

Boring av peler ved sensitive grunnforhold

Vurdering av borsystemet Radial flush, kan borsystemet være et alternativ til mer etablerte borsystemer?

Henrik Skog Tømmervik

Master i veg og jernbane

Innlevert: mai 2016

Hovedveileder: Inge Hoff, BAT

Medveileder: Samson Degago, Statens vegvesen

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg, anlegg og transport

Forord

Denne masteroppgaven er forfattet høsten 2015 og våren 2016 som den avsluttende delen av min erfaringsbaserte mastergradutdanningen innen veg og jernbane ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, NTNU. Arbeidet er gjennomført i samarbeid med min arbeidsgiver Statens vegvesen.

Oppgaven omhandler utfordringer ved boring av peler ved sensitive grunnforhold, med fokus på evaluering av en ny type sensitiv bormetode for stålrørspeler.

Jeg ønsker at oppgaven, gjennom dokumentasjon av bormetoden Radial flush, skal bidra til utviklingen av sensitive borsystemer. Samtidig er valg av oppgave gjort på bakgrunn av ønske om å heve min egen kunnskap på området.

Jeg vil benytte anledningen til å takke min arbeidsgiver Statens vegvesen som har latt meg få muligheten til å gjennomføre dette utdanningsløpet, og denne avsluttende oppgaven. Jeg vil også takke min veileder i Statens vegvesen, Samson Degago. Jeg retter også en takk til min hovedveileder fra NTNU, Inge Hoff.

Trondheim 13.05.2016

Henrik Skog Tømmervik

Sammendrag

Flere vegprosjekter har opplevd utfordringer rundt innstallering av peler ved sensitive grunnforhold. Sensitive bormetoder for peler er derfor i stadig utvikling. Hensikten med rapporten er å belyse utfordringer rundt fundamentering på peler i sensitiv grunn. I den forbindelse belyse senkehammer med ringborkrone systemet, kalt Radial flush, som for første gang er benyttet på norske veganlegg. Det skal vurderes hvor sensitivt bormetoden fremstår ved boring i sensitive grunnforhold, og om den kan være et alternativ til andre mer etablerte bormetoder.

Oppgaven består av to hoveddeler. Et litteraturstudium, og en undersøkelsesdel som tar for seg borsystemet Radial flush, og hvordan den fungerte under boringen av peler på prosjektet Leksvik grense – Olsøy. Det er i den sammenhengen i litteraturstudiet foretatt et litteratursøk rundt bormetoder for peler. Samt hentet informasjon fra erfaringsrapporter, fullskalaforsøk og annen dokumentasjon fra tidligere prosjekter hvor pelefundamentering og boring av peler har vært involvert.

Litteratursøket viste at mange prosjekter opplever utfordringer rundt boring av peler. Bormetoden fremstilles som skånsomme, men det viser seg ofte nødvendig med tilpasninger av bormetoden for å gjennomføre boringen.

Undersøkelsene viste at bormetoden Radial flush, med noen tiltak og justeringer underveis, fungerte tilfredsstillende. Tiltak som ble gjennomført var kontrollert mating og lav borsynk. Ingen luft benyttet i kvikkleiren, men vannspyling sammen med rotasjon av borkronen. Heving av borkronen opp i foringsrøret for så å blåse ren kanalene i borkronen, og samtidig blåse borkakset ut av røret.

Bormetoden kan fungere i sensitiv grunn på lik linje med tilsvarende sensitive bormetoder. Hvor godt bormetoden fungerer er helt avhengig av hvordan den gjennomføres, og hvor skånsomt boreoperatøren utfører boringen. Bormetoden fremstår dermed ikke som et fremskritt i forhold til tidligere utførte bormetoder. I fremtiden er det viktig at vegprosjekter som utfører boring av peler i sensitive grunnforhold dokumenterer godt hva som er gjort på prosjektet, både i prosjekteringsfasen, men spesielt i utførelsesfasen. Det er erfaringer fra utførte boringer som vil være den beste måten for å forbedre og utvikle bormetoder slik at kravene satt til boringen kan oppnås på en best mulig måte.

Abstract

Several road projects have experienced challenges around installation of piles in sensitive soil conditions. Because of this, the drilling techniques are constantly evolving. This thesis focuses on piling challenges in sensitive areas. In that context, evaluate Down the hole (DTH) drilling system, called Radial Flush, which is used for the first time in a Norwegian road project. It shall be considered how sensitive this drilling system is when drilling in sensitive soil, and whether it can be an alternative to other more established drilling systems.

The task consists of two main parts, first a theoretical part, then an examination part that examines the drilling system Radial flush. The theoretical part contains a literature search around types of piles and drilling methods for piles. It also retrieved information from experience reports, full-scale tests, and other documentation from previous projects where pile foundations and drilling of piles have been involved.

The literature search revealed that many projects are experiencing challenges around drilling of piles. The drilling methods are presented as gentle to the soil, but it often turns out necessary to make some adaptations of the drilling systems to conduct drilling.

The analysis showed that the drilling system Radial flush, with some adjustments along the way, functioned satisfactorily. Adjustments made during the drilling process were low penetration rates. No air used in soft clay, but water flushing along with rotation of the drill bit. Raising the bit into the casing and then blow clean the channels in the drill bit, and simultaneously blow the cuttings out of the tube.

The drilling system may work in sensitive soil at the same rate as similar sensitive drilling systems. However, the drilling system functioning is dependent on how it is conducted and how gently the drilling operator performs the drilling. The drilling system appears not as an improvement compared to previously used drilling systems. In the future it is important that road projects that perform drilling in sensitive soil conditions document well what has been done on the project, both in the design phase, but especially in the execution phase. Experiences from former drilling will be the best way to improve and develop drilling systems. That way the requirements for drilling can be achieved the best possible way.

Innhold

Forord	i
Sammendrag	ii
Abstract	iii
Figurliste.....	vii
Tabelliste	viii
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn og formål.....	1
1.2 Mål.....	1
1.3 Omfang	2
1.4 Struktur	2
2 Teori	3
2.1 Peletyper	3
2.1.1 Borede pelers	4
2.1.2 Borede stålrørspeler ved bruk av borkrone	5
2.1.3 Stålkjernepeler.....	6
2.2 Kvikkleire	6
2.3 Stabilitet av kvikkleireskråning	7
3 Metode.....	9
4 Litteraturstudie	10
4.1 Boremetoder	10
4.1.1 Spyle – og rotasjonsboring	10
4.1.2 Slagboring	11
4.1.3 Rørboringsystemer.....	12
4.1.4 Reversibel senkeboring, RC	14
4.2 Erfaringer tidligere prosjekter	17
4.2.1 RC-boring.....	17

4.2.2	Eksenterboring	20
4.2.3	Senkehammer og ringborkrone	20
4.3	Tidligere gjennomførte fullskalaforsøk	22
4.3.1	Senkehammer og Odex	22
4.3.2	Senkehammer og ringborkrone, Elemex borkrone	24
4.3.3	Senkehammer og ringborkrone, Robit borkrone	27
5	Prosjektet	29
5.1	Presentasjon av prosjektet	29
5.1.1	Grunnundersøkelser	31
5.1.2	Stabilitetsvurdering av skråningen	33
5.1.3	Valg av peletype	34
5.1.4	Anleggsrekkefølge	36
5.1.5	Forslag om endret installeringsmetode for pelene	37
5.1.6	Senkehammer med ringborkrone, Radial flush	38
5.2	Gjennomføring av boringen/undersøkelsene	42
5.2.1	Akse 3 og 4	42
5.2.2	Prøvepeling	49
5.2.3	Akse 1	52
5.2.4	Akse 2	57
6	Diskusjon	59
6.1	Resultater etter endt boring	59
6.2	Vurdering opp mot alternative borsystemer	60
6.3	Hvordan gjennomføre boringen best mulig	62
7	Konklusjon og anbefalinger	63
8	Videre arbeid	64
	Referanseliste	65
	Vedleggsliste	67

Figurliste

Figur 2-1: Eksempel fra skrednett.no. Faregrad og registrerte kvikkleiresoner (Skrednett.no).	7
Figur 2-2: Snittet viser hvordan et initialscred kan utløse et større skred (NVE 2014).....	8
Figur 4-1: Forskjellige opptransporteringer av borkaks (Simonsen og Veslegård 2014)	10
Figur 4-2: Oppbygging eksentrisk borutstyr ved senkehammer. (Simonsen og Veslegård 2014).....	12
Figur 4-3: Utforming Elemex borkrone (Produktkatalog Atlas copco)	13
Figur 4-4: Vinge borkrone. Til venstre, vinger som er presset ut. Til høyre vinger slått inn. (Simonsen og Veslegård 2014)	14
Figur 4-5: Skisse av reversibel senkeboring (Peleveiledningen 2012)	15
Figur 4-6: Eksempel pilotkrone for RC-boring (Holtmoen 2013)	15
Figur 4-7: Borkrone benyttet ved første boring i Norge ved hjelp av RC-utstyr. Tricone krone (Hanson 2008)	17
Figur 4-8: RC-borestreng, Gulli bru (Holtmoen 2013)	19
Figur 4-9: Snitt som viser plassering av poretrykksmålerne (Lande m.fl 2015).....	22
Figur 4-10: Venstre: Odex borkrone med eksentrisk rømmer og pilot. Høyre: Rømmer låst fast inne i foringsrør (Lande m.fl 2015)	23
Figur 4-11: Røspunt med ringborkrone og pilotkrone, røspuntboring Møllenberg (Rønning 2011).....	24
Figur: 4-12: Modifisert pilotkrone (Rønning 2011).....	25
Figur:4-13: Poretrykksavlesninger av poretrykksmåler 0,5m fra borpunkt. (Rønningen 2011)	26
Figur 4-14: Borkrone benyttet under boringen, med angivelse av spylerektning (Hauge m.fl 2015).....	27
Figur 4-15 Registrerte poretrykksmålinger (Hauge m.fl 2015)	28
Figur 5-1: Oversiktskart delprosjekter Fosenvegene	30
Figur 5-2: Oversiktskart Leksvik grense - Olsøy	30
Figur 5-3: Oversikt over utvalgte borpunkter (Degago m.fl. 2015).....	31
Figur 5-4: Totalsonderingsresultater fra borpunkt 100, 101, 102 og 106. Plassering av borpunktene er vist i figur 3-3. (Degago m.fl. 2015)	32
Figur 5-5: Totalsonderingsresultater fra borpunkt 112, 328, 329 og 331. Plassering av borpunktene er vist i figur 3-3. (Degago m.fl. 2015)	32

Figur 5-6: Kvikkleiresonene ut fra NVEs skrednett.no og utførte grunnundersøkelser (Degago 2014).....	33
Figur 5-7: Skisse over sprøbruddmaterialer ved brua. (Degago 2014)	35
Figur 5-8: Radial flush borkrone benyttet under boringen (Foto Samson Degago).....	38
Figur 5-9: Ringborkrone og forstrekningsring sveiset til foringsrøret (Foto Henrik Tømmervik).....	39
Figur 5-10: Utforming Radial flush borkrone, retning på luftstrøm (Tilsendt av entreprenør) 40	
Figur 5-11: Spiral flush borkrone (PPV Finland product katalog).....	41
Figur 5-12: Plassering av poretrykksmålere i forhold til pelene	42
Figur 5-13: Boreriggen under boring (Foto Henrik Tømmervik)	43
Figur 5-14: Diagram over poretrykket, P44. H= horisontal avstand fra pelesenter til målingspunkt på terrengnivå. D=dybden	44
Figur 5-15: Poretrykksmålinger fra boring av P42	44
Figur 5-16: Poretrykk under boring av P41	45
Figur 5-17: Prisnippskisse fra entreprenøren på foreslått boremetode med auger (jordbor) (skisse tilsendt av entreprenør).....	47
Figur 5-18: Plassering av prøvepel i forhold til bruaksene (Degago m.fl. 2015).....	49
Figur 5-19: Plassering av poretrykksmålerne ved prøvepelingen. (Degago m.fl. 2015)	49
Figur 5-20: Borkrone koblet til ringborkrone (foto. Samson Degago)	50
Figur 5-21: Fjerning av klebet masse på borstreng (Foto Henrik Tømmervik).....	51
Figur 5-22: Plassering av poretrykksmålere i forhold til peleplasseringen.....	53
Figur 5-23: Massene i borkronen pakket seg sammen/frøs fast (foto Samson Degago).....	54
Figur 5-24: Manuell kontroll av vann/luft tilførsel (foto Samson Degago).....	55

Tabelliste

Tabell 2-1: Vanligste peletyper i Norge, fordeler og ulemper (Håndbok V220).....	4
Tabell 4-1: Borhammer i tommer og de vanligste diameter for fjellkrone (Simonsen og Veslegård 2014)	11
Tabell 4-2: Sammenstilling av fordeler og ulemper ved ulike boremetoder. (Simonsen og Veslegård 2014)	16
Tabell 5-1: Grunnforholdene i bruaksene. (Degago 2014)	34

1 Innledning

1.1 Bakgrunn og formål

Bygging av veg inneholder mange utfordringer, og krever bred kompetanse fra konsulenter, byggherre og entreprenør. Utfordringene kan variere fra prosjekt til prosjekt. Prosjekter som inneholder bygging i vanskelige grunnforhold kan være spesielt utfordrende. I Norge og Trøndelag kommer ofte vegprosjekter i konflikt med sensitive grunnforhold, noe som krever kompetanse, forsiktighet og tett oppfølging. Spesielt kan det være knyttet utfordringer til store konstruksjoner og fundamentering ved slike grunnforhold.

Fundamentering i sensitive grunnforhold krever ofte peler. Boring av peler ved slike grunnforhold kan være utfordrende å gjennomføre uten å påvirke nærliggende områder negativt. Selv om bygging av veg ved utfordrende grunnforhold er utbredt i Norge, fremstår det som boring av peler i slike områder ikke er godt nok dokumentert. Dette kan skape utfordringer for prosjektene.

På prosjektet Leksvik grense – Olsøy ble det av entreprenøren presentert et nytt borsystem med senkehammer og ringborkrone, kalt Radial flush. Dette borsystemet og den tilhørende borkronen skulle være tilpasset boring i sensitiv grunnforhold. Borsystemet har ikke vært benytte i Norge tidligere. Det er derfor interesse i prosjektorganisasjonen å dokumentere gjennomføringen med dette borsystemet, og den spesifikke borkronen som ble benytte, og se på om dette kan være et potensielt borsystem for fremtidige prosjekter. Borkronen skal ifølge leverandøren være en videreutviklet borkrone i forhold til mer etablerte borkroner for rørboringsystem med senkehammer og ringborkrone benyttet i sensitiv grunn på tidligere prosjekter i Norge. God dokumentasjon av borsystemet Radial flush kan derfor bidra til ytterligere utvikling av borsystemer.

1.2 Mål

Med oppgaven er målet å belyse utfordringer rundt fundamentering på peler ved sensitive grunnforhold. I den forbindelse belyse rørboringsystemet med senkehammer og ringborkrone, kalt Radial flush, som for første gang er benyttet på norske veganlegg. Det skal vurderes hvor sensitivt borsystemet fremstår ved boring i sensitive grunnforhold, og om det kan være et alternativ til andre mer etablerte borsystemer.

1.3 Omfang

Arbeidet med oppgaven er ment å foregå mellom 15.8.2015, og frem til 15.5.2016, samtidig med en stillingsprosent på 50 % i denne perioden. Oppgaven vil konsentrere seg om prosjektet Leksvik grense – Olsøy og boring av peler med borsystemet Radial flush, i tillegg til et litteratursøk rundt etablert bormetoder, og utførte prosjekter der disse boremetodene er benyttet.

Oppgaven er skrevet for fagfolk med anleggsteknisk kompetanse som er interessert i boring av peler i sensitiv grunn.

1.4 Struktur

Kapittel 1: Innledning. Kapitlet gir bakgrunn for valg av oppgave. Motivasjon, mål, og omfang av oppgaven defineres.

Kapittel 2: Teori. Kapitlet gir en presentasjon av de mest brukte borede peletypen. I tillegg er kvikkleire og stabilitet av kvikkleireskråning kort forklart.

Kapittel 4: Litteraturstudie. Kapitlet presenterer et litteraturstudie rundt erfaringer og resultater gjort fra tidligere boringer av peler.

Kapittel 5: Prosjektet. Kapitlet inneholder en presentasjon av Prosjektet Leksvik grense – Olsøy hvor rørboringssystemet Radial flush ble benyttet. Kartlegging av grunnforholdene, stabilitetsvurdering av kvikkleireskråningen og valg av peletype for prosjektet blir gjennomgått. Videre gjennomgås gjennomføring av boringen/undersøkelsen. Utførelse og oppfølging av boringen med Radial flush metoden presenteres med plan for poretrykksmålning, hendelsesforløp og erfaringer etter endt boring.

Kapittel 6: Diskusjon. Resultatet etter gjennomført undersøkelser og boring diskuteres. Erfaringen relateres til gjennomgått prosjekter fra tidligere, der andre borsystemer er benyttet.

Kapittel 7: Konklusjon og anbefalinger.

Kapittel 8: Videre arbeid

2 Teori

I Norge er det utført boring av peler på mange veganlegg. Kapittelet gir en presentasjon av de mest brukte borede peletypen. I tillegg er kvikkleire og stabilitet av kvikkleireskråning kort forklart.

2.1 Peletyper

Peletype for fundamentering av en konstruksjon velges ut fra tekniske og økonomiske vurderinger som baserer seg på undersøkelser gjort i forkant. Det er blant annet vurderinger som byggverkets levetid og hvilke laster byggverket skal tåle både horisontalt og vertikalt. I tillegg må også anleggsmessige forhold tas med i betraktningen. Vurderingene som gjøres skal føre frem til den mest økonomiske løsningen som ivaretar lastene som skal føres ned i grunnen på en god måte. Samtidig må installeringen av pelene være tilpasset omgivelsene og grunne. (Håndbok v220) Det er viktig at innboringen og rensk ikke fører til erosjon og høyere poretrykk i løsmassene. Spesielt ved ømfintlige masser slik som sensitiv leire og kvikkleire. Peletype og borsystem må derfor velges med tanke på disse faktorene.

Borede peler kan deles i to kategorier; Spissbærende i berg eller friksjonspeler i løsmasse. I følge EN-NS standarder deles peler i mikro <300 mm, og grove > 300 mm. I Norge er det naturlig å sette skillet mellom mikropeler og grove peler ved 324 mm, fordi disse bores med samme hammer som 273 mm. (Simonsen og Veslegård 2014)

Mikropeler finnes i 3 hovedtyper; Stålkjernepeler, borede stålrørspeler og selvborende.

Grovere peler er borede stålrørspeler som armeres og støpes ut. Grove peler blir dermed en samvirkende pel med bæring i stålrør, armering og betong. (Simonsen og Veslegård 2014)

Peletypene oftest brukt i Norge er presentert i tabell 2-1.

Tabell 2-1: Vanligste peletyper i Norge, fordeler og ulemper (Håndbok V220)

Peletype	Bruksområder (fordeler(f)/ulemper(u))
Betongpeler	Friksjonspeler og spissbærende peler til fast grunn eller berg. (f: kostnad /u: liten momentkapasitet, massefortrengning, stort pelehode)
Stålpeler	Store konsentrerte laster. Friksjonspeler og spissbærende peler til fast grunn eller berg. (f: liten massefortrengning / u: krevende sveiseskjøting, korrosjon)
Stålrørspeler – armert, utstøpt	Store konsentrerte laster. Friksjonspeler og spissbærende peler til fast grunn eller berg. (f: stor bæreevne, stor knekkstivhet, velegnet i vann, tåler hard ramming / u: massefortrengning)
Borede peler	Store konsentrerte laster. Spissbærende peler til berg eller ned i meget faste masser. (f: ikke massefortrengning, stor bæreevne / u: mulighet for grunnbrudd i bløt leire)
Stålkjernepeler	Store konsentrerte laster til berg. Redusert kapasitet i bløte løsmasser pga. knekningsfare (f: ikke massefortrengning / u. mulig erosjon under boring i løs grunn)

2.1.1 Borede peler

Borede peler utføres på den måten at et åpent stålrør trykkes og dreise ned i løsmassene, samtidig som massene grabbes ut innvendig i røret. Denne typen peler er relativt lite brukt i Norge de siste årene pga. uheldige erfaringer fra tidligere prosjekter. Diameteren på slike peler kan være stor, normalt 750 mm – 1500 mm, men i Norge er det brukt opp til 2,5 m diameter.

Det største problemet med denne pelemetoden er bunnoppressing i røret når massene grabbes ut. Dette kan unngås ved å fylle røret med vann eller tyngre støtteveske etterhvert som løsmassene grabbes ut. I bløt og sensitiv leire er det spesielt viktig at topplaget grabbes ut før stålrøret presses under grabbenivå. Dette for å unngå at topplaget danner en propp som medfører massefortrenging, og igjen øker faren for bunnoppressing pga. at leirens skjærstyrke har blitt redusert.

I kvikkleire vil det dannes en sone med omrørt leire på utsiden av stålrøret. Om røret treffer stein som vil skyves av røret, vil denne effekten forsterkes. Ved slike grunnforhold vil det som oftest kreve at borerøret dreise inn i berg før utgrabbing av masser. Det bør også registreres hvilke masser som grabbes ut, blant annet fordi vannførende lag kan medføre utvasking av betong under utstøping.

2.1.2 Borede stålrørspeler ved bruk av borkrone

Boringen av stålrørspeler ved bruk av borkrone utføres med fullprofilboring av pelehull gjennom løsmasser og inn i berg. Boringen utføres tradisjonelt med senkeborustrustning. Sammenlignet med rammede stålrørspeler har borede stålrørspeler en stor fordel med at de kan bores inn i berg slik at utstøpingen kan utføres kontinuerlig fra bunn av utboret hull i berg. Stålrøret blir da stående igjen i grunnen etter endt støping. Stålrøret kan ha forskjellig diameter og godstykkelse. Det er viktig at boringen ikke medfører erosjon og høyt trykk i løsmassene. Valg av boreutstyr må derfor være tilpasset grunnforholdene og omgivelsene. (Håndbok V220)

Statens vegvesen har en del erfaring med denne type boring av peler. I håndbok V220 er det noen erfaringssynspunkt på metoden. Punktene er gjengitt under.

Borede stålrørspeler kan overføre store laster ved bruk av stor rørdiameter. Det er mulig å installere lange pelelengder. Borsystem og borerigg kan være begrensende for hvor lange pelelengder det er mulig å installere. Lengden på hvert pelelement/foringsrør kan eksempelvis være fra 12-16 m, avhengig av størrelse på rigg. Borede stålrørspeler kan også installeres som skråpel, og ta både trykk og strekk krefter. Det kan være en fordel med økt godstykkelse på foringsrørene ved peling i vanskelige grunnforhold. I forhold til rammede stålrørspeler er det enklere å etablere feste i skrått berg med borede stålrørspeler. Borede stålrørspeler kan også forsere grovere masser. Det er også en fordel med borede peler i forhold til rammede peler med tanke på støy, vibrasjoner og massefortrengning.

2.1.3 Stålkjernepeler

Stålkjernepeler er en mikropel der det er satt inn et massivt sirkulært stålemne som bærende element. Som for grovere borede stålrørspeler er det viktig å velge en bormetode som ikke fører til erosjons og økning i poretrykket på utsiden av røret. Når stålrøret er etablert, settes stålemne ned, og røret støpes ut med betong. Det er krav til overdekning mellom stålkjerne og foringsrør. Derfor brukes det avstandsklosser mellom disse to elementene for å få korrekt overdekning.

2.2 Kvikkleire

Kvikkleire finnes i områder der leiren har blitt avsatt i salt vann, dvs i områder under den marine grense. Kvikkleiren kjennetegnes ved at leirpartiklene forholder seg til hverandre i en ende til flate-struktur, ofte kalt korthusstruktur. (Emdal, 2013)

Denne strukturen skyldes partiklenes ladning, og fordi kornene i salt miljø binder større mengde vann. Etter landhevingen har leiren gjennomgått en lang tids utvasking av det salte porevannet. Leiren har derfor en struktur med store porer fylt med ferskvann. Over tid kan partiklene i leiren ha utviklet bindinger i kontaktpunktene, slik at leiren kan ha betydelig styrke. Men dersom leiren belastes tilstrekkelig vil disse kontaktpunktene brytes, strukturen vil kollapse som et korthus, og de store mengden porevann vil gjøre leiren flytende. (Emdal, 2013)

For at en leire skal falle under kategorien kvikkleire må følgende faktor være oppfylt:

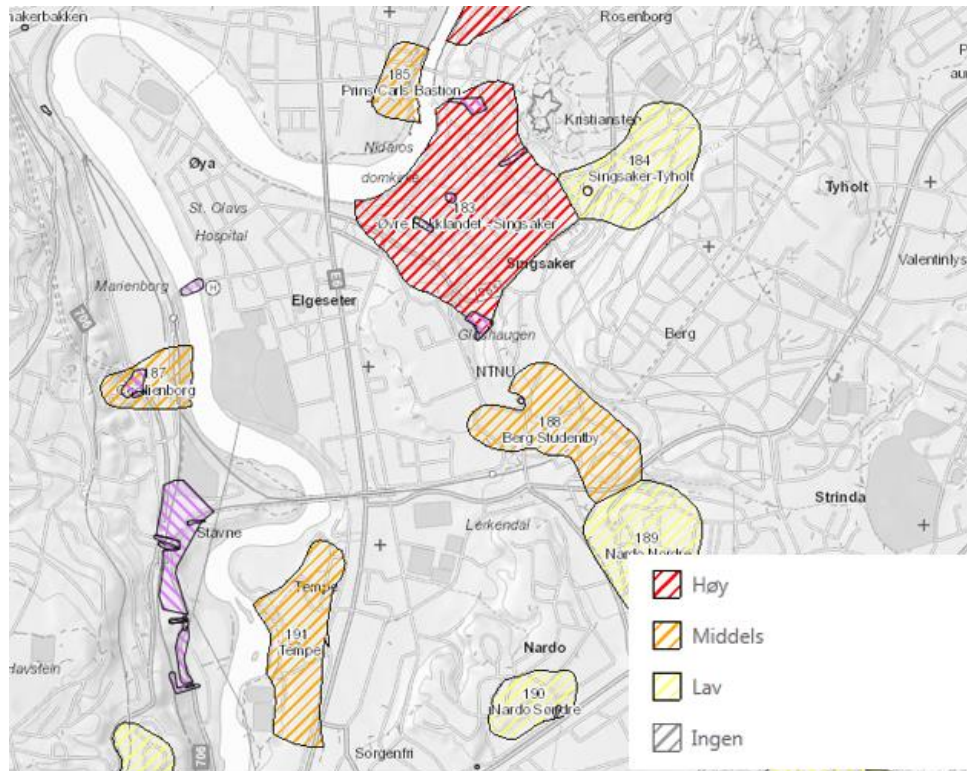
- Omrørst skjærstyrke, $s_r < 0,5$ kPa.

Andre faktorer som også karakteriserer kvikkleire er:

- Vanninnhold over flytegrensen, $w > w_L$
- Meget sensitiv, $s_t > 50$
- Saltinnhold $> 0,5\%$

Marin grense er øvre grense for materialer som er avsatt i sjøvann og senere er kommet opp på tørt land som følge av landhevingen. (SVV håndbok V220) Ligger området over marin grense kan det i planleggingen utelukkes kvikkleire. Dersom områdene ligger under marin grense, kan skrednett.no benyttes for å se om det finnes kartlagte kvikkleirelommer i området

det planlegges ny veg. Skrednett.no er en nettside hvor blant annet registrerte kvikkleiresoner vises. Kvikkleiresonene er kategorisert med faregrad høy, middels lav og ingen. Se figur 2-1.



Figur 2-1: Eksempel fra skrednett.no. Faregrad og registrerte kvikkleiresoner (Skrednett.no)

Denne nettsiden er et viktig hjelpemiddel for prosjekterende for å se om prosjektet kommer i konflikt med kvikkleire. Selv om det vises på skrednett.no at området det planlegges i ikke kommer i konflikt med kvikkleire, må området kartlegges med boringer for å utelukke kvikkleire. Ikke alle kvikkleireforekomster er tidligere kartlagt og registrert på skrednett.

2.3 Stabilitet av kvikkleireskråning

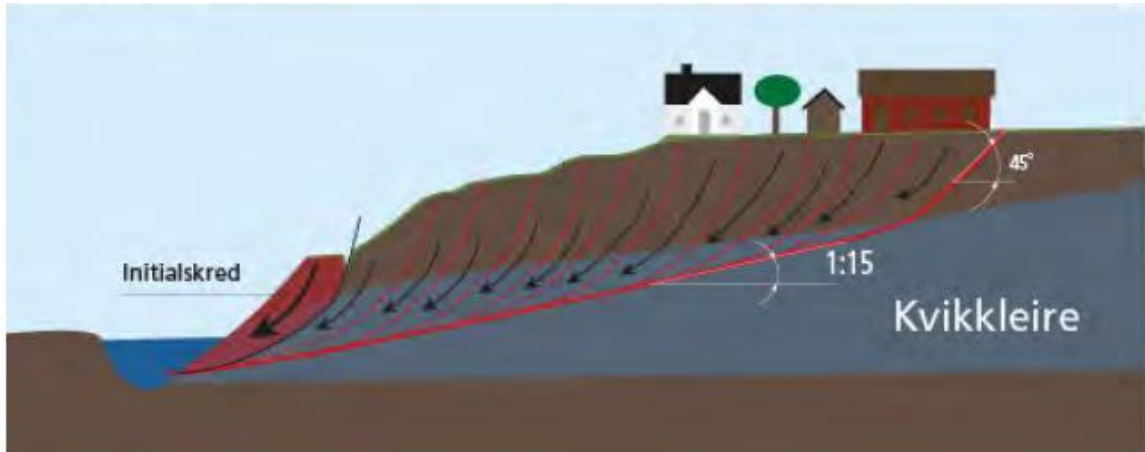
Dersom kvikkleiren ikke utsettes for belastninger som overstiger den uomrørte skjærstyrken materialet har i naturen, utgjør ikke kvikkleiren noen fare. Men ved påvirkning av enten mennesker eller naturen (elveerosjon, graving, fylling osv.) kan kvikkleireskred utløses. (Emdal, 2013)

Utbredelsen av et skred er avhengig av blant annet topografiske forhold, jordegenskaper og utløsende årsaker. Initialskred kan føre til store områdeskred om minst disse to følgende kriterier er oppfylt: (Nyheim m.fl, 2014)

1. Sprøbruddmaterialene involvert i bruddet må være fullstendig omrørt.

2. Skredmassene må kunne strømme ut av skredområdet.

Dersom disse to kriteriene ikke er oppfylt, er det liten sjansen for at store områdeskred vil kunne skje. (Nyheim m.fl. 2014) Figur 2-2 viser en forklaring hvordan et initialskred kan utvikle seg til et områdeskred.



Figur 2-2: Snittet viser hvordan et initialskred kan utløse et større skred (NVE 2014)

3 Metode

I dette kapittelet blir grunnlagsmateriale som er benyttet i oppgaven presentert, og styrker og svakheter ved disse.

For å definere hvordan bormetoder fungerer er erfaringer fra tidligere utførte boringer vurdert som den beste dokumentasjonen. Litteraturstudiet er i hovedsak basert på rapporter skrevet i regi av Statens vegvesen, og NGI prosjektet BegrensSkade. Ved søk ut over disse kildene viste det seg vanskelig å finne relevant litteratur fra utførte boringer. I litteraturstudiet gis det først en innføring i hvordan de forskjellige bormetoden fungerer, og fordeler og ulemper ved bormetoden erfart gjennom utførte boringer. Videre i litteraturstudiet er det valg å fokusere på rapporter og dokumentasjon fra tidligere utførte prosjekter der boring av peler har vært involvert.

Styrken ved å bruke dokumentasjon fra utførte prosjekter er at boringen utføres i full skala, og dokumentasjonen gir derfor et godt bilde av hvordan bormetoden fungere i praksis. Spesielt ved prosjekter der poretrykksmålinger, borsynk og spyletrykk er lagt til grunn ved vurdering av bormetoden i rapportene.

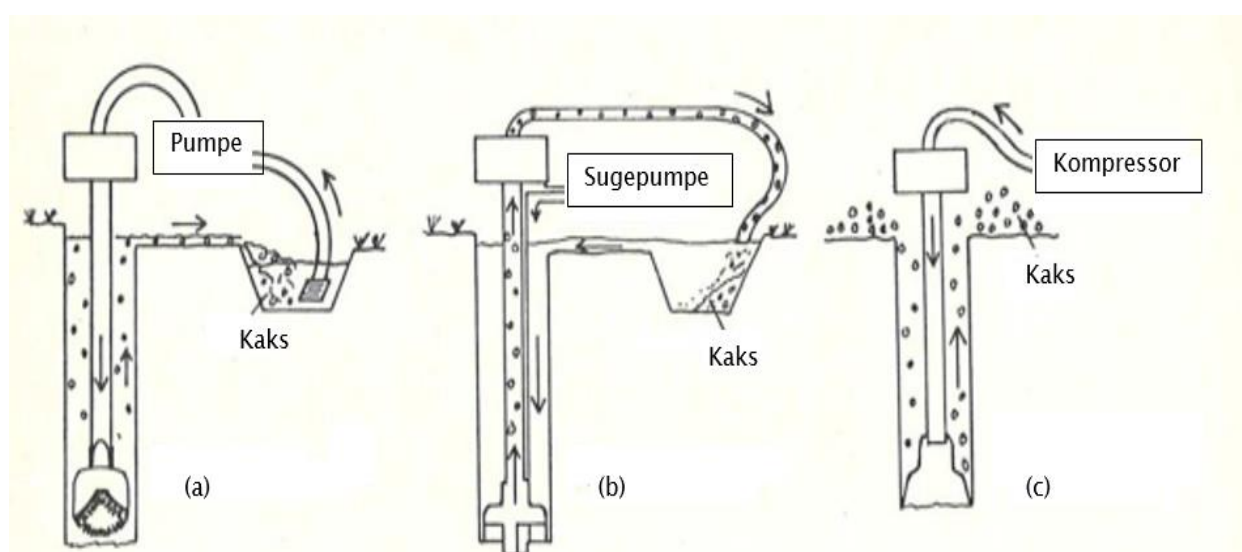
Svakheten ved å bruke dokumentasjon fra tidligere utførte prosjekter er at mange prosjekter ikke utfører målinger for å underbygge påstandene i rapportene. Visuelle observasjoner ligger ofte til grunn. Borsystemene er i stadig utvikling. Dermed er det rapporter fra boringer de siste årene som er interessante. Det finnes derfor få rapporter der boring med dagens borsystemer er godt dokumentert.

Forfatteren av denne oppgaven har vært involvert i planleggingen og utbyggingen av prosjektet Leksvik grense –Olsøy, med rollen assisterende byggeleder. Andre del av oppgaven baserer seg derfor på oppfølging av boringen under dette prosjektet. Kartlegging av grunnforholdene, valg av bormetode, og entreprenørens dokumentasjon av borsystemet benyttet på prosjektet vil bli presentert. Det vil bli brukt poretrykksmålinger, vibrasjonsmålinger og erfaringer gjort underveis i prosjektet for å vurdere hvordan borsystemet fungere.

4 Litteraturstudie

4.1 Boremetoder

Når en boremetode skal beskrives benyttes ofte ord som fortelle hvordan hullet etableres. Det kan være ved støt, rotasjon, slag, hammer, vibrasjon, vridning, skruing og ofte samtidig med rørdriving gjennom løsmasser og inn i berg. Under all boring er transporten opp av hullet av materiale som blir boret avgjørende, og dette beskrives ofte på samme måte som boremetode. Altså etter hvordan det foregår. Figur 4-1 viser spyle og rotasjonsboring (a), RC (sug) (b) og slagboring med trykkluft (c).



Figur 4-1: Forskjellige opptransporteringer av borkaks (Simonsen og Veslegård 2014)

4.1.1 Spyle – og rotasjonsboring

Spyle og rotasjonsboring utføres med spyling ned i borerøret, samtidig som borkronen og eventuelt rør roteres uten slag fra hammeren. I silt og leire utføres gjerne spyleboringen med vann. Disse type boringer uten slag fra hammer benyttes normalt ved boring i bløte lag i løsmasser, slik som leire. Den er effektiv under slike grunnforhold fordi den fjerner kohesjon fra leira på rørveggen. Normalt kan ikke denne metoden benyttes gjennom hardere lag slik som morene og fjell. Men med rullborkrone og store rigger kan den bore i hardere formasjoner (Simonsen og Veslegård 2014)

4.1.2 Slagboring

Den vanligste metoden å bruke for fundamentering er slagboring. Denne type boring er også dominerende i forbindelse med sprenging og boring av brønner. Slagboring er boring der slaget fra hammeren er den energien som lager hullet. Denne type boring deles i to typer; topp og senk. (Simonsen og Veslegård 2014)

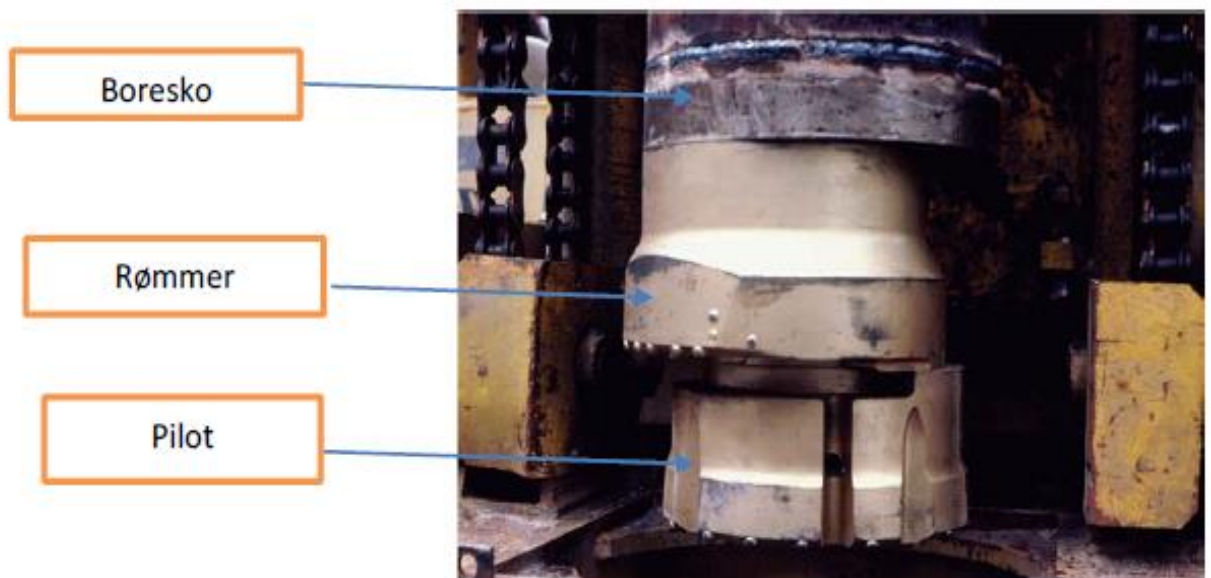
Toppammerboring tilfører slagenergien oppe ved boreriggen, og hammeren er innebygd med rotasjonsmotor. Ved senkehammer overføres slagenergien direkte til borkronen nede i hullet. Rotasjon av borestrengen gjøres fra motor oppe i riggen. Senkehammeren drives av trykkluft, men også vann kan benyttes. Ved bruk av vannhammer vil du alltid ha et vannfylt hull, og det vil ikke være fare for at luft kommer ut i løsmassene rund borehullet. Vannhammer kan ikke bore store dimensjoner, og krever tilgang på store mengder vann. Tabell 4-1 viser tilgjengelige størrelser for de tre typene slagboring. (Simonsen og Veslegård 2014)

Tabell 4-1: Borhammer i tommer og de vanligste diameter for fjellkrone (Simonsen og Veslegård 2014)

Hammer (tommer)	Borkrone diameter (mm)
Topp	31- 175
Senk 3	89 – 105
Senk 4	108 - 130
Senk 5	140 – 156
Senk 6	152 – 216
Senk 8	200 – 254
Senk 10	251 – 381
Senk 12	302 – 445
Senk 18	457 – 762
Senk 24	610 – 864
Senk 33	838 – 1092
Vann 3	82, 89
Vann 4	115, 120
Vann 5	130, 140
Vann 6	165

4.1.3 Rørboringsystemer

For boring av stålrør ble det på 1970 tallet utviklet eksentrisk borutstyr. Eksentrisk borutstyr består av tre deler. Slagstyring, pilotkrone og rømmerkrone. Eksentrisk boring kan utføres enten med eksentrisk topphammer, eller ved hjelp av senkehammer. Eksentrisk topphammerutstyr finnes i rørdiametrene 88,9, 114,3 og 139,7 mm. For dimensjoner opp til 350 mm benyttes senkehammer med eksentrisk borutstyr. Figur 4-2 viser eksentrisk borsystem med pilot, rømmer og boresko sveiset til stålrøret. (Simonsen og Veslegård 2014)



Figur 4-2: Oppbygging eksentrisk borutstyr ved senkehammer. (Simonsen og Veslegård 2014)

For dimensjoner over 350 mm, og større veggtykkelse, benyttes senkehammer med ringborkrone. Ringborkrone, også kalt engangskrone, ble utviklet rundt 1990 og har etter hvert erstattet eksentrisk utstyr ved boring under spesielle forhold og ved store rørdiameter. Det som er spesielt med dette utstyret i forhold til eksentrisk boreutstyr er at du har en pilotkrone og en ringborkrone. Ringborkronen har større diameter enn selve røret, ca. 15-20 mm. Det bores da et hull direkte, noe som gir rettere hull og bedre styring på røret. Dette gir også bedre borbarhet i blokk og stein og inn i berg i forhold til eksentrisk borsystem. (Simonsen og Veslegård 2014)

Ved senkeborutstyr festes pilotkrona til ringborkrona med en bajonettkobling og løses ut ved venstre rotasjon av borestrengen. Ringborkrona sitter fast på røret, og blir derfor igjen i hullet. Derav navnet engangsborkrone. Det sveises også en boresko på røret som er tilpasset slagkanten på pilotkrona. Ringborkronen og pilotkronen roterer sammen, mens slag eller spyling utføres. Etter at pelen er boret tas piloten opp ved venstre rotasjon. (Simonsen og Veslegård 2014)

Det har de senere år kommet flere typer og utforminger av borkroner som skal takle ulike grunnforhold bedre enn tidligere standardprodukter. Flere leverandører har utviklet borkroner som ifølge dem selv skal redusere negative effekter ved boring med høytrykksluft, og skal være tilpasset boring i bløt og sensitiv grunn.

Elemex er et slikt system med ringborkrone og pilotkroner. Elemex blir i produktkatalogen til Atlas Copco (Atlas Copco 2010) beskrevet som et system der designet er basert på et symmetrisk konsentrisk system. Elemex er spesielt designet for boring i tettbebygde strøk og ved sensitive grunnforhold. Bormetoden er utformet med en pilotkroner som styrer borestrengen i senter på hullet. En chasingsko som er sveiset til foringsrøret som drives ned av hammeren og pilotkronen, og en symmetrisk ringborkrone.

Utformingen av borsystemet er designet med tanke på omdirigering av luftstrømmen. Når luftstrømmen når kroneflaten blir luftstrømmen omdirigert ved hjelp av kanalene i borkronen. Elemex blir i produktkatalogen beskrevet som skånsom mot omgivelsene, men tøff på steinblokker som kan komme i veien. Utforming og kanaler for luftstøt i borkronen er vist i figur 4-3.



Figur 4-3: Utforming Elemex borkrone (Produktkatalog Atlas copco)

I tillegg finnes det tilsvarende systemer på markedet fra andre leverandører som for eksempel Robit «Flow control» fra Mitsubishi, UBM (Venture) og «Spiral flush» fra PPV Finland.

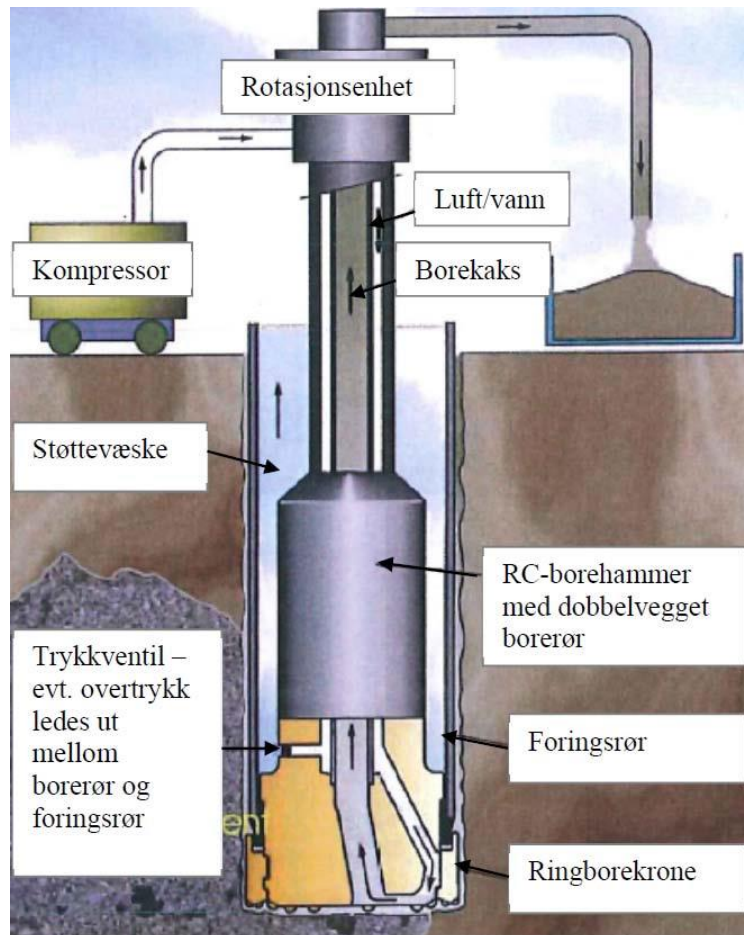
Det er også utviklet et nytt system, kalt vingesystem, for å bore tykkvegga stålrør ved tilsvarende grunnforhold som for eksentriske systemer (Odex). Systemet er utviklet fordi Odex systemet normalt har begrensinger med hensyn på veggtykkelse, og det krever også større rotasjonsmoment i forhold til ringborkrone systemet. Vingesystemet er kort fortalt vinger som presses eller roteres ut, se figur 4-4. Foreløpig er det lite erfaring med systemet. Ved hyppigere bruk i fremtiden vil erfaringer vise hva systemet er best egnet til. (Simonsen og Veslegård 2014)



Figur 4-4: Vingeborkrone. Til venstre, vinger som er presset ut. Til høyre vinger slått inn. (Simonsen og Veslegård 2014)

4.1.4 Reversibel senkeboring, RC

For boring i sensitive masser hvor det er viktig med god kontroll på at ikke tilført luft/vanntrykk går ut i formasjonene rundt pelen, er RC boring et godt alternativ. RC boring fungerer på den måten at borerøret er dobbeltvegget, og RC-hammeren er åpen i senter. Se figur 4-5. Trykkluft/ vann føres da ned mellom rørene, gjennom hammeren og ned til borkronen. Borkronen er utformet slik at luft/vann fører borkkaket inn mot senter av borkronen, og opp og ut gjennom senter av borerøret. Utforming av en borkrone benyttet til RC-boring er vist i figur 4-6. Boring utført med denne metoden, forutsatt komplett RC boreutstyr, gir minst risiko for propp i systemet. Men uansett bormetode må det stilles strenge kvalifikasjonskrav til borer. Denne metoden er mest egnet for dimensjoner over 300 mm (Simonsen og Veslegård 2014)



Figur 4-5: Skisse av reversibel senkeboring (Peleveiledningen 2012)



Figur 4-6: Eksempel pilotkrone for RC-boring (Holtmoen 2013)

Konvensjonell senkeborhammerutstyr utstyrt med RC-borerør og borkrone som fører returluft/vann og borkaks opp mellom hammer og foringsrøret kan være et alternativ til boring med fult RC boreutstyr. (Simonsen og Veslegård 2014)

I tabell 4-2 er fordeler og ulemper ved de presenterte bormetoden oppsummert.

Tabell 4-2: Sammenstilling av fordeler og ulemper ved ulike bormetoder. (Simonsen og Veslegård 2014)

Metode	Fordel	Ulempe
Topp	Ingen senkning av vannivå Kun vannspyling Ved tett borekrone er det ikke risiko for at luft går ut i formasjon.	Begrenset dybde 30-50 m Diameter 90-140 mm Borehullsavvik Skrens i blokk og skrått fjell
Senk, luft	Store dybder, 50-100 meter. Stor diameter. Lik energi uavhengig av dybde. Slag nede gir lite borehullsavvik. Ringkrone liten påvirkning og borer fult tverrsnitt. Eksenter og vinger lavere pris enn ringborkrone.	Vannnivå senkes til hammer. Luft ut i formasjon. Odex kan gi skrens. Odex gir erosjon fordi borekrone sitter foran røret. Vingesystem har begrenset erfaring i Norge.
Spyle/rotasjonsboring	Liten påvirkning på formasjonen Godt egnet for homogene og bløte leirer	Kan ikke bore i harde lag og blokk. Begrenset diameter med normale senkborerigger, men kan løses med større rotasjonskasse.
Reversibel med polymer	Polymer lager tettende sjikt på utsiden av stålør og foran borestrengen.	Pris. Egner seg ikke i harde lag.
Reversibel senkehammer	Snur luft inn i borestreng. Flere diameter på en streng.	Tetting av små kanaler i borkronen.

4.2 Erfaringer tidligere prosjekter

4.2.1 RC-boring

Sandesund bru

Det første prosjektet i Norge som utførte boring av peler med RC-boring var under fundamenteringen av Sandesund bru på E6 Årum – Alvim i 2006. Her var det utfordringer i noen av aksene med fundamenteringen på grunn av dårlig grunn og kvikkleire. De var dermed redd for utvasking/erosjon i løsmassene på grunn av høyt lufttrykk ved konvensjonell nedboring av foringsrør for stålkjernepelene. RC-borkronen benyttet på prosjektet egnet seg ikke til boring i fastere masser, dermed måtte borkrone byttes til 8 tommer lufthammer med ringborkrone når de påtraff fastere masser. Borkronen benyttet i løsmassene er vist i figur 4-7. (Hanson 2008)

De første erfaringene med RC-boring i kvikkleire i Norge var gode. Erfaringsrapporten for prosjektet er ikke utfyllende rundt gjennomføringen av boringen. Men generelt fremstilles boringen på prosjektet som vellykket, selv om prisen var noe høyere i forhold til alternativene. (Hanson 2008)



Figur 4-7: Borkrone benyttet ved første boring i Norge ved hjelp av RC-utstyr. Tricone krone (Hanson 2008)

Byggegrøp Bjørvika

På prosjektet E18 mellom Festningstunnelen og Bjørvikatunnelen i Bjørvika i Oslo, ble RC-boring brukt til refundamentering av et havnelager. Havnelageret lå i tilknytning til byggegrøpen som ble etablert mellom Festningstunnelen og Bjørvikatunnelen. Selve byggegrøpen ble utført med nedrammet stålpunt. Under utgravingen av byggegrøpen opplevdes det et fall i poretrykket, og dermed setninger i omgivelsene rundt byggegrøpen. Havnelageret som lå inntil byggegrøpen fikk også setninger i det ene hjørnet.

I følge rapporter skulle havnelageret være fundamentert med pilarer til berg. Dette kunne ikke stemme siden poretrykksfallet førte til setninger på bygget. Det ble derfor konkludert med at pilarene måtte være avsluttet i morenelaget over berg. Refundamentering av alle pilarene til havnelageret ble diskutert, og konkludert med at det ikke var aktuelt. Løsningen ble derfor å refundamentere hjørnepilarene på bygget, slik at eventuelle deformasjoner av bygget ville gå innover og ikke ut mot byggegrøpen. Byggetekniske rådgivere var enige om at havnelageret kunne tåle opp mot 50 mm setninger. (Johansen og Woldseng 2014)

Boringen skulle skje helt inntil den eksisterende pilaren, det ble derfor satt strenge krav til boringen. Boringen måtte i minst mulig grad forstyrre grunnen rundt. Som følge av dette kravet ble det spesifisert bruk av RC-boring. (Johansen og Woldseng, 2014)

To Ø180 mm stålkjernepeler skulle bores ned utvendig på begge sider av hjørnet. Det ble kerneboret gjennom dekket, og deretter satt ned et foringsrør i bunnplata som selve foringsrøret for stålkjernepelene skulle bores gjennom. Boringen ga minimale setninger på bygget. (Johansen og Woldseng, 2014) RC-boringen fungert dermed godt.

Gulli bru

Gulli bru, på E16 mellom Slomarka og Kongsvinger, er ei bru som sto ferdig i november 2014. Denne bruen ble fundamentert på borede peler med dimensjon Ø711, og boringen ble utført med RC-borutstyr. Grunnforholdene her var fast morene ned til fjell. Selv om det på dette prosjektet ikke var sensitiv leire, er det likevel interessant å se på hvilke tanker de gjør seg rundt boremetoden.

På denne kontrakten var det lagt opp til at entreprenøren kunne komme med forslag for å optimalisere byggetekniske løsninger for bru. Opprinnelig løsning for fundamenteringen på peler var borede peler Ø711 og rammede peler Ø813. For optimalisert løsning ble det valgt

kun borede peler uten enganskroner (Holtmon 2013). Det ble valgt å ikke benytte rammede peler, men bare borede, for å redusere risikoen ved pelingen (Gucwa og Jensen 2013). Borsystemet som ble brukt var RC-boring fra Holte med casing, og uten bruk av enganskroner. Det ble valgt å bruke Odex krone og redusert godstykkelse. Boreriggen som ble brukt veide 40 tonn med RC-utstyr og pelerør. Borestreng benyttet er vist i figur 4-8. Boringen ble utført med 2 stk. høytrykkskompressorer som leverte 37 m³ luft ved 20 bar trykk. (Holtmon 2013)



Figur 4-8: RC-borestreng, Gulli bru (Holtmoen 2013)

Entreprenøren på prosjektet trekker (Holtmon 2013) frem følgende fordeler og ulemper ved bruk av RC-borutstyr.

Fordeler: Bedre kontroll på luftmengder i bunnen av borehullet. Lite søl av borkaks, borkaks kan ledes til ønsket sted

Ulemper: Kostbart sammenlignet med normal senkeboring. Få utførte jobber i Norge.

4.2.2 Eksenterboring

Helland bru

Helland bru er et prosjekt som opplevde store problemer ved boring av foringsrør til stålkjernepeler. Prosjektet omfattet boring av 208 foringsrør, 199 mm innvendig diameter og 10 mm godstykkelse, og 150 mm tykk stålkjernepel. Grunnforholdene var løsmasser over fjell som bestod av til dels meget kvikk leire under et topplag på 2-3 m tykt fastere lag i toppen. Under boringen av foringsrørene opplevdes det ved flere tilfeller at det ble dannet store hull i grunnen som resultat av boringen. Årsake til disse hullene beskrives i erfaringsrapporten fra prosjektet (Nordbotten 2001) å være at det ble presset mye luft ut i grunnen rundt pelen som følge av boringen.

Disse bruene sto ferdig i 2001, og bormetode var eksenterboring. Eksenterboring er ikke ofte brukt ved boring i sensitiv grunn. Det er allikevel interessant å lese i rapporten (Nordbotten 2001) fokuset satt på lufttrykk og bruk av vann i boringen. Det var for denne kontrakten beskrevet bruk av vannspyling ved boringen av foringsrør i løsmasser av leire, silt og sand. Entreprenøren brukte i starten av prosjektet bare luft i boringen, og det oppstod problemer med hull i grunnen som følge av luft som «rømte» ut i massene rundt borkronen. Byggherre krevde så utsyr som bare benyttet vann til å drive borkronen og hammeren. Etter noen undersøkelser viste det seg at det var tilstrekkelig å blande inn vann for å løse opp massene og holde dysene på borkrona åpne, og ikke vann for å drive selve borkronen. I de bløtteste massene holdt det å føre/skyve røret ned uten bruk av borkronen. Der det var fastere, og dermed nødvendig med luft for å drive borkronen, var det viktig å være forsiktig med lufttrykket.

4.2.3 Senkehammer og ringborkrone

Årgårdbrua

Forfatterne av oppgave har vært på studietur til Årgårdbrua i Nord-Trøndelag. Denne brua ble fundamentert med borede stålrørspeler. Bormetoden benyttet var Elemex med senkehammer og ringborkrone.

Brua er en 81 m lang spennarmert betongplatebru i 3 spenn. Brua er fundamentert med to borede stålrørspeler inn i fjell i hver akse. Pelelengdene varierer fra 54-62 m. Hvert pelelement er 18 m langt. Grunnforholdene besto av silt, leire og kvikkleire.

Boringen ble utført med rotasjon av borkronen sammen med et kombinert spyletrykk med luft og vann. Selv om det ble boret gjennom kvikkleire, var stabiliteten i området vurdert dithen at en overvåkning av poretrykket under boringen ikke var nødvendig. Det finnes derfor ingen dokumentasjon fra denne boringen, bortsett fra visuell vurderinger og samtaler med byggeledelsen og boreoperatøren.

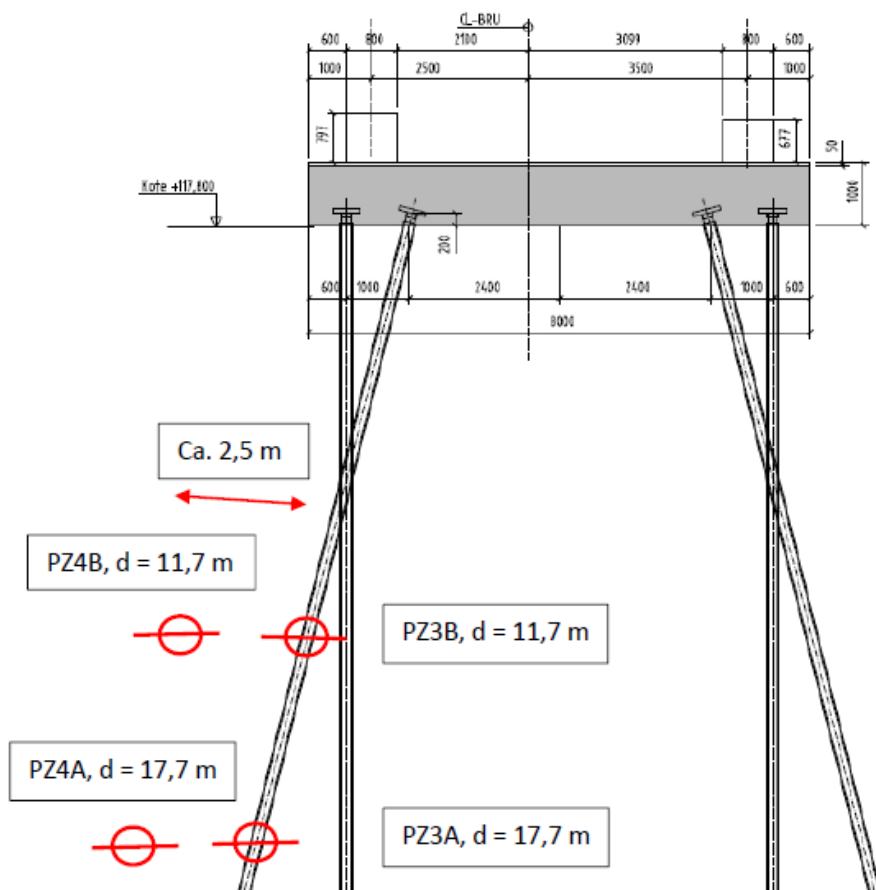
Visuell vurdering av borkaksreturen indikerte, ifølge byggeledelsen på prosjektet, at mesteparten av utboret masse kom i retur opp røret. Det opplevdes ikke propp i systemet. Dermed ingen vesentlig massefortrengning. Om det oppstod problemer med rømt luft i formasjonene rundt borekronen vites ikke, da det ikke finnes registrerte poretrykksmålinger. Byggeledelsen på prosjektet betegnet dermed boringen som godt gjennomført.

4.3 Tidligere gjennomførte fullskalaforsøk

4.3.1 Senkehammer og Odex

Sommeren 2013 ble det i forbindelse med bygging av ny bru over jernbanen ved Nyland syd i Oslo benyttet tradisjonell eksenterboring for boring av peler. Byggingen av brua var i regi av BAMA, og skulle fungere som adkomstbru til hovedlageret ved Nyland syd.

For å unngå setninger i eksisterende jernbanespor, ble det installert poretrykksmålere for å overvåke poretrykket. Det ble installert 4 stk. elektriske poretrykksmålere med automatisk logging inntil brufundamentet i akse 1. To poretrykksmåleren ble installert på 11,7 m dybde fra overflaten, med avstand 1 m og 2,5 m fra pelepunktet. To målere ble installert med tilsvarende avstander fra pelepunktet, på dybden 17,7 m. Alle poretrykksmålerne var i leire. Plassering av poretrykksmålerne vist i prinsippskissen i figur 4-9.(Lande m.fl 2015)



Figur 4-9: Snitt som viser plassering av poretrykksmålerne (Lande m.fl 2015)

Eksenterboringen ble ved boring i leire utført med rømmer trukket inn i foringsrøret. Ved boring i faste morenemasser og inn i berg ble rømmer kjørt ut igjen, vist i figur 4-10.

Borsynken var i størrelsesorden 3-6 m/min. (Lande m.fl 2015)



Figur 4-10: Venstre: Odex borkrone med eksentrisk rømmer og pilot. Høyre: Rømmer låst fast inne i foringsrør (Lande m.fl 2015)

Det ble under boringen av de to pelene nærmest poretrykksmålerne registrert betydelige poretrykksøkninger i alle de 4 målerne. Den maksimale trykkøkningen var ca. 120 kPa på 17,7 m dybde, og ca. 70 kPa på 11,7 m dybde. Under boring i akse 3 ble det av boreoperatøren registrert at de kom luft og leire på utsiden av pelene i akse 2, som lå på andre siden av jernbanen. Ved dette tilfellet var boringen nådd faste morenemasser. (Lande m.fl 2015)

De registrerte poretrykksmålingene viser at det har oppstått en relativt stor trykkøkning i en sone på 1-3 m rundt pelene. Dette indikerer at boring med rømmer låst inn i foringsrøret kombinert med høy borsynk har ført til massefortregning. (Lande m.fl 2015)

4.3.2 Senkehammer og ringborkrone, Elemex borkrone

Byggegropp Møllenberg

Strindheimtunnelen og etablering av byggegrop ved Møllenberg i Trondheim er et kjent prosjekt for mange innen anleggs- og prosjekterings bransjen, og et prosjekt med mange utfordringer knyttet til boring av rørsput i kvikkleire. Kapittelet er basert på artikkelen skrevet av Sigbjørn Rønning (Rønning 2011) til geoteknikkdagene 2011.

Prosjektet på Møllenberg var utfordrende geoteknisk, med store utgravinger i en kvikkleiresone. En spuntvegg var derfor nødvendig for å holde massene utenfor byggegropen uberørt. Flere metoder for å etablere spuntveggen ble vurdert, og valget falt på rørsput som skulle bores gjennom løsmassene med fullt tverrsnitt inn i berg. Grunnforholdene på stedet består av fyllmasser og sand til ca. 2 m dybde over finsandig silt og leire til ca. 4,5 m dybde. Videre er det kvikkleire ned til et tynt morenelag over berg i 18-20 m dybde.

Det ble gjort prøveboringer av rørsput for å se om valgt metode fungerte med tanke på stabiliteten av kvikkleiren. Løsningen som skulle benyttes for boringen av rørsputen var Elemex, utviklet av Ruukki i samarbeid med Atlas Copco, vist i figur 4-11.



Figur 4-11: Rørsput med ringborkrone og pilotkrone, rørsputboring Møllenberg (Rønning 2011)

Under boringen av rørsputforsøket var det montert elektriske piezometere på to steder i tre nivåer, 05 m og 7 m fra rørsputen. Det var montert totaltrykkceller ved spissen av rørsputen. Inklinometerkanaler var plassert ca. 1,0 m fra rørsputen. Det ble også gjort

CPTU-sonderinger inntil rørsputen. Dette for å vurdere den omrørte sonen og påvirkningen av rørsputen i massene rundt. På forhånd ble det satt grenseverdier for akseptabelt totaltrykk.

Rørsputforsøket ble utført med rotasjon av borkronen og kontinuerlig vanntrykk. Gjennom leira var det en borsynk på 0,5-1 m/min. Mye av utspylt masse kom opp av rørtoppen.

Totaltrykksmåler like bak fronten av røret viste til tider opp mot to ganger hydrostatisk trykk, og poretrykksmålere viste en økning på opp mot 0,5 m trykkstigning når borefront passerte.

Når boret møtte morenelaget opplevde de gjentatte forkilinger. Maskinen ble da rigget om slik at boring/spyling med luft i stedet for vann ble benyttet. Boringen fortsatte, men også nå opplevdes gjentatte forkilinger. Det ble løst ved at boret ble trukket noen cm tilbake. Dette medførte kraftige rykk og bevegelser i spuntrøret.

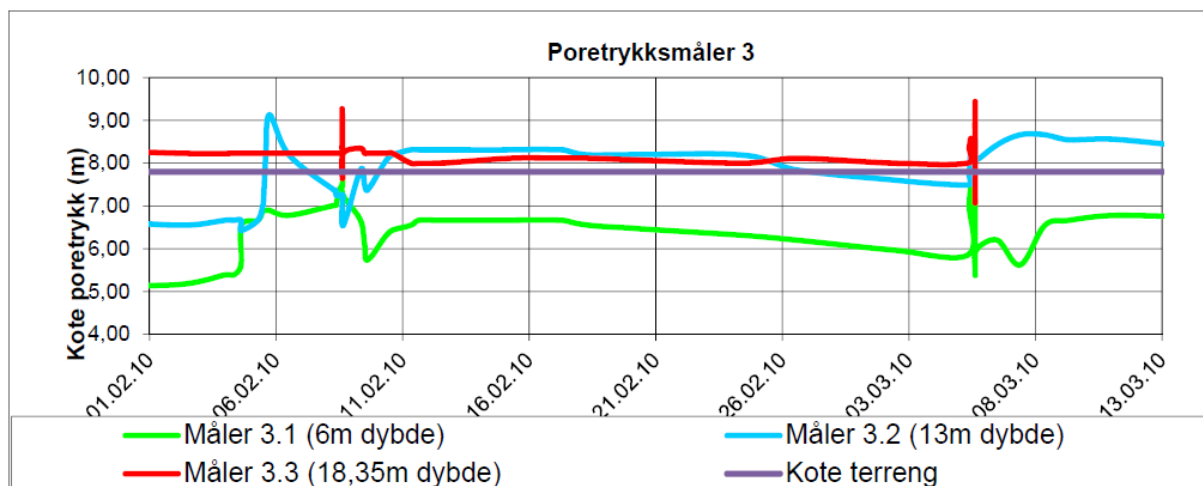
Når bergoverflaten ble nådd, ble det registrert at det kom opp luft på utsiden av røret, og terrenget fikk kraftige bevegelser i ca. 3 m diameter. Massene kom også opp av røret, ikke kontinuerlig men i støtt. Røret beveget også på seg, ca 0,5 m i foten, da innboringen i berg skulle starte. Under innboringen i berget avtok bevegelsene i terrenget rundt, men noe luft kom fortsatt opp på utsiden av røret. Dette rørsputforsøket ble betegnet som lite vellykket. Atlas Copco gjorde så en endring av borkronen, med et enklere og forbedret system for returluft, vist på figur 4-12.



Figur: 4-12: Modifisert pilotkrone (Rønning 2011)

Poretrykksmålingene underveis i boringen viste at den nærmeste måleren, 0,5 m fra rørsputen på dybde 6 m og 13 m, hadde en økning i poretrykket tilsvarende 2 m og 2,5 m

stighøyde. Etter at fronten på rørsputen hadde passert, falt poretrykket raskt med 1,0 m stighøyde. Se poretrykksavlesninger i figur 4-13.



Figur:4-13: Poretrykksavlesninger av poretrykksmåler 0,5m fra borpunkt. (Rønningen 2011)

Poretrykksmåler med tilsvarende dybder 7 m fra borpunktet viste vesentlig mindre utslag. Det viser at påvirkningen på massene rundt røret som følge av boringen var rimelig lokale. CPTU-sonderinger ble gjort tre dager etter boringen var ferdig. Disse sonderingene viste også at området rundt rørsputen som var omrørt var størst i avstanden 0,5 m fra borpunktet, med en mulig påvirkning i 2 m avstand, og ingen påvirkning i 4 m avstand.

Til tross for noen urovekkende målinger og observasjoner under rørsputforsøket ble fordelene med metoden vurdert større enn ulempene, og metoden med rørsput ble derfor valgt å gjennomføre.

Da boringen av rørsputveggen skulle starte viste det seg allikevel at metoden ikke lot seg gjennomføre. Låsefriksjonen mellom rørsputene var for stor slik at det ikke var mulig bore ned røret gjennom løsmasser med kun vannspyling og rotasjon. Løsningen ble derfor å vibrere ned rørsputen til berg/morene. Deretter ble massene boret ut og røret tømt ved hjelp av spyletrykk gjennom pilotkrona.

Det opplevdes underveis et større og større loddavvik på rørveggen. Dette ble forsøkt rettet opp ved hjelp av opprettingsnåler som ikke ble boret inn i berg.

Prosjektet oppsummerer i ettertid etableringen av rørveggen som vellykket. Men boring gjennom bløte masser, og luftboring i berg fremstod fortsatt som lite utviklet. Og har dermed et stort utviklingspotensial.

4.3.3 Senkehammer og ringborkrone, Robit borkrone

E18 Knapstad – Retvet, Hobøelva bru

I forbindelse med BegrensSkade prosjektet ble boringen ved Hobøelva bru kartlagt som et fullskalaforsøk. Kapittelet er hentet fra rapporten (Hauge m.fl, 2015).

Det ble installert 4 stk. elektriske poretrykksmålere med automatisk logging. To av poretrykksmålerne ble installert i ca. 36 m dybde i leire, og to ned til fastere masser ved ca. 42 m. Alle med ulik avstand fra pelen.

Løsmassene besto av tørskorpeleire (2-4m) over middels fast leire over bløt og sensitiv/kvikk leire. Ned mot berget viste boringer fast morene med tykkelse på 5-6 meter.

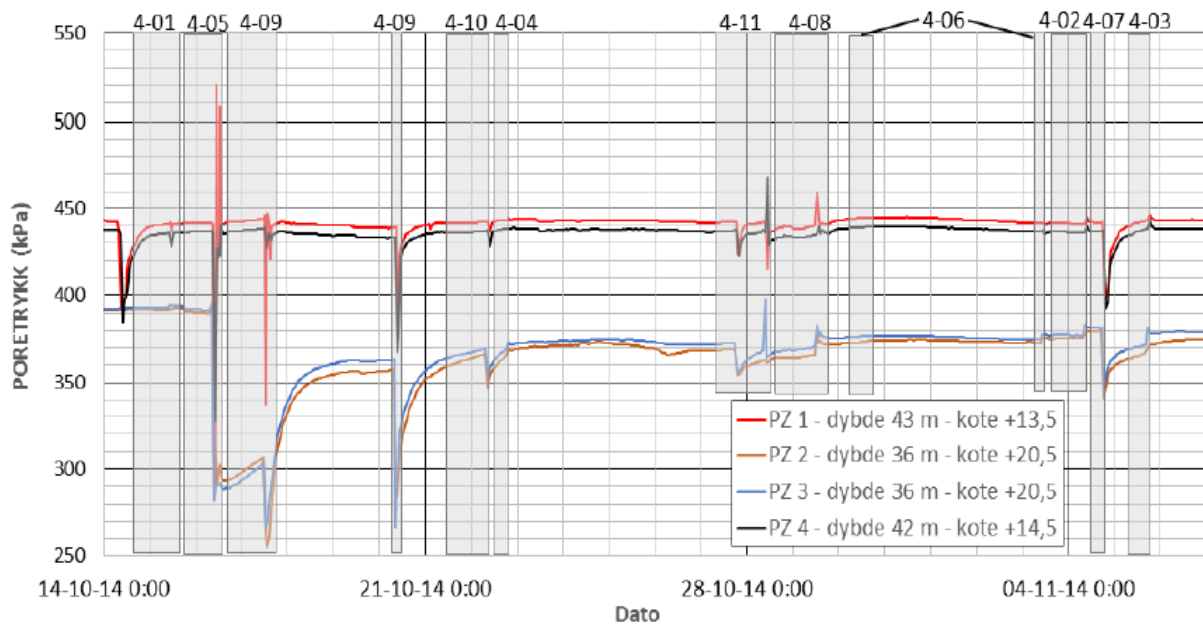
Boringen ble utført med senkehammer og ringkroner, og pilotkroner av typen Robit DTH-ROX+711/16, se figur 4-14. Det ble under boringen benyttet en kombinasjon av vann- og luftspyling gjennom hele pelens lengde. Spyletykket i leiren var ca 5-10 bar, og 10-20 bar i morene og berg. Borsynken i leira var 70-100 cm/minutt. Vanntilførselen var 250-350 l/min.



Figur 4-14: Borkrone benyttet under boringen, med angivelse av spylerettning (Hauge m.fl 2015)

Det ble under boringen målt betydelige reduksjoner og økninger i poretykket. Maksimal poretrykksreduksjon i leiren ble målt til 100-120 kPa. Denne målingen ble registrert på 36 m dybde. 42 m ned ble det målt en poretrykksreduksjon på 150 kPa. På dette tidspunktet var

borkronen nådd morene. I tillegg ble det ved et tidspunkt målt en poretrykksøkning i morenen på 80 kPa ved 43 m dybde i morene. Poretrykket registrert under boringen er vist i figur 4-15.



Figur 4-15 Registrerte poretrykksmålinger (Hauge m.fl 2015)

Det opplevdes også setninger på 45-50 mm som følge av boringen. Trolig skyldes setningene i hovedsak lokal erosjon og innsug av finstoff som følge av spyling med trykkluft i morenemassene.

5 Prosjektet

Kapittelet inneholder en presentasjon av Prosjektet Leksvik grense – Olsøy hvor rørboringsystemet Radial flush ble benyttet. Kartlegging av grunnforholdene, stabilitetsvurdering av kvikkleireskråningen og valg av peletype for prosjektet blir gjennomgått. Som følge av grunnundersøkelsene ble det gitt en bestemt rekkefølge for anleggsarbeidene, i tillegg til strenge krav til boringen av pelene. Disse kravene blir presentert. Videre beskrives gjennomføringen av boringen, undersøkelser og valg som ble gjort underveis.

5.1 Presentasjon av prosjektet

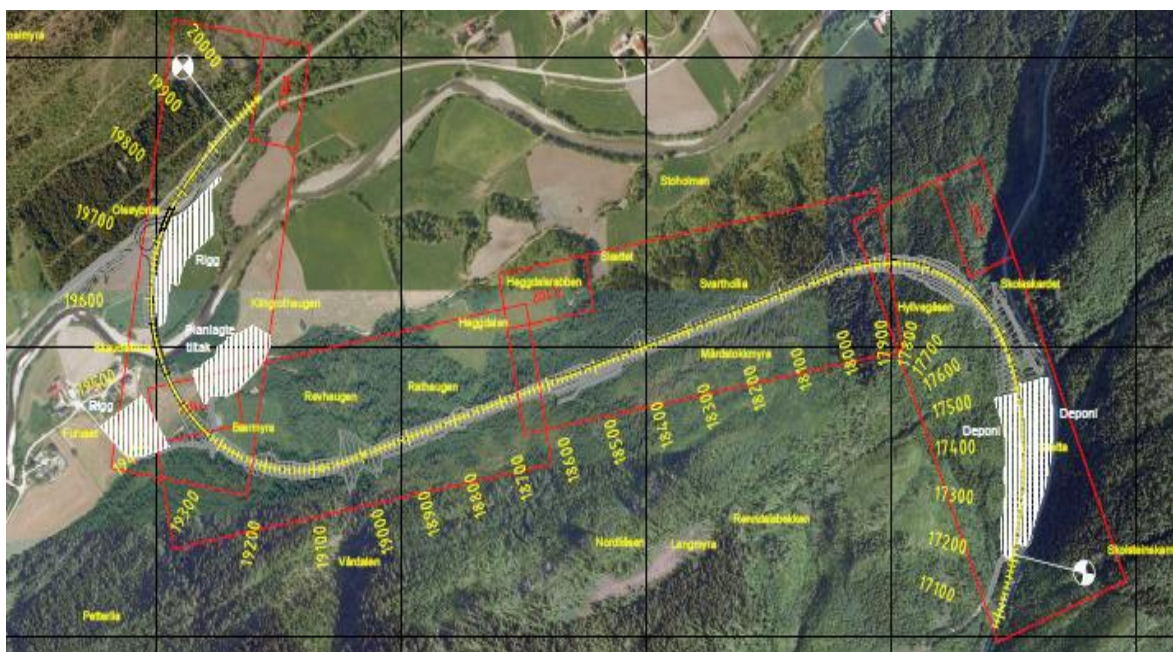
Statens vegvesen bygger på vegne av fylkeskommunene i Nord- og Sør-Trøndelag utbyggingspakken Foservegen. Utbyggingspakken Foservegene består av 18 delprosjekter fordelt i tre «delpakker». Alle prosjektene er prioritert i utbyggingsrekkefølge og godkjent av fylkeskommunene i Nord- og Sør-Trøndelag og alle berørte kommuner; Osen, Roan, Åfjord, Bjugn, Ørland, Agdenes, Rissa, Leksvik og Mosvik. Hensikten med utbyggingen er å bedre vegstandarden i regionen og korte ned reisetida til Trondheim. Kostnadsrammen for prosjektet er for delpakke 1 og 2: 1,375 milliarder kroner (2012-kroner). Delpakke 1, 2 og 3: 1,878 milliarder kroner (2012-kroner). Fylkeskommunene i Nord- og Sør-Trøndelag finansierer 25 prosent, og bompenger 75 prosent. Nord-Trøndelags bidrag av de fylkeskommunale midlene er 27 prosent og Sør-Trøndelags bidrag er 73 prosent. Oversikt over delprosjektene på figuren 3-1.

En av de mest interessante og utfordrende entreprisene er Leksvik grense – Olsøy. Den største utfordringen med prosjektet er bygging av veg og bru gjennom et kvikkleireområde.

Leksvik grense –Olsøy omfatter bygging av ny fv. 715. Denne kontrakten innebærer bygging av 3 km veg i hovedsakelig i jomfruelig, sidebratt og kupert terreng. I starten ligger vegen på fylling i myrterreng. Videre går den i sidebratt skogsterreng med store fjellskjæringer. Mot slutten bygges vegen over dyrket mark. I tillegg innebærer prosjektet bygging av to bruer, Skaudalbrua og Olsøybrua. Se oversikt over strekningen på figur 3-2. Byggeperioden for dette prosjektet var 1.9.2014- 17.12.2015.



Figur 5-1: Oversiktskart delprosjekter Fosenvegene

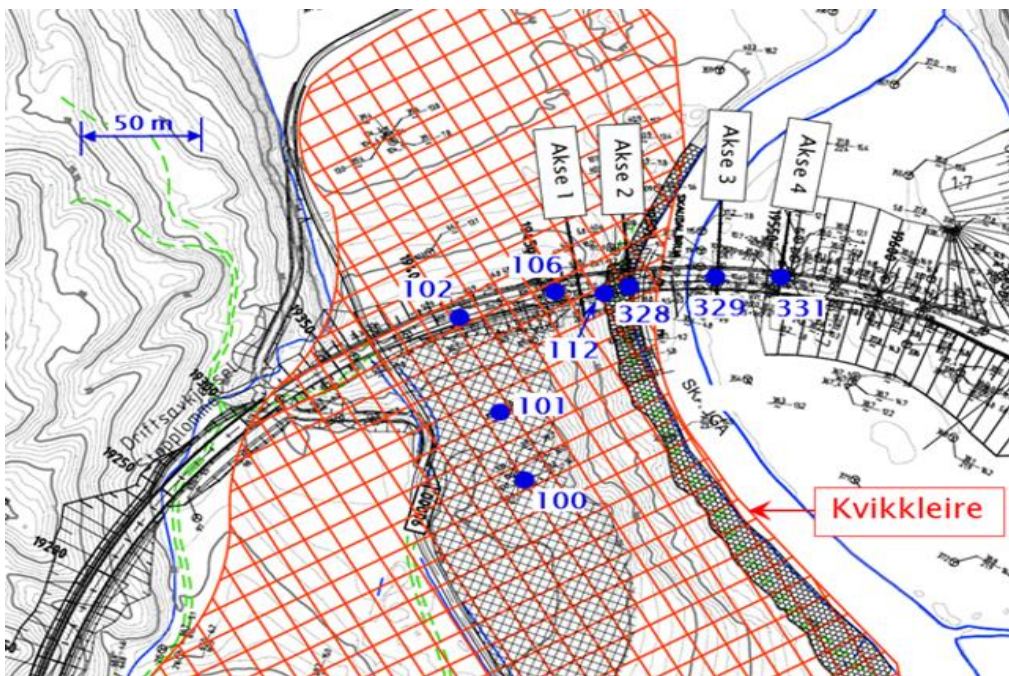


Figur 5-2: Oversiktskart Leksvik grense - Olsøy

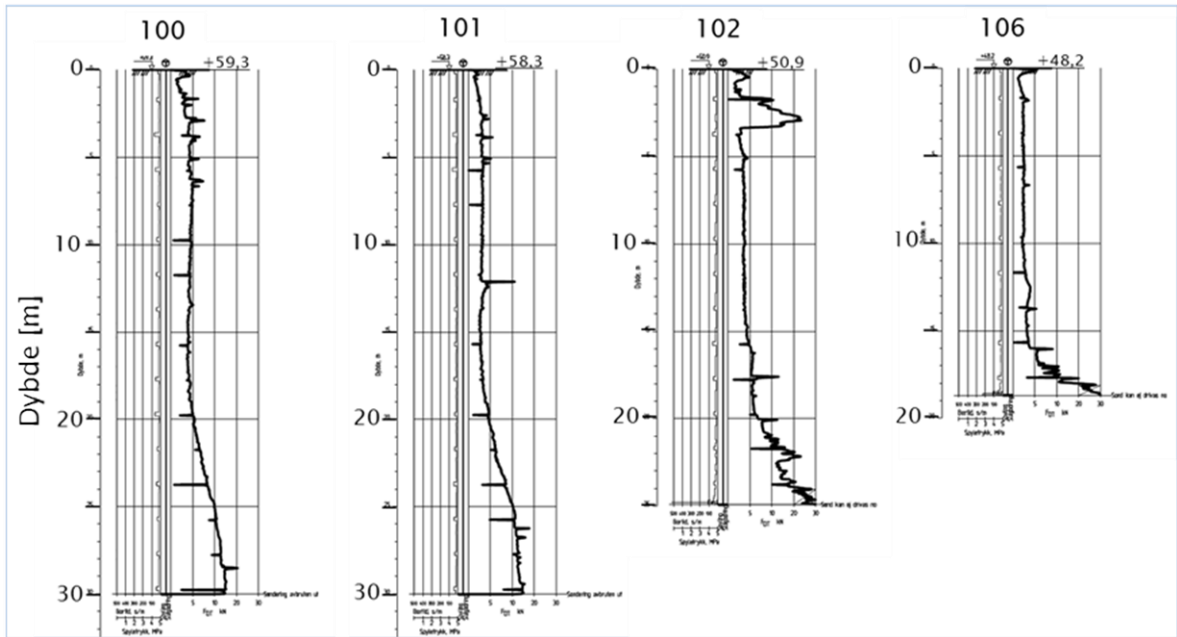
5.1.1 Grunnundersøkelser

Prosjektet hadde en del spesielle forhold knyttet til geoteknikk som måtte ivaretas gjennom prosjekteringen I første omgang ble det utført grunnundersøkelsene på hele prosjektet som omfatter totalt 73 totalsonderinger, 19 enkeltsonderinger, 10 trykksonderinger (CPTU), 11 grunnvannstandsmålinger, 26 poretrykksmålinger på 11 borpunkter samt opptak av 29 representative prøveserier fra 12 borehull.(Degago 2013) Disse markundersøkelsene er gjort på forskjellige tidspunkt i tidsrommet august 2011 - mars 2013.

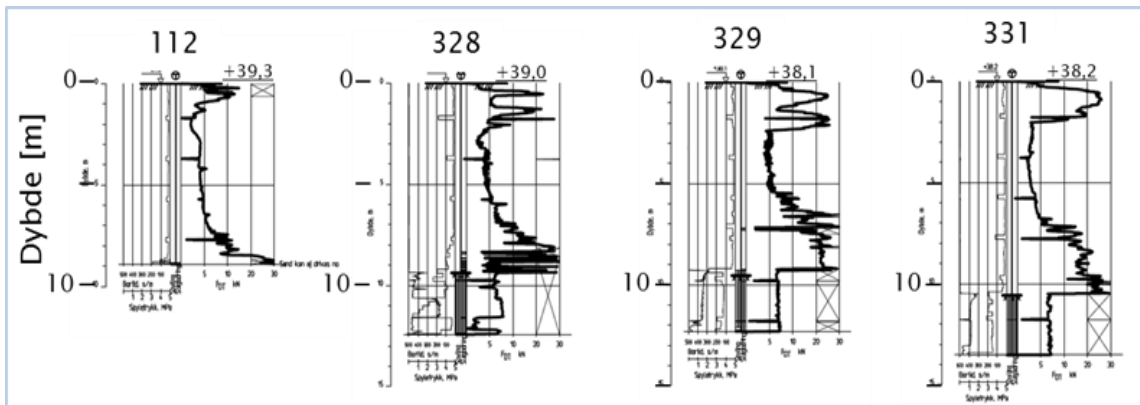
Da det ble påvist en større kvikkleiresone enn først antatt og påvist på skrednett.no, ble det i tillegg utført ytterligere grunnundersøkelser med fokus på den planlagte brua. Disse grunnundersøkelsene omfattet 8 totalsonderinger med fjellboring 3 m ned i berg (bp. 325-332), 3 totalsonderinger (bp. 351-353), 16 poretrykksmålinger på 5 borpunkter (bp. 10, 104, 106, 107 og 351), samt opptak av 36 representative prøveserier fra 10 borpunkt (bp. 106, 108, 111, 112, 116, 119, 325, 328, 329, 331) Noen av borpunktene er vist i figur 3-3, og totalsonderingsresultatene for disse punktene er vist i figur 3-4 og 3-5. Disse markundersøkelsene ble utført i perioden august- september 2013, og analysert oktober 2013. (Degago 2014)



Figur 5-3: Oversikt over utvalgte borpunkter (Degago m.fl. 2015)



Figur 5-4: Totalsonderingsresultater fra borpunkt 100, 101, 102 og 106. Plassering av borpunktene er vist i figur 3-3. (Degago m.fl. 2015)



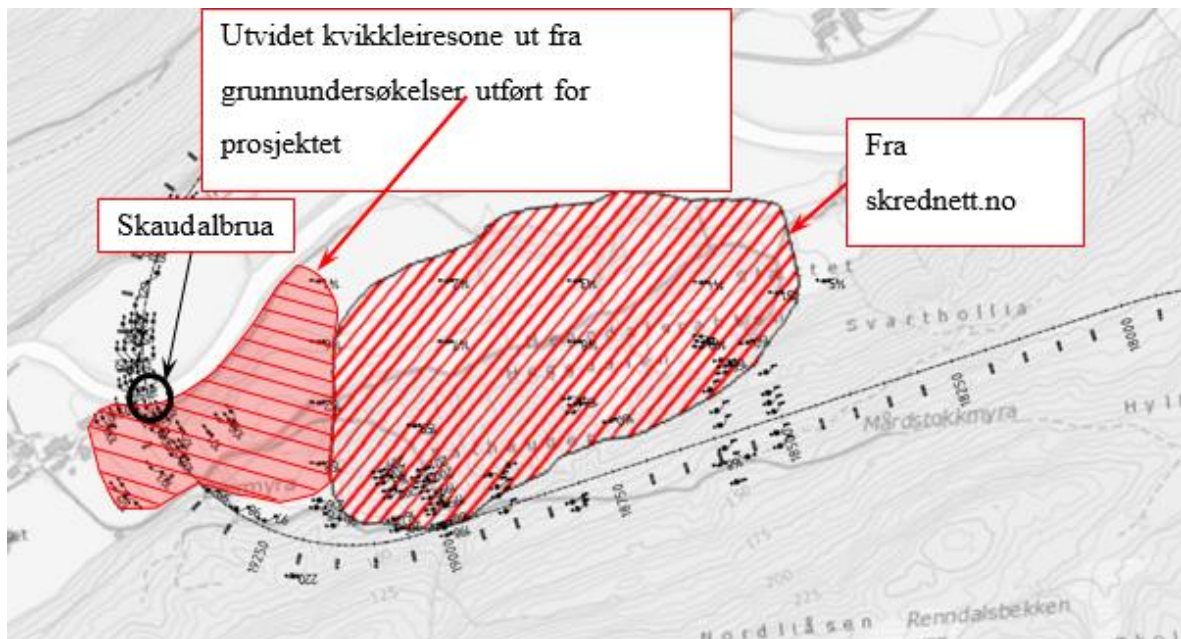
Figur 5-5: Totalsonderingsresultater fra borpunkt 112, 328, 329 og 331. Plassering av borpunktene er vist i figur 3-3. (Degago m.fl. 2015)

Grunnundersøkelsene viste at leira i området er preget av generelt høy skjærfasthet og høy overkonsolideringsgrad. Leira kan derfor beskrives som fast leire i naturlig tilstand. Leiren er likevel meget sensitiv, med en omrørt skjærstyrke på 0,5 – 2 kilopascal (kPa). Leiren må derfor betegnes som sprøbruddmateriale eller kvikk (omrørt skjærstyrke mindre en 0,5). (Degago 2014)

Generelt er området preget av et underhydrostatisk forhold med et høyt grunnvannstandsnivå i skråningen. Grunnvannspeilet ligger ca. 0,8 m under terrengoverflaten.

Ut fra de geotekniske grunnundersøkelsene ble det som vist i figur 3-6 påvist et større kvikkleireområde enn hva som var påvist på skrednett.no. Profil 18500 – 18950 går vegen

over berg og faste masser. Profil 18950 – 19500 går vegen i og i nærheten av kvikkleirelommen. Profil 19500 – 19950 går vegne over vanlig leire av varierende mektighet.



Figur 5-6: Kvikkleiresonene ut fra NVEs skrednett.no og utførte grunnundersøkelser (Degago 2014)

5.1.2 Stabilitetsvurdering av skråningen

Stabilitetstilstanden av skråningen ble vurdert med udrenerte og drenerte analyser. Det ble valgt kritisk snitt i flere retninger. Analysene viste at skråningen har en noe lav sikkerhetsfaktor i drenert tilstand og underhydrostatiske poretrykksforhold. Drenert analyse med hydrostatiskforhold ga en kritisk sikkerhetsfaktor på 1,07. Dette viser at underhydrostatiske poretrykksforhold i skråningen har bidratt vesentlig til stabiliteten av skråningen. (Degago 2014)

Analysene viser viktigheten av å unngå poretrykksøkninger under arbeidet med fundamenteringen til brua, og anleggsarbeidet generelt. Ut fra resultatene i analysene ble det bestemt at poretrykket skulle overvåkes kontinuerlig under anleggsarbeidet for å se til at arbeidet ikke førte til vesentlige poretrykksøkninger. Poretrykksforholdet ble også kontinuerlig målt i noen punkter for å se de naturlige variasjonene over tid. Målingene ble utført i perioden 15.10.2013 – 10.03.2014. Målingene utført i denne perioden danner grunnlaget for designlinjen, altså den øvre grensen for poretrykket brukt i drenerte beregninger. Målingene av poretrykket ble gjort på vinteren, derfor ble det valgt en designlinje som var høyere enn målte verdier. Dette for å ivareta eventuelle variasjoner for eksempel på sommeren og i anleggsfasen. (Degago 2014)

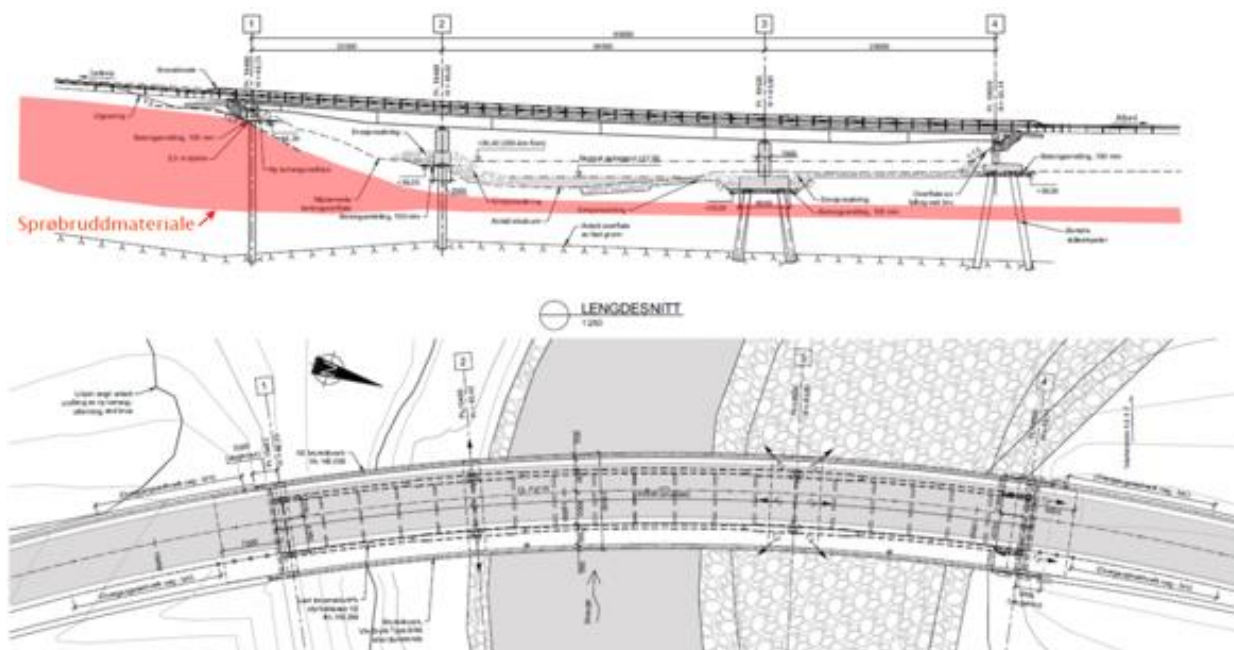
Materialkoeffisienten, γ_m , ble satt til 1,6 for totalspenningsanalyse (udrenert) og effektivspenningsanalyse (drenert). Denne sikkerhetsfaktoren er satt ut fra SVV sin HB 016, med tanke på konsekvensklasse og bruddmekanisme (sprøtt, kontraktant brudd). Områdestabilitetsvurderingen ble utført etter NVE sine krav til områdestabilitet. Sikkerhetsfaktoren for både totalspenningsanalysen og effektivspenningsanalysen ble satt til 1,4.(Degago 2014)

5.1.3 Valg av peletype

I forprosjektet for Skaudalbrua har det vært flere revisjoner av fundamenteringsløsningen til brua. Det ble først foreslått en løsning med 4 stk spissbærende stålørspeler i to linjer i alle akser. Diameter 600 mm i akse 1 og 4, diameter 800 mm i akse 3 og 4 Deretter ble brua utformet med 5 stk. og 6 stk. peler ved henholdsvis akse 1 og 2. Dette krevde 7 m og 4 m utgraving ved akse 1 og 2. Etter detaljert geoteknisk undersøkelse ble det avdekket at kvikkleirelaget ligger høyt opp i skråninga, henholdsvis 2,5 m ved akse 1, og 2 m ved akse 2. Se oversikt over grunnforholdene i alle aksene i tabell 3-1, og skisse over sprøbruddmaterialene i figur 3-7. Å muliggjøre slike utgravinger i denne type kvikkleireskråning krever et svært omfattende prosjekteringsarbeid og sikringstiltak, samt oppfølging ved utførelse. Derfor ble det bestemt å omprosjekttere bruas fundamenteringsløsninger med fokus på de kritiske aksene.

Tabell 5-1: Grunnforholdene i bruaksene. (Degago 2014)

Bruakse/profil	Nærliggende borhull	Løsmasse-tykkelse (m) (fjellkote)	Grunnforhold/lagdeling
Akse 1/19466	106, 325, 326	18,0 (+28,1)	0 - 3 m: Leire (2-3m, meget sensitiv) 3 - 9 m: Kvikkleire 9 - 18 m: Leire (9-12m, meget sensitiv)
Akse 2/19489	108, 11, 112, 327, 328	9,0 (+30,1)	0 - 2 m: Siltig sand/sandig grus. 3 - 7 m: Leire (2-5 m, meget sensitiv; et tynt kvikkleirelag på bp 111, dvs. 4-4,5 m) 7 - 9 m: Siltig sandig leire.
Akse 3/19528	116, 329, 330	10,1 (+28,4)	0 - 2 m: grusig sandig silt/sandig grus 2 - 6 m: Leire (2-4 m, meget sensitiv) 6 - 10,1 m: Siltig sandig leire.
Akse 4/19556	119, 331, 332	10,7 (+27,5)	0 - 2 m: siltig sand/ sandig grus. 2 - 7 m: Leire (2-5 m, meget sensitiv) 7 - 10,7 m: Siltig sandig leire.



Figur 5-7: Skisse over sprøbruddmaterialer ved brua. (Degago 2014)

Det var et tett samarbeid med brukonstruktører slik at brua ble dimensjonert med hensyn på aktuelle geotekniske aspekter. De viktigste geotekniske begrensningene som måtte tilfredsstilles er vist i sammendraget (Degago m.fl 2015) nedenfor sammen med tilsvarende betraktninger.

- 1 Utgraving tilknyttet til brufundamentering må være begrenset til 2,5 m. ved akse 1 for å unngå utgraving i kvikkleire. Det skal heller ikke være utgraving ved akse 2 for ikke å forverre stabiliteten av hele skråningen.
- 2 Pelene til brua bør ha symmetri og helst være vertikal i retning langs brua, spesielt ved akse 1 og 2. Det skal benyttes minst mulig antall peler ved akse 1 og 2. Dette innebærer å se bort fra akse 1 som fastpunkt til brua.
- 3 Fundamentering til brua bør ikke føre til massefortrengning og betydelig poretrykksøkning. Derfor er det valgt å fundamenter brua med borede stålrørspeler og pelene skal etableres ned i berg. Det skal benyttes boreutstyr som er mest mulig skånsomt for kvikkleire ifm. poretrykksoppbygging.
- 4 Utførelsen av peler bør ikke kreve, relativt sett, tunge maskiner. Derfor er det valgt pel diameter mindre enn 1 m.

Med hensyn på disse punktene ble det etterhvert kommet frem til en løsning med mindre gravedybde under fundamentene for å unngå graving i sprøbruddmaterialene. Det førte til at landkaret i akse 1 ble fjernet, og pelefundamenteringen ble endret fra lukkede peler til åpne borede stålrørspeler i alle aksene.

5.1.4 Anleggsrekkefølge

Som følge av grunnundersøkelser og beregninger, samt at potensiale for skred er tilstede, ble det bestemt at anleggsarbeidet måtte foregå med en bestemt rekkefølge. Denne anleggsrekkefølgen er et resultat av alle rapporter utarbeidet i forbindelse med byggeplanen ble gjennomgått av geoteknikker og byggeledelsen på prosjektet. Deretter ble punktene for anleggstrekkfølgen utarbeidet slik at de skulle være lett forståelig for alle involverte i prosjektet. Denne kommunikasjonen og gjennomgangen mellom geoteknikker og byggeledelse i forkant av byggingen er viktig. Byggeledelsen på prosjektet må ha fullstendig forståelse av hensikten med punktene som skal gjennomføres. Nedenfor er anleggsarbeidene presentert med samme rekkefølge som de måtte gjennomføres i byggefasen.

1. **Erosjonssikring av skråning:** Erosjonssikring av sprengtstein legges ut i et ca 5 m bredt belte. Fra elvebunn til toppen av eksisterende driftsveg (min. kote +40). Sikringen legges utenpå eksisterende terreng. Tillates ingen graving i dette området.
2. **Midlertidig motfylling ved akse 2:** Etter utført erosjonssikring(pkt1.) skal det legges ut en 60 m bred motfylling ved brukse 2, opptil kote +41.
3. **Terrengavlastning:** Området ovenfor skråningen skal senkes 1,5 m. Utgravingen skal utføres med en lett gravemaskin og med trinnvis utgraving der maks. 0,5 m jord er utgravd over hele skjæringsarealet. Det tillates ingen mellomlagring i dette området. Massene må derfor lastes direkte på bil og fraktes ut av området. Aktiviteten må ikke føre til en trafikklast på mer enn 13 kPa.

3.1 Matjord graves opp og transporteres til midlertidig deponi

3.2 Terrengset senkes så 1,5 m. Dette utføres i 3 operasjoner, hvor 0,5 m graves ut om gangen. Hele arealet skal være utgravd 0,5 m før neste lag på 0,5 m kan graves ut.

3.3 Matjord transporteres tilbake og planeres utover det avlastede terrenget.

Når tiltak 1 og 2 er utført kan også fyllingen nord for Skauga (P19550->) påbegynnes.

4. **Utgraving ved akse 1:** Utføres ihht. Graveplan K611 og K612.
1. **Installering av peler ved akse 1:** Under installering av peler må trykket fra pelemaskinen ikke overskride 40 kPa. I tillegg er det svært viktig å benytte boreutstyr som er mest mulig skånsomt for kvikkleire i forbindelse med poretrykksoppbygging.
2. **Installering av peler ved akse 2:** Under installering av peler må trykket fra pelemaskinen ikke overskride 40 kPa. I tillegg er det svært viktig å benytte boreutstyr som er mest mulig skånsomt for kvikkleire i forbindelse med poretrykksoppbygging.
3. **Ferdiggjøre bygging av vegstrekingen på toppen av skråningen**
4. **Fjerne midlertidig motfylling**

5.1.5 Forslag om endret installeringsmetode for pelene

I kontrakten til prosjektet var det beskrevet boring av pelene etter RC-metode, med komplett RC-borutstyr. Dette fordi boringen ikke skulle føre til massefortregning eller økning av poretrykket utenfor peletversnittet. Entreprenøren på prosjektet kom med forslag om å endre pelemetod. Denne pelemetoden gikk ut på at stålrør presses gjennom kvikkleiren og bankes/vibreres ned i morenemassen. Rør tømmes ved grabbing, og tømming til fjell fullføres. I bunnen av røret støpes en propp med høyde på 0,5 m. Deretter bores foringsrør inn i fjell. Entreprenøren henviste til at denne metoden hadde vært benyttet ved bygging av ny motorvegbru på E18 i Drammen. I teknologirapporten (Tvedt 2006) skrevet av byggherre i etterkant av dette prosjektet beskriver de denne typen av peling. I følge teknologirapporten gikk selve rammingen av stålrørene rimelig raskt. Mens grabbingen av massene innvendig i stålrørene var en tidkrevende prosess. De oppstod også problemer med bunnoppressing når pelene ble stående for lenge uten at betongpropp ble støpt.

I håndbok V220 står det at ved denne type installering av peler er det viktig at faste topplag grabbes ut før borerøret presse under grabbenivå, spesielt ved bløt sensitiv leire. Dette for å unngå at faste topplag danner en propp som medfører massefortregning og reduksjon av leirens skjærstyrke, noe som øker problemer med utstøpingen pga. bunnoppressing. I kvikkleire vil det ved pressing av rør dannes en sone med flytende leire på utsiden av røret. Om røret treffer stein som forskyves, vil dette føre til ekstra omrøring. Da kan det være nødvendig med en tyngre veske enn vann i røret.

Selv om det i teknologirapporten for E18 i Drammen beskrives noen problemer, må metoden med ramming og grabbing av stålrørene betegnes rimelig vellykket for dette prosjektet. Byggherre minnet om at selv om det var forekomster av kvikkleire i noen akser for Drammensbrua, kunne ikke prosjektene direkte sammenlignes. Kriteriene for et ras var ikke på samme nivå for pelingen for Drammensbrua i forhold til Skaudalbrua. Dette forslaget ble derfor ikke godkjent av byggherre på Skaudalbrua ettersom denne løsningen ikke virket å gi bedre kvalitet og høyere sikkerhet for dette prosjektet i forhold til beskrevet RC-boring.

5.1.6 Senkehammer med ringborkrone, Radial flush

Da forslag om ramming og grabbing ble forkastet av byggherren, kom entreprenøren med et forslag nummer to. Forslag var å benytte et borsystem med senkehammer og ringborkrone, kalt Radial flush. Borsystemet var ikke benyttet på norske veganlegg tidligere, og borsystemet ble presentert av en finsk underentreprenør. Boreutstyret består av pilotborkrone, ringborkrone og boresko, se 5-8 og figur 5-9. Boresko er en forstrekningsring som på den ene enden er sveiset til stålrøret og på den andre enden har ringborkronen festet på. Ringborkronen har litt større diameter enn røret, og pilotkronen kobles mekanisk inn på ringborkronen før boring starter. Ringborkronen og pilotkronen roterer sammen under boring gjennom løsmasser og inn i berg. Etter at boring er avsluttet blir ringborkronen igjen i grunnen sammen med pelen (derfor er den også kalt for engangskrone). Pilotkronen løses ut og trekkes opp ved venstre rotasjon av borestrengen.



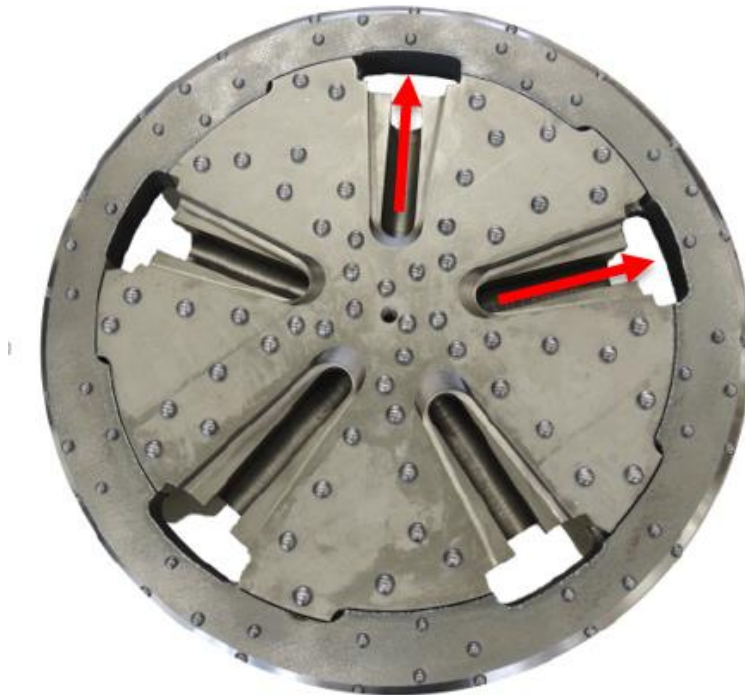
Figur 5-8: Radial flush borkrone benyttet under boringen (Foto Samson Degago)



Figur 5-9: Ringborkrone og forstrekningsring sveiset til føringsrøret (Foto Henrik Tømmervik)

Det mest kjente systemet for slik type boring av peler i Norge er tidligere presenterte Elemex. Elemex er et produktnavn for en spesifikk utforming av borutstyret og borkronen. Radial flush er utviklet rundt det samme prinsippet som Elemex, men det er i hovedsak utformingen av kanalene for retur av spyletrykk og utboret masse i borkronen som er forskjellig.

Radial flush metoden ble fremstilt av entreprenøren som en forbedret versjon av Elemex. På Elemex kommer luftstrømmen ned i en side, og følger kanalene over borkronen, og opp på motsatt side. Radial flush er utformet på den måten at luftstrømmen kommer ned i senter av borkronen, og fører luftstrømmen radially i kanaler ut til kanten av borkronen, og videre opp mellom borestreng og føringsrør. Bilde av borkrone og retning på luftstrømmen i figur 3-10.



Figur 5-10: Utforming Radial flush borkrone, retning på luftstrøm (Tilsendt av entreprenør)

Da byggherren bare hadde erfaring med Elemex fra tidligere, ble det bedt om mer informasjon rundt Radial Flush. Byggherre ble da satt i kontakt med en representant fra Welltech i Finland. Han hadde jobbet med utviklingen av både Elemex og Spiral flush. Selv om han ikke hadde jobbet direkte med utviklingen av Radial flush, hadde han god kjennskap til systemet som er utviklet av Tri-Mach.

Han fremstilte (epost, 25. november 2014) Spiral flush og Radial flush som videreutviklede system i forhold til Elemex. Hans erfaring var at disse systemene fungerte like bra eller bedre enn Elemex. Spiral flush borkronen er utformet med spiral lignende kanaler for luftstrømmen i front av borkronen.se figur 5-11. Lufttrykket kommer ned i senter av borkronen, og ledes ut til kanten av borkronen og opp til overflaten mellom foringsrør og borstreng



Figur 5-11: Spiral flush borkrone (PPV Finland product katalog)

Radial flush og Spiral flush fører luftstrømmen radiallyt over borkronen som følge av at hullene hvor trykket kommer ned er vinklet horisontalt med borkronen, mens det pga. vinkelen på hullene på Elemex borkronen kan være større fare for at noe luft kommer ut i massene foran og rundt borkronen.

Det ble henvist til en stor utbygging i Hong Kong, og metro systemet der. MTR, Metro transport company, er en stor byggherre i Hong Kong, og de satte visse kriterier til borsystemer som skulle benyttes ved deres anlegg. Disse kriteriene var at lufttrykket ikke skulle «rømme» ut i massene rundt borkronen, og ringborkronen skulle være foran pilotkronen for å sørge for at luftkanalene i pilotborkronen ikke førte luft ut i massene på siden av borkronen. Elemex var det første systemet som oppfylte disse kriteriene, og etter introduksjonen av Spiral flush og Radial flush har også disse to systemene blitt godkjent av MTR i Hong Kong. På grunnlag av diskusjoner og dokumentasjon av Radial flush metoden gikk byggherre med på å endre bormetode fra komplett RC-boreutstyr til senkehammer og ringborkrone systemet Radial flush.

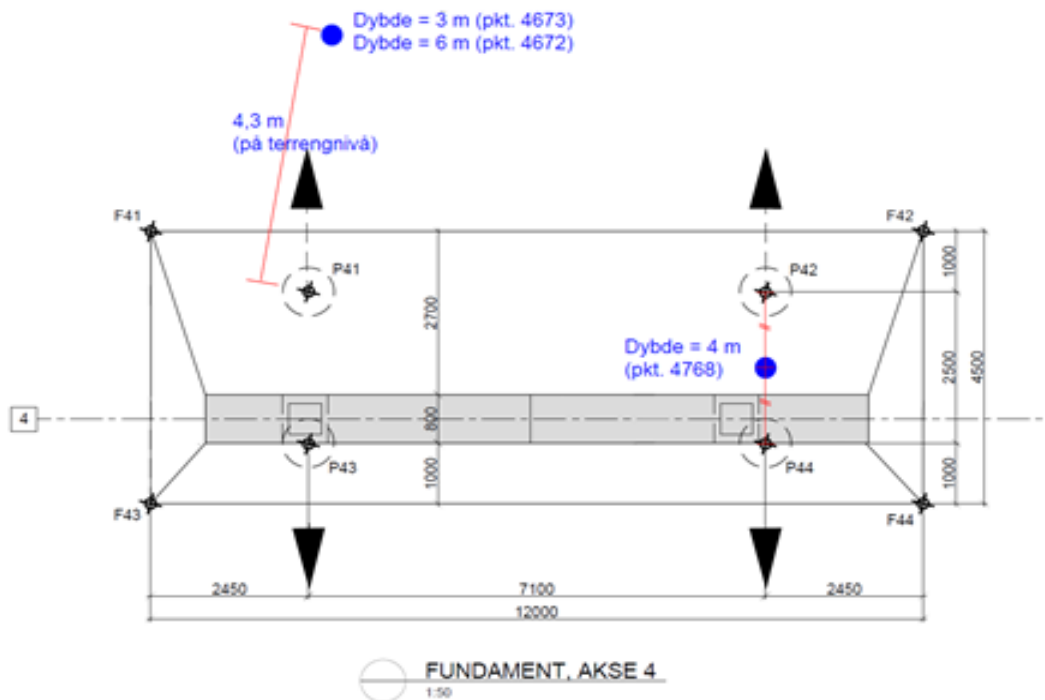
5.2 Gjennomføring av boringen/undersøkelsene

5.2.1 Akse 3 og 4

Plan for poretrykksoppfølging og vibrasjonsmålinger

Vibrasjonsmåler og poretrykksmålere var installert i akse 3 og 4 for å overvåke påkjenningen pelingen hadde på omgivelsene rundt. I akse 3 og 4 var det ikke kvikkleire, men målingene ble gjort for å få en erfaring av hvordan pelemetoden fungerte før det ble startet peling i aksene 1 og 2 hvor det var kvikkleire.

I akse 3 var det ikke installert poretrykksmåler, men der var installert vibrasjonsmåler etter NS814-3:2014. Måleren var plassert i en avstand på ca. 10 meter fra senter pelegruppe. I akse 4 var det plassert ut to målepunkt for poretrykk, med tre forskjellige dybder. Poretrykksmåler 4768 ligger midt mellom Pel 42 (P42) og pel 44 (P44). Denne poretrykksmåleren er installert på 4 m dybde. Poretrykksmålere 4672 og 4673 er plassert i en avstand på 4,3 m fra pelesenter i P41, og med henholdsvis dybdene 6 m og 3 m. Plasseringen er vist i figur 5-12.



Figur 5-12: Plassering av poretrykksmålere i forhold til pelene

Boringsrekkefølgen i akse 4 var P44, P42, P41 og P43. Det ble gjort poretrykksmålinger under installeringen av tre pelere. Det var pelene P44, P42 og P41.

Poretrykksmålerne skulle avlese manuelt, og loggføres for å se hvilke påkjenninger boringen hadde på grunnen. Det var i tillegg en automatisk logging av poretrykket registrert av disse målerne. Den automatiske loggingen kunne ikke gjennomføres oftere enn hvert 5. min. dermed var en manuell logging av poretrykket nødvendig for å få en best mulig avlesning.

Hendelsesforløpet

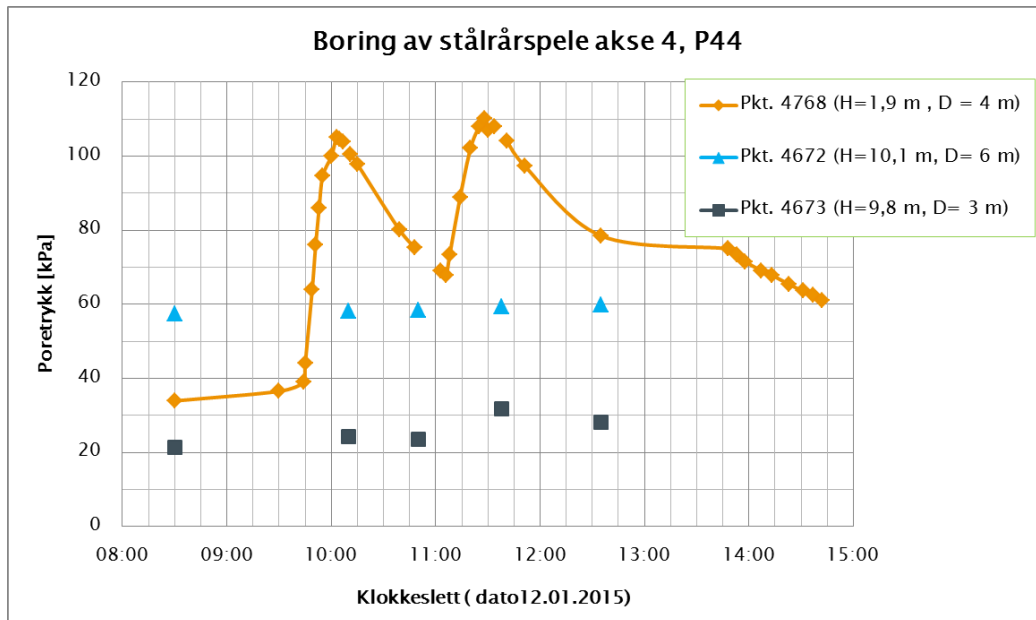
Anleggsarbeidene med pelene startet den 07.01.2015. Da var tilriggingen ferdig, og selve boringen av pelene startet. Det var bestemt at peling skulle starte i akse 3, og deretter akse 4. Dette fordi det i disse aksene ikke var kvikkleire, og pelingen her ikke var like kritisk med tanke på poretrykksoppbygning og vibrasjoner. Grunnvannspeilet i akse 3 og 4 lå på 0,5 m. under terreng, og poretrykksfordelingen er tilnærmet hydrostatisk.

Vibrasjonsmålingene under boringen av første pel i akse 3 viste en maksimal rystelse på 27 mm/s. Denne verdien ble målt helt i starten da det ble boret gjennom steinputen som var lagt ut for oppstillingsplass til peleriggen. Ut fra disse observasjonene av rystelser ble det bestemt at for videre peling måtte steinlagte fjernes i pelepunktet for å unngå de største rystelsene. Når steinlagte ble fjernet i resterende pelepunkter i akse 3, ble rystelsene minimale. Figur 5-13 viser boreriggen under boring.



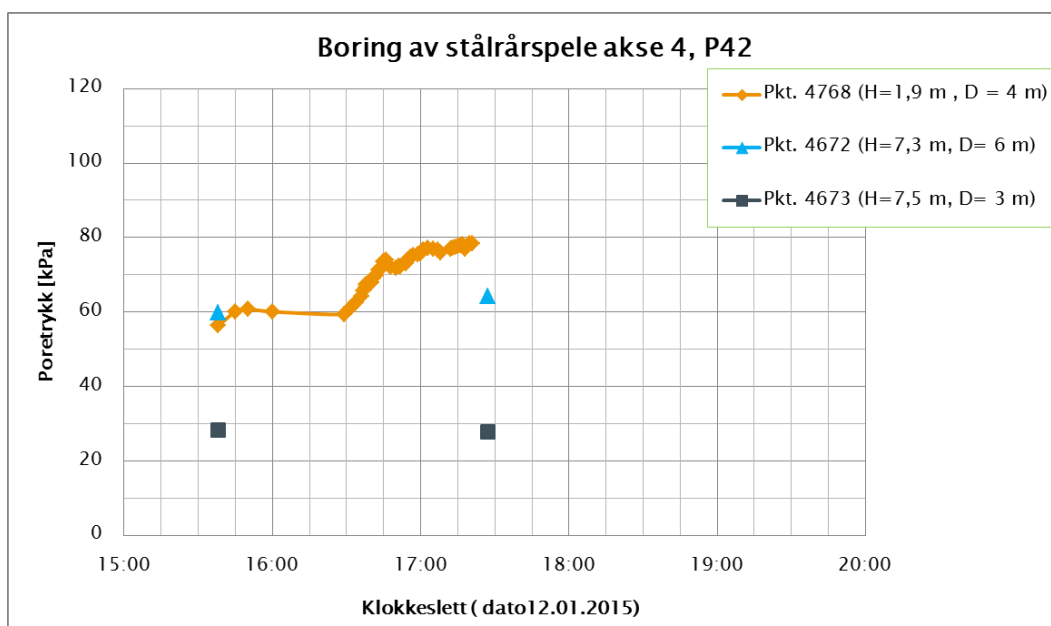
Figur 5-13: Boreriggen under boring (Foto Henrik Tømmervik)

Boringen i akse 4 startet med P44. Boringen her førte til økning i poretrykket på opptil 70 kPa. Det virket som mye av lufttrykket og borkakset ikke kom i retur, men ble presset ut i massene rundt borkronen. Avlest poretrykk er vist i figur 5-14.



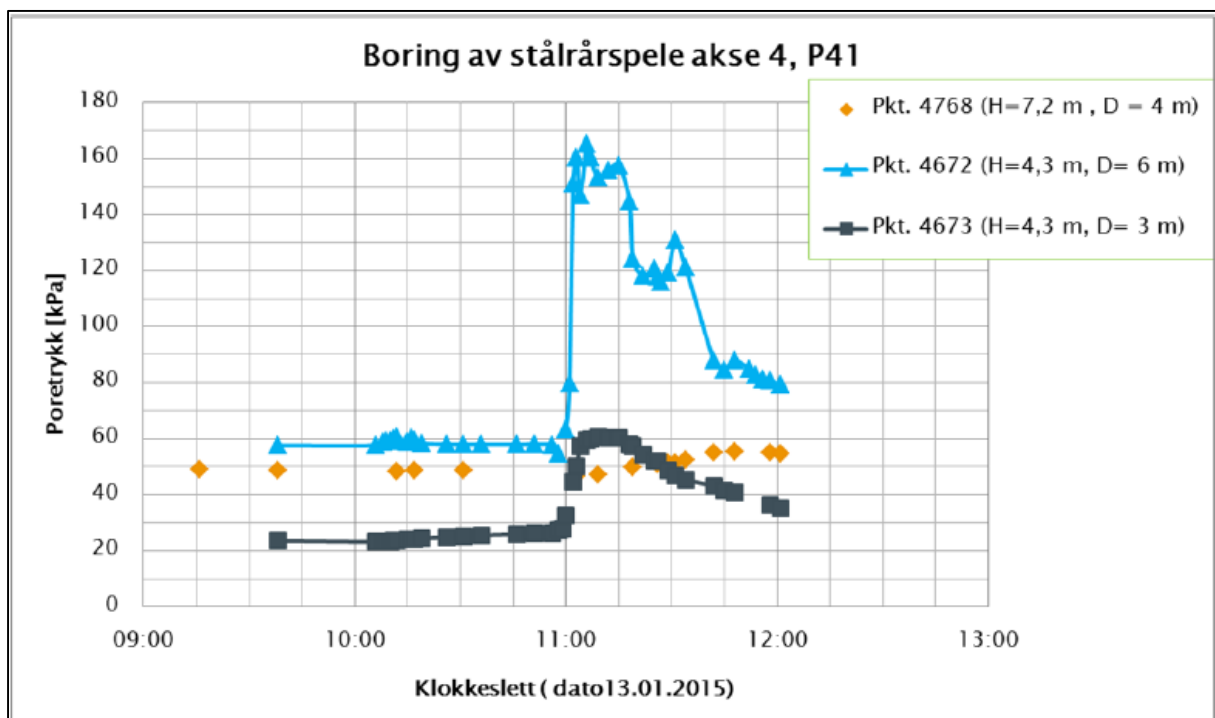
Figur 5-14: Diagram over poretrykket, P44. H= horisontal avstand fra pelesenter til målingspunkt på terrengnivå. D=dybden

Boringen i P42 fremstod som mer skånsom i forhold til P44. Mer av massene kom opp sammen med lufttrykket, og poretrykksøkningen var på maksimalt 20 kPa. Avlest poretrykk vist i figur 5-15.



Figur 5-15: Poretrykksmålinger fra boring av P42

Ved installeringen av P41 ble det observert at masser ikke kom opp av foringsrøret, men ble presset ut i omgivelsene rundt røret. Det ble observert påvirkning av bakken ved pel P44, 7,5 meter unna. Som følge av «rømt» luft og massefortregning «kokte» det rundt P44. Dette viste at et større område rundt pelen ble påvirket av pelingen. Poretrykksmålingen som ble gjort viste en meget stor økning i poretrykket. På det meste ble det målt en økning i poretrykket på 100 kPa på poretrykksmåleren med horisontalavstand 4,3 m. og dybde 6 m. se figur 5-16.



Figur 5-16: Poretrykk under boring av P41

Under pelingen i akse 3 og 4 ble det bare brukt luft i boringen, og ikke vann slik som beskrevet i kontrakten for boring i bløt- og kvikkleire. Det ble brukt tre luftkompressorer som hver leverte 35 bar.

Erfaringer etter endt peling i akse 3 og 4.

Pelingen i akse 3 viste at vibrasjoner ikke var en kritisk faktor for boringen, så lenge boringen startet på opprinnelig terreng. Men måling av poretrykket ved pelingen i akse 4 viste at poretrykket var en kritisk faktor. Pelingen opplevdes som lite skånsom, og poreoppbygningen var stor som følge av massefortregning og «rømt» luft. Det var tydelig at massene tettet seg i borkronen og mellom borestreng og foringsrør, slik at massene ble presset ut i området rundt.

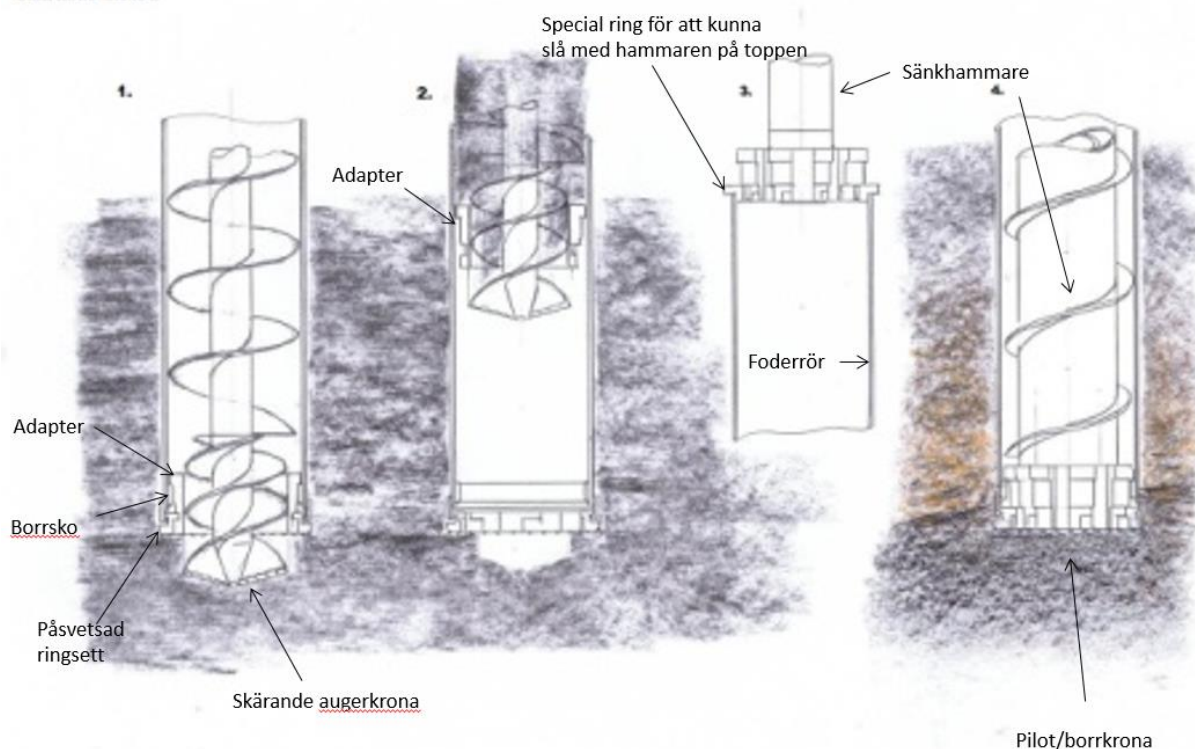
Erfaringer som ble gjort som følge av målinger og observasjoner under pelingen i akse 3 og 4 kan oppsummeres slik:

- Målingen av vibrasjoner i akse 3 viste at vibrasjonene ikke var kritiske for gjennomføringen av pelingen så lenge steinlagte i toppen blir fjernet før boring, slik at boring starter på opprinnelig terreng.
- Under boring av P44 og P41 kom lite av tilført luft tilbake gjennom røret, og det førte til en høy poretrykksøkning, dvs. 70 kPa og 100kPa. Under boring P41 kom det luft på utsiden av pelen og nabopelene P44 og P42. Dette skyldes nok blokkering i borkronen.
- Boring av P42 gikk greit i forhold til de P41 og P44. Det ble observert at returluften kommer opp fortløpende på innsida av røret. Likevel ble det målt poretrykksøkning på 20 kPa. Det tyder på at ikke all luft kommer i retur.
- Jordmasser som kommer opp under boring gjennom løsmasser ser betydelige mindre ut enn tverrsnittet av pelen. Dette indikerer massefortrengning. Dette kan skyldes de små åpningene for retur av luft og utboret masse i borkronen, og det smale/trange rommet mellom borkronene og røret. Det virket som det ble tettet igjen av leire. Dermed kom ikke luften og massene i retur opp pelen, men ut i massene rundt pelen.

Bormetoden ble valgt for å unngå store poretrykksoppbygninger. Etter at pelingen var ferdig i akse 3 og 4, viste det seg at bormetoden ikke oppfylte kravene til skånsom boring

Da pelingen var ferdig i akse 3 og 4 ble arbeidet derfor stanset midlertidig for å vurdere hva som kunne gjøres for å gjøre pelingen mer skånsom. Det ble arrangert møter med de involverte partene hvor løsninger ble diskutert.

Byggerherren stilte seg kritisk til om tilbudt metode ville funger som beskrevet. Flere løsninger ble diskutert, og entreprenøren kom da frem med enda en alternativ metode for skånsom boring gjennom de kritiske lagene i akse 1 og 2. Den metoden gikk i korte trekk ut på å benytte et auger bor (jordbor) inne i føringsrøret for å bore ut massene. Denne auger kronen var tilpasset ringborkronen på føringsrøret. Auger kronen ville da presse ned føringsrøret samtidig som augeren boret massene opp og ut av røret. Når boringen var fullført til fjell, skulle auger kronen byttes ut med opprinnelig borkrone. Metoden vises i korte trekk i figur 5-17.



Figur 5-17: Prisnippskisse fra entreprenøren på foreslått boremetode med auger (jordbor) (skisse tilsendt av entreprenør)

Denne metoden ble forkastet av byggherre da det var for mange usikkerhetsmomenter med denne metoden i slike utfordrende grunnforhold. Når kvikkleiren blir omrørt av augeren vil den bli rimelig flytende. Byggherren var derfor usikker på om augeren klarte å transportere massene opp av foringsrøret slik som tiltenkt. Faren for massefortrengning var stor. Samtidig var det uheldig å starte på nytt med en ny metode. Denne metoden krevde også en lengre stopp i pelearbeidet for å utarbeide denne augeren som var tilpasset ringborkronen i disse dimensjonene. Et kostnadsoverslag på bytte av metode ble ikke gjort, men ved endringer å lang tidsbruk, viser erfaringer generelt i prosjekter at påløpte kostnader kan bli store.

Entreprenøren uttrykte også bekymring for stabiliteten av skråningen i akse 1 når peleriggen måtte stå helt på kanten av kvikkleireskråningen for å bore. De hadde flere forslag for å øke stabiliteten under peleriggen. Entreprenøren foreslo å installere micropeler ned til fjell under peleriggen for å få en bedre stabilitet. Det ble også foreslått av entreprenøren å fylle ut en steinfylling i skråningen mellom akse 1 og 2 slik at peleriggen kunne stå på denne steinfyllingen under pelingen. De mente samtidig denne fyllingen ville fungere som en ekstra motfylling.

Byggherre minnet om at sikkerhetsfaktoren for skråningen var beregnet til 1,66, det vil si at det var god margin for bæreevnen av peleriggen ved bruk av stokkmatter, så lenge leiren ikke ble omrørt som følge av pelearbeidet. De foreslåtte tiltakene ble likevel gjennomgått.

Micropeler ble forkastet pga. kompleksitet med innstalleringen, samt kostnader. Steinfylling i skråningen ble det gjort en rask beregning på. Av beregningene kom det frem at en slik fylling ikke ville øke stabiliteten av skråningen om det ble bygd opp raskt. Poretrykket vil gå opp når fyllingen etableres, og det kunne gå mange uker før poretrykket var nede på opprinnelig nivå. Byggherre uttrykte også bekymring ved å bygge en fylling i foten av en skråning med lavt poretrykk. Ved legging av steinfylling i en slik skråning må også vannstrømningen, og ikke bare det statiske poretrykket tenkes på. En slik fylling kan føre til sammenpressing av dreinsveier i dybden, med det resultat at det kan strømme mindre volum vann ut. Dersom vannstrømmen inn i området blir større en vannstrømmen ut av området endres volumforholdet, og poretrykket vil kunne stige. Det er underhydrostatisk poretrykksforhold i skråningen, og en endring til hydrostatisk, eller høyere, ville være uheldig. På grunn av for mange usikkerheter rundt beregningene, og at slike beregninger ville kreve 3. parts kontroll, ble det konkludert med at en slik fylling ikke var aktuell å etablere.

Det ble enighet om å etablere en steinfylling på opprinnelig oppstillingsplass for pelerigg i akse 1. Steinfyllingen skulle bygges opp med 0,7 m tykkelse, med geonett under og stokkmatter på toppen.

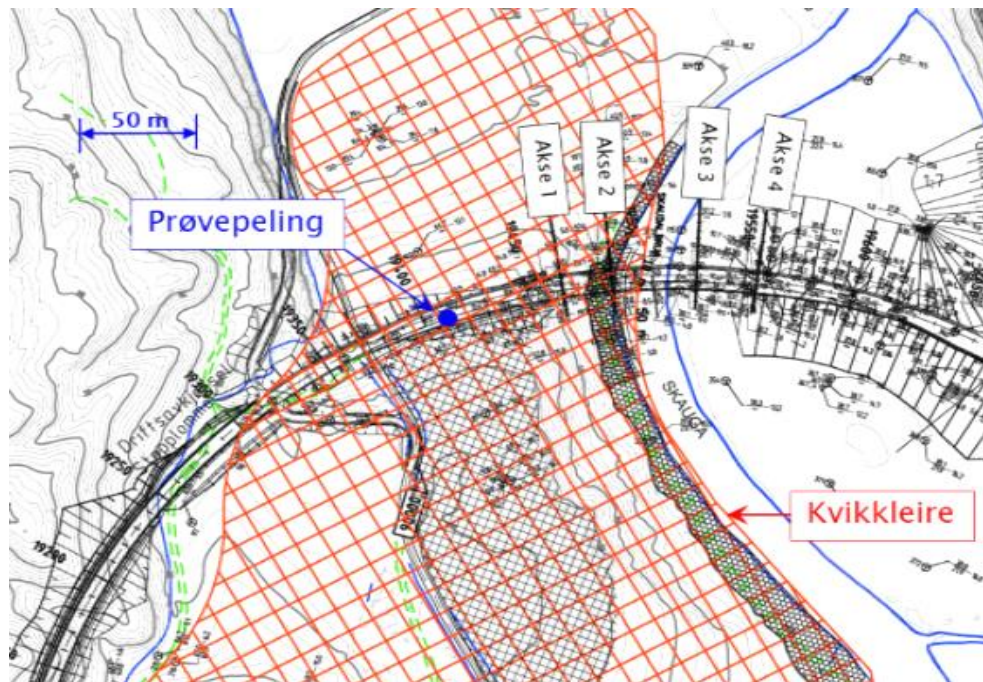
Konklusjonen ble at Radial flush metoden skulle benyttes også i akse 1 og 2, men med noen forbedrende momenter. I disse aksene skulle poretrykket overvåkes kontinuerlig. Ved forhøyet poretrykk ut over akseptable verdier måtte boringen stoppe umiddelbart. Boringen måtte skje med en mer kontrollert mating, og det måtte overvåkes nøye at sirkulasjonen i borkronen til enhver tid var tilfredsstillende. Ved tendenser til tette kanaler i brorkone, og opp langs foringsrøret, måtte boringen stanses umiddelbart. Spylingen skulle utføres hovedsakelig med vann. Det ble også besluttet å forøke med skum for å «smøre» systemet. I tillegg ble det bestemt at det skulle benyttes kortere rørlengder på pelen slik at trykket for å løfte massene opp av pelen ikke trengte å være så høyt. Etter forslag fra entreprenøren skulle det også testes ut å banke pelen forsiktig ned fra toppen av pelen, for deretter å bore ut massene inne i røret.

Entreprenøren måtte da skaffe noe tilleggsutstyr for å gjennomføre boringen etter de nevnte tiltakene. Mindre kompressor, regulator for å redusere lufttrykket, vannmåler for å se vannsirkulasjonen, stengekran for luft og vann, vannpumpe og vanntank. Det ble besluttet at

det skulle settes en prøvewel i et mindre kritisk område med tanke på kvikkleiren. Dette for å teste ut om de foreslåtte tiltakene førte til en mer skånsom peling.

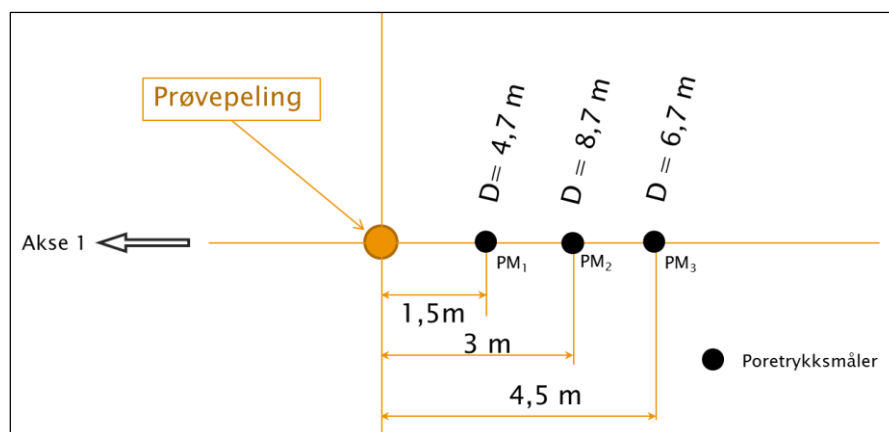
5.2.2 Prøvepeling

Prøvepelen ble satt under tilnærmet like forhold som i akse 1, men lengre bort fra skråningen slik at stabiliteten av skråningen ikke var like kritisk under denne boringen. Plasseringen i forhold til akse 1 kan ses i figur 5-18.



Figur 5-18: Plassering av prøvewel i forhold til bruksene (Degago m.fl. 2015)

Poretrykksmålere ble montert i henhold til plassering vist i figur 5-19, altså på tre ulike dybder og tre forskjellige horisontale avstander fra borpunktet for prøvewelen.



Figur 5-19: Plassering av poretrykksmålerne ved prøvewelingen. (Degago m.fl. 2015)

Første rørlengde på prøvepelene var 4 meter. De første meterne ble boret med vann sammen med lufttrykket, og rotasjon av borkronen uten slag fra hammeren. Ved bruk av vann sammen med lufttrykket ble det problemer med frysing. Pelingen ble utført i vintermånedene, januar og februar, og minusgrader var derfor tilsted. Noe vann hadde blitt stående i borkronen, og dette hadde frosset. Dette skapte problemer når boringen av prøvepelen skulle starte. Oppvarming av borkronen var derfor nødvendig, og etter hvert klarte entreprenøren å smelte isen i borkronen, og rense borkronen slik at boringen kunne starte igjen. Borkrone koblet til ringborkronen vist i figur 5-20.



Figur 5-20: Borkrone koblet til ringborkrone (foto. Samson Degago)

Mot slutten av pelingen av første rørlengde ble det forsøk med forsiktig banking på toppen av pelen. Dette ble utført på den måten at borstrengen ble løftet opp av pelen, og en ring ble montert på toppen av pelen. Dermed kunne borkronen brukes til å hamre pelen forsiktig ned, deretter kunne massene bores ut av røret. Problemet med denne metoden er i hovedsak retningsavvik. En slik hamring i toppen av røret fører til at det ikke er like god styring av røret som ved boring med krone i bunn av røret.

Når massene skulle bores ut av røret fremstod det også nå, slik som i akse 3 og 4, at massene tettet seg mellom borestreng og foringsrør. Men til forskjell fra akse 3 og 4 ble borestrengen under prøvepelingen hevet med jevne mellomrom. Lufttrykk kunne da benyttes for å blåse ren

kanalene i borkrone og langs foringsrør, uten at det var fare for at luft ble presset ut i massene foran og rundt røret. Denne metoden for å åpne opp tette kanaler i og ovenfor borkronen ble foreslått av den finske entreprenøren. Metoden er kjent i Finland, og er blant annet beskrevet i *Intructions for drilled piling* som er utgitt av Finnish road administration. Metoden er også benyttet i Norge tidligere. I tillegg ble borestrengen hevet helt opp av foringsrøret, og masse som var klebet rundt borestrengen ble fjernet manuelt med spade, vist i figur 5-21. Massene ble da fjernet før det oppstod en propp, slik at trykket og massene ikke ble presset ut i området rundt pelen. Poretrykket holdt seg derfor lavt under pelingen.



Figur 5-21: Fjerning av klebet masse på borstreng (Foto Henrik Tømmervik)

En 6 meter lang pel ble så sveiset til pelen. Nå hadde pelen nådd kvikkleirelaget. Leiren her var ikke like klebrig som i de øverste lagene. Dermed fungert bormetoden rimelig godt i kvikkleiren, og større del av massene kom i retur opp røret slik som forutsatt. Det ble forsøk å erstatte vannet med skum, uten at det ga nevneverdig forbedring.

Selv om det under prøvepelingen oppstod noen problemer både med frosset vann og klebing av leire, opplevdes det ikke at poretrykket økte nevneverdig. Prøvepelingen viste at boringen i akse 3 og 4 gikk for fort. Matehastigheten benytte under boringen var for stor, i tillegg til for høyt spyletrykk, og påførte dermed grunnen rundt pelene unødvendig store påkjenninger. Det

er viktig at man er klar over at boring er en tidkrevende prosess. Matehastigheten under boringen skal tilpasses med hensyn på kvalitet og sikkerhet, ikke med fokus på tidsbruk.

Konklusjonen av prøvepelingen ble at pelingen fungerte uten store forhøyinger i målt poretrykk når pelingen ble utført etter følgende fremgangsmåte:

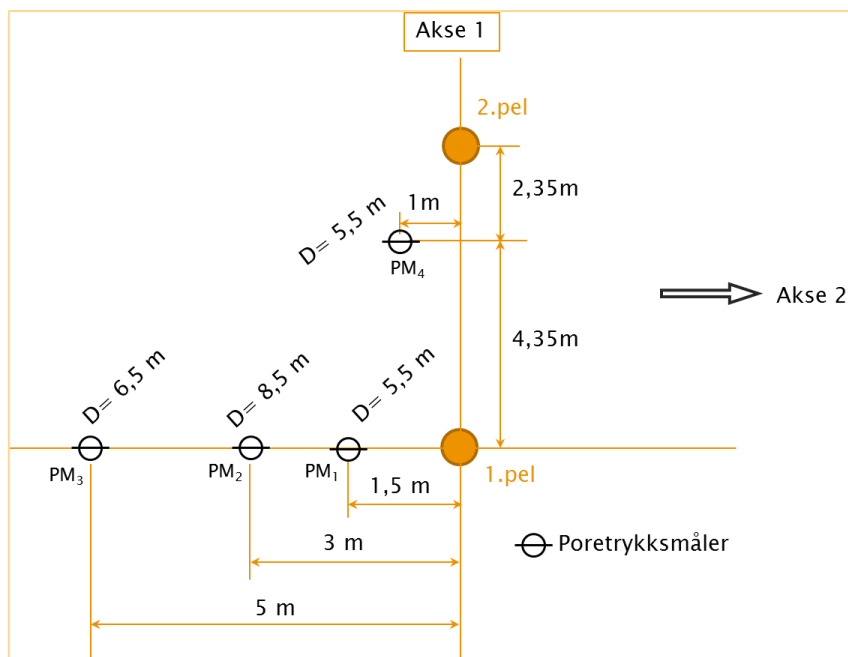
- Grave bort eventuelt steinlag i toppen, og starte boringen på opprinnelig grunn.
- Slag med hammeren skal ikke brukes, og spesielt ikke i starten av boringen da kvikkleirelaget ligger 1 m under terrenget.
- Boringen må utføres som spyleboring med vann, samtidig med rotasjon av borkronen.
- Med jevne mellomrom må borkronen heves opp i foringsrøret slik at massene ikke kleber seg mellom borestreng og foringsrør. Når borestrengen er hevet kan høyere lufttrykk settes på for å blåse ren kanalene, og for å blåse borkaks opp og ut av foringsrøret.
- Begrense lengden på foringsrøret til 6 m slik at det i starten blir lettere å transportere utboret masse opp og ut av røret.
- Manuell kontroll på luft og vanntrykksmengde må utføres under boringen.

5.2.3 Akse 1

Plan for poretrykksoppfølging

Fire poretrykksmålere var etablert for kontroll og oppfølging av boringen i akse 1.

Poretrykksmåler 1, PM1, var plassert 1,5 m fra pel 1, med dybden 5,5 m. PM2 var plassert 3 m fra pel 1, med dybden 8,5 m. PM3 var plassert 5 m fra pel 1, med dybden 6,5 m. PM4 var plassert mellom pel 1 og 2. Henholdsvis 4,35 m fra pel 1, og 2,35 m fra pel 2. og 1 m ut fra senterlinjen mellom pelene. Plasseringen av poretrykksmålerne i forhold til pelene vises i figur 5-22.



Figur 5-22: Plassering av poretrykksmålere i forhold til pelplasseringen.

Plasseringen av poretrykksmålerne var gjort med tanke på å skape en best mulig kontroll av hvordan boringen påvirket grunnen. Både hvor langt ut i horisontal retning boringen påvirket grunne, og hvordan det utviklet seg nedover på forskjellige dybder.

Hendelsesforløp

Sprengtstein med tykkelse 0,7 m ble lagt ut ved akse 1 slik at peleriggen skulle ha en trygg og stabil arbeidsplattform. To timer etter at sprengtsteinplata var etablert, ble peleriggen kjørt frem til akse 1 for å starte peling. Da viste poretrykksmåleren forhøyet poretrykk som følge av sprengsteinen som hadde blitt tilkjørt tidligere. Det ble besluttet at pelingen skulle utsettes til dagen etter slik at poretrykksnivået fikk synke til opprinnelig tilstand.

Dagen etter, den 05.02.2015, ble det igjen klargjort til peling i akse 1. Peleriggen hadde nå en rørlengde på 10 m. Boringen startet, men ble etter kort tid stoppet pga. økning i poretrykket. Ved poretrykksmåler 1 (PM₁) økte poretrykket med 28 kPa (fra 19-47 kPa) ved ca. 1,5 m boreddybde. Boringen ble derfor avsluttet og pelen trukket opp igjen. Det viste seg at massene hadde pakket seg i borkronen og mellom borestreng og føringsrør. Det kunne se ut som vannet igjen hadde frosset i og bak borkronen. Massene her viste seg å være rimelig faste, vist i figur 5-23, og måtte bankes løs for å fjernes. Borkronen kunne ikke ha vært tilstrekkelig rengjort etter boringen av prøvepelen. Masser som lå igjen fra boringen av prøvepelen måtte ha frosset over natten, og skapte problemer for boringen i akse 1. Frosten viste seg å være en utfordring med tanke på bruk av vann i boreprosessen. Vannet frøs ikke bare i borkronen, men

også i pumpen som skulle levere vann fra vanntanken. Vannet måtte varmes opp for å unngå frysing. Sett bort fra disse problemene med frysing av vann i boreprosessen, var frosten positiv for bæreevnen under boreriggen.



Figur 5-23: Massene i borkronen pakket seg sammen/frøs fast (foto Samson Degago)

Den 10.02.2015 startet boringen opp igjen etter friperiode hos entreprenøren. Da ble den 10 meter lange pelen erstattet med en 6 meter lang pel slik at trykket for å få massene opp og ut av pelen skulle være tilstrekkelig. I denne perioden hadde det blitt enighet om å sette ned en kumring over pelepunktet, dette for bedre å holde styring på rettingsavviket pga. vanskeligere med å kontrollere retningen med kortere lengde på foringsrøret. Under pelingen viste det seg at disse kumringen ikke var til veldig stor hjelp. Dimensjonen på kummene var 1000 mm i diameter, og to meter dyp. Med en dimensjon på 913 mm på foringsrøret var potensialet for retningsavvik likevel tilsted. Men kummene var til hjelp som referansepunkt for å måle inn mot foringsrøret.

Borstangen benyttet i akse 3 og 4, samt prøvepelingen, ble byttet ut med en slankere stang. Da ble det større rom mellom foringsrør og borstang, og tanken var da at massene ikke så lett skulle pakke seg rett bak borkronen slik som under første forsøk på peling i akse 1 noen dager

tidligere. Dette så ut til å være en positiv forbedring. Borestrengen var likevel den samme som ved tidligere boringer.

Boringen startet, og foringsrøret ble presset ned ved hjelp av rotasjon av borkronen, og 4-5 bar vanntrykk. Vann og lufttrykket ble manuelt styrt. Med jevne mellomrom, ca. hver 0,2 m, ble pilotkronen koblet fra ringkronen og trukket tilbake i foringsrøret. Høyere lufttrykk ble da satt på for å blåse massene opp og ut av foringsrøret.



Figur 5-24: Manuell kontroll av vann/luft tilførsel (foto Samson Degago)

Forsiktig banking i toppen av røret for så å bore ut massene ble, i likhet med prøvepelen, forsøkt noen få meter. Dette fungerte med tanke på poretrykket, men var ikke noe forbedring i forhold til å bore ned røret. Målinger viste også at røret kom mer ut av posisjon ved banking på toppen i forhold til rotering av borkronen i bunn av røret. Dermed ble ikke dette gjort flere ganger i løpet av pelingen.

Poretrykket ved PM_1 økte på det meste fra 19 kPa til 47 kPa. På dette tidspunktet ble boringen stanset, og peleriggen beltet bort fra området. Denne målingen ble gjort to timer etter at boringen startet. Da 5 timer var gått var poretrykket nede på 35 kPa og boringen kunne tilta igjen. Da boringen startet igjen ble det målt minimale poretrykksøninger, dvs $\Delta u_{maks} = 3$ kPa, 7 kPa, og 5 kPa for henholdsvis PM_1 , PM_2 og PM_3 .

Lengden på pelen var ca. 18 meter. Boringen av pelen startet 10.02.2015 kl. 12.45, og var ferdigstilt på kvelden 11.02.2015. Med andre ord var ikke borsynken stor. Dette pga. at pelingen måtte foregå meget skånsomt for ikke å påvirke poretrykket for mye. Borkronen

måtte løftes mange ganger for å unngå at massene tette seg. Boringen ble også stoppet flere ganger slik at poretrykket fikk stabilisert seg.

Boring av pel 2 i akse 1 startet dagen etter, 12.02.2015 kl. 14.00. Også her ble det benyttet 6 meter lange stålrør. Boringen foregikk på samme måte som ved pel 1. Rotasjon av borkronen sammen med 4-5 bar vanntrykk, og heving av borestrengen opp i stålrøret for å blåse massene ut av røret.

I forhold til pel 1 i akse 1 var det ikke like store poretrykksøkninger for pel 2. Boringen ble ikke avbrutt som følge av for stor økning av poretrykket. Den høyeste økningen i poretrykk som ble målt var fra 18,8 kPa til 32,9 kPa. Dette var en økning som var akseptabel. Boringen var ferdigstilt 13.02.2015 kl. 10.30. Da hadde entreprenøren boret kontinuerlig, uten lange pauser grunnet poretrykk, siden starten dagen før.

Erfaring etter endt peling

I akse 1 er retningsavviket på pelen skjerpet i forhold til generelle krav i håndboken.

Generelle toleransekrav for nedrammet/meislet eller boret pel er:

- Maksimalt loddavvik på 2,5%.
- Kote topp skal ikke avvike mer enn 50 mm fra prosjektert kote.
- Maksimalt avvik fra prosjektert plassering i horisontalplanet er 100 mm.
- Maksimalt avvik i enhver retning fra teoretisk peleakse er 4% for skråpeler.
- Største tillatte avvik i vinkelendring i peleskjøt er 1:250, målt langs pelens lengdeakse.
- Minimal krumingsradius er 600m

I tillegg til disse tolleransekrav gitt i generell beskrivelse i prosesskoden, var det følgende skjerpede tolleransekrav:

- Maksimalt tillatt avvik for plassering: 50 mm.
- Maksimalt loddavvik: 1,0%.

Med så strenge tolleransekrav vil en stadig heving av borestrengen opp av foringsrøret derfor være uheldig for retningen på pelen, spesielt på de første meteren av boringen. Når

foringsrøret ikke er boret så langt ned i bakken, vil ikke røret ha like god innspenning i bakken, og foringsrøret kan komme ut av kurs når borestrengen trekkes helt eller delvis opp av røret. Metoden med å banke pelen ned fra toppen er derfor ikke en anbefalt løsning med tanke på retningsavvik.

Poretrykket viste seg å øke en del som følge av boringen. Ved meget lav borsynk, og rotasjon av borkronen sammen med spyling med vann viste det seg mulig å holde poretrykket på et akseptabelt nivå.

5.2.4 Akse 2

Plan for poretrykksoppfølging

Akse 2 ligger i bunnen av kvikkleireskråningen, pelingen her var derfor ikke like kritisk som i akse 1. Pga. at pelingen i akse 2 ikke var like kritisk med tanke på stabiliteten av kvikkleireskråningen som akse 1, var det ikke montert poretrykksmålere eksplisitt for å overvåke pelingen i denne aksen. Men det var montert to poretrykksmålere i skråningen mellom akse 1 og 2, disse ble benyttet for å ha kontroll med stabiliteten av kvikkleireskråningen under pelingen i akse 2.

Hendelsesforløp

Før pelinge startet i akse 2 var det nødvendig med noen forberedende arbeid. For å øke stabiliteten av skråningen ble steinputen benyttet til oppstilling av boreriggen ved akse 1 fjernet. Deretter ble den midlertidige motfyllingen i bunn av kvikkleireskråningen fjernet i pelepunktet for å muliggjøre pelingen. I pelepunktet lå de også en erosjonssikring etablert av NVE for mange år siden. Denne måtte også fjernes i pelepunktene

Boringen av den første pelen i akse 2 startet 18.02.2015 kl. 12.30. Boringen ble i starten utført på samme måte som i akse 1, med rotasjon av borkronen sammen med 4-5 bar vanntrykk, og heving av borkronen. Da borefronten kom gjennom kvikkleirelaget og inn i morenelaget, ble det tillatt å benytte lavt lufttrykk og forsiktig hamring.

Boring av pel nr. 2 i akse 2 ble startet 19.02.2015 kl. 10.45. De første 8 m ble boret med rotasjon og 4-5 bar vanntrykk, og heving av borkronen for å blåse ren røret. Dette partiet var meget bløtt leire, og borsynken var rimelig stor i forhold til de to pelene i akse 1 og pel nr. 1 i akse 2. 8 m ble boret på 2 timer. Da pelen var boret 8 m ned, gikk kompressoren som leverte vann i stykker. Siden poretrykket i kvikkleireskråningen hadde vist seg tilnærmet uforandret

som følge av boringen i akse 2, ble det tillat å forsøke med lavt lufttrykk i stedet for vann. Det ble det ble da tatt i bruk en luftkompressor, og forsiktig hamring. Da boringen beveget seg nedover i morenelaget, ble etter hvert to luft kompressorer tatt i bruk. Da fjellet ble nådd ble alle tre kompressorene benyttet med fullt lufttrykk.

Tredje og siste pel i akse 2 ble boret 20.02.2015, med start kl. 12.30. Siden høykompressoren for vann gikk i stykker på forrige pel, ble denne pelen boret ved hjelp av luft fra en kompressor, samtidig med vann av ganske lavt trykk og liten mengde, ble blandet sammen med lufttrykket. Boringen i de første 8 m foregikk med vann, rotasjon og luft fra en kompressor. Når boringen nådde morene ved ca. 8 m ble to luftkompressorer benyttet. Når boringen nådde fjell ble alle tre luftkompressorene benyttet med fullt trykk.

Erfaringer etter endt peling

Avlesning av de to poretrykksmålerne i tilknytting til akse 2 viste minimale økninger som følge av pelingen. Dette hadde nok sammenheng med plasseringen av poretrykksmålerne lengre bort fra pelepunktet. Etter hvert som boringen skred frem ble det tillat av byggherre å bore med lavt lufttrykk. Det viste seg at boring med lufttrykk i akse 2 ikke ga utslag på poretrykksmålerne. Boringen i akse 2 ble derfor ikke stanset som følge av poretrykksøkning, og pelingen her gikk noe raskere enn i akse 1. Gjennomsnittlig en dag per pel.

6 Diskusjon

I dette kapitlet diskuteres resultatene og erfaringene fra gjennomført undersøkelse og gjennomført boring. Erfaringen relateres til gjennomgått fullskalaforsøk fra tidligere, der samme utforming av borsystem er benyttet, men annen utforming av borkrone. Noen feilkilder som kan bidra til usikkerhet og påvirke hvordan bormetoden fremstår blir nevnt i tolkningen.

6.1 Resultater etter endt boring.

Erfaringene fra boringen ved Skaudalbrua viste at bortiden per pel ble lang som følge av skånsom boring, dermed også lav borsynk. Dette viste seg å være viktige momenter å være klar over for å gjennomføre en skånsom boring ved krevende grunnforhold. Boringen i akse 3 og 4 ved gikk vesentlig fortere, og borsynken større, enn hva som ble gjennomført ved akse 1 og 2. Spyletrykket var også mye høyere ved akse 3 og 4, i tillegg ble bare luft og ikke vann benyttet. Dette vistes godt på poretrykkmålingene, da poretrykket økte ut over akseptable verdier i akse 3 og 4.

Andre utfordringer var justeringen av spyletrykket. Denne balansegangen kan være vanskelig, og er svært viktig for å få en vellykket gjennomføring. For høyt spyletrykk kan føre til at luft/vann rømmer ut i massene rundt, og fører til forhøyet poretrykk. For lavt spyletrykk kan føre til at massene tetter seg i kanalene i borkronen og opp langs borestrengen, som resulterer i at luft/vann og borkaks presses ut i omgivelsene rundt pelen, i stedet for retur opp til overflaten på innsiden av foringsrøret.

I akse 1 og 2, da spyling med vann ble benyttet, virket det som vannmengden (l/min) og spyletrykket på 4-5 bar var for lavt i forhold til hva som er optimalt for boring med ringborkronesystem, med senkehammer og vannspyling. Derfor var det ikke mulig å transportere massene opp og ut av foringsrøret uten bruk av spyletrykk med luft. Da boringen skal skje uten bruk av høyt lufttrykk, måtte derfor pilotkronen løses fra ringborkronen og trekkes noe tilbake i foringsrøret. Større lufttrykk kunne da benyttes for å blåse massene ut av røret, uten fare for at luft kom ut i massene foran og rundt borefronten. Bakdelen med denne metoden er at det ikke blir en kontinuerlig boring av hele rørlengden. Dette er uheldig med tanke på tidsbruk/fremdrift og retningsavvik.

6.2 Vurdering opp mot alternative borsystemer.

Det er som nevnt utviklet flere typer bormetoder fremstilt som skånsomme ved boring i sensitive grunnforhold. I markedet i dag fremstilles RC-boring med fullt RC-borutstyr, og reversibelt borsystem med senkehammer og ringborkrone som to borsystemer som skal være tilpasset boring i sensitiv grunn. I litteratursøket er det beskrevet erfaringer fra tidligere utførte prosjekter med RC-boring, eksenterboring og senkehammer med ringborkroen. I tillegg til fullskalaforsøk med senkehammer med Odex borkrone, samt senkehammer med ringborkrone systemene Elemex og Robit. Rapportene fra disse fullskalaforskene beskriver, på samme måte som for boringen ved Skaudalbrua, problemer med poretrykksendring og massefortrengning.

RC-boring fremstilles i teorien og fra erfaringer fra utførte prosjekter som en god bormetode. Men erfaringene med bormetoden virker ut fra litteratursøk og være få og små. Bormetoden er ikke utført på mange prosjekter, og vurderingsgrunnlaget blir dermed noe tynt. Et fullskalaforsøk med bormetoden virker å være nødvendig for å kartlegge bormetodens styrker og svakheter.

Senkehammer og Odex brokrone er lite brukt ved sensitive grunnforhold etter at senkehammer med ringborkrone kom på markedet Det med god grunn ettersom borsystemet fremstår som lite skånsomt ut fra erfaringer og undersøkelser ved tidligere prosjekter. Denne borkronen finnes også bare i dimensjoner opp til 240mm, og dermed ikke tilgjengelig for boring av grovere stålørspeler.

Senkehammer og ringborkrone med Elemex systemet ble ved fullskalaforsøket utført med rotasjon av borkronen sammen med kontinuerlig vanntrykk. Gjennom leiren opplevdes det poretrykksøkninger på 0,5 m når borefronten passerte. Mye av massene ble beskrevet å komme opp av røret. Da borefronten nådde morene opplevdes det forkilinger. Vannspylingen ble endret til luftspyling, men problemet med forkiling fortsatte å oppstå. Da måtte borkronen løftes noen cm tilbake for å åpne opp systemet igjen. Da borefronten møtte berg, «rømte» mye luft på utsiden av røret, og påvirket massene rundt i en 3 meter radius. Som følge av disse problemene ble det gjort endringer på borkronen for å gjøre kanalene for retur i borkronen enklere og bedre. Dette førte til en positiv virkning på boringen, og boringen kunne fortsette.

Boringen med Robit borkrone, med senkehammer og ringborkrone, opplevde også problemer. Boringen her ble gjennomført med rotasjon av borkronen, sammen med en kombinasjon av

vann og luftspyling gjennom hele pelens lengde. Boringen førte til en poretrykkssenkning i morenelaget. Poretrykkssenkningen var på opptil 120 kPa ved 36 m dybde i leire, og 150 kPa ved 42 m dybde i morene. I tillegg ble det målt en poretrykksøkning på 80 kPa ved 43 m dybde i morene. Poretrykkssenkningen tyder på overboring, mer masse en pelens tverrsnitt ble transportert opp til overflaten.

Det er tydelig at mange av de samme problemene opplevdes på alle de tre forsøkene med borsystemene Elemex, Robit og Radial flush borkronen. Alle boringene ble gjennomført med rotasjon av borkronen, sammen med en kombinasjon av vann og luftspyling. Ved boringen med Elemex systemet ble det bruk vannspyling i leiren, mens det gikk over til luftspyling når boringen nådde morene og berg. Ved boringen med Robit systemet var det en kombinasjon av vann og luftspyling gjennom hele pelens lengde. Under boringen med Radial flush systemet ble det under boringen av de to første aksene av brua bare benyttet luftspyling. Senere ble vannspyling brukt i leiren, mens en kombinasjon av luft og vannspyling ble benyttet i morenen massene, og bare luft ved innboring i berg. Fellesnevneren for alle de tre boringen er at poretrykket endret seg, enten økning eller senkning, ut over det som er akseptabelt for boring i sensitiv grunn. Under boringen med Elemex systemet ble det gjort endringer på kanalene i borkronen slik at boringen fremsto mer skånsom, og kunne derfor benyttes videre i prosjektet. For boringen med Radial flush systemet måtte boreprosedyren endres for å gjennomføre boringen.

Når borsystemene vurderes opp mot hverandre kan det være flere usikkerhetskilder ved forsøkene presentert. Ettersom det i såpass stor grad er opp til boreutførelsen hvordan bormetoden fremstår, kan menneskelige faktorer påvirke resultatene. Grunnforholdene er heller ikke av helt samme karakter, selv om leire og morene er involvert. Hvor lett massene pakker seg og blokkere kanaler i borkronen kan derfor være forskjellig i de tre forsøkene. Hvor poretrykksmålerne er plassert har også innvirkning. Avstanden poretrykksmåleren har fra pelepunktet er med på å påvirke hvor store poretrykkendringer som blir registrert

Til tross for noen usikkerhetskilder, viser de tre presenterte boringene at borsystemet Radial flush ikke kan sies å være et fremskritt i forhold til tidligere benyttede borsystemer med senkehammer og ringborkrone.

6.3 Hvordan gjennomføre boringen best mulig.

Uavhengig av type bormetode har utførelsen av boringen mye å si. Boringen kan på papiret bli fremstilt som skånsom for omgivelsene, men resultatet er avhengig av utførelsen. Radial flush fremstår gjennom referanser som en god bormetode for boring i sensitiv grunn. Men forsiktighet når boringen utføres viste seg fort å være avgjørende.

Det viser seg ved boring ved hjelp av senkehammer og ringborkrone, uavhengig av type borsystem, at en best mulig boring i sensitiv grunn utføres ved hjelp av vannspyling i leiren. Mens det i morene massene kan endres til en kombinasjon av vann og luftspyling om nødvendig. For lavt spyletrykk, og for lite volum vann, kan føre til forkilinger og propp i systemet, med det resultat at utboret masse presses ut i omgivelsene rundt og fører til økt poretrykk. For høyt spyletrykk kan føre til «rømt» luft/vann, som igjen fører til økt poretrykk. Spyletrykk og mengde vann må tilpasses boreutstyr og dimensjon på boreutstyr, samt stedlige forhold. Borsynk må også tilpasses grunnforholdene og dimensjonen på pelen. For høy borsynk kan føre til massefortrengning og økt poretrykk, for lav borsynk kan føre til overboring og lavere poretrykk.

Hvordan gjennomføre boringen best mulig viser seg å være et sammensatt. Boringen må tilpasses blant annet stedlige forhold, og dimensjon på pelene. Det viser seg derfor at boreleders erfaring og kompetanse er en svært viktig faktor for god gjennomføring. En prøveboring kan være en god måte for å kartlegge om bormetoden fungerer tilfredsstillende, før boring starter i områder hvor det er forbundet stor risiko med boringen.

7 Konklusjon og anbefalinger

På prosjektet Leksvik grense – Olsøy ble Statens vegvesen presentert en ny type sensitiv borsystem for åpne stålrørspeler kalt Radial flush. Det viste seg, i likhet med andre borsystemer, at utførelsen har mye å si for hvor skånsom borsystemet fremstår. For å unngå poretrykksoppbygning og massefortregning må borsystemet Radial flush utføres med vannspyling og rotasjon av borkronen, og ikke høyt lufttrykk og slag med hammeren. For å transportere massene opp og ut av foringsrøret, og unngå tetting av kanaler i borkronen, viste det seg å være nødvendig å benytte høyt lufttrykk med jevne mellomrom. Da må borkronen løses fra ringborkronen, og heves noe opp i foringsrøret, før høyt lufttrykk iverksettes. Dette for å unngå at utboret masse og lufttrykket blir presset ut i grunnen foran og rundt borkronen, og fører til massefortregning og poretrykksøkning. Det er derfor viktig at alle involverte, og spesielt de som utfører boringen, er klar over viktigheten av at boringen utføres skånsomt i kvikkleire. Det betyr ofte lavere borsynk og mer tidkrevende boring i forhold til boring under mer stabile grunnforhold.

Med bakgrunn i observasjoner gjort underveis i utførelsen, samt erfaringsinnsamling fra tidligere prosjekter, viser det at bormetoden er på høyde med andre sensitive rørborings systemer med senkehammer og ringborkrone. Men metoden fremstår ikke som et stort fremskritt i forhold til tidligere utprøvde borsystemer.

Det er viktig at man er klar over at boring er en tidkrevende prosess. Det må ikke være noen tvil om hvilke grunnforhold og krav til boringen entreprenøren står ovenfor når jobben skal utføres. Det kan også være en tanke å kreve kompetanse og referanser fra tidligere prosjekter på boreoperatørene. Dette for at ikke bare borsystemet skal kvalitetssikres, men også boreoperatørene, når deres kompetanse og erfaring er så viktig for en vellykket gjennomføring.

8 Videre arbeid

Det er i denne rapporten presentert et prosjekt der boring av peler i kvikkleireskråning ble gjennomført med en bormetoden som ikke har vært benyttet tidligere på norske vegprosjekter. Rapporten har derfor kartlagt hvordan denne metoden fungerer ved boring i kvikkleire.

Fullskalaforsøk er den beste måten å kartlegge hvordan bormetoder fungerer, men dette er en resurskrevende øvelse. Det er derfor viktig for fremtiden at prosjekter som utfører boring i sensitiv grunn dokumenterer godt hva som er gjort på prosjektet, både i prosjekteringsfasen, men spesielt i utførelsesfasen. Det er erfaringer fra utførte boringer som vil være den beste måten for å forbedre og utvikle bormetoder slik at kravene satt til boringen kan oppnås på en best mulig måte.

Det er viktig at håndbøker og regelverk oppdateres jevnlig som følge av ny kunnskap og erfaringer fra tidligere utførte prosjekter, slik at regelverk oppdateres i takt med utviklingen av borsystemer, og ikke beskriver utdatert teknologi.

Boreleders kunnskap og erfaring har avgjørende betydning for å redusere negative effekter og skader. Opplæring av boreledere og boreoperatører bør derfor vurderes i fremtiden.

Referanseliste

Copco, Atlas 2010 *Atlas copco Geotechnical Engineering Products, Product catalogue*.

Hentet: 18.11.2015. Tilgjengelig fra:

http://www.atlascopco.no/Images/6991%201726%2001_Elemex%20catalogue_english_LR_tcm829-1785111.pdf

Degago, Samson. 2013. *Fv. 715 Keiserås - Olsøy, Parsell: Leksvik grense – Olsøy Vurderingsrapport for Skaudalbrua*. Geoteknisk rapport nr. Nr. 2012039995-010 Trondheim: Statens Vegvesen

Degago, Samson. 2014. *Fv. 715 Keiserås - Olsøy, Parsell: Leksvik grense – Olsøy Vurderingsrapport for Skaudalbrua*. Geoteknisk rapport nr. Nr. 2012039995-013 Trondheim: Statens Vegvesen

Degago, Samson, Ørjan Edvardsen, Steinar Giske, Svein Hove og Henrik Skog Tømmervik. 2015. *Borede stålørspeler i kvikkleireskråning*. Geoteknikkdagene 2015. Norsk Geoteknisk Forening.

Emdal, Arnfinn. 2013. *Forelesningsnotater EVU-kurs. Geoteknikk 1*.

Finnish Road Administration. FINNRA 2003. *Intruccion for drilled piling, design and execution guide*

Gucwa, Grzegorz, Ole-Petter Jensen. 2013. *Brukonferanse 2013, Gulli bru*. Hentet

12.01.2016 Tilgjengelig fra:

http://www.vegvesen.no/attachment/550114/binary/885329?fast_title=Gulli+bru.+Ole+Petter+Jensen%2C+Grzegorz+Gucwa.pdf

Hanson, Yngvar A. 2008 *Teknisk sluttrapport grunnarbeider og fundamentering. Årum – Alvim. Ny Sandesund Bru*. Statens vegvesen Region Øst

Haugen, T., Ahmed, T., Olsson, A. og Lande, E.J. 2015.

DP 4 Dokumentasjon av metoder og tiltak. "E18 Knapstad – Retvet. Erfaringer fra boring av stålørspeler", BegrensSkade delrapport nr. 4

Holtmon, John Petter. 2013. *E16 Gulli bru*. Hentet 20.01.2016. Tilgjengelig fra:

<http://www.its-norway.no/ikbViewer/Content/898743/10-4%20Holtmon-Gulli%20bru%20-%20prosj-pres.pdf>

Johansen, Torbjørn, og Vegard Woldseng. 2014. *Erfaringsrapport byggegrøper. E18 mellom Festningstunnelen og Ekeberg tunnelen. Entreprise Havnelageret*. Statens vegvesen rapporter nr. 326. Oslo: Vegdirektoratet

Lande, John Einar, Arne Simonsen Schram og Geir Veslegard. 2015. *DP3 Videreutvikling av metoder for å begrense skader*. BegrensSkade delrapport nr. 3.

Nordbotten, Gaute. 2001. *Stålkjernepeler. Erfaringsrapport fra Helland bru*. Laboratorieserien, rapport nr. 112.

NVE 2014. *Sikkerhet mot kvikkleireskred. Vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging og utbygging i områder med kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper*. Noregs vassdrags- og energidirektorat. Veileder nr 7-2014.

Tilgjengelig fra: http://publikasjoner.nve.no/veileder/2014/veileder2014_07.pdf

Nyheim, Trude, Stein-Are Strand og Vikas Thakur, m.fl. 2014. *En diskusjon om løsne- og utløpsområder for skred i sprøbruddmaterialer*. Geoteknikkdagen 2014. Norsk Geoteknisk Forening.

Rønning, Sigbjørn. 2011. *E6 Trondheim-Stjørdal, parsell Trondheim-Dagsone vest. Geotekniske aspekter knyttet til rørsjuntveggen. Prøvesjunt, instrumentering, geotekniske boringer ved prøvesjunt, noen erfaringer ved utførelsen*. Geoteknikkdagen 2011. Norsk geoteknisk Forening.

Simonsen, Arne Schram, og Geir Veslegard. 2014. *DP1 + 2 Erfaringsinnsamling og analyser av skadeårsak, State og the art boreteknikk*. BegrensSkade Delrapport nr. 1 + 2.1

Statens vegvesen, *Håndbok V220 geoteknikk i vegbygging*, revidert 2010

Tvedt, Grete 2006. *E18 Ny motorvegbru i Drammen. Erfaringer fra fundamentering på stålpeler*. Oslo: Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Teknologivdelingen

Vedleggsliste

- Vedlegg 1. Oppgavetekst
- Vedlegg 2. Brev fra Welltech
- Vedlegg 3. Loggbøker byggherre
- Vedlegg 4. Loggbøker entreprenør

Vedlegg 1

MASTEROPPGAVE

(BA6904, masteroppgave)

VÅREN 2016

for

Henrik Skog Tømmervik

Boring av peler ved sensitive grunnforhold
Vurdering av borsystemet Radial flush, kan borsystemet være et alternativ til
mer etablerte borsystemer?

BAKGRUNN

Bygging av veg inneholder mange utfordringer, og krever bred kompetanse fra konsulenter, byggherre og entreprenør. Utfordringene kan variere fra prosjekt til prosjekt. Prosjekter som inneholder bygging i vanskelige grunnforhold kan være spesielt utfordrende. I Norge og Trøndelag kommer ofte vegprosjekter i konflikt med sensitive grunnforhold, noe som krever kompetanse, forsiktighet og tett oppfølging. Spesielt kan det være knyttet utfordringer til store konstruksjoner og fundamentering ved slike grunnforhold.

Fundamentering i sensitive grunnforhold krever ofte peler. Boring av peler kan være utfordrende å gjennomføre uten å påvirke områder med ved slike grunnforhold. Selv om bygging av veg ved utfordrende grunnforhold er utbredt i Norge, fremstår det som boring av peler i slike områder ikke er godt nok dokumentert. Dette kan skape utfordringer for prosjektene.

På prosjektet Leksvik grense – Olsøy ble det av entreprenøren presentert et nytt borsystem med senkehammer og ringborkrone, kalt Radial flush. Dette borsystemet og den tilhørende borkronen skulle være tilpasset boring i sensitiv grunnforhold. Borkronen har ikke vært benyttet i Norge tidligere. Det er derfor interesse i prosjektorganisasjonen å dokumentere gjennomføringen med dette borsystemet, og den spesifikke borkronen som ble benyttet, og se på om dette kan være et potensielt borsystem for fremtidige prosjekter. Borkronen skal ifølge leverandøren være en videreutviklet borkrone i forhold til mer etablerte borkroner for rørboringsystem med senkehammer og ringborkrone. God dokumentasjon av borsystemet Radial flush kan derfor bidra til ytterligere utvikling av borsystemer.

Målsetting og hensikt

Med oppgaven er målet å belyse utfordringer rundt fundamentering på peler ved sensitive grunnforhold. I den forbindelse belyse rørboringsystemet med senkehammer og ringborkrone, kalt Radial flush, som for første gang er benyttet på norske vegprosjekter. Det skal vurderes hvor sensitivt borsystemet fremstår ved boring i sensitive grunnforhold, og om det kan være et alternativ til andre mer etablerte borsystemer.

GENERELT

Opgaveteksten er ment som en ramme for kandidatens arbeid. Justeringer vil kunne skje underveis, når en ser hvordan arbeidet går. Eventuelle justeringer må skje i samråd med faglærer ved instituttet.

Ved bedømmelsen legges det vekt på grundighet i bearbeidningen og selvstendigheten i vurderinger og konklusjoner, samt at framstillingen er velredigert, klar, entydig og ryddig uten å være unødige voluminøs.

Besvarelsen skal inneholde

- standard rapportforside (automatisk fra DAIM, <http://daim.idi.ntnu.no/>)
- tittelside med ekstrakt og stikkord (mal finnes på siden <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank>: 3) Om Masteroppgaven)
- sammendrag på norsk og engelsk (studenter som skriver sin masteroppgave på et ikke-skandinavisk språk og som ikke behersker et skandinavisk språk, trenger ikke å skrive sammendrag av masteroppgaven på norsk)
- hovedteksten
- oppgaveteksten (denne teksten signert av faglærer) legges ved som Vedlegg 1.

Besvarelsen kan evt. utformes som en vitenskapelig artikkel for internasjonal publisering. Besvarelsen inneholder da de samme punktene som beskrevet over, men der hovedteksten omfatter en vitenskapelig artikkel og en prosessrapport.

Råd og retningslinjer for masteroppgaven finnes på programmets nettsider.

http://videre.ntnu.no/pages/mastergrader/erfaringsbasert_masterprogram_i_veg_og_jernbane/priser_og_betinger/

Hva skal innleveres?

Rutiner knyttet til innlevering av masteroppgaven er nærmere beskrevet i *Retningslinjer masteroppgaven erfaringsbasert master veg og jernbane* og på <http://daim.idi.ntnu.no/>.

Trykking av masteroppgaven bestilles via DAIM direkte til Skipnes Trykkeri som leverer den trykte oppgaven til instituttkontoret 2-4 dager senere. Instituttet betaler for trykkingen, og 1 eksemplar blir sendt til studenten. Ekstra eksemplarer må bekostes av kandidaten/ eksternt samarbeidspartner.

Videre skal kandidaten levere innleveringsskjemaet (fra DAIM) Innleveringsskjema sendes til NTNU VIDERE.

Dokumentasjon som med instituttets støtte er samlet inn under arbeidet med oppgaven skal leveres inn sammen med besvarelsen.

Besvarelsen er etter gjeldende reglement NTNUs eiendom. Eventuell benyttelse av materialet kan bare skje etter godkjennelse fra NTNU (og eksternt samarbeidspartner der dette er aktuelt). Instituttet har rett til å bruke resultatene av arbeidet til undervisnings- og forskningsformål som om det var utført av en ansatt. Ved bruk ut over dette, som utgivelse og annen økonomisk utnyttelse, må det inngås særskilt avtale mellom NTNU og kandidaten.

Helse, miljø og sikkerhet (HMS):

NTNU legger stor vekt på sikkerheten til den enkelte arbeidstaker og student. Den enkeltes sikkerhet skal komme i første rekke og ingen skal ta unødige sjanser for å få gjennomført arbeidet. Studenten skal derfor ved uttak av masteroppgaven få utdelt brosjyren "Helse, miljø og sikkerhet ved feltarbeid m.m. ved NTNU".

Dersom studenten i arbeidet med masteroppgaven skal delta i feltarbeid, tokt, befarings, feltkurs eller ekskursionsjoner, skal studenten sette seg inn i "Retningslinje ved feltarbeid m.m.". Dersom studenten i arbeidet med oppgaven skal delta i laboratorie- eller verkstedarbeid skal studenten sette seg inn i og følge reglene i "Laboratorie- og verkstedhåndbok". Disse dokumentene finnes på fakultetets HMS-sider på nettet, se <http://www.ntnu.no/ivt/adm/hms/>. Alle studenter som skal gjennomføre laboratoriearbeid i forbindelse med prosjekt- og masteroppgave skal gjennomføre et web-basert TRAINOR HMS-kurs. Påmelding på kurset skjer til daniel.erland@ntnu.no

Studenter har ikke full forsikringsdekning gjennom sitt forhold til NTNU. Dersom en student ønsker samme forsikringsdekning som tilsatte ved universitetet, anbefales det at han/hun tegner reiseforsikring og personskadeforsikring. Mer om forsikringsordninger for studenter finnes under samme lenke som ovenfor.

Oppstart og innleveringsfrist:

Frist innlevering masterkontrakt **15. august**, frist innlevering masteroppgaven **15. mai**

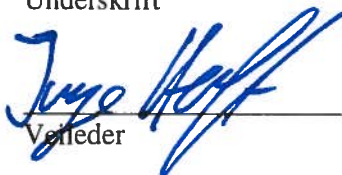
Hovedveileder ved NTNU: Inge Hoff

Lokal veileder : Samson Degago – Statens vegvesen

Institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU

Dato: 12.05.2016

Underskrift



Veileder

To Whom it may concern

Flushing control in DTH drilling

Since the very beginning of the use of DTH hammers in construction and well drilling industries there has been also occasional accidents because of the use of pressurized air. Sudden settlements, often due to loss of friction in original working (driven) foundation caused by air, structural breakages caused by pressurized air and change of ground characteristics by overdrilling have been the main reasons for miss happenings.

While DTH is an excellent tool in complex ground the problem in controlling the air has resulted many restrictions in using DTH in urban areas. Out of all the developing areas in the world Hong Kong has the biggest usage of DTH, especially in size of 610 mm and bigger. With close to 200 units of 18 inch DTH hammers drilling daily something was bound to happen. Today there are already restrictions, not often followed, though, but nevertheless attempts have been made to control flushing. MTR, metro transport company, is the biggest constructor in Hong Kong and they have also studied the reasons of air escape and over drilling. They have measured pressure level changes and ground water level changes and come to very simple solution. To allow any DTH system to work in their worksites the casing advancing system needs to fulfill two main criteria: air cannot be directed towards drilling direction (to avoid pressure against ground) and ring bit needs to run ahead and cover the air channel opening in the bit. The first bit to fulfill these requirements was Atlas Copco's Elemex, it is a patented system with undersigned as the inventor when working as a General Manager of Atlas Copco Rotex. Second MTR approved system, which fulfills the given criteria is Tri Mach's Radial Flush with even smaller pressure against the ground than Elemex due to patented radial flushing feature. There is a MTR work site Method Statement approval attached. Third product approved and used by MTR is Spiral Flush product from PPV Finland. While Elemex still blows the air in some angle towards ground, reflected though, two latter systems are fully radial and should be seen as improved in design compared to Elemex.

MTR approves the products individually to every site and they do not give out their studies or other material. In the beginning they approved only Elemex but could not state that in their tender documents as that type of restriction is not in line with Public Purchases Act. Today also Radial Flush and Spiral Flush are approved and in use at MTR worksites. As there now are three different companies (that can quote the products) their names can be published in tender documents, which was the original requirement by MTR.

Attached site product approval proofs that Radial Flush is regarded equal or better than original Elemex casing advancing system.

In case there are any further explanations required you can always contact undersigned by phone +358-400-793534 or by e-mail jukka.ahonen@welltechfinland.com

Sincerely

Jukka Ahonen

General Manager / WellTech Finland

Vedlegg 3

Vedlegg, LOGGBOK under boring av P44, P42 og P41

Dato	LOGGBOK boring av stålørspeler akse 4, P44			
12.01.2015	Målt poretrykk (m)			
Kl	pkt 4768	pkt4672	pkt4673	Arbeidsoperasjon/aktivitet
08:30	3,39	5,74	2,14	Stokkmatter lagt ut
09:30	3,65			Borrigg plassert oppå matter og gravemaskin på siden av
09:44	3,89			Start boring
09:45	4,4			
09:49	6,4			
09:51	7,6			
09:53	8,6			
09:55	9,46			
10:00	10			
10:03	10,51			Stopp i boring. Problemer med aggregat.
10:05	10,47			
10:07	10,39			
10:10		5,81	2,43	
10:11	10,05			
10:15	9,78			
10:39	8,02			
10:48	7,53			
10:50		5,83	2,35	
11:03	6,89			
11:06	6,79			Starter å bore igjen. Gjenstår ca 5m
11:08	7,33			
11:14	8,89			
11:20	10,21			
11:25	10,81			
11:28	11,02			
11:30	10,7			
11:34	10,8			Nådd fjell? Ca 2m igjen av røret.
11:38		5,93	3,17	Stopp i boring. Problemer med aggregat.
11:41	10,4			
11:51	9,74			Lunsj
12:35	7,85	5,98	2,82	
13:48	7,5			
13:53	7,34			
13:58	7,15			
14:07	6,91			Borekrone ute av pelen
14:13	6,79			
14:23	6,54			Borekrone liggende på jorda
14:31	6,36			
14:37	6,24			
14:42	6,1			

Dato	LOGGBOK boring av stålrørspeler akse 4, P42			
	Målt poretrykk (m)			
Kl	pkt 4768	pkt4672	pkt4673	Arbeidsoperasjon/aktivitet
15:38	5,63			Stokkmatter forbredere for P42
15:45	6,01			Borrigen flyttet til venstre og klar for peiling
15:50	6,08			Klar for boring (røreren på)
16:00	6,01			
16:29	5,94			Start boring
16:32	6,14			
16:34	6,24			
16:36	6,42			
16:37	6,58			
16:38	6,67			Boring gjennom det forholdsvis bløte laget startet
16:38	6,74			
16:39	6,78			
16:40	6,8			
16:41	6,91			
16:42	6,99			
16:43	7,14			
16:44	7,19			
16:45	7,36			
16:46	7,4			
16:48	7,2			
16:50	7,19			
16:51	7,22			
16:52	7,23			
16:54	7,3			
16:55	7,41			
16:56	7,46			
16:57	7,51			
16:59	7,55			
17:00	7,58			
17:01	7,66			
17:03	7,71			
17:05	7,7			
17:07	7,66			Nådd fjell?
17:08	7,6			
17:12	7,69			
17:13	7,72			
17:14	7,75			
17:15	7,77			
17:16	7,79			

17:17	7,82			
17:18	7,68			Hammeren stoppet (midlertidig)
17:19	7,8			Hammeren startet igjen
17:20	7,83			
17:21	7,84			Slutt på boring
17:27		6,42	2,78	

Dato	LOGGBOK boring av stålrørspeler akse 4, P41			
	Målt poretrykk (m)			
13.01.2015				
Kl	pkt 4768	pkt4672	pkt4673	Arbeidsoperasjon/aktivitet
09:16	4,92			Borriggen på plass uten rør
09:38	4,88	5,76	2,36	Borriggen på plass med røren
10:06		5,76	2,32	Start boring
10:08		5,88	2,33	
10:09		5,92	2,34	
10:10		5,93	2,34	
10:11		5,97	2,35	
10:12	4,84	6,05	2,36	Stop boring
10:15		5,86	2,4	
10:16		6,03	2,41	Start boring igjen
10:17	4,85	5,95	2,41	Stop boring
10:19		5,84	2,44	
10:26		5,8	2,49	
10:31	4,85	5,8	2,52	
10:36		5,8	2,55	
10:46		5,8	2,59	
10:51		5,8	2,61	
10:56		5,78	2,62	Start boring igjen
10:58		5,48	2,73	Boring gjennom det forholdsvis bløte laget startet
10:59			2,77	
11:00		6,34	3,26	
11:01		7,96		
11:02		15,1	4,45	Blåser inn til jordmasse/blåser ut ved utsiden av røret P41 og P44!
11:03	4,63	16,02	5	
11:04		14,7	5,71	Stop boring
11:06		16,53	5,94	Start boring igjen
11:07		16,02	5,98	Fast laget
11:09	4,71	15,33	6,05	
11:12		15,58	6,04	

11:15		15,74	6,03	
11:18		14,47	5,8	
11:19	4,97	12,39	5,73	
11:22		11,8	5,44	
11:25		12,07	5,2	
11:26	5,09	11,77	5,19	
11:27		11,6		
11:29	5,11	11,91	4,87	
11:31	5,13	13,07	4,69	
11:34	5,23	12,1	4,54	
11:42	5,5	8,78	4,31	Nådd fjell?
11:45		8,45	4,15	
11:48	5,55	8,79	4,08	
11:52		8,49		Stoppet (lunsj)
11:54		8,25		
11:56		8,13		
11:58	5,5	8,07	3,63	
12:01	5,47	7,93	3,52	

LOGGBOK boring av stålrørspeler prøveping

						Riggen står på anleggsveien
						Her ble det prøvd forskjellige modifikasjoner som bruk av vann, skum og luft.
						Det ble prøvd å simulere et forhold så likt som peling ved akse 1. Derfor ble poretrykksmålerne plassert som vi har dem på akse 1. Steinlaget ble gravd vekk der vi skulle bore (for å unngå boring gjennom steinlaget)
						Med røret på 4 m lengde
						To bjelker ble plassert for å styre røret
						Vannet i borkronen frøs
						Forsiktig banking fra topp (Borkronen ble først løftet opp og en ring ble montert på topp røret)
						(total lengde på 10 m)
Målt poretrykk (m)						
Dato	Kl	4,7 m (pkt 4525)	6,7 m (pkt 4523)	8,7 m (pkt 4529)	Arbeidsoperasjon/aktivitet	
02.02.2015	09:27	1,77	2,43	2,39	Før start boring (graving av stein)	
	09:41			2,4		
	09:48	1,84	2,45	2,41		
	10:19					
	10:34	1,91	2,48	2,44		
	10:36	1,91				
	10:39	1,92				
	13:15	1,97				
	13:19	1,97	2,47		Start boring	
	13:23	1,98				
	13:28	1,98			ca. 1 m ned	
	13:40	1,99				
	13:55	2				
	14:02	2,01				
	14:05	2,01			Startet forsiktig banking røret fra topp	
	14:08	2,02				
	14:31	2,03			Startet å bore ut massene fra hul	
03.02.2015	12:45	2,06			Klart for boring igjen	
	12:56	2,07				
	12:58	2,09				
	13:00	2,1				
	13:02	2,14				
	13:04	2,17				
	13:06	2,2				
	13:07		2,42			
	13:20	2,5				
	13:27	2,56				
	13:31	2,63			Boret 6-7 m	

Dato	Kl	Arbeidsoperasjon/aktivitet
------	----	----------------------------

04.02.2013 09:30 Vi hadde et møte for å diskutere resultater av prøveping og hvordan vi skulle fortsette videre
 10:40 Syltern la ut et steinlag på 0,7 m tykkelse for riggen til å stå på (geotextil ble brukt under steinlaget)
 13:00 Riggen er på med 10 m lang rør som ble trekket ut etter prøveping

Poretrykket var høyt p.g.a. stein som ble lagt ut og da ble det bestemt å vente et døgn fram til poretrykket stabiliserer seg (Vi har anbefalt til Syltern å legge steinen for ei uke siden men de sa at riggen stod på veg og de kunne ikke komme frem til akse 1. Derfor måtte det gjøres etter prøveping)

LOGGBOK boring av stålrørspeler Akse 1, 1.pel – 1 (P11)

Dato	Kl	Målt poretrykk (m)				Arbeidsoperasjon/aktivitet
		2,5 m	3 m	4 m	6 m	
05.02.2015	13:05	1,9	1,56	1,26	1,9	Før oppstart
	13:33	2	1,58	1,24	1,93	Røret på terrenget med gravemaskinen
	13:56	2,15	1,59			
	14:13	2,23	1,6			
	14:18	2,43	1,61	1,22	1,96	Start boring
	14:23	2,51				
	14:26	2,55				
	14:28	2,57	1,61	1,21	1,96	
	14:32	2,68	1,61			
	14:38	2,85				Trekker opp røret
	14:45	2,92	1,62	1,2	1,97	Start igjen
	14:48	3,14	1,62			
	14:50	3,29				
	14:52	3,37				
	14:56	3,49	1,61	1,2	1,96	Stop
	15:00	3,54				
	15:06	3,57				
	15:14	3,68				Røret tatt opp igjen
	15:21	3,69				Riggen ikke på plass

Det så ikke ut som metoden fungerte. Det antakelig en betydelig massefortrengning. Røret var for langt (10 m) til å få massene og vannet opp til 15:25 toppen.

Når borkronen ble tatt opp så det ut som åpningene ved pilotkronen var blokkert. Rommet bak borkronen var fylt opp med ganske faste masser som trengte slag for å løsne opp massene.

16:00 Vi hadde et kort møte for å diskutere vegen videre piloten er ren (for å renske det). Med et 6 m langt rør kan man enkelt løfte pilotkronen og kontrollere at den er ren og massen som bores inne røret kan tas Da ble det sagt at det skulle bli vanskelig å holde en riktig posisjon med et rør på 6 m lengde. Det ble det bestemt at vi måtte bruke kumring med diameter litt skulle starte dagen etter (10.02.2015) (Ved denne anledningen tok Finnene fri fra 06 -09.02)

LOGGBOK boring av stålrørspeler Akse 1, 1.pel – 2 (P11)

Dato	Kl	Målt poretrykk (m)				Arbeidsoperasjon/aktivitet
		2,5 m	3 m	4 m (pkt. 4760)	6 m	
10.02.2015	12:19	1,93				Riggen stilt opp 6 m rør
	12:43	2,13				Start
	12:34	2,35				
	13:03	2,6				
	13:15	3,17				
	13:24	3,7				Går over til pressing av borkronen
	13:28				1,73	
	13:30	3,97		0,78		
	13:35	4,04	1,52			
	13:36	4,07			1,74	Start pressing
	13:37	4,09		0,78		
	13:42	4,06		0,78	1,74	Stopp
	13:50	4,15	1,53			
	13:53	4,21				
	13:59	4,22				
	14:05	4,27				
	14:08	4,3				
	14:12	4,37		0,81	1,78	Start pressing/hammering
	14:18	4,49				
	14:19	4,52				
	14:21	4,57				
	14:24	4,61				
	14:29	4,67				
						ca. 5 m boret pel
						På grunn av poretrykksøkningen måtte vi stoppe arbeidet. Trenden på poretrykket var økende og da ble det bestemt å trekke tilbake riggen og overvåke poretrykket fram til poretrykket er nede på et akseptabelt nivå. Vi hadde sagt at vi skulle gi beskjed kl 18:00 (da får vi alle poretrykksmålingene lagt ut på nett)
						Vi ga beskjed at vi kunne fortsette boringen (poretrykket på 2,5 m var ned til den dimensjonerende verdien). Røret var forbi punktet og da vurderte vi at det ikke skulle bli mer økning på måleren enn tidligere. (Lokalt (så lenge det ikke er betydelige økninger på de andre målere) kunne det tillates en maks poretrykksverdi på 50 kPa på målen ved 2,5 m dybden).
	18:10					
	19:36	3,47				Uten riggen
	19:48	3,54				Med riggen på plass
	19:59	3,62				Første ca. 30 cm masse tatt ut (pilotkronen løftet)
	20:04	3,63				Andre ca. 30 cm masse tatt ut (pilotkronen løftet)
	20:11	3,66				3.gang pilotkronen ble løftet
	20:15	3,68				
	20:19	3,68				4.gang pilotkronen ble løftet
	20:23	3,7				
	20:26	3,7				5.gang pilotkronen ble løftet
	20:33	3,73				
	20:36	3,74				6.gang pilotkronen ble løftet
	20:41	3,76				
	20:44	3,77				7.gang pilotkronen ble løftet
	20:51	3,79		0,81	1,79	Stop
	20:52			0,82		
	20:53	3,79	1,54			
	20:55	3,8				

	21:06	3,81				Prøve å låse pilotkronen mot ringkrone	
	21:15	3,81				Begynt å sveise rør nr. 2	
11.02.2015	09:20						Riggen på plass med røret på og klar for boring
	09:28	3,57			2,09	Blåser inne røret	
	09:36					Stoppet å blåse og bare rotere	
	09:40					Litt luft og presse ned	
	09:41	3,53			2,08		
	09:57	3,5		1,15	2,09		
	10:33					Stopp og løftet pilotkronen	Sveise knekt til røret (for ikke å miste røret i kvikkleire)
	10:38	3,42	1,53	1,16	2,15		
						Stop for sveising rør nr. 3	
	14:32	3,05	1,55	1,22	2,37	Før start	Her gikk det ganske sakte i forhold til tidligere boring
	14:40					Start	
	14:51	3,01	1,55	1,22	2,38		
	15:10	2,93	1,54	1,23	2,39		
	15:45					Midlertidig stop (3 m røret igjen)	
	15:55					Start igjen	
	17:01					Stop for sveising	
							Kort møte med Arto og Jon Endre
							Vi har sagt at vi ønsker at når de bruker luft må det sørges for at det kommer tilbake inne røret og bare forsiktig bruk av hammeren hvis nødvendig
							Jon Endre (FAS) skulle være med Finnere og dokumentere Røret ble boret videre og etter 3.sveising ble det festet i fjell.

Dato	Kl	Arbeidsoperasjon/aktivitet
16.02.2015		Arbeidet for akse 2 startet (forberedelse av steinlaget, motfyllingen ble justert og 7 m ble fylt ut i elva, endelig nivå for riggen å stå på var kote + 39) Vi har diskutert arbeidet med plattformen og sagt at toppnivå av fyllingen må være kote + 40 Det var tillat å grave lokalt der pelene skulle installeres. Det var lagt spesielt vekt på å fjerne steinlaget fra en gammel erosjonssikring utført av NVE. Etterpå ble det fylt tilbake med leire fram til kote + 40. Hensikten med dette er for å unngå boring gjennom et steinlag.

LOGGBOK boring av stålrørspeler Akse 2 (1.pel – midt)

Dato	Kl	Målt poretrykk (m)		Arbeidsoperasjon/aktivitet
		3 m	7 m	
18.02.2015	13:05	38,5	76,3	Klar for boring
	14:39	38,8	76,2	
	15:00			Stop for sveising
	18:50	38,8	76,2	Start rør nr. 2
	20:20			Forsiktig hammering (5 m igjen over kote +40)
	21:07			Nådd fjell

Det siste 1 m boring indikerte bløt leire og gikk raskt i forhold til de første ca. 4 m

LOGGBOK boring av stålrørspeler Akse 2 (2.pel – høyre)

Dato	Kl	3 m	7 m	Arbeidsoperasjon/aktivitet
19.02.2015				
	12:02	3,86	7,48	
	12:14	3,87	7,49	2m
	12:30	3,87	7,49	5m
	12:30	3,92	7,6	7m
	16:08			Forsiktig hammering (ca. 3,5 m igjen over kote +40)
	16:17	3,93	7,62	8-9 m
	16:44			Nådd fjell (ca. 2,5 m igjen over kote +40)
	17:00	3,93	7,79	

Det første 6 m gikk fort og det var mer bløt leire/kvikkleire enn på det første pelen

LOGGBOK boring av stålrørspeler Akse 2 (3.pel – venstre)

Dato	Kl	3 m	7 m	Arbeidsoperasjon/aktivitet
20.02.2015	11:37	3,98	7,53	Riggen plassert ved borhull
	12:10	3,98	7,53	
	12:30	3,98	7,53	Start boring
	12:40	4,06	7,59	ca. 3 m ned
	12:56	4,06	7,59	ca. 5 m ned
	13:18	4,07	7,6	ca. 7 m ned
	13:32	4,06	7,6	ca. 8 m ned og start med hammering
	13:43	4,07	7,62	ca. 9 m ned
	14:00			Nådd fjell
	14:15	4,07	7,58	1 m i fjell stopp

Startet med 12 m rør

Vedlegg 4

Akse 1

P11

12.2. 1045 excavator begins to move the drilling platform from P12 to P11 (geotextile + crushed stone)

1340 ready to start to sink the pile tube, 1st pile section length 6 m, pore pressure ok (SVV)

measuring technician inspects the location and direction, pile tube in tolerance, but some corrective actions made in order to be more

1355 closely on the theoretical point

continuing of pushing down the pile tube with rotation, pressure water (40-50 bar) and feeding

1400 force of the machine

proceeding down in 0,2 m increments

then disconnecting the pilot bit from the ring bit, lifting up the pilot bit into the pile tube, and flushing the soil up with air-water mixture

1425 checking of the location and direction, they are ok

after proceeding 4 m in 0,2 m increments, stiff clay seems to end and quick clay begin, pushin

1505 down becomes easier

1520 checking of the location and direction, they are ok

1530 1st 6 meters down, checking the location and direction, they are ok

1540 adding another 6 m section to pile tube by welding

1810 welding completed, beginning to push down the tube again

1820 pile tip 7 m depth from the piling level

pile tip 9 m from the piling level, extremely soft clay which gives no side support to the pile, so the pile location and direction is prone to

1830 wander around

and the pile tube rotates occasionally with the ring bit

9-11 m extremely soft, liquified clay, impossible

to control the direction, rotation and location of the pile tube at times

1900 12 m, beginning of welding the 3rd 6 m section

2100 everything ready for continuation, but the water supply man is missing

2200 water man comes but his pump is frozen and filled with sand

2325 de-icing and other frustrative actions carried through, ready start again

continuing of pushing down the pile tube with rotation, pressure water (4-5 bar) and feeding force of the machine, using air only when

2330 flushing, and pilot bit is in the pile tube

13.2. 0050 gradually the clay gets stiffer, reaching 18 m at 0050

0310 welding completed, started to push & rotate down the tube again

0330 first signs of friction soil discovered at 18.30 depth

penetration of the pile tube gets extremely slow, adding a very restricted amount of air into

0340 flushing stream

0340 beginning to hammer the pile tube on casing shoe very gently

0420 flushing increased at 19.00 m depth, taking another compressor in use simultaneously

0500 reaching bedrock at 19.60 m depth

0515 1st 0,1 m of the bedrock is somewhat soft

0630 pile tube drilled 1 m into solid bedrock, work ended to be continued later after a short brake

13.2. 0830 work continues as there is better light on site

flushing and taking up the drill string and hammer from the pile

1030 tools out of the pile tube, hammering at the top end of the pile, pile completed

pile tube length

22 m

pile length

20,85 m

from the drilling level (concrete tube upper

10.2.

700 drilling plave not completed, excavator in other tasks
 900 completing of the drilling place
 930 preparations of the drilling work, moving the drilling rig and drill string to the drilling
 1230 beginning of pushing down the pile tube with rotation, low pressure water and feeding force
 first pile section length 6 m
 pore pressure 26
 proceeding down in 0,2 m increments

then disconnecting the pilot bit from the ring bit, lifting up the pilot bit into the pile tube, and flushing the soil up with air-water mixture after proceeding 4 m in 0,2 m increments, the project geotechnician ordered us to beginning the sink down the tube by hammering on

1310 the top of the pile tube
 the inclination was measured, it was 1,3 % before ramming the tube was hammered 2 m down, last meter was penetrating clearly more easily, it was estimated that the tube had reached quick clay
 the inclination was measured, it was 3,8 %, the pile tube was pushed with the piling machine into to 2% tolerance, but the tube returned to appr 2,8% inclination

1400 beginning of clearing the clay out of the pile tube (there was 2 m clay in the pile tube after r
 1430 Project geotechnician ordered us to stop doing anything, the pore pressure had gone up to he also told us to wait until 17.00 for further instructions
 1700 the project geotechnician called and informed us to wait for 2 hours more for further inform

the project geotechnician informed us that we could not continue
 1840 drilling any more today, pore pressure was still 39 kPa
 anyway we could continue clearing the clay out of the tube, and also we got the permission from him to weld a section more to the pile tube
 we continued to clear the tube by pressing the hammer in the tube to the clay with low pressure water and rotation, mechanically with shovels etc
 lifted the hammer up and cleared the hammer
 2100 tube was empty of clay, we began to weld more tube on the pile
 2330 welding is finished for the day

11.2.

700 welding continues
 930 welding completed, sinking down the pile tube continues with the same method as earlier
 pump in low pressure water, using rotation and feeding force of the machine

proceeding in appr. 0,2 m sections, unlocking the pilot bit and the ring bit, lifting up the hammer and flushing with air-water mixture

1100 12 m of pile tube sunk down, beginning of welding a 6 m section more to the pile tube
 SVV geotechnician wanted to see the hammer, so we unlocked it from the ring bit and lifted

1430 welding completed, sinking down the pile tube continues with the same method as earlier
 the inclination was measured, it was 2,8%, this was reported to FAS and SVV
 again it was tried to adjust the inclination with the piling machine but the tube kept on returning
 SVV told that this is ok in the circumstances and they will solve this somehow for eg with ch
 JEF (FAS) announced that a deviation report has to be made
 measuring technician checked the pile location, it was in the tolerance

1715 tube sunk down 18 m
1730 beginning of welding another 6 m section
2030 welding completed, sinking down the pile tube continues with the same method as earlier
SVV geotechnician called that he will not be present to see the rest of the piling
the tip of the pile tube still in clay
inclination 3,0 %
pushing tube with the piling rig does not help
first signs of moraine, rotation sticks occasionally, pile does not
penetrate anymore with waterpressure, rotation and feeding force
2100 of the machine
flushing does not hep, flushing brings up signs of friction soil (gravel)
pile tip depth 18,2 m of the piling level
pile tip 0,5 m in the moraine, using 1 compressor with very limited
air amount, proceeding with 0,2 m increments, flushing in between
2125 increments
2135 pile tip depth 19,10 m from the piling level
tube appr. 0,9 m in the moraine, we begin to use 2 compressors
still flushing inside the tube after every 0,2 meters, gravel and small stones come up excessi
2155 19.70, saavutetaan kallion pinta, pinta on pehmeäkö
2155 the surface of th bedrock is received, the surface seem soft and fractured, depth 19,70
2200 after 0,3 m the bedrock gets firm and sound, dry dust begin to come up
2300 flushing of the pile, drilling ends, pile lenght 21 m from the piling level, pile 1 m in solid rock

12.2. 800 work continues as there in some light on site
flushing and taking up the drill string and hammer from the pile
1030 tools out of the pile tube, hammering at the top end of the pile, pile completed
pile inclination 3,3 %

Akse 2

P21

20.2.

09:00 Beginning of preparations for pile 21

12:25 Pushing down with the water & one compressor
A couple of hammer strikes needed to get trough the fill
Going down easily

12:30 pushing down with water & very restricted air flow
Depth 2 m, not penetrating any further with mere water, feed force and limited air
Operator switches on the rotation

12:40 3 m down, continuing with water, rotation, feed force & restricted air stream
minor position and direction correction, instructed by the measuring technician

12:45 reaching 4 m depth, continuing with water, rotation, feed force & restricted air stream
pore pressure ok, no increase registered

12:50 - 12:55 reaching 4,5m depth, pilot bit stucks considerably to the tube/soil, impossible to centralize drill string

continuing with rotation, feed force, water and air flow just as litte as possible to start a gentle hammer
impact
after 0,5 m of gentle hammer action the rotation stuck cleared out
a minor increase of pore pressure increase noticed

13:00 continuing with water, rotation, feed force and limited amount of air
direction control/restriction chain taken off

13:05 continuing with water and limited amount of air
6m depth reached, 50 mm direction correction taken, instructed by the measuring technician

13:10 pile tip in 6,5m depth, pause in pushing, flushing with water and air

13:20 7,0m depth, several flushings, no more penetration with flushing & rotation and feed force
pore pressure ok

13:30 7,5m down, water + 1 compressor full stream, short hammering + flushing repeated few times

13:35 Pile tip in 8,0m, clear sign of moraine, continuing with 2 compressors
pore pressure ok

13:40 9,0m depth, still in moraine

13:43 10,0m down, penetration very slow, bedrock?

13:44 Solid bedrock reached, beginning to use 3 compressors

14:05 required depth in bedrock reached

14:10 washing and lifting equipment begins

pile tube total lenght 12 m

- 18.2.
- 700 start preparations for drilling
beginning of pushing down the pile tube with rotation, pressurized water (4-1230 5 bar) and feeding force of the machine
first pile section length 6 m
pore pressure ok according to Samson (leading geotechnician)
proceeding down in 0,2-0,5 m increments
- then disconnecting the pilot bit from the ring bit, lifting up the pilot bit into the pile tube, and flushing the soil up with air-water mixture
inclination and position measured several times, deviations 20-30mm
- 1430 proceeded 4 m
1500 Welding of another section begins
1845 Welding completed, problems with site electricity and site lights
1900 More problems with electricity feed
Only one water pump can be run at the time, and no lights for the workers can be switched on, only rig lights available which light only appr. 30 degrees of the working area
- 1930 Water tank gets empty in the darkness and flushing is zero for a short period of time
The water tank filled with low pressure water pump from the river, drilling stopped
Frustrating actions need to be taken, hammer tested, not working at the beginning but after a period of flushing and lifting up and down etc hammer blockage cleared out
- 2010 proceeded 8 m, signs of moraine occur, penetration 0 m / 15 min
gravel grains come up with flushing water
rotation sticks occasionally
- 2010 Samson allows us to start gentle hammering with low airflow
pile position and inclination acceptable according to measuring technician
- 2045 proceeded 9 m
clear undisputable signs of moraine, begin to use 2 compressors simultaneously
- 2055 bedrock at 9,5 m
slight increase (appr 3 kPa) in pore pressured registered after taking the hammer impact into action
according to Samson our observation claims the bedrock to be appr. 0,6 m higher than the ground investigation
agreed that the pile will be drilled a little on the safe side in the bedrock (more than 1 m)
- 2130 Wor ended for the day
- 19.2.
- 730 drilling with 3 compressors to get a better flushing
930 drilling finished, flushing the pile and taking the drill string out
1030 hammering the top end of the pile, pile completed
pile position and inclination acceptable according to measuring technician,
deviation 60 mm (tolerance 100 mm)

pile tube length 12 m

Akse 2

P23

18.2.

1045 start preparations for drilling
beginning of pushing down the pile tube with
rotation, pressurized water (40-50 bar) and
feeding force of the machine

1145 first pile section length 6 m, clay
hammering down the first 1 m to keep the direction better
proceeding down in 0,2-0,5 m increments

then disconnecting the pilot bit from the ring bit,
lifting up the pilot bit into the pile tube, and
flushing the soil up with air-water mixture
inclination and position measured several times, deviation 20-30mm

1245 proceeded 6 m

1245 Welding of 2nd section begins

1435 Welding completed
Begin to push down the pile tube, quick clay

1530 High pressure water pump broken, 8 m depth from the drilling level

1545 Continuing with only air
Regulating the air stream very low, hammer action barely noticeable
No pore pressure increase registered
Flushing stream comes up without difficulties

Depth 8.5 m, first signs of moraine noticed, small

1610 pieces of gravel come up with the flushing
Air stream increased, still only one compressor in use
Depth 9.3 m, continuing with 2 compressors and
increased air flow, however not with full air

1630 stream
No pore pressure increase registered (Samson)

1640 Depth 9.5 m, bedrock, continuing with 3 compressors

1700 Pile filled with water, flushing with air, repeating this several times

1730 Drilling continues, full air stream from 3 compressors

1815 Drilling ended, appr 1 m in the bedrock

20.2.

700 Finishing works of the pile begin

pile tube length 12 m