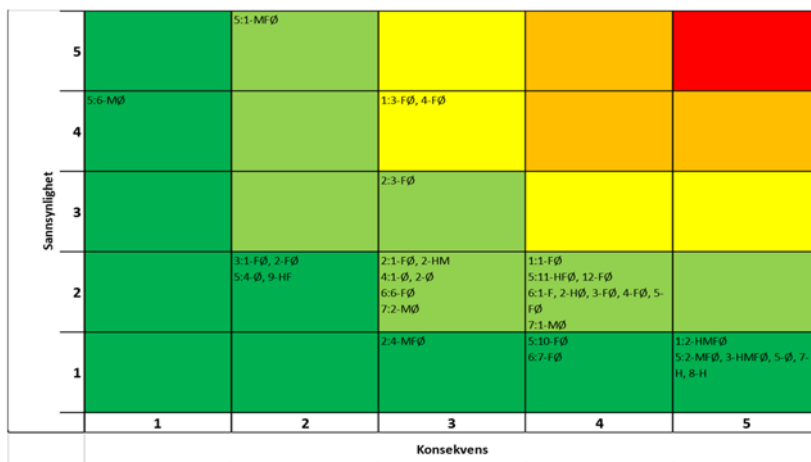
Det første brukervalget er relatert til hvilken risikomodel man ønsker å bruke. I en semi-kvantitativ metode av den type som er implementert i regnearket måler vi ikke risiko eksplisitt. Fargene i matrisen relateres til risiko ved å gjøre ulike antagelser om hvordan de relative skalaene (1 til 5) vi bruker i denne metoden for sannsynlighet og konsekvens er koblet til fysisk sannsynlighet og konsekvens. Følgende brukervalg for fargekoding er implementert i regnearket:

- Trapp:** Denne metoden betyr at grensene mellom de fem ulike fargene i matrisen ser ut som en trapp, illustrert i Figur 5.2. Ved bruk av denne metoden tilsvarer fargegrensene konstant risiko dersom de relative skalaene (1 til 5) på de to aksene i matrisen tilsvarer eksponentiell skala for fysisk sannsynlighet ( $s$ ) og konsekvens ( $k$ ). Det vil si at en økning av relativ sannsynlighet eller konsekvens ( $n$ ) på én tilsvarer å multiplisere fysisk sannsynlighet eller konsekvens med en konstant (dvs at  $s_{n+1}/s_n$  og  $k_{n+1}/k_n$  er konstanter).
- Konstant risiko:** Denne metoden betyr at grensene mellom de fem ulike fargene i matrisen er hyperbler, se illustrasjon i Figur 5-3. Matematisk er dette formulert ved at skillelinjene er gitt ved konstant verdi for produktet av sannsynlighet og konsekvens. Ved bruk av denne metoden tilsvarer fargegrensene konstant risiko dersom de relative skalaene (1 til 5) på de to aksene i matrisen tilsvarer lineær skala for fysisk sannsynlighet og konsekvens.
- Konsekvensaversjon:** Om konsekvensaversjon skal brukes vil det kreves en subjektiv/politisk vurdering, gitt de konsekvensene som er identifisert, se Figur 5.4.

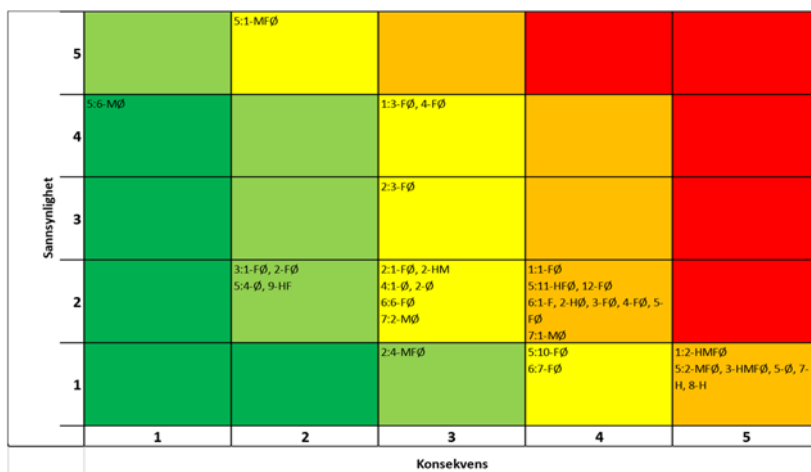




Figur 5-2 Illustrasjon av Trappemetoden for risikoevaluering.



Figur 5-3 Illustrasjon av metoden Konstant risiko for risikoevaluering. Fargeskillene følger linjer gitt ved konstant verdi for produktet av sannsynlighet og konsekvens (hyperbler)



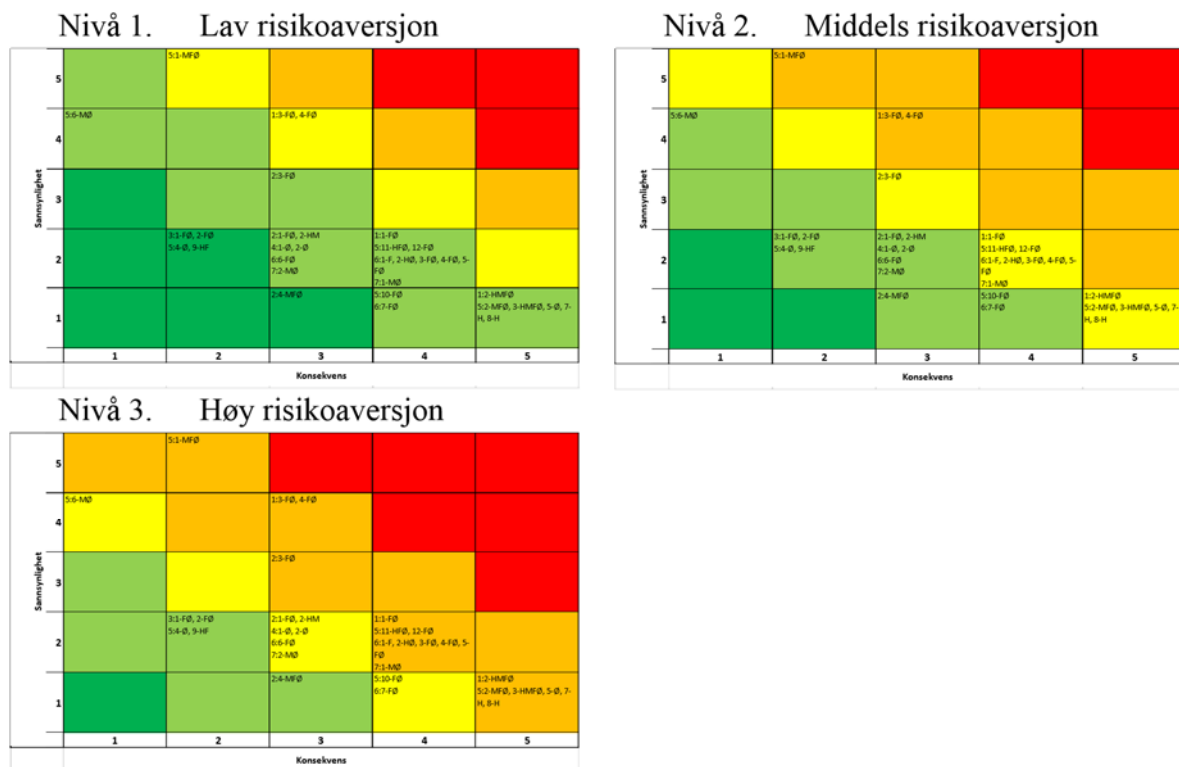
Figur 5-4 Illustrasjon av metoden Konsekvensaversjon for risikoevaluering. Fargeskillene følger en bratt trapp.

Det andre brukervalget er relatert til nivå av risikoaversjon. Risikoaversjon er manglende vilje til å ta risiko. I et kost/nytte-perspektiv kan risikovillighet gi gevinst, og viljen til å ta risiko vil ofte være

avhengig av hvilke konsekvenstyper risikokilden innebærer og hvor store de potensielle konsekvensene er (ref diskusjonen om konsekvensaversjon ovenfor). For å illustrere betydningen av risikoaversjon er tre nivåer av risikoaversjon lagt inn i regnearket (Figur 5-5):

- a) Lav (Figur a)
- b) Middels (Figur b)
- c) Høy (Figur c)

Figuren viser at økning i risikoaversjon, medfører at flere av risikokildene ender opp i høyere risikoklasser og vil kreve tiltak.



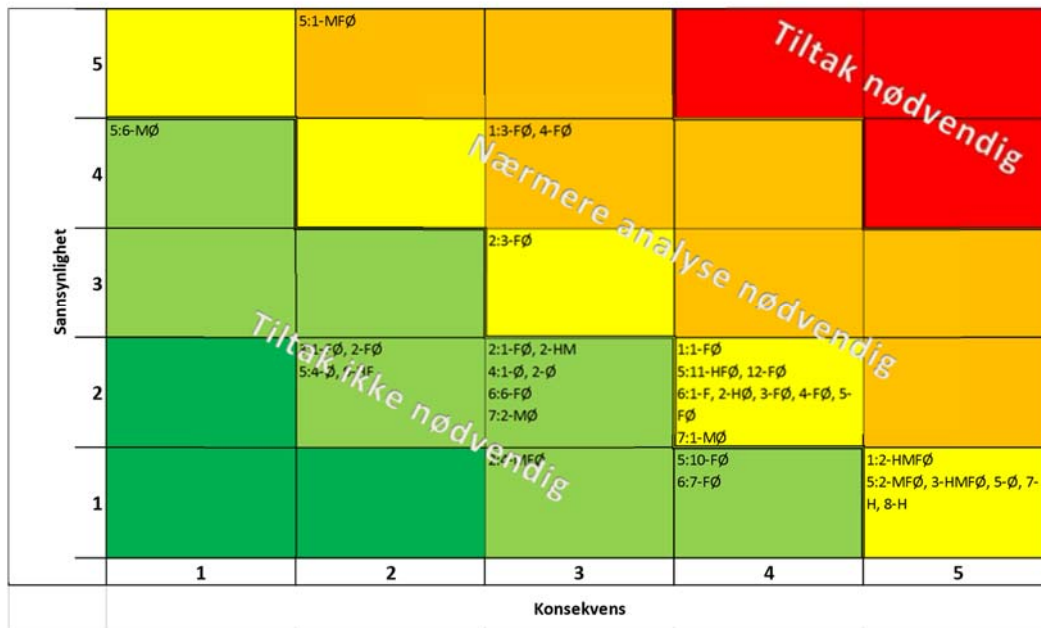
Figur 5-5 Illustrasjon av risikoaversjon. Ved høy risikoaversjon ender mange risikokilder opp i en høyere risikoklasse, og vil kreve tiltak, enn ved lav risikoaversjon.

Når brukeren har valgt risikomodell og nivå på risikoaversjon kan man oppdatere risikoevalueringen ved å kjøre risikoanalysen på nytt. Fargeleggingen av rutene i risikomatriksen vil endre seg i henhold til valgene brukene har gjort.

Det siste steget i risikoevalueringen er å bestemme handlinger tilknyttet de ulike fargene. Regnearket har fem ulike risikoklassene/fargekoder; grønn, lysegrønn, gul, oransje og rød. En (ekspert)gruppe må vurdere hvilke av de fem risikoklassene som tilhører følgende tre tiltaksklasser:

1. Høy risiko: Tiltak må iverksettes
2. Middels risiko: Nærmere analyse er nødvendig for å vurdere om tiltak er nødvendig
3. Lav risiko: Tiltak ikke nødvendig

Et eksempel på hvordan dette kan gjøres er vist i Figur 5-6.



Figur 5-6 Eksempel på resultat fra risikoevaluering. De fem fargene er delt inn i tre tiltaksklasser. Rød farge betyr tiltak nødvendig. Oransje og gul farge betyr nærmere analyse nødvendig for å avgjøre om tiltak er nødvendig. Lysegrønn og mørkegrønn farge betyr at tiltak ikke er nødvendig.

Risiko er et resultat av usikkerhet. Uten usikkerhet har vi ingen risiko. Dersom vi vet med 100% sikkerhet at et uønsket utfall ikke vil skje, er risikoen null. Tilsvarende er uønskede utfall vi med 100% sikkerhet vet vil inntreffe, samt når det vil skje, noe som det må planlegges for men som ikke innebærer risiko. I håndteringen av risiko kan vi snakke om usikkerhet på to nivåer:

- Nivå 1. Nivå 1 usikkerhet eller første ordens usikkerhet er usikkerheten som er grunnlaget for risikohåndtering. Vi har manglende data og kunnskap om ulike prosesser i natur og samfunn som gjør at vi ikke kan forutsi om og når noe vil skje. Basert på data og ulike ekspertvurderinger kan vi estimere sannsynligheter for at ulike scenarier vil inntreffe, og bestemme hvordan risikoen relatert til scenariet skal håndteres. Nivå 1 usikkerhet håndteres ved å benytte ulike typer metoder for risikovurdering.
- Nivå 2. I arbeidet med å estimere sannsynligheter og konsekvenser for risikovurderingen trenger vi data. I mange tilfeller er disse dataene mangelfulle og i noe tilfeller finnes ikke data for det aktuelle tilfellet i det hele tatt. Da blir selve sannsynligheten heftet med usikkerhet. Dette kan vi kalle andre ordens usikkerhet eller nivå 2 usikkerhet. Nivå 2 usikkerhet håndteres for eksempel ved å ta i bruk ulike typer probabilistiske teknikker, som i kombinasjon med risikovurderingsmetodikken på Nivå 1 gir et bedre estimat på det reelle risikonivået.

Metodikken presentert i denne rapporten, og implementert i regnearket er en metode for å håndtere Nivå 1 usikkerhet. Risikomatriksen tar ikke hensyn til Nivå 2 usikkerheter. En typisk Nivå 2 usikkerhet er at brukeren pga manglende informasjon har vanskeligheter med å vurdere hvilken sannsynlighetsklasse eller konsekvensklasse som er riktig for en risikokilde. For risikokilder som blir plassert i kategoriene "Tiltak nødvendig" eller "Nærmere analyse nødvendig", bør brukeren gjøre et arbeid for å analysere Nivå 2 usikkerheter. Når Nivå 2 usikkerheten er høy er det naturlig å konservativt

plassere risikokilden i en høyere sannsynlighetsklasse eller konsekvensklasse enn det man tror er mest sannsynlig for å ta høyde for usikkerheten. Dersom bedre informasjon er tilgjengelig, kan det være kostnadseffektivt å gjøre et arbeid for å redusere Nivå 2 usikkerhet. Kostnaden ved å skaffe denne informasjonen kan være lavere enn kostnaden ved de ekstra tiltakene som blir nødvendige dersom risikokilden havner i en høy tiltaksklasse som resultat av dårlig informasjon og konservatisme.

#### 5.3.5 Fase 4: Risikoreduserende tiltak

Risikoreduserende tiltak kan struktureres i to grupper; (1) reduksjon av sannsynlighet og (2) reduksjon av konsekvens. For å strukturere tiltakene ytterligere kan man ta utgangspunkt i usikkerhetstypene og konsekvenstypene definert i Fase 1. I eksempelet inkludert i regnearket er følgende typer definert:

1. Reduksjon av sannsynlighet/usikkerhet:
  - a. Material (M)
  - b. Design (D)
  - c. Utførelse (U)
  - d. Naturlaster (N)
  - e. Eksterne faktorer (E)
2. Reduksjon av konsekvens. Tiltak for å skjerme de utsatte elementene fra skade:
  - a. Liv og helse (H)
  - b. Miljø (M)
  - c. Framdrift (F)
  - d. Økonomi (Ø)

I regnearket er det lagt inn mulighet til å legge inn beskrivelse av risikoreduserende tiltak. Det anbefales at man lagrer versjonen av regnearket som inneholder tiltaksdelen som en egen fil. Ulike tiltakspakker kan analyseres separat og hver tiltakspakke kan lagres som egen regnearkfil. For hver tiltakspakke reviderer brukeren tallverdi for sannsynlighet og konsekvens og risikoanalysen kan kjøres på nytt. Brukeren får da en vurdering av om tiltakene kan forventes å ha tilstrekkelig effekt.

#### 5.4 Eksempel på gjennomføring av risikohåndtering i byggeprosjekt

Statens vegvesen valgte høsten 2008 å anvende en ny anskaffelsesform, «Konkurranspreget dialog» for den planlagte 300 m lange løsmassetunnelen i kvikkleire i entreprisen for E6 Trondheim, Dagsone vest. Dette var første gang denne anskaffelsesformen ble brukt i Norge. Ett av kravene til Statens vegvesen til entreprenør NCC var relatert til usikkerhetsvurdering med utarbeidelse av en separat risikoplan der en kan identifisere uønskede/kostnadsdrivende forhold med årsaker, mulige konsekvenser og grad av sannsynlighet.

Rammeverket for en risikomatrix ble utarbeidet parallelt med at NCC i denne perioden forberedte et forslag til SVV om bruk av rørsputt som byggegropp i den indre sonen av byggegroppa, hvor en god overgang mellom spuntvegg og berg var avgjørende. NCC involverte i denne prosessen, og generelt gjennom hele dialogfasen, underentreprenører og eksterne rådgivere, i tillegg til sentrale personer i egen organisasjon. Resultatet ble et bra gjennomarbeidet dokument: Vurdering av risiko og usikkerhet, risikomatrix, som ble framlagt for SVV.

Viktige forhold vedrørende poretrykksreduksjoner og setninger ble behandlet i risikomatriksen, og avstedkom viktige tekniske diskusjoner mellom NCC og SVV. På den måten førte fokuset på usikkerheter og risiko til en økt bevisstgjøring omkring risikoelementer.

For å følge opp risikovurderingene i utførelsesfasen ble det nedsatt følgende 5 arbeidsgrupper som skulle ta for seg risikovurderingene knyttet til utvalgte viktige hovedaktiviteter:

- A. Kalksementstabilisering
- B. Installasjon av rørsput
- C. Injeksjon og tetting
- D. Arbeider i byggegrop generelt (mange parallelle aktiviteter innenfor en begrenset sone)
- E. Berguttak og bergsikring

Egne gruppemøter ble avholdt, med representanter fra de parter som var involvert. Hensikten var å sikre rett kompetanse plassert i rett gruppe, og at man på denne måten kunne gå meget detaljert til verks innenfor hvert fagområde. Det ble avholdt nokså regelmessige fellesmøter med alle gruppene, for en felle gjennomgang og status, men etter behov. Det understrekes at alle parter, fra byggherre, hovedentreprenør, til underentreprenører og rådgivere var viktige bidragsyttere i denne prosessen. I den grad arbeidet i disse gruppene kunne få kontraktmessige konsekvenser ble det løftet opp på et høyere nivå, dvs til byggemøter. Gjennom hele prosessen rådte en felles oppfatning og målsetting hos alle parter om at risikovurderingene skulle bidra til å senke risikonivået i prosjektet.

## 5.5 Workshop – feiltreanalyse

### 5.5.1 Grunnlag

En workshop innen DP5 Risiko ble avholdt på NGI 27. mai 2015. I alt 10 personer tilknyttet BegrensSkade prosjektet deltok. Hensikten med workshopen var i fellesskap å konstruere et feiltredigram for en byggegrop med henblikk på å utforske mulige årsaker til store setninger utenfor byggegropa.

Feiltreanalyser har et relativt bredt anvendelsesområde og er en av de mest anvendte metodene for risikoanalyser. Den har som formål å identifisere årsakene til at uønskede hendelser inntreffer.

Arbeidet med utarbeidelse av et feiltredigram ble utført for en byggegrop med følgende forutsetninger:

- Areal byggegrop (45 m × 90 m).
- Avstivningsløsning: Spunt/styltespunt, 3 stagnivå, traubunn 10 m under terreng.
- Fundamentering: Pelar til fjell fra støpt bunnplate, kalk-sementstabilisering langs deler av gropa.
- Avlastingsbrønner sentralt i gropa for å unngå bunnoppressing.
- Grunnforhold: Varierende dybde til fjell, fyllmasser, homogen leire, grunnvannstand 1 m under terreng.
- Nabobygg: Noen pelet, noen pelet til fjell, noen sålefundamenterte bygg, store områder med trafikk på en side.

### 5.5.2 Beskrivelse av feiltreanalyse

Utgangspunktet for en feiltreanalyse er en uønsket hendelse, en såkalt topphendelse. Hendelsen dekomponeres suksessivt ned til ønsket detaljnivå for at feilene som har forårsaket topphendelsen skal oppdages. Metoden er både kvalitativ og kvantitativ i karakter.

En feiltreanalyse består av tre steg: konstruksjon av feiltreet, identifisering av hvilke kombinasjoner av hendelser som har forårsaket topphendelsen, samt en vurdering av sannsynligheter. I konstruksjonen av feiltreet beskrives topphendelsen og de feilhandlinger og feilfunksjoner som kan være de bakenforliggende årsakene til topphendelsen. Det skjer gjennom ulike logiske operatører: disse viser for eksempel om topphendelsen er forårsaket av en enkelthendelse eller flere hendelser i kombinasjon.

De identifiserte feilhandlinger og feilfunksjoner dekomponeres videre ned i mindre hendelser. I neste steg identifiseres de hendelsene som påbegynte kjeden, også kalt basishendelsene. Deretter gjøres en kartlegging av spesifikke kombinasjoner av hendelser. Sannsynligheten kan vurderes kvalitativt eller kvantitativt. For kvantitativ vurdering beregnes sannsynligheten for topphendelsen ved hjelp av regneregler for de logiske operatørene.

### 5.5.3 Gjennomføring av workshopen

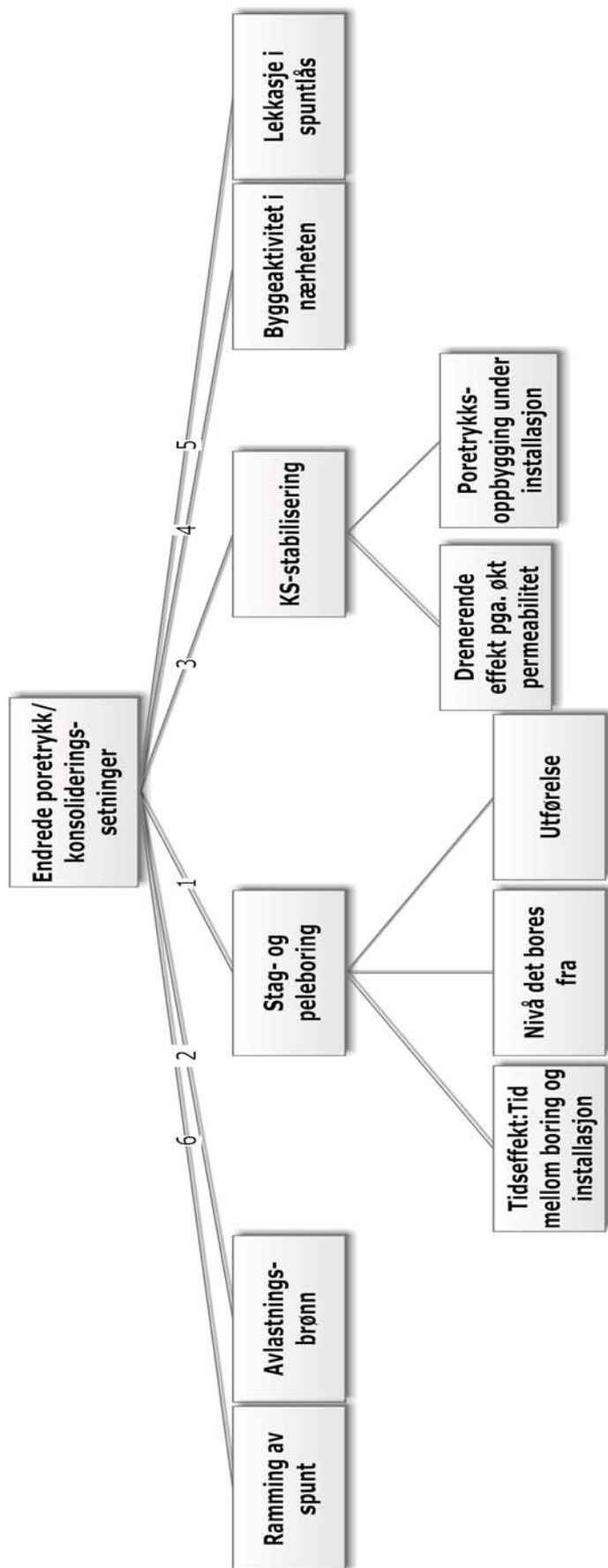
Workshopen ble gjennomført ved at deltakerne først ble delt i to grupper, hvor hver av gruppene hadde en diskusjon vedrørende mulige årsaker til topphendelsen (setninger i omgivelsene). Resultatene av disse diskusjonene ble etterpå systematisert i plenum ved at et feiltredigram ble konstruert under ledelse av delprosjektlederen for DP5.

Resultatet av øvelsen i form av det konstruerte feiltredigram er gitt i Figur 5-7. Det ble angitt tre mulige uavhengige årsaksforhold; i) horisontale forskyvninger av spunt, ii) poretrykkoppbygging og konsolideringssetninger, iii) massetap eller omrørings-effekt boring. Disse mulige årsaksforholdene ble så dekomponert videre i to nivåer til, se eksempel for årsak endrede poretrykk i Figur 5-8.



Figur 5-7: Overordnet feiltre for topphendelsen "større setninger enn forventet" med rangering av viktigheten (1 viktigst, 2 nest viktigst osv.) av de underliggende årsakene.





Figur 5-8: Feiltreanalyse av topphendelsen " Endrede poretrykk/konsolideringssetninger" med rangering av viktigheten (1 viktigst, 2 nest viktigst osv.) av de underliggende årsakene

Ved workshopen ble det konkludert med at feiltrekonstruksjonen i plenum fungerte godt som kommunikasjonsverktøy. De konstruerte feiltrærne ga en god oversikt over mulige årsaker til uforutsette setninger. Konstruksjonen av feiltrærne hjalp deltakerne til å strukturere de ulike elementene som kan forårsake den uønskede hendelsen (i dette tilfelle setninger). I eksemplet ble endrede poretrykk/konsolideringssetninger vurdert som den mest sannsynlige årsaken til de uforutsette setningene, og videre ble stag- og peleboring vurdert som den mest sannsynlige årsaken til endrede poretrykk/konsolideringssetninger. Det er også muligheter for å gi sannsynligheter for de ulike årsakskategoriene som er gitt i feiltræet for en kvantitativ vurdering av risiko.

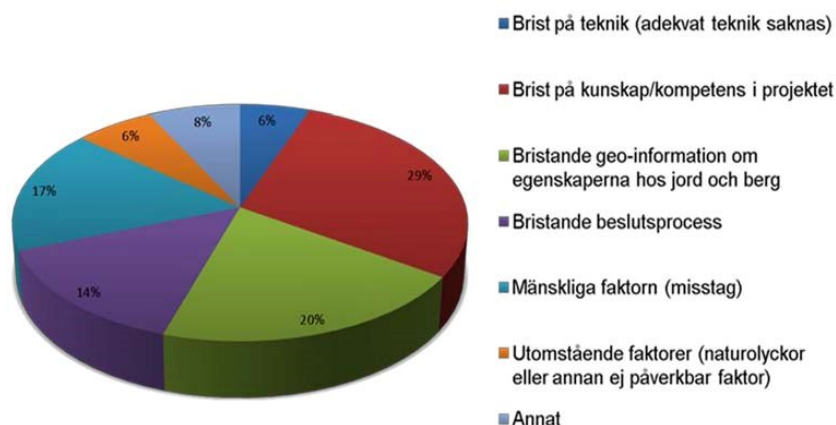
## 6 Forbedret samhandling i bygg- og anleggsprosessen

«Å komme sammen er begynnelsen. Å holde sammen er fremskritt. Å arbeide sammen er suksess» Henry Fords sitat sammenfatter målet med delprosjekt 6 i BegrensSkade. Delprosjektet har studert hvordan samhandling og kommunikasjon fungerer mellom ulike parter som er engasjert i prosjektene og hvilke ulike parameterer det er som påvirker en god samhandling.

Kapitel 6 oppsummerer funn og konklusjoner av følgende rapporter.

- Delrapport 6.1 *Litteraturstudie samhandling* (Tvedt & Persson, 2015), er en litteraturstudie som sammenfatter tidligere studier som er relevante for prosjektet.
- Delrapport 6.2 *Kartlegging av kommunikasjons og formidlingsmåter i utvalgte prosjekter, intervjustudie* (Helgason et al., 2015) er en kvalitativ intervjustudie som ser på kommunikasjon i utvalgte bygge- og anleggsprosjekter som er eller nylig har vært under utførelse.
- Delrapport 6.3 *Lovverk og kontraktens betydning for samspill og produkt* (Eggen & Baardvik, 2015), er et litteraturstudium som oppsummerer lovverkets, kontraktens og standarders betydning for samhandlingen i byggeprosessen.
- Delrapport 6.4 *Kartlegging av maskinoperatørers opplæring innen grunnarbeid* (Veimo et al., 2015) er også basert på en intervjustudie som har undersøkt opplæring hos boreentreprenørfirmaer. Rapporten omfatter også en litteraturgjennomgang over styrende lovverket for borearbeid, inkludert HMS-aspekter.
- Delrapport 1+2.3 *Kartlegging av spesiell beskrivelse* (Øiseth et al., 2015) er et litteraturstudium som har hatt fokus på krav i forhold til reduksjon av skader i tekster fra NS3420, Statens vegvesens Håndbok R762 «Prosesskode 2» og utførelsesstandarder for boring av stag og peler. Rapporten sammenstiller hvordan de ulike dokumentene omhandler prosesser hvor man vet at det er et skadepotensial.

Et tilsvarende prosjekt som Begrens Skade er utført i Sverige tidligere av Sveriges geotekniske institutt (SGI, 2013). Undersøkelsen analyserte blant annet årsaken til skade, illustrert i Figur 6-1. Figuren viser den prosentvise fordelingen mellom ulike årsaker til skader i geotekniske anlegg. Den største skadeårsaken er knapphet på kvalifisert arbeidskraft, manglende informasjon om grunnforholdene og svikt i beslutningsprosessene.



Figur 6-1 Resultat av spørreundersøkelse der 40 ulike aktører innen byggebransjen i Sverige ble spurt. Diagrammet viser hva aktørene anser at skadeårsakene skyldes, SGI (2013).

I BegrensSkades intervjustudium ble spørsmålet om hvorfor det oppstår skader ved fundamenteringsarbeid stilt, og noen av svarene var som følger:

En rådgiver innen geoteknikk sa om årsak til avvik: «*Tidspress, tidspress fører til kjappe avgjørelser, som ikke alltid er gode. Det kan være manglende forståelse for de krav som stilles i beskrivelsen. En stor faktor er oppbygging av kontrakten, hvordan er den satt opp*». Han mener også at kommunikasjonen tilbake til rådgiver er mangelfull og kan gi avvik: «*Mangel på tilbakemelding til rådgiver: Hva fungerer i beskrivelsen? Hva fungerer ikke? Det er viktig å gi rådgiverne tilbakemelding om hendelser: Hva er det som er skjedd, og hvordan løses det?*»

Samme rådgiver nevnte også: «*Grunnarbeid avhenger mye av hvordan du gjør det. Skal det bores forsiktig, men prisen lavest, så går de to hensynene imot hverandre. Skal entreprenøren utføre det forsiktig, må derfor noen stå å følge med. En forbedringsmulighet er å endre avregningsform slik at den kan ta hensyn til tid på samme måten som i injeksjon i tunnel måles i tid og mengde.*»

En byggeleder som ble intervjuet mener at en bør gå ut tidlig i byggefasen og si fra på byggemøtene om det er spesielle sårbare områder, og at man må gå inn med tiltak for å få en tett byggegrop. Informasjonen må ut til de som skal utføre jobben. Det går ikke bare prate med ledelsen. Arbeidsfolket ute på byggeplassen må få vite hvorfor det skal bygges på den måten, og dette må gjentas når det stadig kommer inn nye folk.

Spørsmålet blir da hvordan kan dette gjøres bedre med samhandling?

## 6.1 Standarder og regelverk for anskaffelse av entrepriser og rådgiveravtaler

For samarbeid mellom profesjonelle parter ligger som regel en skriftlig avtale eller kontrakt i bunn. Grunnlaget for kontrakter er regelverk og standarder.

Offentlige prosjekteiere (statlige, kommunale og fylkeskommunale myndigheter) må forholde seg til «Lov og forskrift om offentlig anskaffelsesregelverk.», (Fornyings- og administrasjonsdepartementet, 2013). Hovedregelen ved anskaffelser over EØS-terskelverdien er at det skal avholdes åpen eller begrenset anbudskonkurranse. Årsaken til dette er at anbudskonkurranse anses å være den konkurranseform som best ivaretar prinsippene om likebehandling, gjennomsiktighet, forutberegnelighet og etterprøvnbarhet. Det er unntaksvis anledning til å benytte konkurranse med forhandlinger og konkurransepreget dialog.

Vann- og energiforsyning, transport og posttjenester er underlagt «Forskrift om innkjøpsregler i forsyningssektorene» og har anledning til anskaffelse med forhandlinger.

Private prosjekteiere kan fritt velge hvem de skal samarbeide med, og fritt velge hvordan de skal tildele bygge- og anleggsarbeid.

Når anskaffelsen er foretatt bygger avtalene i stor grad på prinsippene i norske avtalestandarder.

### NS 8401 og NS 8402 Rådgiver oppdrag

*NS8401:2010 Alminnelige kontraktsbestemmelser for prosjekteringsoppdrag (Standard Norge, 2010a)*  
*NS8402:2010 Alminnelige kontraktsbestemmelser for rådgiveroppdrag honorert etter medgått tid (Standard Norge, 2010b)*

Disse standardene brukes som grunnlag for avtale mellom rådgiver og byggherre, rådgiver og totalentreprenør, samt mellom rådgivere (underrådgiver). Det finnes ikke egne NS-standarder for

underrådgivere. NS8402 er gjerne etter medgått tid, mens NS8401 gjerne er for fastpris for godt beskrevne oppgaver. NS 8401 er noe mer omfattende og komplisert enn NS 8402. Med hensyn til samarbeids- og taushetsplikt er de like.

NS8401 skal kun omfatte det som er beskrevet i kontrakten. Arbeid utover dette krever tilleggsbestilling. Dette selv om det er en rådgiverkontrakt.

I følge Prosjektlederens håndbok om NS-kontrakter (Tryti, 2012), kan det oppsummeres om prosjekteringsfeil og erstatning: *«Den prosjekterende har kun økonomisk ansvar for prosjekteringsfeil dersom feilen enten skyldes uaktsomhet, eller at prosjekteringen ikke er gjennomført på en faglig forsvarlig måte. Erstatningsansvaret er begrenset».*

Med tanke på grunnarbeider og prosjektering av disse er det også en problemstilling ved samhandling i rådgivergruppen at grunnundersøkelser som regel bestilles samtidig med øvrig prosjektering. Grunnundersøkelser tar tid å gjennomføre. De skal planlegges, grunneiere og naboer skal varsles, kabler og ledninger skal påvises, boringer skal utføres og laboratorieanalyser skal utføres. I mellomtiden har de øvrige rådgivere i gruppen gjort unna mye av prosjekteringen, antall kjellernivå kan være bestemt, brutyper er valgt, støttemurer er skissert på et spinkelt grunnlag, arrondering og landskapstilpasning er skissert opp, og da først mottar man de første sikre data til bergmodell, fundamenteringsløsninger, massebalanse og økonomi.

Det er ingen standardkontrakt for underrådgivere og NS8401/02 brukes gjerne både mellom byggherre og hovedrådgiver, samt mellom hovedrådgiver og underrådgiver. Men om samme kontraktsgrunnlag benyttes, kan det i praksis være forskjellige kontraktsforutsetninger for hovedrådgiver og underrådgiver. Dette kan gi områder hvor det er uklart hvem som har ansvar for rådgivningen, noe som innebærer risiko for at løsningene i grensesnittene blir dårlige.

### **NS 8405, NS 8406, NS8415 og NS 8416 Bygge- og anleggskontrakter**

*NS 8405:2008 Norsk bygge- og anleggskontrakt (Standard Norge, 2008a)*

*NS 8406:2009 Forenklet norsk bygge- og anleggskontrakt (Standard Norge, 2009a)*

*NS 8415:2008 Norsk underentreprisekontrakt vedrørende utførelse av bygge- og anleggsarbeider (Standard Norge, 2008b)*

*NS 8416:2009 Forenklet norsk underentreprisekontrakt vedrørende utførelse av bygge- og anleggsarbeider (Standard Norge, 2009b)*

Ovenstående standarder brukes ved byggherrens avtale med entreprenører ved byggearbeider. Disse kontraktene avtaler kontraktsmessige for hold til samarbeidet, som plikt til samarbeide, lojalitet, varsling, møter, sikkerhetsstillelse, forsikringer, ytelser, osv.

Selve arbeidet som skal utføres er gjerne beskrevet i henhold NS3420 (Standard Norge, 2008c) eller Statens vegvesens håndbøker R761 og R762 «Prosesskode 1 og 2» (Statens vegvesen 2012a).

NS 8405 Norsk bygge- og anleggskontrakt er en av de grunnleggende entreprisstandardene i Norge og gjelder en utførelsesentreprise. Entreprisen karakteriseres ved at entreprenøren skal utføre det arbeidet byggherren har beskrevet i prisbærende poster.

Risiko for grunnforhold er plassert hos byggherren. Standardens punkt 19.3 andre avsnitt sier: *«Byggherren bærer risikoen for at det fysiske arbeidsgrunnlaget grunnforholdene er slik entreprenøren hadde grunn til å regne med ut fra kontrakten, oppdragets art og omstendighetene for øvrig».*

Om det ikke avtales spesifikt, skal kontrakt mellom hovedentreprenør og eventuell underentreprenør følge NS 8415 Norsk underentreprisekontrakt vedrørende bygge- og anleggsarbeider. Tilsvarende forhold gjelder for kontrakter etter NS8406 og NS8416.

Fra juridisk hold er det angitt at den viktigste forskjellen mellom NS 8405 og NS 8406 er at NS 8405 er utarbeidet for store prosjekter med mange aktører, og hvor byggherrens kostnadskontroll underveis i prosjektet er vesentlig. NS 8406 sitt anvendelsesområde er mindre prosjekter uten mange aktører, og hvor det ikke er like vesentlig at byggherren har det hele og fulle kostnadskontroll underveis i prosjektet. Dette følger av at det er mindre krav til formell varsling fra entreprenørens side i NS 8406.

Det understrekes også at det er liten tvil om at det formelle kontraktsarbeidet, og oppfølging av formelle frister er blitt mer omfattende og langt viktigere enn tidligere. Tvister i forbindelse med en entrepriskontrakt er langt oftere enn før fokusert rundt varsler og formaliteter.

### **NS 8407 og NS 8417 Totalentreprisekontrakter**

*NS 8407:2011 Alminnelige kontraktsbestemmelser for totalentreprise (Standard Norge, 2011a)*

*NS 8417:2011 Alminnelige kontraktsbestemmelser for totalunderentreprise (Standard Norge, 2011b)*

Hensikten med standard NS 8407 er å regulere kontraktsforholdet der totalentreprenøren som den ene parten, påtar seg hele eller vesentlige deler av prosjekteringen og utførelsen av et bygg- eller anleggsarbeid for byggherren.

En totalunderentreprise får man når totalentreprenøren overlater deler av en totalentreprise til en kontraktspart som f.eks. en underentreprenør. NS 8417 regulerer tilsvarende forholdet mellom totalentreprenør og totalunderentreprenøren.

NS 8407 og NS 8417 erstatter henholdsvis NS 3431 og NS 3406 fra 2011, men det er gjort vesentlige endringer knyttet til tiltransport og regulering av risikoplasseringen ved grunnforhold og byggherrens valg av løsninger i de nye utgavene av kontraktstandardene.

I NS 8407 er risiko for forhold i grunnen plassert hos byggherren dersom de avviker fra det totalentreprenøren hadde grunn til å regne med ved utarbeidelse av tilbudet. Totalentreprenøren skal i hht. Punkt 23.1

- a. *Gjennomføre en aktsom besiktigelse av byggeområdet og dets omgivelser*
- b. *Entreprenøren skal innhente foreliggende opplysninger om forhold ved grunnen, som for eksempel forurensninger, geologiske og geotekniske forhold ved kontakt med offentlige etater, i den grad slike opplysninger ikke er fremlagt av byggherren*
- c. *Innhente opplysninger om kabler og rør ved kontakt med offentlige etater og andre det er nærliggende å kontakte om dette, i den grad slike opplysninger ikke er fremlagt av byggherren.*

I NS 8407 kan det likevel avtales at entreprenøren skal overta risiko for grunnforhold fra byggherren.

Det er viktig å være klar over at selv om standarden plasserer risikoen, ivaretar den ikke ulempene og usikkerheten dette punktet bringer inn i et prosjekt. Oppgaven som tillegges entreprenøren i en tilbudsfasen er tidkrevende og kostnadskrevende. Tilbyderne har begrenset tid i tilbudsfasen, og det vil også være en risiko at de opplysningene han får tak i, har varierende kvalitet.



Med tanke på utførelse skal en totalentreprenør i henhold til NS 8407 pkt. 17 dokumentere en forsvarlig prosjektering. Videre skal arbeidet utføres slik at det ikke oppstår skade eller fare for skade.

En av de elementene som særpreger totalentreprisen etter NS 8407 og totalunderentreprisen etter NS 8417 er at det kan tiltransporteres andre oppgaver og leverandører underveis i avtalen. Det er utarbeidet en protokoll i starten av standardene, hvor komiteen har satt noen rammer på hva som er rimelig å kunne kreve at skal tiltransporteres fra en byggherre til en totalentreprenør og fra en totalentreprenør til en totalunderentreprenør.

Samspillkontrakter er gjerne en type totalentrepriskontrakt som kan ta utgangspunkt i nevnte standardkontrakter.

### Øvrige standarder

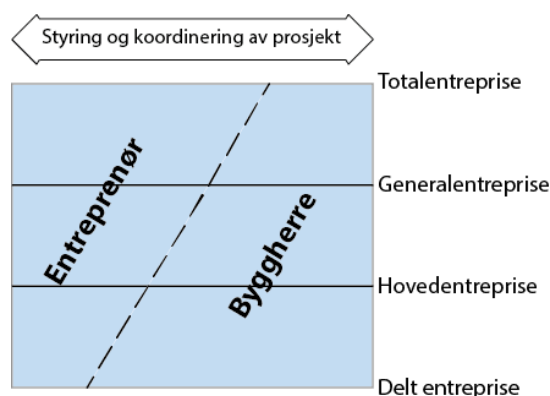
Det finnes mange andre standarder utover de nevnte standardene over som styrer utformingen av kontrakter i byggebransjen. For mer informasjon om disse henvises det til delrapport 6.3 (Eggen & Baardvik, 2105).

## 6.2 Entrepri- og kontraktsformer

Vi har i rapportene dratt ut noen typiske entreprisformer. Det finnes andre entrepriser og varianter av disse kontraktstypene, men vi har valgt å begrense oss til disse:

- Byggherrestyrt hovedentreprise (også kalt enhetspriskontrakt eller utførelsesentreprise)
- Entreprenørstyrt totalentreprise
- Flere delentrepriser styrt av (innleid) byggeleder
- Offentlig privat samarbeid (OPS)

Figur 6-2 viser hvordan byggherren overlater ansvar for styring og koordinering for de ulike entreprisformene, der totalentreprise gir entreprenøren mest ansvar og delt entrepris gir byggherren mest ansvar. Uavhengig entreprisform vil det være en ansvarsdeling mellom begge parter.



Figur 6-2 Ansvar for styring og koordinering delt mellom byggherre og entreprenør.

Da dette delprosjektet hatt fokus på samhandling, kommunikasjon og hjelpemidler er også kontrakter der samhandling er inkludert undersøkt. Det som gruppen har sett litt nærmere på er:

- Totalentreprise med samhandling i Veidekkes regi (VDC)
- Involverende planlegging i Veidekkes regi (IP)
- Byggherrestyrt enhetspriskontrakt med samhandling i Statens vegvesens regi
- Konkurranspreget dialog i Statens vegvesens regi
- Erfaring fra offentlig privat samarbeid (OPS-kontrakter)

Totalentreprisen har en fordel i at det er kort vei mellom totalentreprenør og rådgiver, og det kan gi gode praktiske løsninger tilpasset entreprenørens system. Entreprenøren involveres på et tidlig tidspunkt. Ulempen er at det er lang vei mellom totalentreprenør og driftsorganisasjon, og driftens behov kan lide under at det bygges billige løsninger som ikke har tilstrekkelig kvalitet for langvarig drift. I tillegg har rådgiverne ofte for kort og presset prosjekteringstid, og det er lite innovasjon, da man ønsker kjente løsninger med et lavt risikopotensial.

Ved totalentrepriser for offentlig anskaffelse er det flere som prosjekterer parallelt i tilbudsfasen før kontrakten blir tildelt.

Hovedentreprisen har sin sterkeste side ved at det er kort vei mellom byggherre og rådgiver, og byggherre og driftsorganisasjon. Driften av bygget/veien/banen blir dermed bedre ivaretatt. Rådgiver har i større grad tilstrekkelig tid til å prosjektere. Den svake siden er at prosjektet blir delt i to faser, der entreprenøren kommer inn på et senere tidspunkt. De prosjekterte løsningene kan dermed bli lite praktiske og lite tilpasset entreprenørens system. Kontrakten tildeles ofte etter konkurranse på laveste pris, og det kan føre til at entreprenøren ikke har økonomisk levedyktighet i kontrakten.

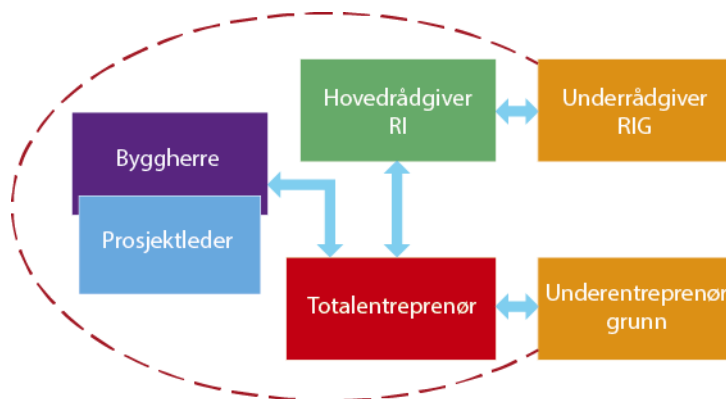
Sideentreprisen har fordelen av at det er kort vei mellom byggeleder og alle entreprenørene og leverandørene og rådgiver. Byggherren kan dermed spare inn entreprenørens fortjeneste på underleverandør. Ulempen er at det er lang vei mellom entreprenør og driftsorganisasjon. Når byggeleder i tillegg er innleid, er han/hun ikke kjent med driftens behov. Det er også lang vei mellom rådgiver og entreprenør. Løsningene kan være lite tilpasset entreprenørens systemer, og det kan bli ineffektiv drift.

I intervjustudien uttrykte en anleggsleder hos en hovedentreprenør følgende: «*Ved en enhetsprisentreprise kan man ikke påvirke om noe kan gjøres smartere. Det blir mindre kommunikasjon med byggherren. Entreprenøren har egentlig ikke noe nytte av å ha kommunikasjon med rådgiver, for grunnen er byggherrens problem.*» Nå er han i en totalentreprise der entreprenøren eier hele prosjektet og skal selge bygget etterpå: «*Her kan man tilpasse løsninger til utstyret underentreprenøren har. Underentreprenøren var inne å prosjekterte her i tillegg til rådgivende ingeniør i geoteknikk.*»

En rådgiver i et annet prosjekt der det har vært mye endringer grunnet at det var dypere til fjell enn prosjektert, og mange uforutsette konstruksjoner i grunnen hadde dukket opp, sa: «*Når ting er komplekst er utførelsesentreprise bra. Byggherren/rådgiver klarer ikke å beskrive alt. Risikoen hadde vært uakseptabel for entreprenøren. Risikodelingen mellom byggherre og entreprenør er fornuftig i denne kontrakten. Det er byggherrens grunn, og det er den som er problemet.*»

Det er ikke så store forskjeller mellom totalentreprise, hovedentreprise og sideentreprise når det gjelder samhandling mellom underrådgiver på geoteknikk, geologi og under-/sideentreprenør på spunt og peler. Hvordan de blir involvert i samhandlingen og får direkte dialog med hverandre, er avhengig av personene som sitter i sentrale posisjoner hos totalentreprenør, hovedentreprenør, byggherre og hovedrådgiver (Figur 6-3). Selv om total- eller hovedentreprenøren har økonomisk

levedyktighet i kontrakten, trenger ikke underentreprenøren ha det. Det er vanlig at underentreprenøren blir presset i pris og i tid under forhandlinger av kontrakten med total-/hovedentreprenøren.



Figur 6-3 Kommunikasjonsvei mellom underentreprenør og rådgiver i geoteknikk i en totalentreprise (Eggen og Baardvik 2015).

### 6.3 Fordeling og håndtering av risiko

I kontraktdokumenter og standarder som er utarbeidet som underlag for kontrakter benyttes begrepet risiko med en litt annen betydning enn i det overordnede risikofaget, se kapittel 5. I kontraktsammenheng brukes ordet risiko om hvem som må bære det økonomiske ansvaret, dersom noe avviker fra kontraktsgrunnlaget. Eksempler på dette er når grunnforholdene avviker fra det som er forutsatt, dersom prosjekteringsgrunnlaget ikke foreligger i tide eller hvis entreprenøren utfører arbeider i strid med løsningen som er beskrevet i kontrakten.

Fordelingen av risiko i bygge – og anleggsprosjekter følger "funksjonsfordelingen". Det er et prinsipp som bygger på at hver av partene i utgangspunktet har risikoen for de ytelsene de selv skal levere. Den av partene byggherre, rådgiver og entreprenør som har størst mulighet til å forutse og forebygge en risiko, skal også ha ansvaret for den.

De ulike entrepriseformer har ulik risikofordeling mellom partene. Det er både risiko for økte kostnader f.eks. hvis det er dypere til fjell og pelelengden blir større, og for forsinkelser f.eks. der det er dypere til fjell og en støttemur må omprosjekteres, og der tegningene ikke kommer til rett tid til entreprenøren.

Figur 6-4 viser hvordan risikofordelingen mellom byggherre og entreprenør endres ved bruk av de ulike kontraktsformene. Byggherren sitter med største andelen av risiko hvis arbeidet utføres på regning, deretter reduseres byggherrens risiko gradvis og overføres til entreprenøren ved økende grad av entreprenørstyring. Ved enhetspriskontrakt har byggherre og entreprenør delt risiko, og ved totalentreprise sitter entreprenøren med hovedansvaret for risikoen. Ved OPS har entreprenøren enda større risiko, for han har ansvar for drift og finansiering i tillegg.



Timepriskontrakt

Utførelsesentreprise

Totalentreprise

Regningsarbeid

Utførelsesbeskrivelse

Funksjonsbeskrivelse

Enhetspris

Rundsum/Fikssum

Figur 6-4 Risikofordeling i ulike entreprisetypene (Tvedt, 2015)

Uavhengig av entreprisetypen må byggherren betale for risiko. Ved en totalentreprise vil entreprenøren legge inn en pott på usikkerhet. Denne potten er større på en totalentreprise enn ved en enhetspriskontrakt.

I grunnarbeid er det alltid usikkerhet med hensyn på grunnforhold. Vanligvis er det «byggherrens grunn» og byggherren er ansvarlig for ekstra kostnader ved avvikende grunnforhold utover det en kan forvente ut fra geoteknisk eller geologisk rapport. Ved en enhetspriskontrakt betaler byggherren for løpemeter per og har dermed ansvar for dybden til berg. Ofte sitter grunnentreprenøren med ansvaret for antall peleskjøter og pelekapp uavhengig av dybden til berg.

Risikofordelingen i de ulike entreprisetypene er fordelt mellom partene i ulike norske standarder. Risikoforskyvning kan skje ved at den ene kontraktspart skriver tillegg i konkurransegrunnlaget som forrykker risikofordelingen.

Selv om standardene plasserer risiko (dvs. hvem som skal betale når det dukker opp avvik fra forutsetningene), er det et langt steg fram til at risiko reduseres i kontrakter og arbeidsgrunnlag. En forbedringsmulighet vil være å se om det er mulig å forbedre poster/punkter i kontrakts- og utførelsesstandarder for å redusere risiko, og i tillegg klarlegge hvor risiko er plassert.

NS 3420 (Standard Norge, 2008c) og prosesskoden (Statens vegvesen, 2012a), bør gjøres lettere å bruke riktig. For å begrense skade vil dette gjelde poster som plasserer både direkte økonomisk risiko, samt indirekte risiko som framdrift, kvalitet og fare for skade på tredjepart.

I intervjustudien ble risiko og risikohåndtering omtalt flere ganger som en viktig faktor for et vellykket prosjekt. En underentreprenør i et vellykket prosjekt sier om planleggingen av arbeidet: «Helt fra starten er risikovurdering utgangspunktet. Byggherren representert ved geotekniker og underentreprenør har i dette prosjektet satt seg ned i god tid i forkant før ting skulle utføres. De har satt opp punkter hva som kan skje, og om det er noe uventet som kan dukke opp. Dermed har de klart å fange opp problemene innen de har dukket opp og har hatt løsninger hele veien.»

Risiko og risikostyring kan også være viktig tema i kommunikasjonen, et intervjuobjekt fra en rådgiver beskrev: «Skal man få til samarbeid mellom to parter er det få ting som slår å ha noe nyttig å samarbeide om. En risikohåndtering er et nyttig samarbeidstema og som regel er det kontraktsmessig ufarlig».

En byggeleder i et annet prosjekt opplyste at prosjektet hadde en risikoplan med hensyn til hva som skulle gjøres framover. Den var gjort på papir, og viste faser og graveplaner med håndberegninger ved siden av. Entreprenøren følte seg trygg på arbeidsgangen, noe som også avspeilet seg i fremdriften.

Et annet tiltak for å redusere risikoen for uforutsette grunnforhold kom fra en rådgiver som foreslo: *«Legg inn en systematisk grunnboring etter at all trafikk er fjernet, og det er ryddet. Risikoen vil reduseres med bedre informasjon. Det går ofte ikke an å grunnbore på høytrafikkerte veier.»*

Et av prosjektene som var med i intervjustudien hadde konkurransepreget dialog. Dialogen ble gjennomført gjennom å bygge opp en risikomodell med temaer som entreprenørene tok med hjem og kom fram til en løsning. De fikk ikke vite hva de andre entreprenørene planla. Når det var en akseptabel risikoprofil, regnet entreprenørene pris på prosjektet med mengderegulering. Risikoen for mengder skulle ikke flyttes fra byggherren over til entreprenøren. Dette var en god løsning på dette prosjektet og for andre prosjekt hvor det er vanskelig å redusere risikoen i planleggings- og prosjekteringsstadiet.

#### 6.4 Utførelsesstandarder

Delrapport 1 + 2.3 (Øiset et al., 2015) oppsummerer at det er nødvendig å utarbeide spesielle beskrivelser for borearbeider som også sikrer at borearbeidene ikke skal medføre skader på omgivelser. Utdrag fra delrapporten er også presentert og diskutert i kapittel 4.6. Utførelsesstandardene omtaler en rekke faktorer som det bør tas hensyn til ved boring, men dette er anbefalinger, ikke krav, og anbefalingene er ikke direkte knyttet til krav i spesiell beskrivelse i NS3420. Her må den som utarbeider konkurransegrunnlag, ta inn de enkelte krav i spesiell beskrivelse selv, i hvert enkelt tilfelle.

Det er også et savn for god utførelse og god beskrivelse at stålkjernepeler ikke har en egen standard eller veileder, men dekkes av to utførelsesstandarder. Det er "NS-EN 1536:2010 Utførelse av spesielle geotekniske arbeider. Borede peler", som i praksis er vinklet mot borede peler og pilarer og "NS-EN 14199 Utførelse av spesielle geotekniske arbeider. Mikropeler", som dekker både borede og rammede mikropeler.

Hovedentreprenørens viktige bidrag til økt samhandling og skadeforebygging er å ta et klart og entydig ansvar for at kvaliteten på grunnarbeidene. Kvaliteten på underentreprenørens arbeid har stor betydning for hovedentreprenørens framdrift.

I følge en underentreprenør fra intervjustudien i delrapport 6.2 er de generelle anleggsstandardene mangelfulle og uttrykker *«Vegvesenet støtter seg mye på Prosesskoden. Den blir så forbannet teoretisk så den blir umulig å utføre i praktisk arbeid.»*

I litteraturstudiet ser det ut til at de største tvistene i byggeprosjekter knyttes til utførelsesbeskrivelsene. Advokatfirmaet Thommessen (Bull & Bjelland, 2013) viser til at *«tolkningsuenighet gjelder typisk uklarheter i kontraktsvedleggene (arbeidsbeskrivelse, prisformat, tekniske krav) og i særdeleshet mengdefortegnelsen (NS 3420) og uklarheter i spesielle kontraktsvilkår utformet av byggherren»*. Videre defineres klarhet i kontrakten som byggherrens risiko.

I en prosjektoppgave for Statens vegvesen hevder Høy & Storhaug (2010) at: *«Stadige diskusjoner om enkeltprosesser er innenfor eller utenfor kontrakt, om mengdeendringer er så store at kontraktens priser ikke kan gjelde, og om hvem som er ansvarlige og skal betale for endringer, har medført et relativt høyt konfliktnivå i manges arbeidshverdag. Slik sett, er dette ikke bare et spørsmål om kostnadsfokus og forutsigbarhet, men også et arbeidsmiljøproblem.»*

## 6.5 Samhandling og tillit

Samhandling eller samspill er populære ord i tiden, og kan ses på som en nøkkel til økt produktivitet ved reduksjon av feil, i tillegg til at tid for diskusjoner og oppretting reduseres. Dette skal gi økt fokus på selve byggingen. Med økt samhandling i byggeprosessen menes det at deltakere fra eier, prosjekterende og utførende samarbeider og involveres tettere i både planleggings- og utførelsesperioden. Dette betinger bl.a. god kommunikasjon, koordinering og kontroll. Flere undersøkelser og forskningsprosjekter konkluderer med at godt samarbeid i prosjekter er en stor fordel, både for økonomi og kvalitet. Veien dit, derimot, er det mindre enighet om i følge Lena Bygballe, (2010).

Tillit har stor innvirkende effekt på samsillet mellom de ulike aktørene i et byggeprosjekt. En underentreprenør fra intervjustudiet beskriver situasjonen på en velfungerende byggeplass: *«Det som alle aktører kunne vært mye bedre på er å jobbe sammen som en bedrift, sånn fungerer det med byggherren her. Jo forttere sideentreprenøren blir ferdig jo bedre er det for oss, og dermed for byggherren. Alle tjener på det i kjeden.»*

*«Hvorfor har det fungert sånn?»* Underentreprenør: *«Tillit. Det er tøff fremdrift. Vanvittig fremdrift på alle bygg i dag. Det ble ikke gjort noe spesiell samhandling før oppstart, men byggherre og underentreprenør har jobbet sammen i mer enn tre år.»*

*«Tilliten er noe som bare har kommet under prosjektet gang. På den første delen av prosjektet som vi hadde, var det mer formelt. Dagsrapportene ble levert hver uke, og regningsarbeid kvittert ut hver uke. Nå trenger vi ikke underskrift på dagrapporter mer enn hver 3-4 uke.»*

*«Hva har blitt endret?»*, spør intervjueren, og svaret er: *«Det går på tillit. Det er der det ligger.»*

Swärd (2011) har skrevet en doktoravhandling som ser på tillit i byggebransjen. I entrepriser er det et kontraktsforhold mellom to eller flere parter som besitter ulike ressurser, kunnskap og kompetanse. Hvis partene har tillit til hverandre kan de få følgende fordeler:

- Problemløsning
- Læring
- Samarbeid
- Felles mål
- Utveksling av informasjon
- Uformelle avtaler
- Større åpenhet

De som benytter anskaffelser der kun laveste pris teller, blir sett på som en «en-gangsanskaffer». Andre aktører tildeler kontrakter på andre kriterier, blant annet erfaringer om godt/dårlig samarbeid fra tidligere kontrakter, og de blir sett på som «fler-gangsanskaffere». Dette har betydning for samarbeidet mellom partene. Når det nærmer seg slutten av kontraktsperioden, vet partene at de ikke skal samarbeide så lenge sammen lenger. Det er det ikke noen «Shadow of the future», og samarbeidet kan bli dårligere. Andre utfordringer til tillit kan være rigide kontrakter og stadig nye teamsammensetninger. Det tar tid å bygge opp tillit.

Dagens situasjon i bygg og anleggsbransjen fører til fokus på egen vinning heller enn prosjektets beste, lite innovasjon, kortsiktig tenkning, overvåking som virker mot sosialisering og tillit, mistenksomhet



mot annen part, mye ressurser på formalisering og dokumentasjon, opportuniste. Dette kan føre til en nedadgående spiral som ytterligere reduserer tillit.

Følge av funnene i forskningen på kontrakter med fast slutt-tidspunkt:

- Tillit kan også skapes med tradisjonelle «laveste pris» kontrakter, men det avhenger av at man utarbeider felles forståelse for hvordan kontrakten brukes og at positive handlinger tidlig signaliserer at man ønsker samarbeid.
- «Man må være villig til å gi noe for å få noe.» Kritiske hendelser tester tillit.
- Tillit på operasjonelt nivå påvirkes sterkt av kommunikasjonen som kommer fra lederne. Tillit på ledernivå avhenger igjen av tillit på operasjonelt nivå.
- Mot slutten av prosjektene er det sannsynlig at tillit svekkes.
- Det er dermed klokt å løse mest mulig av tvistesaker underveis, og gruppere kravene og «gi og ta.»

## 6.6 Kommunikasjon

Et stort fokus i intervjustudien har vært å finne ut hvordan kommunikasjonen går mellom ulike personer og roller i de ulike prosjektene. Dette for å se om det går å skille ut hva det er som gjør et prosjekt bra eller dårlig med hensyn til dette. Som utgangspunkt antas at hovedaktørene i et bygge- og anleggsprosjekt er byggherre, representert ved byggeleder (innleid eller ansatt hos byggherren), rådgiver, hovedentreprenør og underentreprenør. Ulike kontraktsformer gir ulike kommunikasjonsveier mellom de ulike partene. For enhetspriskontrakter er byggherren rådgiverens kontraktspart, mens for totalentrepriser er hovedentreprenøren kontraktspart. Figur 6-5 viser prinsippet i kommunikasjonsveien i en enhetspriskontrakt. For en totalentreprise vil byggherren stå mer på sidelinjen, mens andre aktører følger skjema.



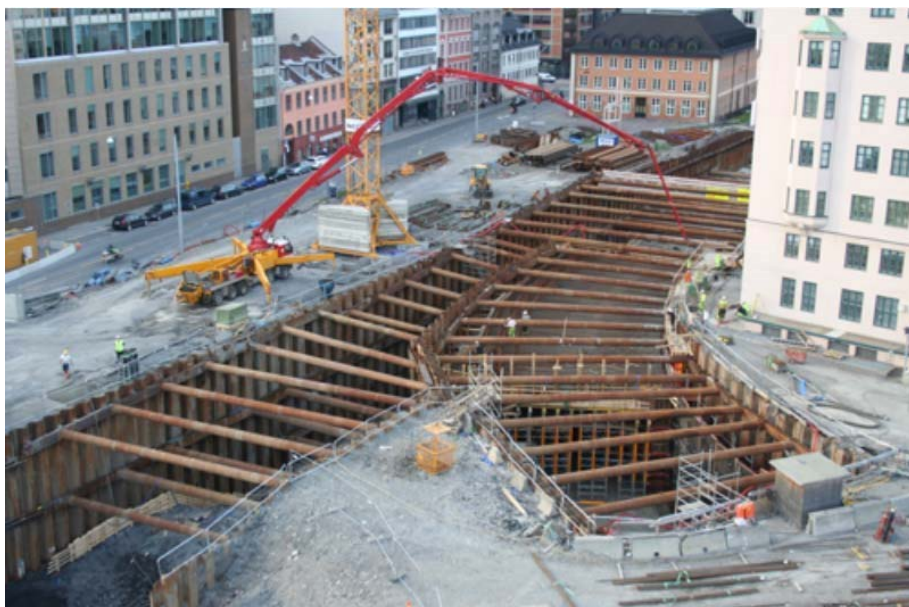
Figur 6-5 Aktører og kommunikasjon mellom de enkelte legg i en enhetspriskontrakt (Tvedt 2015)

Kommunikasjon i prosjektorganisasjoner kan være formell eller uformell. Men for å sikre juridiske og økonomiske forhold stilles det normalt formalkrav på saksgangen ved visse typiske forhold. Disse er spesielt relatert til endringer og andre bindende forhold. Eksempel på dette er endringer som har konsekvens for fremdrift eller økonomi. Uavhengig av kontraktsformen stilles det normalt krav til formell og klar dokumentasjon av kontraktsmessige forhold.

De utvalgte prosjektene i intervjustudiet omfattet både enhetspriskontrakter, konkurransepreget dialog, totalentrepriser og byggherrestyrte delentrepriser. Samtlige prosjekter var store prosjekter hvor entreprenørkostnadene overskrider 500 millioner kroner. Det er forskjell mellom organisasjonsoppsettet, men i hovedsak følger de normale organisasjonsplaner. Kontrakten mellom hovedentreprenør og underentreprenør er oftest en standard enhetspriskontrakt som er uavhengig av den overordnede kontraktsformen mellom hovedentreprenør og byggherre.

I følge intervjuobjektene er kontraktsformen ikke en styrende faktor for hvordan kommunikasjonen eller kommunikasjonssystemet fungerer i prosjektet. En faktor som har stor innflytelse på kommunikasjonen er den økonomiske levedyktigheten i kontrakten. Det er viktig at alle parter i prosjektet får en gevinst for jobben som utføres. I prosjekter med økonomisk levedyktige kontrakter er engasjementet hos den enkelte aktør mye større. Levedyktigheten medfører at fokus blir på gjennomføring, optimalisering og smarte løsninger fremfor økonomiske aspekter. I prosjekter hvor alle ledd, det vil si rådgiver, hovedentreprenør og underentreprenører, tjener penger, og byggherren får det som han ønsker, er suksessraten størst. Dårlig inntjening fører til konflikter og konflikten fører til dårlig inntjening og dette blir en evig ond sirkel. Et velkjent ordtak er: «Når krybben er tom, bites hestene.» Partene får fokus på egen vinning for å redusere tapet i stedet for å løse oppgaven optimalt.

Det er oftest markedssituasjonen som styrer tilbudsarbeidet, og prisen underleverandøren gir til hovedentreprenøren er basert på dette. Manglende informasjon eller manglende oppgaveforståelse kan medføre store avvik og gi store konflikter i det videre samarbeid mellom partene. Her kan kultur og kutymer spille stor rolle. Underentreprenørene kan ha tradisjon for bestemte metoder, disse kan komme i konflikt med det som er beskrevet i arbeidsbeskrivelsen, og det til sist føre til skader, konflikter og økonomiske tap. Mangel på informasjon og kommunikasjon mellom partene fører ofte til tvister. Intervjuobjekter fra rådgivermiljøet framhever at kontrahering av underentreprenørene må baseres på den helhetlige beskrivelse. Informasjon og spesielt restriksjoner må formidles ned gjennom alle ledd.



Figur 6-6. Byggegrop ved Havnelagret juni 2011 (Bilde: Ivar Brandt Stø/Statens vegvesen).

I prosjekter hvor utførende blir dratt med i planlegging, får delta i idefasen eller får gitt direkte innspill i prosjekteringen, øker sannsynligheten for en god gjennomføring, både med hensyn til fremdrift og økonomi.

Et intervjuobjekt fra en fornøyd underentreprenør på fundamentering uttaler: «*NN (ansatt i rådgivende ingeniørfirma på geoteknikk og sitter i byggeledelsen på plassen) er en hovedmann som man kan gå og spørre om det er ting som dukker opp. Er det ting han ikke kan ta der og da, så går han videre til sjefen i rådgivende ingeniør innen geoteknikk. NN har prøvd å se på de verste problemene i god tid innen de oppstår. Rådgivende ingeniør har laget veldig gode tegninger med godt grunnlag bak alt det her.*»

NN er sentral i prosjektet. Hans rolle i prosjektet er byggeleder med teknisk oppfølging, drift og økonomi. Han har vært inne i prosjekteringsfasen, har gjort beregninger og kjenner dermed til prosjekteringsforutsetningene. Han sier selv: «*Det er en unik mulighet å følge prosjektet fra vugge til grav.*» Han har i tillegg forståelse for utfordringene fra prosjektleder som også har geoteknikk bakgrunn.

Flere intervjuobjekter påpekte viktigheten av kommunikasjon mellom utførende og prosjekterende. Viktigheten gjenspeiles i at de prosjekterende må prosjektere det de utførende har «lyst» eller «evne» til å utføre, uten at det går utover kvaliteten og/eller sikkerheten. Utførende opplever for ofte at det prosjekteres løsninger som ikke er tilpasset tilgjengelig utstyr eller kompetanse hos de utførende. «*Vi var med i prosessen, deltok i diskusjonen og valg av løsning*» opplyser et intervjuobjekt fra de utførende. Det er derfor viktig og involvere de utførende i løsningsvalg og planlegging.

I et annet prosjekt var det ingen direkte kommunikasjon mellom rådgiver og underentreprenør. Underentreprenør var ikke med på tekniske byggemøter. Et intervjuobjekt fra hovedentreprenør sa: «*Byggherren bestemte at underentreprenøren ikke skulle være med. Underentreprenør fikk delta i en del økonomiske prosesser, slik at de forsto at kravets aksept/avslag var endelige.*»

På det omtalte prosjekt var det en del utfordringer med underentreprenør på spunt og peler. Underentreprenøren var normalt ikke med på møtene. Intervjuobjektet fra rådgiver opplyste at «*Det er både fordeler og ulemper å ha underentreprenøren med på møtene. Særmøter kan underentreprenørene være med på. Underentreprenøren fikk den informasjon de hadde bruk for gjennom hovedentreprenøren.*»

Det var likevel direkte kommunikasjon mellom byggherre og underentreprenør ute på byggeplassen. Et intervjuobjekt fra hovedentreprenør opplyste: «*Byggherrens kontrollingeniør var flink til å være ute på byggeplassen og prate med folk. Han hadde praktisk gangsyn, forsto hva som var viktig, og hva som ikke var så viktig.*»

På en byggeplass var det en hendelse med innlekkasje gjennom spunten. Byggeleder svarer slik når han får spørsmål om underentreprenør bidro til løsningen da gruppen hadde lekkasje: «*De var ikke på de møtene. Det er derfor vanskelig å vite hvem det var som kom med løsningen. Jeg savner litt hovedentreprenørens oppfølging av underentreprenør. Underentreprenøren har sin arbeidsledelse, og hovedentreprenøren vil ikke ta ansvaret for hva de gjør. Hovedentreprenøren burde ta ansvar for underentreprenør og styre dem litt. Oppfølging mellom de to kunne vært bedre.*»

Han sier senere i intervjuet: «*Det var mangel på kommunikasjon mellom hovedentreprenør og underentreprenør. Underentreprenøren var med på noen møter, men veldig få. Det som byggherren ga til oppfølging, kom ikke alltid ned i leddet til underentreprenøren.*»

Enkelte intervjuobjekter, fra utførende, informerte om en prosess hvor de ble tatt med i utarbeidelse av løsninger, hvor de var med i møter, og hvor de utførendes ressurser ble utnyttet positivt. Rådgiver kunne så i etterkant dokumentere valgt løsning, og byggherre kunne godkjenne det økonomiske

aspektet. Intervjuobjekter på byggherresiden opplyste i tillegg at denne metodikken normalt gav et bedre økonomisk og fremdriftsmessig resultat.

Vi observerte også en viss forskjell i hvordan saksgangen opplevdes fra de involverte parter. Ved en angitt hendelse opplevde intervjuobjektet fra utførende at de var tatt med på råd, mens rådgiveren opplevde at løsningen var tilrettelagt fra deres side. Tross denne forskjell opplevde begge parter hendelsesforløpet som konstruktivt og positivt. Felles opplevelse var at dette var en grei måte å løse utfordringer på.

I henhold til intervjustudiet som ble gjennomført er kommunikasjonsveien mellom prosjekterende og utførende kun delvis avhengig av kontraktsformen. For fundamenteringsarbeid (spunt-, stag-, pelearbeid) er denne forskjellen mindre avhengig av kontraktsformen enn for andre arbeider. Denne forskjellen avhenger av mest av at kontraktsformen mot grunnentreprenøren i de fleste tilfeller er en enhetspriskontrakt uavhengig av kontraktsformen for hovedentreprisen som nevnt tidligere.

Intervjuobjektene opplyser at det sjelden er direkte kontakt mellom de prosjekterende og utførende innen fundamentering. Typisk er at det er et mellomledd som formidler informasjon begge veier. Dette mellomleddet er normalt «byggeledere for grunnarbeider» eller tilsvarende. Muligheten for vellykket gjennomføring kan være veldig avhengig av personlighetene til denne enkeltpersonen og hans aktivitetsnivå. «Full oversikt og god kontroll på plassen» opplyser en aktiv og ivrig byggeleder. Denne innstillingen kan skille mellom suksess og store problemer.

Intervjuobjektene fra de utførende opplyser i tillegg at de ofte blir holdt utenfor loopen, det vil si at de ikke får deltatt aktivt i planleggingen av den jobben som skal utføres. Det er bred enighet mellom intervjuobjektene at involvering og informasjonsflyt medfører en form for yrkesstolthet eller opplevelse av mestring. Dette gjelder spesielt for de utførende som ofte mangler det teoretiske / akademiske grunnlag. Informasjon og formidling av hva som skal gjøres, hvorfor det skal gjøres og hvordan det skal gjøres, gir en opplevelse av å være verdsatt. Intervjuobjekter fra underentreprenørene opplyste at de ofte ikke fikk tilgang til det totale kontraktsgrunnlaget. Ofte var kommunikasjonen mellom hovedentreprenøren og underentreprenøren i form av enkle tegninger og tilhørende Excel-lister eller prosessbeskrivelse. Dette kan medføre ubalanserte kontrakter og uavklart risikoplassering mellom partene.

## 6.7 Tekniske hjelpemidler

Som et resultat av et stort ønske om økt effektivitet og økt behov for en rimelig avkastning i byggebransjen, er digitale verktøy som 3D og BygningsInformasjonsModeller (BIM), sett på som en paradigmeskifte i byggebransjen. Mulighetene er store og de digitale verktøy utvikles raskt.

3D-modellering og visualisering i 3D bidrar til at prosjektdeltakerne får en raskere oppgaveforståelse og bedre oversikt over hva som skal prosjekteres og bygges. Det er sagt at 3D-modellering og visualisering bidrar til at prosjekteringen modner raskere. Prosjektdeltakerne kan bruke mindre energi på å sette seg inn i hva som skal bygges og tidligere kan få avdekket mulige konflikter med andre disipliner. 3D-modeller er en av grunnpilarene i BIM.

3D modellering og BIM brukes i flere firma for å forbedre samhandling, et eksempel på dette er Virtual Design Construction (VDC), Veidekke (2010). Her samles alle involverte parter rundt et og samme bord og prosjekterer prosjektet sammen. For at dette skal fungere smidig, brukes BIM som et viktig koordineringsverktøy. Deltagerne får da en felles digital plattform. Detaljprosjekteringen skjer i større



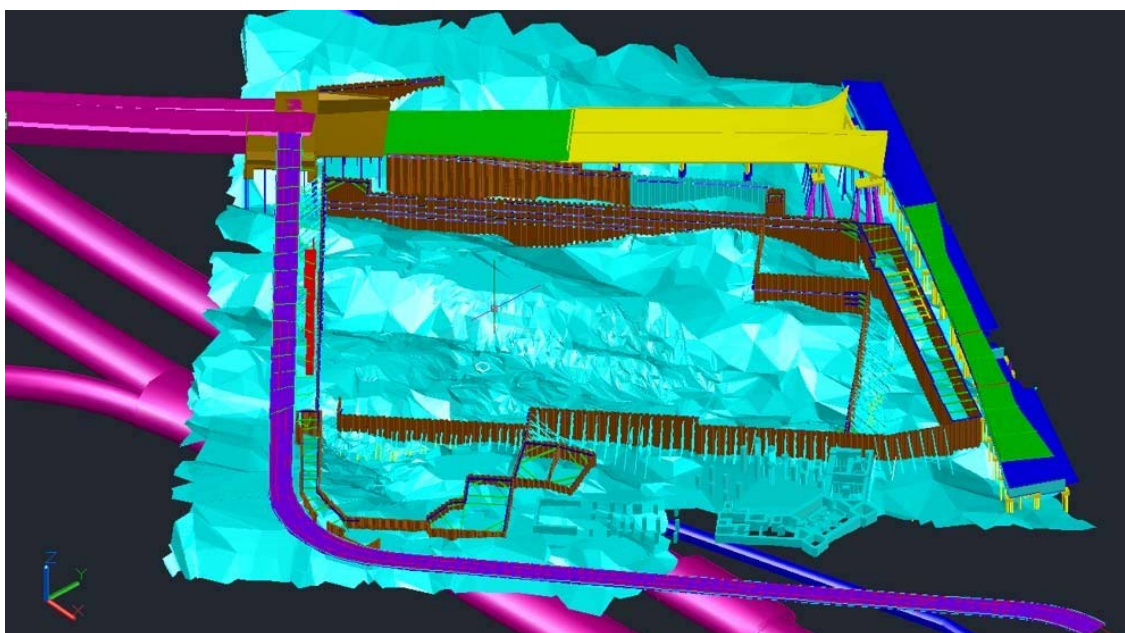
eller mindre grupper på en felles skjerm. Når alle fagene er på samme skjerm, kan en lettere se konfliktpunkt og grensesnitt mellom ulike fag.

En av de intervjuede som arbeider hos en hovedentreprenør der de brukte VDC opplyser: «*Finner man feilen tidlig, så finnes det mer tid til å korrigere. Vi vet hva vi bygger, og har tid til å gjøre det vi skal og å korrigere for ikke å gjøre feil.*» Entreprenøren syntes også at det var bra å ha ICE-møter, som medførte færre kollisjoner. ICE står for Integrated Concurrent Engineering, Veidekke (2013), samhandlingssesjoner eller arbeidsmøter der hensikten er å ha all kompetansen i samme rom for best å sørge for vellykket prosjektering med lavest mulig tidsforbruk. ICE er en sentral del i VDC og er ikke et møte, men en styrt arbeidsøkt i plenum.

En entreprenør sa: «*Det verste vi har er tid, vi har ikke rom for å rote og stoppe. Produksjon er viktig!*»

På byggeplasser brukes BIM-modeller til å styre hele fremdriften. Den kan benyttes til å øke kunnskapen hos alle involverte medarbeiderne. BIM kan også brukes som et logistikkverktøy. Det blir da 4D, for tidsaksen kommer også inn. Innkjøpere kan f.eks. enkelt få oversikt over hvor mange dører som skal kjøpes, om de skal være høyre eller venstrehengslet, og når de må være på plass på byggeplassen.

Aktiv bruk av 3D i utførelsesfasen gjør at risikoen for feil reduseres. 3D-modellene brukes til kollisjonstester. Herved kan antall uforutsette hendelser reduseres fordi prosjektet er «utført» en gang i den virtuelle verden. I tillegg kan 3D modellene kan være med til å avdekke potensielle problemområder.



Figur 6-7. Eksempel på 3D-modell, Nytt Nasjonalmuseum (Bilde: NGI).

En begrensning i forhold til bruken av 3D og BIM på grunnarbeider er at antall grunnundersøkelser ofte ikke er tilstrekkelig til å utarbeide en god nok bergmodell og eventuell lagdeling i grunnen. En annen begrensning er at beliggenhet av installasjoner i grunnen, som f.eks. ledningsnett, kan være beheftet med usikkerhet. Videre mangler det fortsatt en del på hvordan kvalitet, ansvar og risiko håndteres ved bruk av de nye verktøyene.

Et argument for å få grunnundersøkelser er at man i et prosjekt med stor usikkerhet i mengder, også vil ha store usikkerheter knyttet til å forutsi tidsforbruk og omfang for grunnarbeidene i prosjektet. Det å ha tilstrekkelig antall grunnundersøkelser bidrar også til at man i henhold til Eurokode 7 kan redusere usikkerhet og man kan tillate å benytte en lavere sikkerhetsfaktor, som ved prosjektering av peler.

I Norge arbeides det med å etablere en Nasjonal database for grunnundersøkelser (NADAG). Denne database skal gi en samlet oversikt over hvilke undersøkelser som er gjort i ulike områder og gi en effektiv tilgang til data. En forundersøkelse ble utført av NGU i 2012, og de ser videre på mulighetene for at NGU kan utvikle og implementere en nasjonal database. I forundersøkelsen understreker de at de viktigste motivene for å etablere en slik database er:

- Mer effektiv datainnsamling: Hva finnes fra før? Hvor bør man supplere?
- Unngå dobbeltarbeid ved å utføre dobbelt sett av grunnundersøkelser
- Mindre omfattende undersøkelser, raskere tilgang til data, enklere arkivering
- Redusere planleggings- og prosjekteringstid og bedre beslutningsprosesser
- Redusere kostnader og forsinkelser i prosjektutførelse grunnet «uforutsette grunnforhold».
- Unngå skader på bygninger grunnet (langvarige) prosesser i undergrunnen som kan medføre at skader blir kartlagt i en tidlig fase.
- Beparelser i datainnsamling og effektiv datasøking kan føre til mindre kostnader i felt og lab (avhenger av hvor mye som tidligere er gjort i det aktuelle området).

Det finnes i dag store mengder med grunnundersøkellesdata i Norge, og disse eies av flere ulike instanser: private firmaer, institusjoner, etater, kommuner, universiteter med flere. Databasen bør kunne nå alle disse gruppene og dermed inneha ulike typer av grunnundersøkelser for ulike formål.

## 6.8 Oppsummering av faktorer som påvirker samhandling

Delprosjektet har funnet ut noen faktorer som påvirker samhandlingen. Disse faktorene er:

- Lover og bygge- og anleggsstandarder
- Entrepriseform
- Prosjektdeltagernes økonomiske levedyktighet i kontrakten
- Personlige relasjoner og tillit
- Fagkompetanse
- Særmøter og samlokalisering
- Tekniske hjelpemidler
- Planlegging

### 6.8.1 Lover og bygge- og anleggsstandarder

Ved kontrahering av og oppfølging av rådgivingstjenester, bør byggherren forsikre seg om at alle deloppgaver er dekket av rådgivergruppen og at kontrakten mellom hovedrådgiver og underrådgiver ikke har mangler eller føringer som endrer de forhold som er avtalt mellom byggherre og hovedrådgiver.

Tilsvarende bør det utvikles mekanismer som sikrer at underleverandørene til hovedentreprenørene og /hovedrådgiverne har samme vilkår som disse. Det gavner for eksempel ikke byggherren at



hovedrådgiver har avtale på medgått tid, mens underrådgiver har avtale om fastpris. Det er også meget ugunstig at hovedentreprenør ikke har valgt eller kontrahert underentreprenør når avtalen med byggherren inngås.

Byggherrer må også være bevisste at de følger opp sine egne kontraktskrav når de følger opp en entreprise. Kontrakten må følges for å sikre en enhetlig styring og for å unngå konkurransevidning. Byggherrens innkjøper/prosjektstyrere må utvise samme respekt for de tekniske krav som til økonomiske og formelle krav i kontrakten. Når det stilles krav om boring med vannspyling eller «reversed cirkulation» i spesiell beskrivelse, kan det ikke godtas at arbeidet likevel utføres med eksenterboring og luft. Dette må avklares før kontraktsinngåelsen og ikke like før boringen skal starte.

For å sikre mot skader fra grunnarbeider må i tillegg forberedende arbeider og midlertidige konstruksjoner få samme krav til oppfølging og kvalitetssikring som permanente konstruksjoner.

Funnene i litteraturstudiet har også avdekket at det ofte er uenighet om den *spesielle beskrivelsen*. Flere tiltak bør settes inn her, utover en generell kursing i beskrivelser og tegningstekster. Alle rådgivergrupper bør ha en ankerperson som sjekker prisbarhet, blant annet at overordnet beskrivelse, spesiell beskrivelsestekst og prispåbærende post er på samme nivå.

Det er viktig at det evalueres underveis og til slutt i prosjektet hvorvidt det som kommer av krav og endringsordrer kunne vært fanget opp i tilbudsgrunnlaget, samt hvem, som skulle fanget dette opp.

Generell beskrivelsestekst for fundamenteringsarbeider i NS 3420 og Statens vegvesens prosesskode 2 er veldig viktige med hensyn til å beskrive arbeidene. De generelle tekstene bør være så gode at det kun unntaksvis skal være behov for spesiell beskrivelse. Erfaringsvis kan beskrivelse i kontrakten og på tegning være mangelfull, og det er dermed opp til operatørens kunnskapsnivå om arbeidet blir utført med riktige prosedyrer ved spesielle grunnforhold.

Et hjelpemiddel som kan utnyttes bedre er program for beskrivelser som f.eks. G-prog (Norconsult Informasjonssystemer NOIS) hvor det er rom for å legge inn veiledninger og anbefalt spesiell beskrivelse, se Figur 6-8. Her kan det legges inn tekster fra utførelsesstandardene, gode tips om hva man bør tenke på, ev. også linker til illustrative bilder og filmklipp.



Figur 6-8 Utsnitt fra veiledningsfunksjonen og funksjonen "Anbefalt spesiell beskrivelse" i programmet G-prog, Kilde: Norconsult Informasjonssystemer AS

### 6.8.2 Entrepriseform

Fra intervjustudien som handlet om kommunikasjon mellom ulike parter i byggeprosjekter, fremkom det ikke at noen spesiell entrepriseform er bedre enn noen annen når det kommer til kommunikasjon og samhandling. Litteraturstudiet viser til en ulempe med engangsanskaffelser da det tar tid å bygge opp tillit mellom partene, men det er fortsatt mulig å oppnå tillit i denne typen kontrakter.

Det som framkom under intervjuene er at hovedentreprenøren iblant mangler kunnskap om det som underentreprenøren skal utføre og at de derfor ikke evner å følge opp arbeidet. Det kan iblant se ut som at underentreprenøren på grunn av dette har større mulighet for å ta snarveier. Oppfølging mot underentreprenører bør prioriteres i grunnarbeider, da det ofte er innen dette området er mange krav om endringer dukker opp. Det er også viktig å sørge for at de spesielle kontraktsbestemmelsene når fram til underentreprenørene, som i mange tilfelle kun får noen biter av det komplette konkurransegrunnlaget.

Byggherren må følge opp kontraktskravene. Hvis kravene følges opp ulikt i ulike byggeprosjekter, blir det uforutsigbart for entreprenøren om den vil få gevinst denne gangen eller neste. For at entreprenøren skal kunne konkurrere på like vilkår, må byggherren følge de tekniske kravene i kontrakten like nøye som de økonomiske.

For å få til et godt samarbeid mellom flere parter, er det viktig at risikoen i kontrakten er redusert under utarbeidelse av konkurransegrunnlaget. Hvis alle parter får en gevinst i prosjektet øker engasjementet og samarbeidet mellom partene. **Kontraktspartenes økonomiske levedyktighet blir en avgjørende faktor for et godt samarbeid.**

For å lykkes med å utarbeide økonomiske levedyktige kontrakter bør byggherre og rådgivere være bevisst at risiko koster om den synliggjøres eller ikke. Satt på spissen, så jages risikofaktorene rundt i prosjektene som i et svarteperspill, og "alle" parter ønsker å skyve den over på "noen andre". Det er derfor en viktig oppgave å ta hull på alle risikobyller i prosjektene og innse at jo tidligere man får oversikt over dem, kartlagt dem og prissatt dem på en god måte, jo større sikkerhet får man i prosjektene i byggefasen.

I forbindelse med bygge- og anleggsprosjekter er det felles målet å få etablert et bygg eller anlegg. Bortsett fra felles mål om å bidra til det endelige produktet, har de ulike aktørene noe ulike interesser i selve prosessen. For alle aktører er det forhold som økonomi, produksjon, framdrift, kvalitet, sikkerhet, ansvar og samarbeid med i større eller mindre grad.

Kontraktsformer der aktørene opplever at det ikke er en rettferdig fordeling av risiko, ansvar og mulighet for fortjeneste, vil lett kunne bli en brems med hensyn til samarbeidet. Hvis byggherren har sikret seg så godt at eventuelle endringer fører til at entreprenører eller rådgivere lett taper penger, vil viljen til samarbeid svekkes. Likeledes for forholdet hovedentreprenør – underentreprenør og mellom hovedrådgiver – underrådgiver.

### 6.8.3 Personlige relasjoner og tillit

Personlige relasjoner og tillit er viktig grunnstein for god samhandling. Det tar tid å bygge tillit, men det kan ta kort tid å rive den ned. Tillit på operasjonelt nivå påvirkes sterkt av kommunikasjonen som kommer fra lederne. Tillit på ledernivå avhenger igjen av tillit på operasjonelt nivå.

Bygg21, som er et samarbeid mellom byggenæringen og myndighetene (for å heve byggenæringens innovasjonsevne, produktivitet, bærekraft og dens evne til å dele kunnskap og erfaringer) (2013) mener det er manglende bestillerkompetanse i bransjen. Dette kan skyldes at de har erfaring med ubalanse i kontraktsforutsetninger som ødelegger for samspillet mellom partene. Balanserte og klare kontrakter skaper derimot tillit. Entreprenørene ønsker å konkurrere på annet enn pris i Statens vegvesens entrepriser, men det er stor skepsis til bruken av kvalifikasjonskriteriene «Byggherrens erfaring med tilbyder», Faveo (2014). I det private markedet derimot kan partene velge hverandre, og tilliten som man har bygget opp i et prosjekt, kan videreføres til neste. Dette er vanskelig for byggherrer som er underlagt offentlig anskaffelsesregelverk.

Ansvar for risiko for logistikk og framdrift er delt. Byggherren har ansvar for grunnforhold, og hovedentreprenør for anleggsgjennomføringen. Hvem som har ansvaret for prosjekteringsgrunnlaget er avhengig av entreprisform. Denne risikodelingen har ført til mange rettslige tvister.

For å redusere konfliktnivået bør konflikten løses underveis i entreprisen. Ved arbeider i grunnen vil det som regel oppstå uforutsette forhold. «Ingen har vært der før, annet enn Gud» som en arbeidsleder på grunnarbeid har sagt. Når det blir konflikter i forbindelse med uforutsette grunnforhold er saken ikke nødvendigvis sort hvit, men den har nyanser av grått. Både byggherre, rådgiver og entreprenør kan ha noe rett i sine argumenter. For at konflikten ikke skal gå i lås er bruk av konfliktløsningsråd en hjelp til at partene kan løse den økonomiske konflikten underveis.

### 6.8.4 Særmøter og samlokalisering

Det har kommet frem under intervjuene **at særmøter mellom geoteknikk (rådgiver og utførende) og samlokalisering** er viktig for å få et godt samspill. Alle gode prosjekter tar dette frem som en faktor som spilte en stor rolle for at prosjektet ble vellykket. Det er viktig at særmøter først og fremst handler om teknikk og løsninger på eventuelle utfordringer i prosjektet. Økonomi og framdrift bør tas på andre møter for å prioritere en god teknisk løsning først. Her er det også viktig at rette personer stiller på møtene. Det må være mulig å ta raske beslutninger for å komme videre i prosjektet. Handler utfordringen om noe som underentreprenøren er involvert i, bør denne være til stede på møtet. Byggherre og hoved-/totalentreprenør har her en viktig rolle i å invitere de som sitter med fagkunnskapen i møtene.

### 6.8.5 Fagkompetanse

En kunnskapsdrevet næring skaper grunnlag for tillit og gjensidig respekt. Riktig **fagkompetanse** inkluderer alle fag og roller, ledelse på alle nivåer, flerfaglig og helhetlig forståelse, samt god samarbeidsevne. I tillegg til kompetanse i de tekniske fagene må alle partene ha kompetanse innen entreprisekontraktjus og framdriftsplanlegging. Ved å legge bedre til rette for godkjenning, oppdatering og supplering av utenlandsk kompetanse, kan næringens store utenlandske arbeidsstokk komme bedre til rette. Det er også viktig med formidling nedenfra og opp. De som utfører må også videreformidle kunnskap om hvordan jobben utføres og hvilke begrensninger som gjelder.

Fagkompetansen er et viktig element i utførelse og kommunikasjon mellom partene, det er sånn at «like barn leker best». Det kan være stor utfordring hvis partene ikke er likeverdige eller misforstår hverandre på grunn av fagkompetanse eller språk. Det er derfor et viktig element for smidig og sømløs kommunikasjon at deltakerne prater samme språk, både direkte og indirekte. Det kan derfor være viktig med kompetanseoverføring og dialog vedrørende den jobben som skal utføres.

I intervjustudiet kom følgende utsagn: «Det kan nok skje at det slurves for mye med utførelse på geoteknikk. Det er vanskelig å følge opp.» Det kan tolkes som at underentreprenørene kan ta noen snarveier når fagkunnskap mangler hos hovedentreprenøren for å avdekke dette.

Næringen er preget av den norske modellen for ledelse og samarbeid, der involvering og medarbeidermedvirkning står sentralt. Dette utvikler ansvarsfølelse og initiativ, legger til rette for god kompetanseutnyttelse og effektive og sikre produksjonsprosesser.

God kjernekompetanse må støttes opp av et godt utdannings- og opplæringssystem. Læring og kompetanseoverføring i en næring preget av prosjektorganisering er krevende. Det er et stort potensial for læring og verdiskaping som følge av tettere samarbeid mellom aktørene i byggenæringen.

Geoteknikkopplæring tilbys i liten grad for personer i arbeidslivet som ikke er utdannet innenfor geoteknikk fra Universitet / Høyskole. Konferanser og seminarer som arrangeres av Tekna og NGF er stort sett tilpasset denne gruppen. Det kan virke hemmende på kompetansespredning blant mer praktisk personell og funksjonærer i entreprenørbransjen. Manglende grunnleggende geoteknisk kompetanse virker inn på innsikt i fag og utførelse og i sin tur på kvalitet. Ved et samarbeid mellom de ulike foreningene kan man utvikle kurs mer rettet mot entreprenørene med et praktisk tilsnitt og gjennomgå grunnleggende geoteknisk kompetanse.

De utførende boreentreprenørene har uttrykt i intervjuene som danner grunnlag for delrapportene i delprosjekt 6 at de savner at geoteknikere er ute på byggeplassen. De mener også at prosjektledelsen som regel ikke har forståelse for geoteknikk. I tillegg mener de at geoteknikerne har lite praktisk forståelse og foreslår et praksisår i felt for dem. Seniorrådgivere uttrykker at de yngre geoteknikerne burde komme mere ut, og mener at dette er byggherrens ansvar å bekoste. Byggherren mener at opplæringskostnader på yngre geoteknikere må rådgiverfirmaene bekoste selv. De kan for eksempel tilby de som kontrollingeniører til en redusert pris.

På prosjektnivå bør de ansatte på prosjektet gå i dybden på kvalitetsavvik, og de bør få forståelse av den bakenforliggende årsak til avviket, deretter kan det lages enkle læringsark som kan spres mellom prosjektene.

Andre tiltak for å få god fagkompetanse og erfaringsoverføring kan være kurs i geoteknikk beregnet på yrkesaktive geoteknikere og fagarbeidere. En årlig gjentagende dag om effektivisering i grunnarbeid der nye prosjekt presenteres og erfaringer utveksles, samt artikler i fagtidsskrifter om skadeårsaker og kostnader.

#### 6.8.6 Tekniske hjelpemidler

Tekniske hjelpemidler kan redusere barrierene for deling av informasjon og kunnskap. Det være seg web-hotell, digitalt undergrunnskartverk og 3D-modeller. Bransjen vil som helhet ha nytte av å dele eksisterende informasjon om grunnforhold digitalt både internt i prosjektet og i samfunnet generelt. Uforutsette grunnforhold er en av de største risikofaktorene i bygge- og anleggsprosjekt, og det bør gjøres en innsats for å redusere denne faktoren.

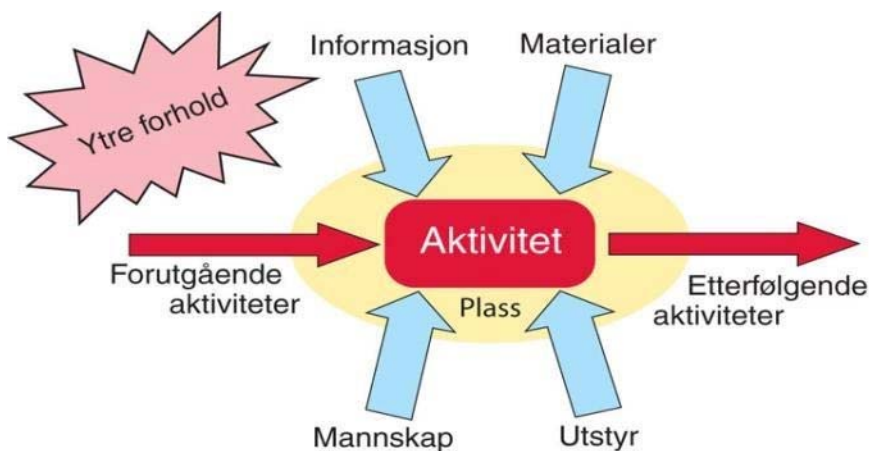
Bygg21 mener at digitalisering og bruk av BIM (byggningsinformasjonsmodeller) i hele verdikjeden og i alle faser, fremmer kvalitet, effektivitet, konkurransekraft og lønnsomhet, og gir et godt grunnlag for oppfølging gjennom byggets/veiens/banens levetid.

Per i dag tegnes som regel grunnundersøkelsene i modeller, men modellene med grunnundersøkelser overleveres sjelden fra rådgiver til grunntreprenøren. Modellen kan være til hjelp for entreprenøren i vurdering av f.eks. pelelengder, og de bør få tilgang til denne informasjonen.

For å sikre en utførelse som oppfyller de kravene som er satt til å registrere matekraft, lufttrykk og inndrift i berg, bør det settes krav til en automatisk registrering av bordata. Det vil sikre byggegrunnen rundt byggearbeidene som skal utføres, det vil gi sporbarhet på god og dårlig utførelse, lette kontrollarbeidet og også sikre rettferdig konkurranse ved prising.

### 6.8.7 Planlegging

Tid er penger, og produksjonsplanlegging, inspirert av Lean Construction, kan gi gevinster i bygge- og anleggsbransjen. Hovedmålsetningen er å redusere tapt tid og skape flyt i produksjonen. Det er spesielt to forhold som bidrar til å skape dårlig flyt og tapt tid i byggeplassproduksjon: Det er at aktivitetenes tidsforbruk varierer og dermed ikke kan forutses nøyaktig, og at det er ulike forutsetninger for å utføre aktiviteten uten hindringer. Derfor står rullerende planlegging og systematisk hindringsanalyse sentralt i involverende planlegging, Veidekke (2014).



Figur 6-9. Hindringsanalyse (kilde: Veidekke, 2014)

Arbeidet skal utføres i riktig rekkefølge og framdriftsplanlegging skal skje på ulike nivå med ulike tidshorisonter. Hindringer skal fjernes for å få utført jobben. Et eksempel på hindringer er manglende tegninger, eller at en annen aktivitet står i veien for den planlagte jobben. Alle skal delta i planleggingen av egen hverdag.

Vi benytter stadig flere tekniske hjelpemidler, men ingen av hjelpemidlene kan erstatte den direkte dialogen rundt et bord. Da har man mulighet å benytte langt flere virkemidler i kommunikasjonen, både kroppsspråk og tonefall i tillegg til modeller, tegninger og kontrakt. Partene har muligheter til å få oppklart mulige misforståelser ved å stille oppklarende spørsmål. Når det gjelder grunnarbeid må geoteknisk og geologisk rådgiver og spunt- og peleentreprenør inviteres på møter for direkte dialog. Her har byggherre, byggeleder og hoved-/totalentreprenør en viktig oppgave: å invitere de rette deltagerne til de rette møtene.

Det bør avholdes oppstartsmøter der både underentreprenør for grunnarbeid og rådgivende ingeniør geoteknikk er representert, tidlig i prosjektet. Dette oppstartsmøte bør senest være 1 – 4 uker i forkant av at arbeidsoppgaven utføres. Da har entreprenøren tid til å skaffe nødvendig utstyr hvis kvalitet eller sikkerhetsaspektet krever dette. Rådgiver har anledning til å forklare årsaken til kravene som er satt. Entreprenøren har anledning til å justere arbeidsmetoden til det utstyret som er tilgjengelig.

## 6.9 Forslag til tiltak

### 6.9.1 *Vannressursloven*

Vannressursloven, lov om vassdrag og grunnvann, omhandler bruk og forvaltning av vassdrag og grunnvann. Loven har som formål å sikre en samfunnsmessig forsvarlig bruk og forvaltning av vassdrag og grunnvann. Med grunnvann forstås vann i den mettede sonen i grunnen.

Loven er vinklet mot nytte av vassdrag og grunnvann som ressurs. Det går ikke like klart fram av loven at grunnvannspåvirkning, som skyldes boring for stag og peler, er omfattet av loven. Dype byggegroper, boring for stag og peler, samt tunnelsprenging kan føre til drenering og senkning av grunnvannsnivået.

Vannressursloven bør omformuleres eller gjennom forskrift klargjøres til å ivareta uønsket påvirkning av grunnvann og grunnvannstand, slik vi ser byggeaktivitet medfører.

### 6.9.2 *Forskrift om konsekvensutredning*

Det er kjent at dype byggegroper, borede peler og stag gir en økt fare for drenering av grunnvann med poretryksreduksjon i dypere lag og mulig grunnvannsendring. Konsekvensene kan være setninger og skader på nabobygg. Konsekvensene bør tenkes gjennom på flere stadier av planleggingen og det bør først ivaretas under konsekvensutredninger.

Det bør tas med i Forskrift om konsekvensutredning (Miljøverndepartementet,2009), blant annet under listen i §§ 2-5 (KU). Listen omfatter mulige skader og konsekvenser for natur, kultur, helse, friluftsliv, tilgjengelighet, ras, flom og skred. Listen burde i tillegg omfatte krav til å utrede hvorvidt det er fare for skader på nærliggende bebyggelse og infrastruktur eller fare for endringer i grunnvann/poretrykk på kort eller lang sikt.

Konsekvensutredningen skal utarbeides på bakgrunn av fastsatt plan- eller utredningsprogram. Det er satt opp faste punkter som skal omhandles (KU vedlegg III, pkt. b). Listen omhandler ikke spesielt krav om å utrede fare for skade på bygg og infrastruktur på tilstøtende arealer. Dette bør etter vår vurdering tas inn. Konsekvensen av fare for drenering ved borede peler bør i tillegg vurderes tatt tydeligere inn i Peleveiledningen.

### 6.9.3 *Byggegroppveileder*

Med bakgrunn i litteraturstudiet foreslås at NGF initierer en Byggegroppveileder, tilsvarende Peleveiledningen. Veiledningen bør ta inn punkter for påvirkning av omgivelsene, metoder og tiltak for byggegroper i sårbare områder og ved mer robuste forhold. (Stikkord; tetting og tettekrav, løsmasser og berg, byggegroppssikringer, naboforhold). I tillegg bør den ulempe naboer kan få, utdypes og synliggjøres teknisk og økonomisk, slik at det kan evalueres rettslig.



#### 6.9.4 Anskaffelsesregelverk og standarder

Det bør signaliseres til lovgivere at «lov om offentlig anskaffelser» bør endres slik at det er mulig med forhandlinger på tilsvarende måte som «Forskrift om innkjøpsregler i forsyningssektorene». Entreprenører har i spørreundersøkelser vært positive til dette.

En annen oppgave vil være å se om det er mulig å forbedre poster/punkter i kontrakts- og utførelsesstandarder for å redusere risiko, og i tillegg klarlegge hvor risiko er plassert. NS 3420 og prosesskoden bør gjøres lettere å bruke riktig. Dette gjelder både for den som skal beskrive et tiltak, og for den som skal prise det. For å begrense skade vil dette gjelde poster som plasserer både direkte økonomisk risiko, samt indirekte risiko som framdrift, kvalitet og fare for skade på tredjepart.

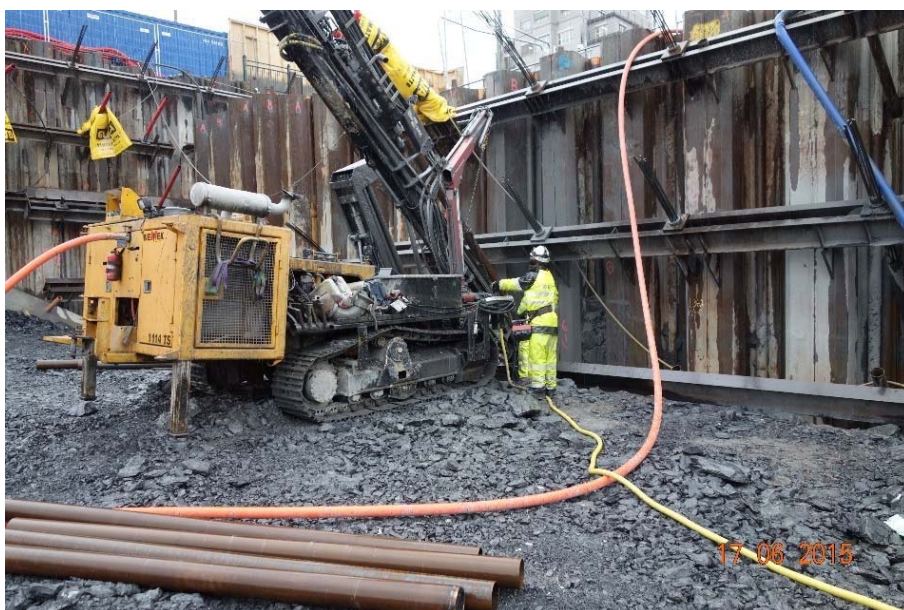
Det bør vurderes om en for prosesser/poster for forsiktig boring skal ha pris for både tid og løpemeter, og det bør vurderes om det kan utarbeides en form for ekvivalentregnskap, tilsvarende det som praktiseres ved sikringsarbeider i tunneler.

#### 6.9.5 Fagkompetanse

Forskning viser at fagkunnskap hos partene er en viktig brikke for å få tillit mellom partene (Anna Svärd, 2011). Alle parter i bransjen har mye som kan forbedres, og det må arbeides videre med:

- 1) Kompetansebevis for borførere
- 2) Økt rådgiverkompetanse innen oppbygging av kontrakt og beskrivelse etter NS3420 og prosesskoden
- 3) Økt kontraktsforståelse hos rådgivere og byggherre om tidskonsekvenser og «plunder og heft»-krav ved endringer.
- 4) Økt kunnskap om nødvendig tidsbruk, både knyttet til de arbeidsoperasjoner innen grunnarbeid og grunnundersøkelser.
- 5) Økt kunnskap om byggherrens ansvar, samt viktigheten av å følge tekniske kontraktskrav, på lik linje som økonomiske kontraktskrav

Det bør signaliseres at det bør være et krav om maskinførerbevis for å føre en borevogn. I dag er det kun krav til sikkerhetsopplæring og maskinspesifikk opplæring. Det bør også utvikles opplæring tilknyttet videregående skole som gir noe dypere innsikt og som også sikrer rekruttering til fundamenteringsbransjen. Begrens Skade og MEF bør ha erfaringsutveksling og samarbeid om en opplæringsplan for boreoperatører.



Figur 6-10. Utførelse av boring for stagforankring (Bilde: NGI).

Det bør lages en arena der alle aktører i fundamenteringsbransjen kan møtes som f.eks. en årlig Peledag tilsvarende Påldagen i Sverige. Erfaringer fra praktisk utførelse bør tilflyte de prosjekterende. De utførende og byggherren bør få bedre basiskunnskaper i geoteknikk for å øke kunnskapen om skadepotensial ved boring. Økt kunnskap i alle ledd kan gi redusert fare for skade.

#### 6.9.6 Undergrunnskartverk

Det arbeides videre med å utvikle NADAG, nasjonal Database for grunnundersøkelser til å omfatte datamengder fra hele landet. NGU har ansvar for å drifte databasen og det legges opp til at alle kan benytte databasen og alle kan legge inn data (rapporter og rådata) via GeoSuite.

For nye grunnundersøkelser som utføres i framtiden bør det bli kontraktsfestet at dataene skal leveres inn til en nasjonal database for grunnundersøkelser og vises i nettløsningen til databasen.

## 7 Konklusjoner og anbefalinger

Hovedmålsetning med BegrensSkade-prosjektet har vært å komme med anbefalinger for å begrense skaderisiko ved grunn- og fundamenteringsarbeider innenfor bygg- og anleggsbransjen, ved å se på hele kjeden av årsaker og forbedringsmuligheter fra prosjektering til utførelse og oppfølging. I dette avsnittet er konklusjoner og anbefalinger fra de rene geotekniske aspektene knyttet opp mot håndtering av risiko samt samhandling i bygg- og anleggsprosjekt.

Dette kapittel oppsummerer noen hovedkonklusjoner fra BegrensSkade-prosjektet samt diskuterer noen bransjeutfordringer i forhold til håndtering av risiko for skader ved planlegging, prosjektering og bygging.

### 7.1 Hovedkonklusjoner i BegrensSkade-prosjektet

Ved grunn og fundamenteringsarbeider vil det oppstå deformasjoner og det er viktig å kunne prognostisere og begrense størrelsen av disse. Fortetting av bebyggelse medfører at eventuelle påvirkninger på nabobygg, konstruksjoner og infrastruktur må vurderes med skjerpet blikk. Fortettingen av byer medfører også at tomter blir tatt i bruk, som ikke nødvendigvis egner seg til det aktuelle bygget som skal oppføres, spesielt med hensyn til vanskelige grunnforhold.

BegrensSkade har valgt å fokusere spesielt på boring da det i forkant av prosjektet var en mistanke om at denne aktiviteten kunne medføre økt risiko for skader nær byggeplassen. Metoden med ståljernepeling har blitt mer vanlig brukt i løpet av de siste 20 årene. Det har tidvis vært observert drenasje og forstyrrelse av spesielt sensitiv leire ved etablering av peletypen. Dette har tidligere vært betraktet som enkeltepisoder. Sammenstillingen som er utført gjennom BegrensSkade viser nå at det er en systematisk effekt ved metoden, som medfører økt risiko for drenasje, setninger og deformasjoner.

Størrelsen på byggegropene har økt og det er registrert en økning i bakforankrete byggegrop, som øker armslaget til entreprenøren for videre arbeider. Bruk av stag for bakforankring utføres også med boring og man ser at dette også påvirker omgivelsene rundt byggegropen på en uønsket måte.

I arbeidet med BegrensSkade er det sett på innsamlede data fra flertallet byggegrop, intervjustudier og litteratur. I den sammenheng er det observert følgende hovedkonklusjoner:

- I de prosjekter hvor det er registrert større deformasjoner enn forventet er det i de fleste tilfeller utført boring for stag og/eller peler (se hovedkonklusjoner i kap 3.5.1)
- God planlegging og fokus på risiko har vist å gi vellykkede resultat
- Det gjennomføres ikke noen systematisk risiko- eller sårbarhetsanalyse i tidlige faser i prosjekter som vil omfatte mye borearbeid, på samme måte som det utføres for tunneler
- Valg av boremetoder og utførelse har stor betydning for deformasjoner
- Det stilles ingen formelle krav til boreledere. Heller ikke til ledelse av arbeider som innebærer borearbeider hos hovedentreprenør
- Det stilles krav til logging av bordata, men det har vært vanskelig å håndheve det. Det varierer også om det er NS3420 eller Prosesskode som ligger til grunn for kontrakten. Kravet til logging er ulikt for stag og peler, avhengig av om det bores i løsmasser og berg.
- Det viser seg at det er vanlig grunn- og fundamenteringsarbeider ikke følges opp med instrumentering og overvåking. Det finnes per dags dato ikke krav til målinger av poretrykk og

deformasjoner ved grunn- og fundamenteringsarbeider. I sammenstillingen av data er det observert påvirkning av poretrykk på 300-400 m avstand fra byggegroppen.

- Tekniske kvalifikasjoner og gjennomføringsevne, som er helt avgjørende for å påvirke omgivelsene minst mulig, vektet ikke høyt nok til å bli evaluert foran laveste anbud.
- Konfliktnivået i byggebransjen er høyt og konfliktene er ofte knyttet til beskrivelsene.

## 7.2 Generelt om skadebegrensning

Grunn- og fundamenteringsarbeider påvirker omgivelsene og det er nødvendig at konsekvensen av arbeidene vurderes for å kunne planlegge og iverksette eventuelle tiltak. Krav i Eurocode sikrer prosjektering av konstruksjoner med tilstrekkelig sikkerhet. I tillegg må skadepotensiale grunnet installasjonsmetoder for spunt, peler og stag vurderes i prosjekteringsfasen. Kartleggingen som er utført i BegrensSkade-prosjektet viser at installasjonseffekter vanligvis ikke vurderes i tilstrekkelig omfang eller trolig undervurderes.

Risiko for å få skader på naboeiendom som følge av grunnarbeid avhenger av mange faktorer. Valg av type bygg og fundamenteringsmåte, grunnforhold og spesielt marginen til leirens forkonsolideringstrykk, massenes sensitivitet, hydrogeologi og poretrykksnivåer, dybde av byggegroppen (antall kjellernivå), valg av utførelsesmetode, hvilken prosedyre som entreprenøren benytter og byggetid er eksempler på variabler som påvirker tilstøtende arealer til et byggeprosjekt. I tillegg vil forståelsen for problemstillingen, avhengig av kompetanse og erfaring, hos de innblandede aktørene (byggherre, rådgiver, entreprenør og underentreprenør) spille avgjørende rolle for prosjektet. Utover dette vil kommunikasjon og samarbeid styres av de kontrakter og de økonomiske rammer som aktørene arbeider under.

## 7.3 Skadebegrensning med fokus på boring for stag og peler samt drenasje til byggegropp

I kapittel 3 og 4 er det konkludert med at det ved boring av stag og peler er et stort potensiale for å få uønskede deformasjoner rundt byggegroppen. Ramming av peler og spunt kan også gi uønskede deformasjoner som følge av både massefortregning og/eller komprimering. I tillegg er drenasje til byggegroppen en viktig faktor å vurdere. Selv små og knapt synlige innlekkasjer kan føre til reduksjon i poretrykk og konsolideringssetninger.

Ved innvendig avstiving og liten eller ingen poretrykksreduksjon begrenser maksimal setning seg ofte til inntil 0,25 -1 % av gravedybden, og avtar mot null i en avstand tilsvarende ca. 2-3 ganger gravedybden. I byggegropper der det er anvendt borede peler og stag er det registrert maksimal setning av terreng tilsvarende fra ca. 0,5 til 4 % av gravedybden. Største setning opptrer oftest omkring avstand tilsvarende ca. 0,5 % av gravedybden. Hvis setninger primært skyldes poretrykksreduksjon kan de bre seg langt ut til siden tilsvarende mer enn ca. 10 ganger gravedybden. Der det bare er benyttet stagforankring er det ikke registrert nevneverdige setninger i avstander større enn ca. 3 ganger gravedybden.

I kapittel 3 og 4 er det gitt anbefalinger med hensyn til hvordan setninger og skader kan begrenses. Det er eksempelvis mulig å velge nye/forbedrede boremetoder og prosedyrer når stag og peler skal installeres. Det er opp til rådgiverbransjen og sørge for at nye metoder og prosedyrer brukes ved prosjektering av løsninger og utarbeidelse av anbudsdokumenter og tegninger.

Byggherren har et ansvar for å vurdere og fatte beslutning om valg av løsning sett i forhold til kostnader og risiko for skader på naboeiendom.

Entreprenøren har et ansvar ved å utføre arbeidene som beskrevet med hensyn til utstyr, prosedyrer og krav i beskrivelse. Det er spesielt viktig å sørge for at de som utfører arbeidene på stedet har tilstrekkelig forståelse for mulige negative konsekvenser av boring og har den kompetanse og erfaring som skal til. Dette er primært entreprenørens ansvar, men bransjen bør vurdere å sette krav til sertifisering av de som utfører borearbeider.

I denne kjeden fra rådgiverens beskrivelse som leveres til byggherren, som i sin tur signerer en kontrakt med en entreprenør, må det sikres at disse forholdene fokuseres på.

Det bør vurderes og fornye relevante poster i prosesskodene og/eller avregningsformer som bedre sikrer at arbeider blir utført med ønsket kvalitet enn hva tilfellet er i dag. Hel bransjen bør ta et ansvar for at det følges opp og blir implementert.

#### 7.4 Håndtering av risiko

Vurdering av størrelse på forventede deformasjoner og setninger knyttet til grunnarbeider utføres i byggeprosjekter i dag og resultater presenteres i rapporter og tekniske notater. Generelt kan det sies at det for de fleste prosjekter ikke utføres noen systematisk risikovurdering knyttet til grunnarbeid. En mer systematisk bruk av risikovurderinger i prosjekter hvor det er potensiale for skader på naboeiendom, i samtlige prosjektfaser (forprosjekt, detaljprosjekt og utførelsesfasen) vil kunne minske risiko for skader. I kapittel 5 er det presentert et risikoverktøy som kan brukes for samtlige faser og tilpasses en hvert prosjekt avhengig av størrelse og kompleksitet.

Det kan være vanskelig å estimere størrelse på kostnadene som skader på omgivelsene vil medføre. Det sammen gjelder omfanget av tap av byggherrens omdømme. Det hviler et ansvar på geoteknisk prosjekterende på å kunne formidle de reelle utfordringene i prosjektet man jobber med, slik at riktig utførelsesmetode velges. Byggherren har også et ansvar håndtere risikoen og å fatte riktig beslutning.

Risikoverktøyet kan også benyttes i byggefasen for å identifisere risikoelementer samt aktiviteter hvor det er nødvendig med tiltak for å få en akseptable risikonivå. Også her vil en mer systematisk risikovurdering bidra til forbedret og forståelse for kritiske faser i byggeperioden kommunikasjon mellom byggherre, prosjekterende og utførende.

#### 7.5 Samhandling, fremdrift og økonomi

Ved kartleggingen av prosjekter som har vært vellykkede i den forstand at det ikke har medført noen skader, er det funnet at fellesnevneren er et godt samarbeid mellom byggherre, prosjekterende og utførende. Det har vært forståelse for de geotekniske utfordringene på et tidlig stadium i planleggingen. Under prosjektering og utførelse har det vært et stort fokus på utfordringene i prosjektet og på å benytte løsninger som er robuste og i liten grad påvirker omgivelsene. Dette har medført eksempler på at det selv i prosjekter med utfordrende grunnforhold, meget dype utgravinger eller sårbare omgivelser, eller kombinasjoner av disse forholdene, har blitt utført prosjekter der man i meget liten grad har påvirket omgivelsene på en uheldig måte.



Intervjustudiene i BegrensSkade viser at det er kontraktens mulighet til økonomisk levedyktighet for alle involverte som sammen med forståelse for de geotekniske utfordringene, er den viktigste faktoren for å få et vellykket prosjekt. Andre faktorer som er viktige for å oppnå samhandling er fagkompetanse, samlokalisering og tillit. Type kontrakter styr kommunikasjonsveier og risikofordeling.

For å oppnå suksess i et prosjekt med komplisert fundamentering må alle parter forstå at de har en viktig rolle å spille. Rådgiver må forstå kompleksiteten i oppdraget og kommunisere dette videre til byggherre og entreprenør, slik at disse to gjør de rette valgene i utførelsesfasen. Byggherren på sin side må avse tilstrekkelige midler for en gjennomarbeidet prosjektering og god utførelse. I tillegg bør byggherren selv, eller eventuelt ved innleie av kompetent ekspertise, følge opp tett under utførelse, for å avdekke uklarheter og endrede forutsetninger slik at dette håndteres i tide. Entreprenøren må forstå det som er beskrevet i tilbudsgrunnlaget og utføre jobben slik den er beskrevet. Om noe er uklart er det viktig å ta opp dette tidlig for å få en avklaring og unngå uønskede hendelser.

## 7.6 Bransjeutfordringer

Det er i prosjektet observert noen bransjeutfordringer knyttet til gjennomføringen av bygg- og anleggsprosjekter som kan bidra til antallet og omfanget av skader.

### 7.6.1 Planleggingsfase

Budsjett for et prosjekt bestemmes i en tidlig fase, når det er mangel på grunnundersøkelser og det kun er blitt utført grove vurderinger av løsninger. Det er ikke uvanlig at budsjettet undervurderes i en tidlig fase. Når flere og bedre undersøkelser foreligger kan det bli tydelig at det kreves mer kostbare løsninger, som kan være vanskelige å få igjennom i forhold til et gjeldene budsjett. Dette gir et presset budsjett. Med mer omfattende og relevante forundersøkelser i en tidlig fase vil budsjettpresset kunne unngås og reelle kostnader estimeres. Forutsetninger for å kunne beskrive mer robuste løsninger er da bedre.

Framdrift er penger og ønsket om raskest mulig bygging kan presse frem metoder som ikke nødvendigvis er gunstige i forhold til skadepotensiale, dersom kostnader ved skade ikke blir tatt med i betraktning. Det er for eksempel et ønske om å bruke forankringsstag i stedet for innvendig avstiving for å forenkle for armerings- og betongarbeider, det er også ønske om å installere borede ståljernepeler med liten rigg som krever liten for adkomst istedenfor å ramme peler med vesentlig større og tyngre rigg. Som eksempel er det også ønskelig for framdriften å ha en stor åpen byggegrop istedenfor å dele inn gropen i seksjoner eller faser for å redusere og kontrollere drenasjefanget.

### 7.6.2 Prosjektering og kontrahering av entreprenør

Ved offentlig anskaffelse er det vanligvis entreprenøren med den laveste prisen som vinner anbudskonkurransen. Det legges liten vekt på tidligere erfaringer og kompetanse hos entreprenøren og underentreprenører. Ved denne type kontraktstildeling vil entreprenøren basere seg på å sikre nødvendig inntjening ved endrings- og tilleggsarbeider. Det legges da opp til et potensielt høyt konfliktnivå ved at det blir mye fokus på kostnader som byggherren i utgangspunktet ikke hadde sett for seg.

Borearbeider prises vanligvis med enhetspriser for hvert enkelt stag eller pel. Prising som belønner rask utførelse av store volum, er ikke hensiktsmessig og forenlig med å unngå uheldig påvirkning fra økt trykk fra boring, spesielt med luft.



Grunn- og fundamenteringsarbeider utføres vanligvis av en underentreprenør som har en egen kontrakt med hovedentreprenøren. Grunnarbeidene er ofte på kritisk linje i et prosjekt og da byggherren ikke har en direkte kontrakt med utførende kan det også være vanskelig å ha kontroll med fremdriften og iverksette tiltak for å få et vellykket prosjekt. Det er også kjent at underentreprenøren presses hardt i pris av hovedentreprenøren og at overordnede vilkår og krav i konkurransegrunnlaget ikke når ned til den som skal prise denne typen arbeid. Forbehold som tas av grunnentreprenøren videreføres heller ikke til byggherren.

Det er ikke uvanlig at det beskrives spesielt utstyr for boring i en kontrakt, men at hovedentreprenøren kontraherer en underentreprenør som ikke har tilgang til det utstyr som står spesifisert. Tilsvarende kontraherer byggherren entreprenør uten å sikre seg at det beskrevne utstyr vil bli levert. Dersom dette ikke følges opp av byggherre, slik at det beskrevne utstyret blir benyttet, underbygges en konkurransevridning som kan medføre at seriøse aktører forsvinner fra markedet.

### 7.6.3 Behov for kompetanseheving i bransjen

Det er i BegrensSkade-prosjektet identifisert behov for en dokumentert opplæring av boreledere, grunnet at boringen av hvert enkelt stag eller pel vil påvirke størrelsen på deformasjoner utenfor byggegroppen. Borearbeidene påvirker også grunnvannet og trykkforholdene i grunnvannet. Ved utførelse av brønnboring for drikkevanntilførsel, stilles det krav til borerens kvalifikasjoner i Vannressursloven, og det bør stilles tilsvarende krav for utførelse av grunnarbeider.

Det er også funnet at det er et stort behov for å øke kompetansen for generell utførelse hos rådgiverne på beskrivelse av grunnarbeider. Det mangler også tverrfaglig forståelse og mange i bransjen ser ikke hvordan de påvirker andre fagfelt gjennom manglende koordinering og interesse for et felles godt produkt.

Mindre byggeprosjekter har oftere overskridelser, det sammenhenger med at det er manglende forundersøkelser og ikke er prosjektert ordentlig. Dette kan henge sammen med mangel på kompetanse hos eiere og byggherrer. Det er også observert en manglende realisme ved utarbeidelse av kostnadsoverslag i tidlig fase (Riksrevisjonen, 2013).

Den manglende kommunikasjonen mellom geoteknisk rådgiver og underentreprenør er en utfordring for begge sider, ved at viktig informasjon ikke tilflyter den som kan begrense skade. Det medfører også at ingen av partene får økt sin kompetanse, men kan fortsette å gjøre ting på samme måte i prosjekt etter prosjekt. Hovedentreprenørene må øke sin planleggingskompetanse, slik at de bedre kan legge til rette for en rask og god gjennomføring av de arbeidene underentreprenøren skal utføre.

Bygg- og anleggsbransjen har de siste årene vært preget av et høyt konfliktnivå og det er klare tendenser til mer fokus på kontraktsrett og jus, enn beste løsning for hver enkelt prosjekt. Det vil være behov for at også advokater og jurister skoles på hva som er realistisk å forutse ved å tolke forundersøkelser, og at det må aksepteres et visst slingringsmonn før man ser grunnlaget for en tvist. Ved å kun fokusere på rett vs. feil, overser man en viktig kontraktsforutsetning i Norsk Standard om utbedring av mangler, hvor kostnader til utbedringer ikke skal bli uforholdsmessig store i forhold til det som oppnås.

## 8 Forslag til videre arbeid

### 8.1 Overordnede endringer i lovverket

Det må arbeides for en tidlig utredning av store byggeproopers påvirkning av omgivelser og grunnvann. Byggeproper med store dybder eller forventet lang byggetid og potensial for drenasje, bør omfattes av krav om konsekvensutredning.

Det bør arbeides for endringer i vannressursloven, slik at det stilles kompetansekrav til alle som kan påvirke grunnvannet, ikke bare til boring knyttet til drikkevannsforsyning.

### 8.2 Risikovurdering for påvirkning

Praksis og verktøy for å utføre en systematisk risikovurdering for drenasje, stabilitet, og setninger samt andre direkte påvirkninger fra byggeprosjekter som ikke er tunneler, må videreutvikles. Verktøy for å klassifisere sårbarhet bør også utvikles.

### 8.3 Kompetanseheving i bransjen

Som det er vist til i kap 7.6.3, er det behov for en kompetanseheving i alle ledd i byggebransjen. Det fundamentale grunnlaget ligger i riktige og realistiske budsjetter og rimelig planlegging av framdrift som tar høyde for at det er utfordringer knyttet til grunnarbeider som ikke finnes i andre deler av byggemarkedet. Mye av borearbeidet som gjøres er for midlertidige konstruksjoner og forberedende arbeider. Det får ikke den oppmerksomhet det burde hatt, sett i lys av den kompleksiteten det har og de arbeidsforholdene det skal utføres under. Det må arbeides for en bevisstgjøring av fundamenteringsarbeidets viktighet, tiden utførelsen tar, tiden forundersøkelsene tar og hvor nødvendige de er.

### 8.4 Felles opplæring og sertifiseringsordning for boreledere

I BegrensSkade er det konkludert med at utførelsen av boring er avgjørende både for mulighetene å forhindre skade samt for kvaliteten av arbeidene. Det bør derfor være et krav at boreleder har maskinførerbevis for å få føre en borevogn. En sertifiseringsordning med felles opplæringsplan bør utarbeides i samarbeid med MEF. En slik sertifisering vil i tillegg til bedre kvalitet føre til økt yrkes stolthet, forbedret HMS samt eierskap til produktet i det aktuelle byggeprosjektet. I Sverige finnes det et opplæringsprogram og sertifiseringsordning som arrangeres gjennom bransjeorganisasjonen SAFE (Svensk grundläggning).

### 8.5 Revisjon av anbudsbeskrivelser

Det er nødvendig å beskrive krav og begrensninger for å kunne få riktig priset tilbud av entreprenør og underentreprenør. Slik NS3420 og til en viss grad prosesskoden er utformet i dag, er det ikke alltid like lett å nedfelle alle viktige forutsetninger slik at de kan oppfattes og prises likt av tilbyderne. Dette gjelder ned på det enkelte postnivå, som skal være entydig og prisbart, men også for overordnede, men kontraktsesifikke krav. En observasjon i prosjekt BegrensSkade er at veien mellom den som skal beskrive de tekniske løsningene og de som skal prise dem korrekt og utføre dem er lang og lite transparent. Når konkurransegrunnlagets poster blir det eneste stedet hvor man kan formidle behov for spesiell aktsomhet ved utførelse, og samtidig forvente at det blir forstått og priset riktig, så gjenspeiler det ikke dagens virkelighet. Det må derfor ses på en grunnleggende endring i hvordan

kontrakter på grunnarbeider skal utformes. Det må videre sikres at utførelsesstandardene er mest mulig oppdatert og tilgjengelige og de må være i tråd med en gjennomførbar praksis.

Det må settes krav til at det benyttes utstyr for automatisk logging av data ved både boring i løsmasse og berg.

Ved tunnelarbeider har man sett at for å oppnå riktig kvalitet på det ferdige produktet, er man tjent med at det endelige omfanget av sikringsarbeider og tetningsarbeider bestemmes når de virkelige bergforholdene kan observeres. I kontrakten er det innarbeidet en fleksibilitet både for fremdriftsbestemmende mengder og tid, og det gjøres flere overslag over antatt tidsforbruk og revidert tidsforbruk, basert på realistiske mengder og nøkternt bestemte kapasiteter. Det må vurderes om ekvivalentregnskap kan være en god modell ved grunnarbeider i dagen også. Målet må være å få etablert bedre rutiner for estimering av tidsforbruk og avvik i tidsforbruk, noe som vil gavne hele bransjen. Videre kan det bidra til å redusere usikkerhet og risiko for underentreprenører, som selv om de kan få betalt for medgåtte mengder, i dag må ta høyde for f.eks. kappnivå på spunt og peler, vurdering av bormengde ut fra at det skal bores en viss lengde inn i godt berg, bortid og borslitasje generelt og borkrangel i oppsprukket berg for å nevne noe.

## 8.6 Byggegrupsveileder

Tanken med å utarbeide en veileder for hvordan man skal etablere en byggegrop, er å få samlet på et sted det man bør tenke på ved utredning og prosjektering av byggegrop. Målet er å få sett på både åpne og avstivede byggegrop, i tettbygde strøk og der det er mindre bebyggelse. Veilederen vil dekke hva man må tenke på i innledende planfaser, ved dimensjonering, for beskrivelse, ved utførelse og kontroll. I likhet med Peleveiledningen kan en Byggegrupsveileder utvikles og forbedres over mange år. I første omgang legges det vekt på følgende punkter:

- En oversikt over hvilke lover og regler som gjelder og hva som skal vurderes i forhold til myndigheter og omgivelser
- Nødvendig forundersøkelser for dimensjonering og for produksjonsplanlegging (bergdybde, rambarhet, borbarhet, skråfjell, vanntrykk, - både ved spuntfot, stagansett og under byggegropa)
- Utredning med tanke på risiko og avbøtende tiltak
- Valg av metode for vegg, avstiving og tetting
- Effekt av byggegruppas størrelse, dybde, byggetid og behov for seksjonering (sårbarhet og influensområde)

## 8.7 Veileder for stålkjernerpeler

Stålkjernerpeler, som er en mye benyttet metode, har ikke en egen standard eller veileder, men dekkes av to utførelsesstandarder. Det er "NS-EN 1536:2010 Utførelse av spesielle geotekniske arbeider. Borede peler", som i praksis er vinklet mot borede peler og pilarer og "NS-EN 14199 Utførelse av spesielle geotekniske arbeider. Mikropeler", som dekker både borede og rammede mikropeler. I tillegg kommer også krav i standard for injeksjonsarbeider inn i bildet. Postene som er nødvendig å benytte for å beskrive den komplette arbeidsprosessen ligger spredt i NS 3420 og det er et stort behov for å avklare praktiske detaljer ved bl.a. boring (luft eller vann), tetting mot berg, ved montering av kjerner og gysearbeider. Det vil kunne medføre at metoden stålkjernerpeler kan utføres med et redusert potensiale for skade.

## 8.8 Videre uttesting av boremetoder i full skala

Resultater fra feltforsøk med stagboring i leire, samt en rekke innrapporterte byggeprosjekter viser tydelig at boring kan føre til setninger og påvirke poretrykk i grunnen. Det er imidlertid stor variasjon i utførelse av tilnærmet samme prosedyre, og effekten av utførelse er ikke entydig. Det er fortsatt for lite kunnskap om installasjonseffekter ved boring i ulike grunnforhold, samt betydningen av valgt boremetode og prosedyre med hensyn til å begrense skader. Det bør derfor arbeides videre med problemstillingen og innsamling av dokumentasjon. Spesielt viktig vil det være å dokumentere prosjekter der det benyttes forbedret boreutstyr eller prosedyrer i tråd med anbefalingene i denne rapporten. Det anbefales følgende videre uttesting av boremetoder og installasjonseffekter:

- Utføre supplerende laboratorieforsøk på forstyrret leire med ulike materialegenskaper (NC/OC leire, ikke-sensitiv/sensitiv leire, plastisk/lav-plastisk leire) for å dokumentere potensiale for volumreduksjon under re-konsolidering.
- Mer omfattende undersøkelser (på byggeplass) av hvor stor sone rundt stag/peler som blir forstyrret, og i hvilken grad, ved boring i ulike grunnforhold og med ulike metoder/prosedyrer. I sensitive masser er det registrert at det skives inn masser gjennom borehull og glippen mellom spunt og berg, og det ser ut til å henge sammen med borearbeidene for stag. Det bør derfor kartlegges om det oppstår en direkte styrkereduksjon i sensitiv leire som følge av boring eller tap av masse, og om dette må innarbeides i beregningsgrunnlaget for selve spuntten og jordtrykket bak den.
- Målinger på byggeplass av hvor mye løsmasser (volum) som spyles ut/suges inn ved boring med luftspyling gjennom faste friksjonsmasser. Ulike boremetoder og spyletrykk må prøves ut. Modellforsøk i laboratorium bør vurderes i tillegg til feltmålinger.

På grunnlag av resultater fra laboratorieundersøkelser og feltmålinger bør det utføres etterberegning av et utvalg veldokumenterte prosjekter med mål om å kunne etablere metodikk for beregning av forventede setninger som følge av boring. En slik metodikk vil være avgjørende for vurdering av risiko for setningsskader i planleggingsfase. Resultatene vil også gi grunnlag for å etablere mer detaljerte veiledninger for valg av boremetoder og utførelse.

## 8.9 Hydrogeologisk kompetanse

Det er kartlagt at drenasje til byggegrop og drenasje ved boring er skadeårsaker som er vanlig forekommende. Grunnen til at drenasje og grunnvannsproblematikk ikke fanges opp i planlegging og prosjektering kan være at det er mangel på bruk av hydrogeologisk kompetanse i bransjen. Som følge av dette utføres det ofte ikke forundersøkelser av tilstrekkelig omfang til å kunne danne et godt bilde av grunnvannsstrømning og poretrykksnivåer i området. Det er heller ikke vanlig å utføre hydrogeologiske vurderinger av innlekkasje til byggegroper. Dette til tross for at det er kartlagt at influensområdet rundt en byggegrop kan ha så stor utstrekning som 300-400 m. I tillegg er det heller ikke praksis å utføre tetting i berg under spuntfot, eller tiltak som jetinjisering i overgangen mellom spunt og berg. I Sverige er det vanlig å utføre hydrogeologisk prøvepumping for å vurdere tettheten av en byggegrop før utgraving starter.

Det må også større fokus på oppfølging av poretrykksnivåer og vurdering av toleransekrav for å unngå setninger på naboeiendom. I Sverige må alle bygge- og anleggsprosjekter hvor det vil bli behov for å lede bort grunnvann søke om tillatelse fra Mark- og Miljödomstolen, sk. Vattendom, som bestemmer hvor stor påvirkning på grunnvannstanden som kan aksepteres. I Norge finnes ikke tilsvarende lovverk og det bør i det minste arbeides for et tillegg i Vannressursloven som ivaretar uønsket påvirkning fra byggeaktivitet.

## 9 Referanser

Arbeids- og sosialdepartementet (2005). Lov om arbeidsmiljø, arbeidstid og stillingsvern mm. Arbeidsmiljøloven.

Arbeids- og sosialdepartementet, (2009) Forskrift om maskiner. Maskinforskriften.

Arbeids- og sosialdepartementet, (2011) Forskrift om utførelse av arbeid, bruk av arbeidsutstyr og tilhørende tekniske krav (forskrift om utførelse av arbeid)

Aven, T. & Renn, O. (2010). Risk management and governance. Concepts, guidelines and applications. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2010

Baardvik G. & Braaten A. (2002). Boring av stag og stålkjerner i tettbygde strøk – Erfaringer fra nytt dobbeltspor Sandvika – Asker. Geoteknikkdagen 2002. Foredrag 27.

Borchichev, A. S. (2015). Reconsolidation of clay pre-strained in shear mode. Impact of various levels of pre-straining on shear strength and compressibility characteristics of clay. Master thesis. Norwegian university of science and technology, Trondheim.

Braaten A., Baardvik G., Vik, A. & Brendbekken, G. (2004). Observed effects on the pore pressure caused by extensive foundation work at deep excavations in soft clay. NGM, Ystad, H119-H132.

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

Bull, J. & Bjelland, A. (2013). Advokatfirmaet Thommesen. [www.thommessen.no](http://www.thommessen.no) PKT 2013. Kontrakten som forutsetning for et vellykket byggeprosjekt.

Bygg21. (2013, april 16.). <http://www.dibk.no/no/Tema/Bygg21>. Hentet juli 22., 2014 fra <http://www.dibk.no/no/Tema/Bygg21/Om-Bygg21/Mandat-for-styret-i-Bygg21/>

Bygballe, L. E. (2010). *Samarbeid og læring i byggenæringen. En casestudie av Nye St. Olavs Hospital i Trondheim*. Oslo: Handelshøyskolen BI.

Carlson & Gustafson, G. (1997). Provpumpning som hydrogeologisk undersøkingsmetode. Publikasjon: C62. Chalmers tekniska högskola, Göteborg.

Eggen, A. & Baardvik, G. (2014). Lovverk og kontraktens betydning for samspill og produkt. BegrensSkade delrapport 6.3 datert 2014-12-18.

Eknes, A., Lund, A.K. & Langford, J. (2014). "Rapportering av skadesaker og vurdering av skadeårsaker". BegrensSkade delrapport 1+2.2. Rev. 01. Datert 2014-07-02.

Faveo Prosjektledelse AS ved Per Ola Ulseth og Mons Styrmo. (2014). *Evaluering av tildelingskriterier Felles prosjektet*. Oslo.

Finnish Road Administration, FINNRA (2003). Instructions for drilled piling. Design and execution guide.

FHWA (2000). Micropile Design and Construction Guidelines. Publication no. FHWA-SA-97-070, June 2000.

- Fornyings- og administrasjonsdepartementet. (2013). *Veileder til reglene om offentlige anskaffelser*. Oslo.
- Helga A. Tryti (2012) Prosjektlederens håndbok i NS-kontrakter. Codex Advokat Oslo AS, 2012
- Helgason, E. (2015). BegrensSkade delrapport byggeplassoppfølging. "Gladengveien 10, Erfaring fra byggeprosjekt", datert 12. april 2015.
- Helgason, E., Nordbø, H., & Kleven, D.E. (2015). Kommunikasjon og formidlingsmåter, overgang fra prosjektering til bygging. BegrensSkade delrapport 6.2 datert 2015-03-18.
- Høy, T. S. & Storhaug, O. (2010). *Anbefalinger til kontraktsstrategi for Statens vegvesens prosjekter*. Lillehammer: Statens vegvesen Region øst. Strategi-, veg- og transportavdelingen. Byggherreseksjonen.
- ISO 31000 (2009) Risk management - Principles and guidelines. International Standard, 2009-11-15.  
ISO 31010 (2009) Risk management - Risk assessment techniques. International Standard, 2009-12-01.
- Johansen, T. (1990). "Eksempler fra nyere byggeprosjekter i Oslo". NIF kurs: Tetting av tunneler, bergrom og byggeprosjekter.
- Kalsnes, B., Eidsvig, U. & Zhongqiang, L. (2014). "Risiko – Litteraturstudie". BegrensSkade delrapport 5.1 datert 2015-01-05.
- Kalsnes, B. & Eidsvig, U. (2015). Workshop risiko. BegrensSkade delrapport 5.3 datert 2015-06-04.
- Karlsruud, K., Langford J., Lande E.J. & Baardvik, G. (2015). "Vurdering av skader og deformasjoner knyttet til utførelse av stagforankring og borede peler i byggeprosjekter". BegrensSkade delrapport 1+2.4 datert 2015-09-24.
- 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.
- Karlsruud, K. (1990). "Forundersøkelser, funksjonskrav og valg av tettestrategi". NIF kurs: Tetting av tunneler, bergrom og byggeprosjekter.
- Karlsruud, K.; Erikstad, L.; Snilsberg, P. (2003). "Miljø- og samfunnstjenlige tunneler.; Undersøkelser og krav til innlekkasje for å ivareta ytre miljø". Statens vegvesen. Publikasjon, 103. 98p. Vegdirektoratet, Oslo. Teknologivdivisjonen.
- Karlsruud, K. (1997). "Some aspects of design and construction of deep supported excavation, Discussion leader's contribution." Proc. 14<sup>th</sup>. Int. Conf. on Soil Mech. Found. Eng. Hamburg 1997. Vol. 4, pp. 2315-2320.
- Karlsruud, K and Andresen, L. (2005). "Loads on braced excavations in soft clay." ASCE Int. Journal of Geomechanics. Volume 5 No.2, pp 107-114. ISSN 1532-3641.
- Karlsruud, K. (2015). "Metoder for vurdering av skader på bygninger som følge av deformasjoner i grunnen". BegrensSkade delrapport 1+2.5 datert 2015-06-25.



- Lande, E. J. (2015). Felteforsøk stagboring. Dokumentasjon av effekter ved boring i leire. BegrensSkade delrapport 4.1 datert 2015-08-26.
- Langford, J. & Sandene, T. (2015). Effekter av rammede pelar i leire – litteraturstudie og erfaringsrapport. BegrensSkade delrapport 3.3 datert 2015-05-12.
- Mana, A.I. & Clough, G.W. (1981). "Prediction of movements for braced cuts in clay." ASCE. JGED Proc. 107, GT6, 759-777.
- Miljøverndepartementet. 2009. Forskrift om konsekvensutredninger
- 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.
- NGI (2009). FoU-prosjekt. Drenasje til byggegroper. Foreløpig rapport prosjekt nr. 20092115.
- NS 5814:1991. Krav til risikoanalyser.
- NS 5815:2006. Risikovurdering av anleggsarbeid.
- Peck, R.B. (1969). "Deep excavations and tunnelling in soft ground." Proc. 7<sup>th</sup> Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng. Mexico City 1969. State of the Art Volume, pp. 225-290.
- Rausand, M. & I.B. Utne (2009). Risikoanalyse – teori og metoder. Tapir akademisk forlag, 2009.
- Riksrevisjonen (2013).
- Rønning, S. & Haugen T. (2015). DP4 Dokumentasjon av metoder og tiltak. "E18 Knapstad – Retvet. Erfaringer fra boring av stålrørspeler", datert 20. april 2015.
- Rønning, S. & Imset, T. (2015). State of the art pele- og spuntramming. BegrensSakde delrapport 3.2, datert 2015-03-16.
- Rønning, S. & Haugen, T. (2015). BegrensSkade delrapport byggeplassoppfølging "SVV region midt – Strindheimtunnelen, dagsone vest. Rørspunt Møllenberg", datert 27. mars 2015.
- SGI (2013). Effektivare markbyggande. Förslag till handlingsplan 2013-2016. Statens geotekniska institut. Linköping. Sverige.
- Simonsen, A. & Veslegard. G. (2014). "State of the art boreteknikk". BegrensSkade delrapport 1+2.1 Rev 01. Datert 23. mars 2014.
- Son, M., & Cording, E.J. (2005). "Estimation of Building Damage Due to Excavation-Induced Ground Movements." ASCE, JGGE, February 2005, pp. 162-177.
- Standard Norge, 2008a. NS 8405:2008 Norsk bygge- og anleggskontrakt.
- Standard Norge, 2008b. NS 8415:2008 Norsk underentrepriisekontrakt vedrørende utførelse av bygge- og anleggsarbeider.

Standard Norge, 2008c. NS 3420-G:2008. Beskrivelsestekster for bygg, anlegg og installasjoner. Del G. Grunnarbeider del 2.

Standard Norge, 2009a. NS 8406:2009 Forenklet norsk bygge- og anleggskontrakt.

Standard Norge, 2009b. NS 8416:2009 Forenklet norsk underentreprisekontrakt vedrørende utførelse av bygge- og anleggsarbeider.

Standard Norge, 2010a. NS 8401:2010 Alminnelige kontraktsbestemmelser for prosjekteringsoppdrag.

Standard Norge. (2010b). NS 8402:2010 Alminnelige kontraktsbestemmelser for rådgiveroppdrag honorert etter medgått tid.

Standard Norge. (2011a). NS 8407:2011 *Alminnelige kontraktsbestemmelser for totalentreprise*.

Standard Norge. (2011b). NS 8417:2011 *Alminnelige kontraktsbestemmelser for totalunderentreprise*.

Statens vegvesen (2012a). Håndbok R761 og R762. Prosesskoden 1 og 2. Standard beskrivelsestekster for bruer og kaier.

Statens Vegvesen Region Øst (2005). Teknisk sluttrapport grunnarbeider og fundamentering. Årum – Alvim, ny Sandesund bru E6 i region øst, datert 27. november 2013.

Svärd, A. (2011). Trust and control in fixed duration alliances. *Inderscience Enterprises Ltd.*, 41-68.

Tvedt G. & Persson J. (2014). Forbedret samhandling i BA-prosessen – litteraturstudium. BegrensSkade delrapport 6.1 datert 2015-02-09.

Vangelsten, B. V., Haugen, T. & Kalsnes, B. (2015). Risikoveiledning og risikohåndteringsverktøy. BegrensSkade delrapport 5.2 datert 2015-03-31.

Veidekke. (2010a, mai 23). [www.veidekke.no](http://www.veidekke.no). Hentet juli 16, 2014 fra <http://www.veidekke.no/spisskompetanse/planlegging-og-prosjektering/prosjektledelse/article56302.ece?q=prosjektledelse&source=3329>

Veidekke. (2014, okt. 20). [www.veidekke.no](http://www.veidekke.no). Hentet juli 15, 2014 fra <http://www.veidekke.no/spisskompetanse/planlegging-og-prosjektering/forbedringsprosesser/article61208.ece?q=involverende+planlegging&source=3329>

Veidekke. (2013, juli 13). [www.veidekke.no](http://www.veidekke.no). Hentet juli 15, 2014 fra <http://no.veidekke.com/nyheterog-media/nyheter/article85967.ece?q=involverende+planlegging&source=3329>

Veimo, I., Persson, J., Johansen, G. M. & Lohmann, J. (2015). Kartlegging av maskinoperatørers opplæring innen grunnarbeid. BegrensSkade delrapport 6.4 datert 2015-02-09.

Veslegard G. & Simonsen, A. (2014). "*Prosedyre for stagboring feltforsøk, Onsøy*". BegrensSkade delrapport 3.1 Rev. 02 datert 23. mars 2014.

Veslegard, G., Lande E.J. & Simonsen, A. (2015). Forbedring og videreutvikling borede stag og peler. Metoder, utførelse og dokumentasjon. BegrensSkade delrapport 3.4 datert 2015-12-21.

Wold Magnussen, A. & Kveldsvik, V. (2003). Vanninfiltrasjon; erfaringer og anbefalinger. Miljø- og samfunnstjenelige tunneler, Rapport nr. 30. Veidirektoratet, Teknologivdelingen, Oslo.

Øfstedal, E. (u.d.). <http://nvfnorden.org>. Hentet juni 15, 2014 fra <http://nvfnorden.org/lisalib/getfile.aspx?itemid=877> "Byggherrestrategi og organisasjonsmodell"

Øiset, E., Berger, H. & Baardvik, G. (2014). "Skadebegrensning i eksisterende standarder og veiledninger". BegrensSkade delrapport 1+2.3. Rev 01 datert 21. november 2014.

## Vedlegg A – Oversikt delrapporter

Delrapport nr.	Tittel	Forfatter(e)
Delrapport 1+2.1	State of the art Boreteknikk	Arne S Simonsen, Geir Veslegard
Delrapport 1+2.2	Rapportering av skadesaker og vurdering av skadeårsaker	Anders Ø Eknes, Alf Kristian Lund, Jenny Langford
Delrapport 1+2.3	Kartlegging av spesiell beskrivelse	Even Øiset, Håvard Berger, Gunvor Baardvik
Delrapport 1+2.4	Vurderinger av skader og deformasjoner knyttet til utførelse av stagforankring og borede peler i byggegrøper	Jenny Langford, Kjell Karlsrud, Einar John Lande, Gunvor Baardvik
Delrapport 1+2.5	Metoder for vurdering av skader på bygninger som følge av deformasjoner i grunnen	Kjell Karlsrud
Delrapport 3.1	Prosedyre for stagboring feltforsøk Onsøy	Geir Veslegard, Arne Simonsen
Delrapport 3.2	State of the art Pele- og spuntramming	Sigbjørn Rønning, Trond Imseth
Delrapport 3.3	Effekter av rammede peler i leire – Litteraturstudie og erfaringsrapport	Jenny Langford, Thomas Sandene
Delrapport 3.4	Forbedring og videreutvikling borede stag og peler. Metoder, utførelse og dokumentasjon	Geir Veslegard, Einar John Lande, Arne Simonsen
Delrapport 4.1	Feltforsøk stagboring. Dokumentasjon av effekter ved boring i leire	Einar John Lande
Delrapport 5.1	Risiko - litteraturstudie	Bjørn Kalsnes, Unni Eidsvig, Liu Zhongqiang
Delrapport 5.2	Risikoveiledning	Bjørn Vidar Vangelsten, Torgeir Haugen, Bjørn Kalsnes
Delrapport 5.3	Workshop risiko	Bjørn Kalsnes, Unni Eidsvig
Delrapport 6.1	Forbedret samhandling i BA-prosessen – Litteraturstudium	Grete Tvedt, Josefin Persson
Delrapport 6.2	Kommunikasjons- og formidlingsmåter, overgang fra prosjektering til bygging	Einar Helgason, Halvor Nordbø, Dag Erik Kleven
Delrapport 6.3	Lovverk og kontraktens betydning for samspill og produkt	Astri Eggen, Gunvor Baardvik
Delrapport 6.4	Kartlegging av maskinoperatørers opplæring innen grunnarbeid	Ingunn Veimo, Josefin Persson, Grethe Moen Johansen, Julie Lohmann
Rapporter for byggeplasser	Filipstad park – Erfaringer fra byggegrøp i Munkedamsveien 62. (rev. 14. september 2014)	Lars Morten Bjerkeli og Ekaterina Neyman
	Drammensveien 131 – Erfaringer fra byggegrøp	Astrid Pihl, Lars Morten Bjerkeli
	Gladengveien 10 – Erfaring fra byggegrøp	Einar Helgason
	Lørenbanen – Erfaringsrapport byggegrøp i leire (1. april 2015)	Vegard Woldsengen, Lars Morten Bjerkeli og Ingrid Hegseth
	E18 Knapstad – Retvet, Hobølelva bru. Erfaringer knyttet til boring av stålrørspeler (12. mai 2015)	Torgeir Haugen, Tebarek Ahmed, André Olsson og Einar John Lande
	Schweigaardsgate 16, Oslo. (25. mars 2015)	Pernille Aas
	SVV Region Midt – Strindheimtunnelen, dagsone vest. Rørspunt Møllenberg (24. juni 2015)	Sigbjørn Rønning og Torgeir Haugen

NGI



Statens vegvesen

Norconsult 



BRODRENE  
**MYHRE**  
BRONNBORING  
SPESIALBORING

 **ENTREPRENØRSERVICE**

 **Finans Norge**



 **Hallingdal  
Bergboring**



Jernbaneverket

SWECO 



NTNU

Det skapende universitet

**NCC** 

 **PEAB** 

**RAMBOLL**

  
ROM EIENDOM

**seierstad**

**SKANSKA**

 **SINTEF**



 **NFT**  
Nordisk Fundamentering

 **Kynningsrud**

**Multiconsult**

