

# DP1 + 2 Erfaringsinnsamling og analyse av skadeårsaker

State of the art Boreteknikk

Geir Veslegard og Arne Schram Simonsen

BegrensSkade Delrapport nr. 1 + 2.1

## Begrensning av skader som følge av grunnarbeider

### Delprosjekt 1 + 2: Erfaringsinnsamling og analyse av skadeårsaker

## State of the art Boreteknikk

Delrapportnr: 1 + 2.1

Dato: 2013-10-08

Revisjonsdato: 2014-03-23

Revisjonsnr.: 01

Delprosjektleder: Anders Ø. Eknes, Norconsult

Utarbeidet av: Geir Veslegard, Hallingdal Bergboring  
Arne Schram Simonsen, Multiconsult

Kontrollert av: Kjell Karlsrud, NGI og Jenny Langford, NGI

## Sammendrag

Med bakgrunn i sammenstilling av prosjekter med registrerte skader innen rammen for delprosjekt 1+2 ble det klart at det var behov for en gjennomgang av eksisterende metoder for boring. Hensikten er å kartlegge fordeler og ulemper med de ulike metoder sett i sammenheng med ulike grunnforhold og skadesaker.

Rapporten State of the Art Boreteknikk gir en gjennomgang av ulike metoder og virkemåter innen fundamentering, fra selvborende stag til grove pilarer.

Det er fokus på begrensninger for de ulike metodene og mulige skader som kan oppstå. Rapporten danner et grunnlag for utprøving av ulike boremetoder, samt videreutvikling av boremetoder og forbedrede prosedyrer i delprosjekt 3.

Fordeler og ulemper med de ulike metodene er beskrevet og sammenstilt i en tabell, vist nedenfor.

| METODE                 | FORDEL  | ULEMPE   |
|------------------------|---|--|
| Topp                   | Ingen senkning av vannnivå<br>Kun vannspyling<br>Ved tett borekroner er det ikke risiko for at luft går ut i formasjon.   | Begrenset dybde 30-50 m<br>Diameter 90-140 mm<br>Borehullsavvik pga slag opp<br>Skrens i blokk og skrått fjell   |
| Senk, luft             | Store dybder, 50-100 meter<br>Stor diameter<br>Lik energi uavhengig av dybde<br>Slag nede gir lite borehullsavvik<br>Ringkroner liten påvirkning og borer fullt tverrsnitt<br>Eksenter og vinger lavere pris enn ringborekroner | Vannnivå senkes til hammer<br>Luft ut i formasjon<br>Odex kan gi skrens<br>Odex gir erosjon fordi borekroner sitter foran røret<br>Vingesystem har begrenset erfaring i Norge  |
| Spyle/rotasjonsboring  | Liten påvirkning på formasjonen<br>Godt egnet for homogene og bløte leirer  | Kan ikke bore i harde lag og blokk.<br>Begrenset diameter med normale senkborerigger, men kan løses med større rotasjonskasse  |
| Reversibel med polymer | Polymer lager tettende sjikt på utsiden av stålrør og foran borestrengen  | Pris<br>Egner seg ikke i harde lag   |
| Reversibel senkhammer  | Snur luft inn i borestreng<br>Flere diameter på en streng   | Tetting av små kanaler i borekronen.   |
| Kjerneboring           | Gunstig ved boring i armert betong og stål<br>Rystelsessvak   | Begrenset diameter<br>Tidkrevende<br>Pris  |
| Selvborende stag/peler | Godt egnet som løsmassestag<br>Rask installasjon<br>Toppammer<br>Mulig å injisere kontinuerlig ved boring   | Begrenset dybde og diameter<br>Størrelse og utbredelse av injeksjons sone/kropp<br>Begrenset erfaring i Norge som bergstag   |
| Borede pilarer         | Store laster/diameterer<br>Ingen massefortrenging ved sjaktning/boring<br>Ingen senkning av vannstand   | Etablering av fjellfot i harde bergarter og skrå fjell eventuelt i kombinasjon med bløte sensitive løsmasser<br>Utstøping i bløte løsmasser ved trekking av foringsrør<br>Pris |

Figur 57: Boremetoder.

## Innhold

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 1      | Innledning.....                               | 6  |
| 2      | Formål (oppdateres av Jenny).....             | 7  |
| 3      | Organisering .....                            | 8  |
| 4      | Metode .....                                  | 8  |
| 5      | Boremetoder .....                             | 9  |
| 5.1    | Generelt.....                                 | 9  |
| 5.2    | Spyle- og rotasjonsboring.....                | 9  |
| 5.3    | Slagboring.....                               | 10 |
| 5.3.1  | Topphammer .....                              | 11 |
| 5.3.2  | Senkhammer .....                              | 11 |
| 5.4    | Rørborings systemer .....                     | 13 |
| 5.4.1  | Eksentrisk .....                              | 13 |
| 5.4.2  | Ringborkrone .....                            | 14 |
| 5.4.3  | Vingesystem .....                             | 17 |
| 5.5    | Kjerneboring.....                             | 18 |
| 5.5.1  | Kjerneprøven .....                            | 18 |
| 5.5.2  | Grunnleggende om kjerneboring .....           | 18 |
| 5.5.3  | Valg av utstyr – Generelle bruksområder ..... | 20 |
| 5.5.4  | Kjernerør.....                                | 20 |
| 5.5.5  | Kjernerør til bruk i dagen.....               | 20 |
| 5.5.6  | Wireline .....                                | 20 |
| 5.5.7  | Konvensjonelle kjernerør .....                | 20 |
| 5.6    | Reversibel senkboring RC (alternativ 1) ..... | 20 |
| 5.7    | Selvborende stag/peler .....                  | 22 |
| 5.7.1  | Injeksjonsstag .....                          | 27 |
| 5.7.2  | Ulike typer .....                             | 28 |
| 5.8    | Stag.....                                     | 30 |
| 5.9    | Peler.....                                    | 31 |
| 5.9.1  | Stålkjernepeler .....                         | 32 |
| 5.9.2  | Borede stålrørspeler.....                     | 32 |
| 5.10   | Borede pilarer.....                           | 35 |
| 5.11   | Boring av fjellbrønner.....                   | 47 |
| 5.11.1 | Kort beskrivelse:.....                        | 47 |

---

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 5.11.2 | Boring og tetting i løsmasse .....                      | 47 |
| 5.11.3 | Boring i fjell:.....                                    | 47 |
| 5.11.4 | Boring av løsmassebrønner .....                         | 48 |
| 5.11.5 | Metoder for løsmassebrønner .....                       | 48 |
| 5.12   | Aktuell problematikk -energibrønner:.....               | 49 |
| 5.12.1 | Infiltrasjonsbrønner.....                               | 50 |
| 5.13   | Sammenligning av bormetoder.....                        | 50 |
| 5.13.1 | Vann/luftspyling ved slagboring og risikomomenter ..... | 50 |
| 5.13.2 | Valg av metoder; fordeler og ulemper .....              | 52 |
| 6      | erfaringsprosjekter fra statens vegvesen.....           | 55 |
| 7      | referanser.....   | 55 |

**VEDLEGG** (<http://www.ngi.no/no/Prosjektnett/BegrensSkade/>)

- A. Eksempel Topphammer, Odex og OD
- B. Eksempel senkhammer
- C. Eksempel vannhammer
- D. Utdrag fra brukerhåndbok eksenterboring
- E. Eksempel sentrisk, ringbor- og vingesystem
- F. Eksempel kjerneboring
- G. Eksempel selvborende stag
- H. Eksempel mikro stålrørspeler
- I. Eksempel grove stålrørspeler
- J. Eksempel borede pilarer
- K. Erfaringer forankringer og stag
- L. Erfaringer stålkjernepeler
- M. Erfaringer borede peler
- N. Erfaringer borede stålrør

## 1 INNLEDNING

Bakgrunnen for forskningsprosjektet BegrensSkade er at det ofte oppstår uventede og uønskede skader på naboeiendommer og nærliggende infrastruktur, som følge av grunn- og fundamenteringsarbeider. Det ligger derfor et betydelig potensiale i å utvikle nye metoder og forbedre prosedyrer for å unngå eller begrense slike skader innenfor bygge-, anleggs- og eiendomsbransjen. Forbedret utførelse gir besparelse ved redusert antall skader, raskere gjennomføring, mindre forsinkelser og færre tvistesaker.

BegrensSkade har som mål å utvikle nye utførelsesmetoder og forbedre samhandlingsprosesser, for å begrense skader som kan tilbakeføres til grunn- og fundamenteringsarbeider innenfor bygg-, anleggs- og eiendomsbransjen. Prosjektet har en bred tilslutning fra den norske BAE-bransjen med 23 partnere, med representanter fra alle aktører (bygherrer, entreprenører, underentreprenører, konsulenter, eiendoms- og forsikringsselskaper samt forskningsinstitutt og universitet).

Prosjektet ser på hele kjeden av årsaker og forbedringsmuligheter fra prosjektering av grunn- og fundamenteringsarbeider til utførelse og oppfølging. BegrensSkade er delt opp i fem delprosjekter:

DP1+2 Erfaringsinnsamling og analyse av skadeårsaker

DP3 Videreutvikling av metoder for å begrense skader

DP4 Dokumentasjon av nye metoder

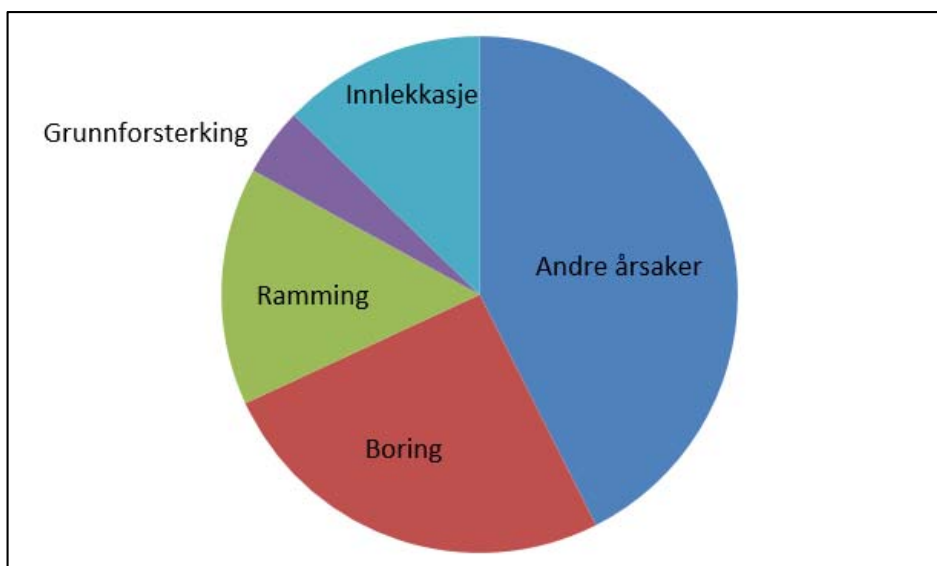
DP5 Verktøy for risikovurdering

DP6 Forbedret samhandling i BA-prosessen

## 2 FORMÅL

Med bakgrunn i delprosjekt 1 ble det klart at det var behov for en gjennomgang av eksisterende metoder for boring. For å kartlegge fordeler og ulemper med de ulike metoder som sees i sammenheng med ulike grunnforhold og skadesaker.

Av de innkomne sakene som kom inn i tide til å bli behandlet i denne omgang, er det totalt 27 skadetilfeller hvor en av de fire effektene under var årsaken. I tillegg er det ca 10 skadetilfeller som karakteriseres som "andre årsaker". Fordelingen er illustrert i Figur 2. Per dato er det også meldt i fra om saker som ikke er behandlet, da innmeldingen kom for sent. Disse vil imidlertid bli inkludert i senere revisjon av rapporten og det er også mulig å melde inn flere saker i mens



Figur 1 Fordeling av skadeårsaker fra DP 1

1. Effekt av ramming
2. Effekt av boring
3. Effekt av grunnforsterking
4. Effekt av innlekkasje av grunnvann

Denne state of the art rapporten danner grunnlag for videreutvikling av uttesting av boreteknikker som kommer i delprosjekt 3.1 Utprøving av boreteknikker for stag på testområde i delprosjekt 4. I forbindelse med boring påvirker boreprosessen grunnen på flere måter. Uønskede hendelser eller skader kan tenkes å skyldes en, eller ofte flere, av følgende fire fenomener:

1. Erosjon av masser ved boring
2. Rekonsolidering av leire som har vært omrørt
3. Kollaps av borhull
4. Drenasje

---

### 3 ORGANISERING

Følgende personer og firmaer har vært med på Work Shop og er bidragsytere til vedlegg i rapporten. Hovedbidragsytere er uthevet:

**Arne Schram Simonsen Multiconsult**

Alf Kristian Lund, NGI

**Anton Brandtzæg, Zublin Borede pilarer**

Anders Østbye Eknes, Norconsult

Andreas Berger, Multiconsult

**Steinar Giske, Statens Vegvesen; Erfaringsprosjekter - eksempler**

Einar Jon Lande, NGI

**Jon Endre Flåtten, FAS; Selvborende stag**

John Petter Holtmoen Entreprenørservice, RC og kjerneboring

**Guro Myhre Brødrene Myhre; Brønnboring**

Erling Omre, Kynningsrud Fundamentering

**Geir Veslegard, Hallingdal Bergboring; Boreteknikk**

### 4 METODE

Det er avholdt to Workshop: 31.10.12 og 5.12.12 med tema og fordelinger av oppgaver mellom konsulenter, entreprenører og Statens vegvesen.

For sammenstilling av rapportene har vi hatt to heldags arbeidsmøter 21.12.12 og 25.09.13. Videre utveksling av kommentarer undervegs via E-post og samtaler. Sluttgjennomgang av språk og layout er utført av NGI.

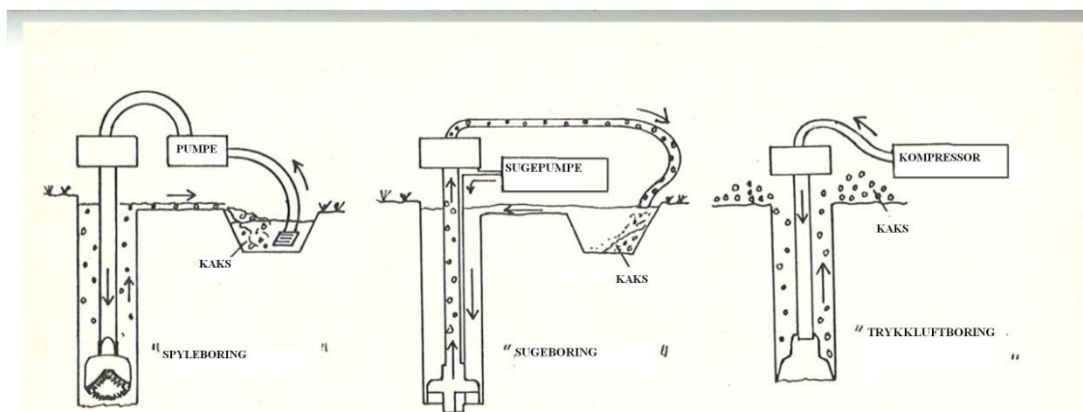


## 5 BOREMETODER

### 5.1 Generelt

For å beskrive en boremetode anvendes gjerne ord som forteller hvordan hullet etableres. Eksempelvis med støt, slag, rotasjon, hammer, vibrasjon, vridning, skruing og som oftest samtidig med rørdriking gjennom løsmasser og inn i berg.

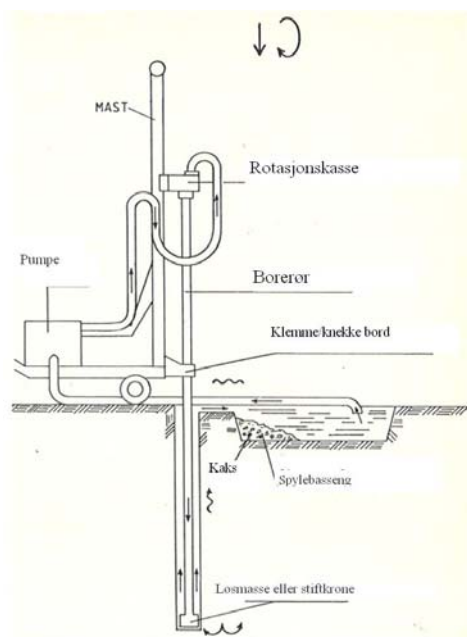
Ved all boring er opptransport av materialet som er boret i stykker avgjørende og dette beskrives gjerne etter hvordan det foregår som vist i figur 3, spyle og rotasjonsboring, RC (sug) og slagboring med trykkluft.



Figur 2 Boremetoder som viser transport av borkaks

### 5.2 Spyle- og rotasjonsboring

I finkornige jordarter, silt og leire utføres gjerne spyleboring med vann samtidig med rotasjon av borekroner og eventuelt rør (figur 4).



Figur 3 Prinsippskisse rotasjonsboring med direkte spyling

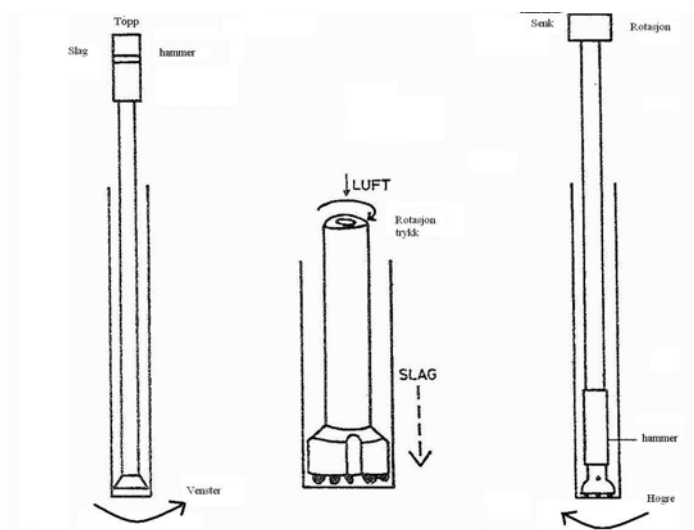
Ved rotasjonsboring utføres boringen med spyling kombinert med matekraft fra riggen uten bruk av slag fra en hammer.

Rotasjons- og spyleboring uten slag fra hammer anvendes normalt ved boring i løsmasser i bløte lag slik som leire og er effektiv fordi det fjerner kohesjon fra leira på rørveggen. Men normalt kan ikke metoden slik den praktiseres ved fundamentering komme gjennom morene og inn i fjell. Metoden kan ved rullborkrone og store rigger også bore i hardere formasjoner, slik som for eksempel til olje og gass i Nordsjøen.

### 5.3 Slagboring

Boring der slaget fra hammeren er den energien som lager hullet dominerer både for sprengning, fundamentering og brønner.

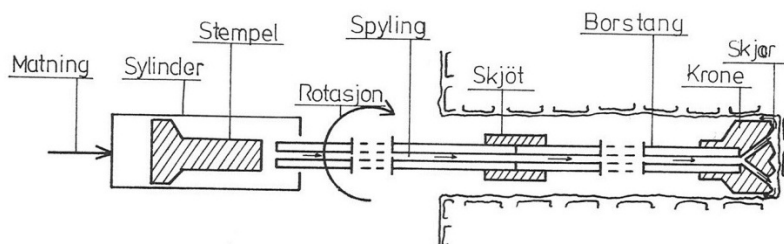
Slagboring deles i to typer; topp og senk (figur 5)



Figur 4: Toppammer til venstre og senk til høgre, i midten prinsipp med slagboring

### 5.3.1 Topphammer

Ved topphammerboring tilføres slagenergien oppe ved boreriggen og hammeren er innebygd med rotasjonsmotorer. Slaget fra hammeren overføres gjennom borestrengen og ned til borekronen. Dette gir begrensning i både boreddybde og diameter.



Figur 5: Prinsippskisse topphammer med stempel der slagenergien overføres via borstang til kronen.

### 5.3.2 Senkhammer

Senkhammer er en maskin som settes ned i hullet og der slagenergien overføres direkte til borekronen. Rotasjon av borestrengen gjøres fra motor oppe i boreriggen. Senkhammeren drives av trykkluft eller eventuelt vann. Luftdreven senkhammer finnes i dimensjonene 2-30", i bildet nedenfor er det vist en 18" hammer med pilot for ringborkrone.



Figur 6 Senkhammer med pilot for rørboring nede og overgang til borerør oppe.

Vannhammer har tilsvarende utforming og virkemåte som tradisjonell senkhammer men drives av vann i stedet for luft. Dette gjør at en alltid har vannfylt hull og siden det ikke brukes luft er det heller ingen risiko for at luft går ut i løsmassene. Eksempel på vannpumpe er vist i vedlegg 8.

**SKANSKA** Grundläggning Säkerhet Produkter Maskinpark Avaluta

**Maskinpark**

- » Pålmaskin
- » Spontmaskin/Vibro
- » KC
- » Borravn/Borrigg
- » Källarmus
- » **Injektering**
  - » Oruga sprutrobot
  - » Tecniwell vatten-jetgroutingpump
- » GPS

**Jet 1**

**TW3515/s vatten- og jetgroutingpump**

| Transport-/arbetsdimensjoner |           | Hydraulik      |                |
|------------------------------|-----------|----------------|----------------|
| Längd                        | 6055      | Dieselmotor    | 235 kW, 315 HP |
| Bredd                        | 2500      |                |                |
| Höjd                         | 2585      | 3" kolv        |                |
| Vikt                         | ca 16 ton | Max. tryck     | 700 bar        |
|                              |           | Max. kapasitet | 100 SPM        |
|                              |           | Liter/min      | 175            |
|                              |           | 3 1/2" kolv    |                |
|                              |           | Max. tryck     | 550 bar        |
|                              |           | Max. kapasitet | 100 SPM        |
|                              |           | Liter/min      | 284            |
|                              |           | 4" kolv        |                |
|                              |           | Max. tryck     | 450 bar        |
|                              |           | Max. kapasitet | 100 SPM        |
|                              |           | Liter/min      | 309            |

Jobba med Skanska

Figur 8: Bilde med pumpe for vannhammer

I tabell 1 er det sammenstilt tilgjengelige størrelser på hammere og borekroner for topp-, senk- og vannhammere:

| Hammer (tommer) | Borkrone diameter (mm) |
|-----------------|------------------------|
| <b>Topp</b>     | <b>32 – 175</b>        |
| <b>Senk 3</b>   | <b>89 – 105</b>        |
| <b>Senk 4</b>   | <b>108 – 130</b>       |
| <b>Senk 5</b>   | <b>140 – 156</b>       |
| <b>Senk 6</b>   | <b>152 – 216</b>       |
| <b>Senk 8</b>   | <b>200 – 254</b>       |
| <b>Senk 10</b>  | <b>251 – 381</b>       |
| <b>Senk 12</b>  | <b>302 – 445</b>       |
| <b>Senk 18</b>  | <b>457 – 762</b>       |
| <b>Senk 24</b>  | <b>610 – 864</b>       |
| <b>Senk 33</b>  | <b>838 – 1092</b>      |
| <b>Vann 3</b>   | <b>82,89</b>           |
| <b>Vann 4</b>   | <b>115,120</b>         |
| <b>Vann 5</b>   | <b>130,140</b>         |
| <b>Vann 6</b>   | <b>165</b>             |

Figur 9: Borehammer i tommer og de vanligste diameter for fjelkroner

Nærmere beskrivelser og dimensjoner finnes i vedlegg A- C.

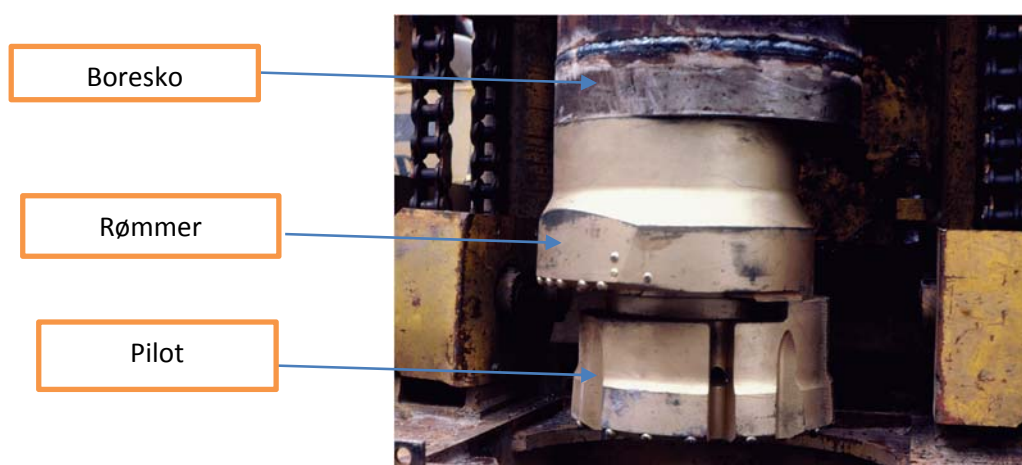
## 5.4 Rørborings systemer

### 5.4.1 Eksentrisk

Eksentrisk boreutstyr for boring av stålrør ble utviklet på midten av 1970 tallet og har fått stor anvendelse. Det består av tre deler: slagstyring, pilotkrone og rømmerkrone.

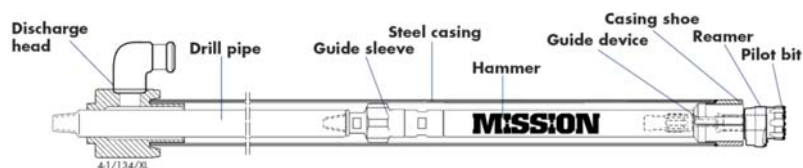
Eksentrisk topphammerutstyr finnes til rørdiameter 88,9, 114,3 og 139,7 mm. Det vanligste da er å slå røret ned fra topphammeren uten boresko.

Ved senkhammer sveises det en boresko på stålrøret som overfører energien fra hammeren til røret og trekker det med seg nedover etter hvert som hullet bores opp, se bilde i figur 10.



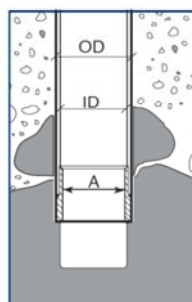
Figur 10: Eksentrisk boresystem med pilot, rømmer og boresko sveiset til stålrør

Dimensjoner og oppbygging med styring, hammer, boresko rømmer og pilot er vist i figur 11:



#### TUBEX XL Product Range

| TUBEX XL Type | Casing, recom. size, mm |         | Min. wall thickness, mm | Max. drill bit diameter, mm A | Reaming diameter, mm |
|---------------|-------------------------|---------|-------------------------|-------------------------------|----------------------|
|               | Max. OD                 | Min. ID |                         |                               |                      |
| 90            | 115                     | 102     | 5                       | 90                            | 123                  |
| 115           | 142                     | 128     | 5                       | 127                           | 152                  |
| 140           | 171                     | 157     | 5                       | 140                           | 187                  |
| 165           | 196                     | 183     | 5,5                     | 165                           | 212                  |
| 180           | 219                     | 194     | 6,3                     | 180                           | 232                  |
| 190           | 222                     | 205     | 6,3                     | 190                           | 237                  |
| 215           | 257                     | 241     | 6,3                     | 215                           | 278                  |
| 230           | 270                     | 250     | 6,3                     | 230                           | 286                  |
| 240           | 273                     | 260     | 6,3                     | 240                           | 306                  |
| 280           | 327                     | 305     | 7,1                     | 280                           | 370                  |



Figur 11: Odex-dimensjoner for senkhammer med lysopning i boresko og opprømt diameter

Utdrag av brukerhåndbok for eksentrisk boresystem er vist i vedlegg D.

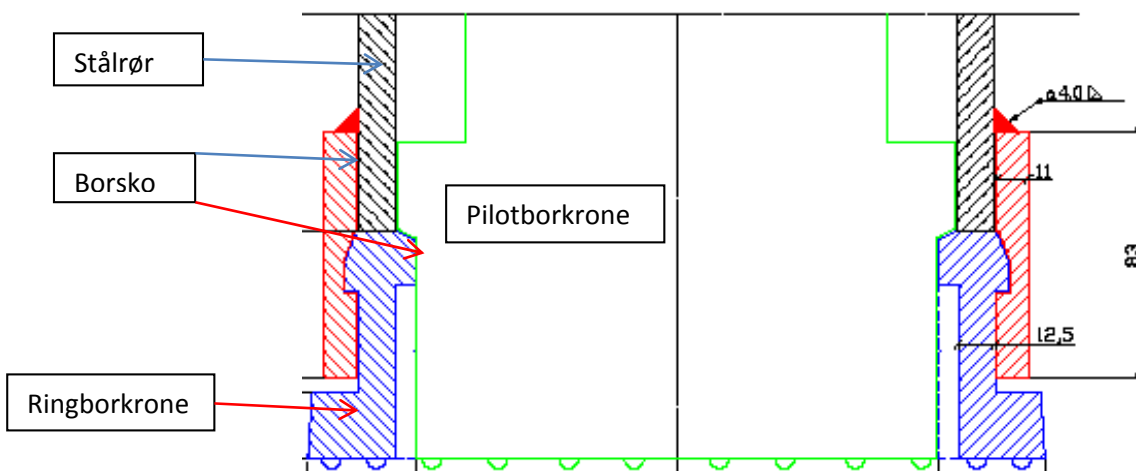
#### 5.4.2 Ringborkrone

Ringborkrone (engangskrone) ble utviklet ca. 1990 og har etter hvert erstattet eksentrisk utstyr ved boring av store rørdiameter og ved spesielle grunnforhold. Dette utstyret består av to deler pilotkrone og ringborkrone. Ringborkronen har større diameter enn røret og det bores da ett hull direkte som gir rettete hull, bedre borbarhet i blokk og stein og inn i berg enn eksentersystemet. Pilotkrona festes til ringborkrona med en bajonettkobling og løses ut ved venstre rotasjon av borestrengen. Ringborkronen blir igjen i hullet, og derfor er den også kalt for engangskrone. På stålrøret sveises det også her en boresko som er tilpasset slagkanten på pilotkrona.



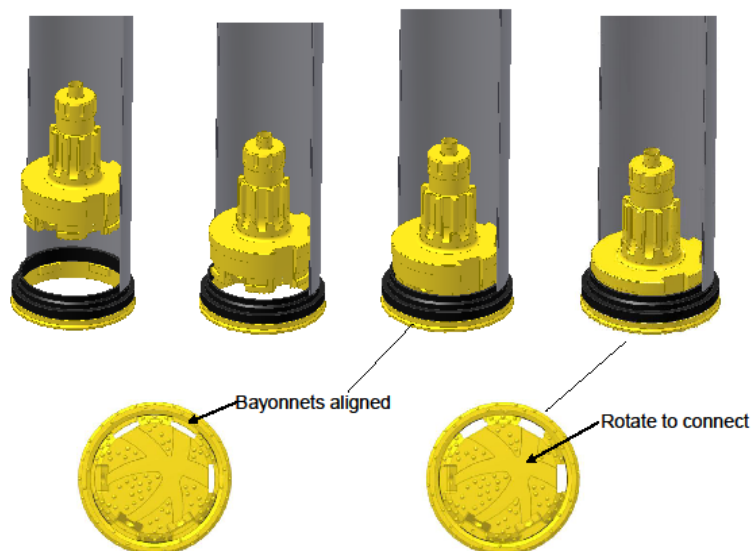
Figur 12: Ringborkrone og boresko som er sveiset til stålrøret

Ringborkronen har en diameter som er større enn stålrøret og sammen med pilotkronen bores ett fullprofils hull direkte gjennom løsmasser og inn i berg. Diameteren på ringkronen er ca. 15-20 mm større enn rørdiameteren, se figur under som viser oppbygging og typiske mål.



Figur 13: Snitt som viser pilot, ringkroner og boresko ved en for eksempel en boret stålrørspel

Etter at pelen er boret tas piloten opp ved venstre rotasjon som vist i figur:



Figur 14: Bajonett kobling mellom ringborkrone og pilotkrone med store spalter for retur av borekaks

Som det framgår av snitt og skisser er den vesentlig mindre overboring foran røret enn det som blir ved pilot og opprømmerkrone ved Odex.

Ringborkronen er tilpasset diameter for borede stålrørspeler som hylseskjøtes. Det er det mest anvendte systemet når stålrøret er bærende, siden det kan bore større veggtykkelser og større rørdiameter enn eksentrisk utstyr.

| Hammer        | D (mm) | Tykkelse i mm |
|---------------|--------|---------------|
| Topp          | 88,9   | 4-6,3         |
| Senk 3"/ Topp | 114,3  | 4-6,3         |
| Senk 4"/ Topp | 139,7  | 4-8-10        |
| Senk 5"       | 168,3  | 4,5-10        |
| Senk 6"       | 219,1  | 5-10          |
| Senk 8"       | 273    | 5 -12,5       |
| Senk 8"       | 323,9  | 6,3 -12,5     |
| Senk 12"      | 406,4  | 6,3-12,5      |
| Senk 12"      | 508    | 8-16          |
| Senk 18"      | 610    | 8-16          |
| Senk 18"      | 711    | 8-16          |
| Senk 20"      | 813    | 10-16         |
| Senk 20"      | 914    | 12,5-16       |
| Senk 24"      | 1016   | 12,5-16       |

Figur 15: Ringborkrone for topp og de vanligste dimensjoner for senkhammer med tilhørende rørdimensjoner

Den første veggtykkelsen angir minimum veggtykkelse og større tykkelser anvendes der røret er bærende eller ved krevende grunnforhold. Mellom dimensjoner for eksempel diameter 244, 356, 457 og 762 og andre tykkelser på stålrør kan også leveres, men det gir og tilpassing og endring av boresystemet.



Rørlengder tilpasses tilgjengelige borerigger og stedlige forhold med typiske lengder: 1, 1,5,3,6 og 12 meter for de slanke pelene. Korte stålrørslengde benyttes normalt der det er begrenset plass for eksempel ved boring i kjellere ved refundamentering. For de grove pelene benyttes normalt rørlengder i fra 6, 12, 18 og opp til 22 meter.

Ringborkronesystem finnes også til topphammer. OD (Overburden drilling) er en spesiell betegnelse på dette systemet når det anvendes til stagboring med gjengede tykkvegga stålrør.

Eksempel på boresystem med ringbor- og vingeborkrone er vist i vedlegg E.

#### 5.4.3 Vingesystem

Eksentriske systemer (Odex) har normalt begrensninger med hensyn på veggtykkelser og krever også større rotasjonsmoment enn ringborkrone system. For å bore tykkvegga stålrør ved tilsvarende grunnforhold som for Odex er det de siste åra utviklet systemer med vinger som presser eller roteres ut, se bilder nedenfor fra to leverandører.



Figur 16: Til venstre, pilotkrone med vinger som presses ut ved mating og til høyre for opptrekk



Figur 17: Til venstre pilot med boresko og vinger ute og til høyre er de rotert inn for opptrekk.

Foreløpig er det boret vesentlig mindre med disse vingesystemene enn med eksentrisk og ringkrone.

Derfor vil erfaringer etterhvert vise hva utstyret er best egnet for, og det er mulig at det vil plasseres ett sted midt i mellom de to som er utprøvde.

Eksempel på boresystem med vingeborkrone er vist i vedlegg E.

## 5.5 Kjerneboring

Bruksområdet til kjerneboring er først og fremst for spesielle grunnundersøkelser, og for å bore seg gjennom betong med armering nær overflaten eller bore gjennom andre materialer som ikke lar seg bore gjennom med normal boring. Kjerneboring er derfor en metode som er mindre i bruk for boring til stag eller peler.

### 5.5.1 Kjerneprøven



Figur 18: Eksempel kjerneprøve

Kjerneprøvene brukes til å skaffe nødvendig informasjon der andre teknikker ikke er nøyaktige nok. Kvaliteten av kjerneprøver er spesielt viktig, og påvirkes av personell, utstyr, diamantprodukter, verktøy og annet tilleggsutstyr som brukes i de gitte grunnforholdene. Utstyret som brukes i hullet representerer kun en liten del av de totale prosjektkostnadene, men valg og bruk av utstyret er av stor betydning.

### 5.5.2 Grunnleggende om kjerneboring

En kjerne kan generelt defineres som en volumetrisk prøve av materiale, dannet av en roterende, hul og sentrert diamantkrone gjennom en gitt in-situ formasjon (urørt fjell), og som deretter fjernes.

Kjerneutvinning (CR – Core Recovery) er definert som den totale mengden av fysisk kjernemateriale som blir trukket ut i forhold til antall boremeter, uttrykt i prosent. Kjerneutvinningen måles gjerne i målsonen eller over hele den totale borelengden.

$$CR (\%) = \frac{\text{Kjernelengde}}{\text{Borelengde}} \times 100$$

Som en generell regel: Større kjernediametre vil gi bedre utvinning.

Kjernen som lages innkapsles og trekkes ut av en prøvetakingsinnretning som kalles kjerneør. Denne er festet til en borekrone (som kan byttes ut) som typisk er lagd av syntetiske diamanter, og det er

denne som er selve "skjæreverktøyet". Ettersom borekronen trenger gjennom materialet, dyttes kjernen inn i kjernerøret helt til mottaksrøret er fullt, røret trekkes opp, kjernen tas ut, røret gjeninnsettes og boringen kan fortsette.

Prøvetaking vil bestå av borehullets startpunkt, målpunktet og "veien" imellom. Borehull med diametre på 48 til 146 mm og lengder på 3-3000 m har følgende til felles:

Diamantkronen

Spylesystem

Borestrengen

Kjernerøret

Diamantverktøyene

Boremaskinen som er forankret på toppen trengs primært for å overføre rotasjon, trykk og krefter til å dra opp borestrengen. Jo lettere og jevnere overføringen av rotasjonskrefter går, jo bedre blir kvaliteten av kjernen.

Spylevæsken kjøler ned og spylevæske vekk boreaksen fra borekronen og opp av hullet. Spylevæsken kan være reint vann eller ha tilsetninger (mud) tilpasset til forholdene. Spylevæskens kretsløp kan variere, men består typisk av en eller flere pumper, selve spylevæsken, borestrengen, åpningen mellom borestrengen og hullveggen, og de ytre komponentene som leverer, behandler og håndterer borevæsken (containere, pumper, osv.). Ved dårlige grunnforhold bør det rettes stor fokus på spylevæsken for å få minst mulig kjernetap.

Rotasjonen av borestrengen bør være jevn og uten vibrasjoner for å unngå kjernetap.

Kjernerøret er den mest kritiske komponenten med tanke på effektiv kjerneutvinning. Uansett om man bruker konvensjonell boremetode eller wireline, så er det vanlig å bruke et dobbelt kjernerør som består av et ytre og et indre rør. Mens det ytre røret roterer med borekjernen, står det indre røret stille. For å øke kjerneutvinningen er det viktig at lagrene og slitasjedeler vedlikeholdes, samt at man unngår at det indre røret utsettes for støt og deformasjoner.

Tredoble rørsystemer med et splittet indre rør er vanlig i dårlige og løse grunnforhold hvor spylevæsken kan vaske vekk noe av kjerneprøven før den kommer inn i det indre røret. Ved dårlige grunnforhold bør man også velge så store rør som mulig for å unngå kjernetap.

Diamantkronen sitter på enden av borestrengen og skjærer seg igjennom materialet som går inn i kjernerøret. Som en generell regel bør man velge en design på diamantkronen som minimerer mottrykket og utvasking for å beskytte kjernen mest mulig.

### 5.5.3 Valg av utstyr – Generelle bruksområder

#### 5.5.4 Kjernerør



Figur 19: Eksempel kjernerør

Kjerneboringsutstyret er i dag basert på avansert teknologi. Borrør, kjernerør, tilbehør og utforinger blir konstant oppgradert og forbedret for å møte forventingene til entreprenører og gruveselskap verden rundt.

#### 5.5.5 Kjernerør til bruk i dagen

Ulike kjernerør er tilgjengelige på markedet, blant annet doble kjernerør med en design som gjør at disse lett kan konverteres til en tredobbel rørkonfigurasjon i dårlige grunnforhold. Tynnveggede kjernerør som kan brukes i egnede grunnforhold gjør at kjernens størrelse kan økes.

#### 5.5.6 Wireline

Wireline kjernerør finnes for boring av hull i alle vinkler. Innerrøret pumpes inn ved hjelp av spylevæsken, og dras ut ved hjelp av en wire.

#### 5.5.7 Konvensjonelle kjernerør

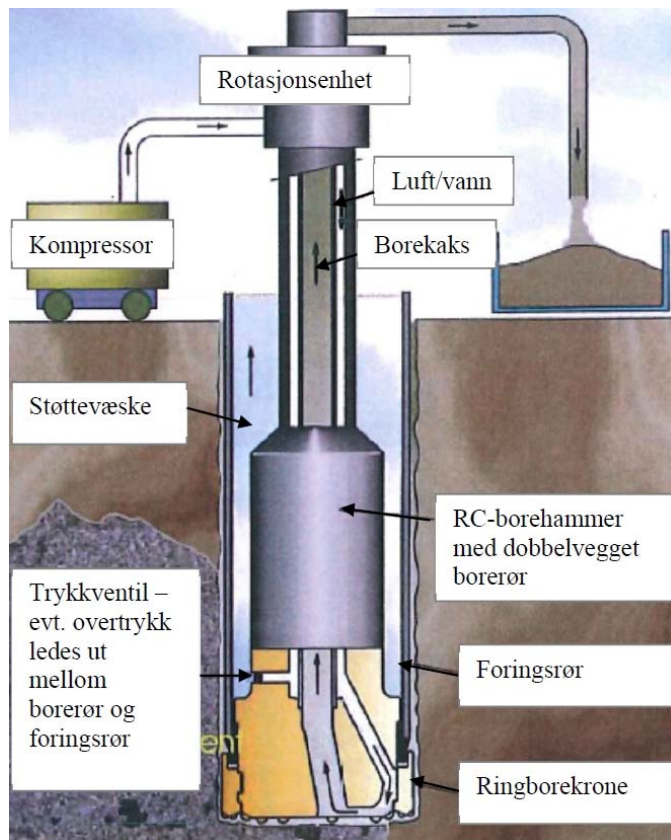
Med konvensjonelle kjernerør kan man produsere større kjernediametre sammenlignet med samme nominelle størrelse av wireline kjernerør. Robust konstruksjon og designegenskaper gir optimal produksjon for bruksområder hvor wireline ikke er praktisk eller økonomisk. Konvensjonelle kjernerør er vanlig i kortere borehull.

Nærmere beskrivelse av rørprodukter gitt i vedlegg F

### 5.6 Reversibel senkboring RC (alternativ 1)

RC boring kan være et godt alternativ ved boring i sensitive masser og hvor det er ønskelig med god kontroll av tilført luft / vann trykk så dette ikke går ut i formasjonen.

Prinsippet består av dobbeltvegget borerør og RC hammer som er åpen i senter. Trykkluft / vann føres ned mellom rørene, gjennom hammeren og ned til RC borkronen som er utformet slik at luft / vann fører borkaks inn mot senter, - gjennom senterrøret i hammeren og videre opp gjennom senterrøret i borerøret og ut på toppen av rotasjonskassen. Derfra ledes borkaks og returluft / vann i slange til ønsket oppsamlingsplass.



Figur 20: Eksempel reversibel senkboring

Metoden egner seg best for hulldiametre fra 300 mm og oppover.

Alternativ løsning er bruk av RC borrhør og konvensjonell senkborhammer utstyrt med "RC" borkrone. Her føres retturluft / vann og borkaks opp mellom hammer og foringsrør. Over hammeren er det montert et spesielt borrhør som har en tetting mot foringsrøret og med en åpning hvor returluft / vann og borkaks tvinges inn i senter på borrhøret og ut.

RC borkrone for boring med foringsrør kan være ringborkrone eller sentrisk krone med "vinger" (under reamer).

RC metoden har også den fordel at borkaks enkelt kan ledes til ønsket oppsamlingsplass. Det er minimalt med luft / vann og borkaks som kommer ut innvendig i foringsrøret.

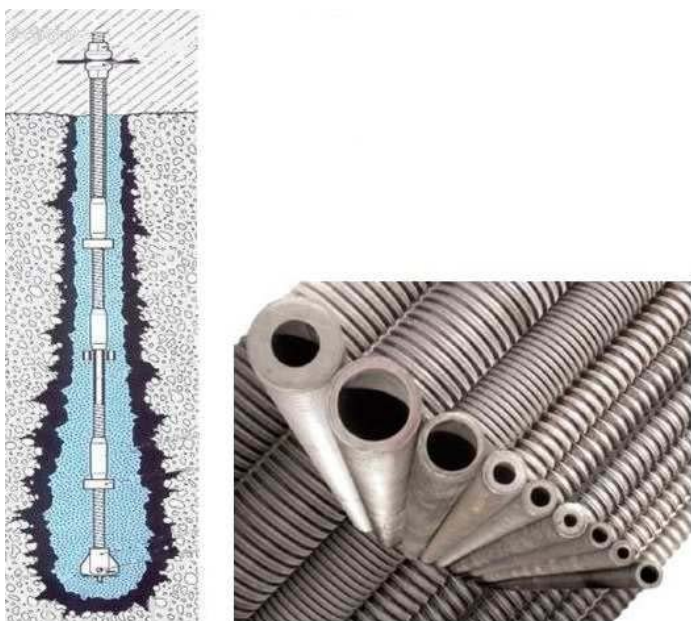
Under boring gir RC systemet mulighet for oppsamling av borkaksprøver med god kontroll av dybden.

Komplett RC utstyr er den metoden som gir minst risiko for propp i systemet.

Uansett metode må det stilles strenge kvalifikasjonskrav til borer.

## 5.7 Selvborende stag/peler

Selvborende stag/peler installeres med borekrone og skjøtestenger som blir stående igjen og utgjør pelen eller staget. Stålet i pelen er hult, noe som gjør det mulig å injisere gjennom pelen og ut borekronen samtidig som man borer. Sementsuspensjonen som injiseres, fungerer som en spylervæske under installeringen og danner en sementbasert kropp rundt stålelementet. Når pelen er boret til endelig dybde kappes stålelementet og man står igjen med en ferdig pel (se figur 21). Til venstre i figuren er det skissert hvordan en ferdig installert injeksjonspjel ser ut. Til høyre vises ulike dimensjoner av stålelementet i en injeksjonspjel.



Figur 21: Eksempel på selvborende stag.

Stålelementet fungerer både som borestreng, armering og injeksjonskanal. Ettersom stålet er kontinuerlig gjenget kan man kappe og koble sammen elementene til ønsket lengde.

Sementsuspensjonen som injiseres under boringen danner en friksjonsforbindelse mellom pel og løsmasser, og sikrer god kraftoverføring inn til det bærende stålet. Injeksjonsmassen fungerer også som korrosjonsbeskyttelse for pelen. Typisk v/c-tall for massen er 0,70. Når endelig dybde er nådd bør man skifte til injeksjonsmasse til v/c  $\approx$  0,40 og spyle kontinuerlig inntil hele pelens lengde er dekt med den tykkere massen. Ved å injisere med ca. 15 bar trykk vil man få fjernet vannet rundt pelen og borhullet stabiliseres. Med dette trykket vil betongen trenge inn i løsmassene og man får en god friksjonsforbindelse mellom sementsuspensjon og jord.



Figur 22: Detaljer selvborende stag

#### *Borkroner*

For at installasjonsprosessen skal bli så rasjonell som mulig er det viktig å velge en egnet borkrone. Man bør gjøre en vurdering ut i fra grunnundersøkelser, og benytte seg av den typen som antas å være best under de gitte forhold. Det bør også gjøres vurderinger i forhold til diameter på borkrone, ettersom den er direkte knyttet opp mot betongmassens overdekning til stålet og kapasiteten på pelen.

#### *Skjøtehylse*

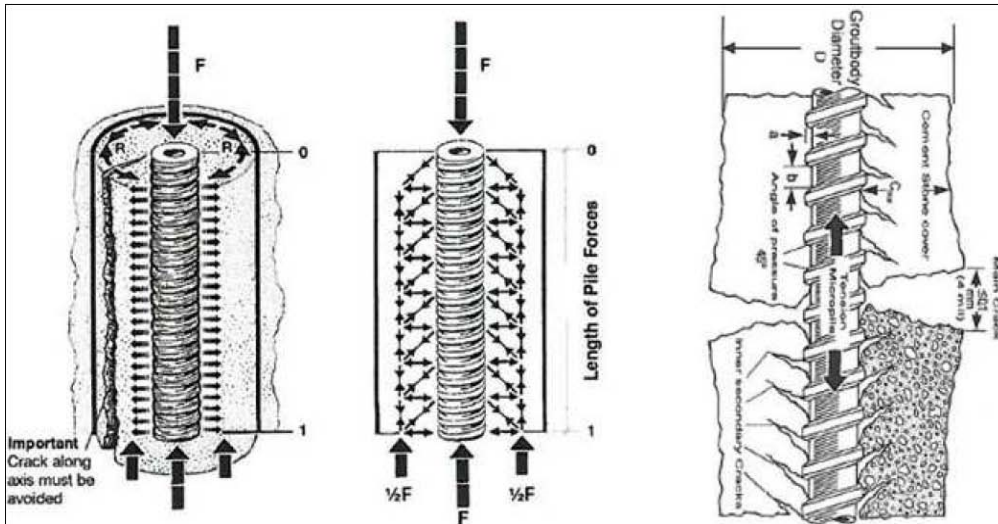
Det settes krav om at styrken til skjøtehylsene skal være minst like høy som bruddstyrken til stålet i pelen (jfr. EN 14199 Micropiles). Skjøtehylsene, som for øvrig leveres av leverandøren, skal være konstruert og monteres slik at man unngår energitap i overgangen mellom stålelementene. Siden gysmasse kontinuerlig spyles gjennom pelen skal skjøtehylsene være forseglet slik at lekkasje unngås.

#### *Distanseholdere*

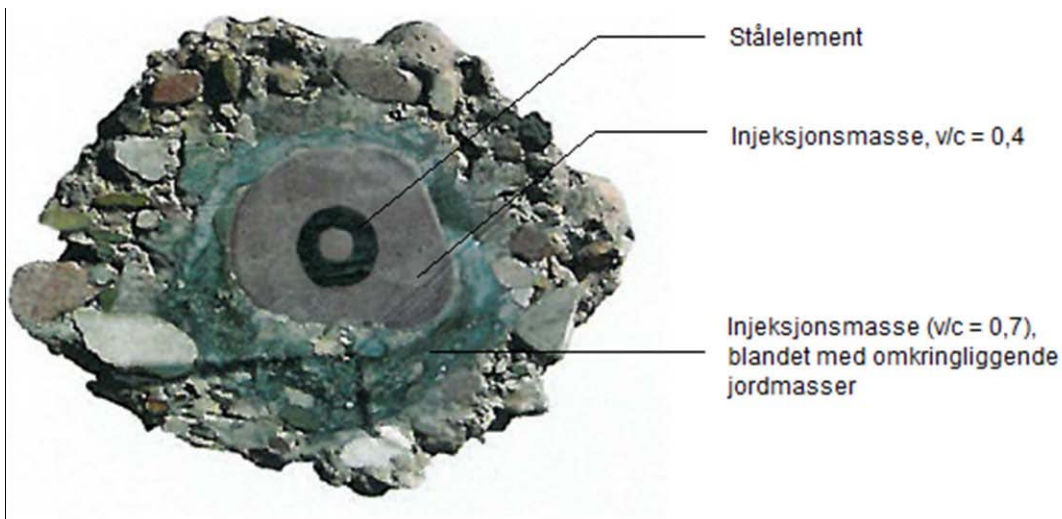
Det er satt krav om montering av én senterholder i et intervall på hver 3,0 meter borestreng (jfr. EN 14199 Micropiles). Hensikten med senterholderne er å sikre tilstrekkelig betongoverdekning i hele pelens virkelengde.

## Bæreprinsipp

Injeksjonspeler fungerer både som lastbærende element og grunnforsterkningsystem. Når man injiserer betong samtidig som man borer (figur 23), stabiliseres borhullet samtidig som man øker den opprinnelige styrken/bæreevnen til jordmassene ved at omkringliggende masser konsolideres



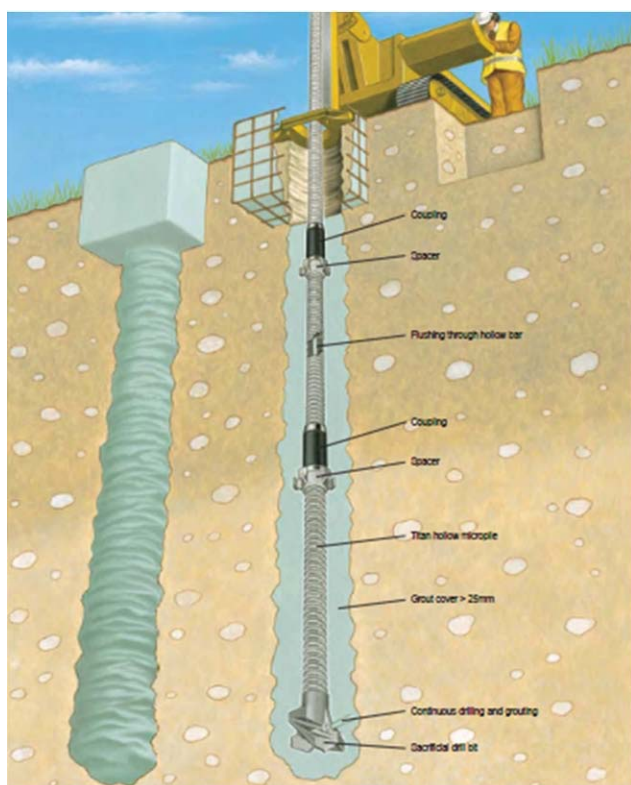
Figur 23: Til venstre illustreres prinsippet for lastfordelingen hos injeksjonspeler. Til høyre vises riss i betongmasse etter lastpåkjenning



Figur 24: Tverrsnitt av en ferdig installert injeksjonspel



Stålelementet, som brukes til borestreng og injiseringskanal, opptar last samtidig som det fungerer som armeringsjern. Injeksjonspeler danner et sterkere bånd mellom betong- og jordmasser enn konvensjonelle friksjonspeler. Ved å injisere betong med høyt trykk samtidig som man borer, får man stor gjennomtrengning av sementsuspensjon, og dermed en tykk forankringskropp. Dette resulterer i god friksjonsforbindelse mellom injeksjonsmasse og jordmasser.



Figur 25: Illustrasjon av installasjonsprosessen

Ved installasjon bør man registrere hvor mye betongmasse som brukes under injiseringen, samt hvor høyt pumpetrykket er. Dersom man registrerer stort forbruk av sementsuspensjon, bør man vurdere om installasjonen midlertidig skal stanses. Dette for å tette eventuelle sprekker i grunnen som opptar mye betong. Rotasjonshastigheten under boring bør ligge mellom 60 – 160 RPM (revolutions per minute). Dette tallet er satt som veiledende verdi for å oppnå ønsket penetrasjonshastighet (rundt 1 meter per minutt). Ved vanskelige grunnforhold kan det være nødvendig med bruk av roterende slagbor. I disse tilfellene vil hastigheten gjerne reduseres. For å oppnå godt samvirke mellom jord og betong, er det anbefalt at man flere ganger i løpet av boreprosessen trekker tilbake borstangen før man fortsetter videre.



**Figur 26:** Til høyre vises deler av rigg med hydraulisk topphammer og tilkoblet injeksjonslange. Til venstre vises eksternt blandeverk, samt betongblander og pumpe.

Man anbefaler å bruke hydraulisk topphammer, tilpasset de ulike stangdimensjonene, ved installasjon av injeksjonspeler. Minimumskapasitet for rotasjonshastighet og dreiemoment på boreriggene bør være rundt 160 RPM og 2500 Nm, samt en slagenergi på 610 Joule. Vanlige rigger som tilfredsstill disse kravene er TEI, Eurodrill, Klemm, Krupp, Huette og Morath. Ved installasjon er det nødvendig med eksterne blandeverk. Optimalt sett bør to betongblandere benyttes, én for den tynnere injeksjonsmassen ( $v/c = 0,7$ ) og én for den tykkere massen ( $v/c = 0,40$ ). For injeksjon anbefales å bruke stempelpumpe fremfor for eksempel skruepumpe, dette på grunn av blandingsmåten og muligheten for justering av injeksjonstrykk. Stempelpumpe med kapasitet ca. 120 l/min og 5 – 100 bar trykk er normalt brukt. Dersom man injiserer med for lavt trykk kan man risikere liten overdekning på betongen, og redusert kvalitet på det ferdige produktet. Typiske blandeverk som brukes er av typen Atlas, Häny, Colcrete, Chem-Grout og Obermann.

Det er viktig at installasjonen gjennomføres av kvalifiserte og erfarne operatører. Grunnen til dette er at materialet må kontrolleres i henhold til de spesifiserte krav, og at mannskapet må være kjent med de vanskeligheter som medfølger installasjonsprosessen. Dette inkluderer blant annet tilstrekkelig overdekning av stålet, og riktig borhastighet for oppnåelse av god friksjonsforbindelse mellom løsmasser og betong.

### 5.7.1 Injeksjonsstag

Injeksjonspeler er likt injeksjonsstag, bare med vertikalboring. Stagene brukes både til forankring av spunt, rørstengsel, bjelkestengsel, støttemurer, etc. Injeksjonsstagene tilpasses enkelt ulike bruksområder, krav og korrosjonsmiljø, samt varierende grunnforhold. Forankringene utføres som løsmasse- og fjellforankring, både permanent og midlertidig.

#### *Fjellforankring*

En forutsetning ved fjellforankring er valg av riktig borkrone, i dette tilfellet fjellkrone. Borkronen bør vurderes både i form av diameter (relatert til forankringskroppens tykkelse) og type (fjellforhold). Etter at man har boret ferdig staget og gysemassen er tilstrekkelig herdet, testes staget med en spennjekk. Figur 7 illustrerer denne prosessen.

Generelt for injeksjonsstag er installasjonsprosessen enkel og effektiv slik at fremdriften kan økes betraktelig i forhold til mer tradisjonelle forankringsmetoder. Rask installasjon bidrar også til et lavere kostnadsnivå.



Figur 27: Strekktesting av injeksjonsstag

Ved strekktesting i praksis bør en teste den delen av staget som står i aktiv sone. Dette kan være vanskelig dersom en injiserer i hele stagets lengde og det blir heft mellom stag og løsmasser.



Figur 28: Fjellforankring på Helleren i Bergen

### 5.7.2 Ulike typer

Det finnes per i dag flere produsenter og leverandører av ulike typer injeksjonspeler. Eksempler på peletyper som er etablert i det nordiske markedet er Ischebeck TITAN, MAI og Dywidag. Forskjellen på de ulike pelene er hovedsakelig knyttet til kvaliteten på stålet, og utformingen på gjengene. Injeksjonspeler leveres, avhengig av produsent, enten med type R-, T- eller TITAN-gjenger. Type R karakteriseres med glatte gjenger, mens type T og TITAN har skarpere gjengekanter. Forskjellen ligger i hvordan rissutviklingen arter seg ved pålasting av pelene. Gjengenes utforming spiller også rolle for passformen til tilbehør som skjøtehylse og låsemutter. Størrelsene varierer fra 30 -130 mm, avhengig av produsent. Kapasiteten til stålelementene varierer med type stålqualität. Injeksjonsstålet skal både fungere som ferdig forankring og til å bore med, så det er viktig at stålqualität er egnet til disse formål. Stålet må tåle slagboring med rotasjon og momenter p.g.a. hinder i grunn, uten at det blir overbelastet. Leverandøren må kunne dokumentere for ulike tekniske data (se EN 1992-1:2004, tabell C.1). For Ischebeck TITAN ligger flytlasten på stålet rundt 3400 kN for de groveste dimensjonene (103/43).

|  | TITAN<br>30/16 | TITAN<br>30/14 | TITAN<br>30/11 | TITAN<br>40/20 | TITAN<br>40/16 | TITAN<br>52/26 | TITAN<br>73/56 | TITAN<br>73/53 | TITAN<br>73/45 | TITAN<br>73/35 | TITAN<br>103/78 | TITAN<br>103/51 | TITAN<br>103/43 | TITAN<br>127/111 |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| Nominell ytre diameter<br>$d_y$ [mm] <sup>1)</sup>       | 30             | 30             | 30             | 40             | 40             | 52             | 73             | 73             | 73             | 73             | 103             | 103             | 103             | 127              |
| Nominell indre diameter<br>$d_i$ [mm] <sup>1)</sup>      | 16             | 14             | 11             | 20             | 16             | 26             | 56             | 53             | 45             | 35             | 78              | 51              | 43              | 103              |
| Tverrsnittsareal<br>$A$ [mm <sup>2</sup> ] <sup>2)</sup> | 340            | 375            | 415            | 730            | 900            | 1250           | 1360           | 1615           | 2260           | 2710           | 3140            | 5680            | 6023            | 3475             |
| Flytespenning<br>$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]           | 560            | 585            | 625            | 590            | 590            | 585            | 610            | 590            | 560            | 530            | 565             | 470             | 565             | 585              |
| Flytelast<br>$P_y$ [kN]                                  | 190            | 220            | 260            | 425            | 525            | 730            | 830            | 970            | 1270           | 1430           | 1800            | 2670            | 3400            | 2030             |
| Bruddlast<br>$P_b$ [kN]                                  | 245            | 275            | 320            | 540            | 660            | 925            | 1035           | 1160           | 1585           | 1865           | 2270            | 3660            | 4155            | 2320             |
| Tillatt skjærkraft<br>$V_{sll}$ [kN] <sup>3)</sup>       | 59             | 69             | 81             | 133            | 164            | 228            | 259            | 303            | 397            | 447            | 563             | 834             | 1063            | 634              |
| Vekt per meter<br>$M$ [kg/m]                             | 2,7            | 2,9            | 3,3            | 5,6            | 7,2            | 9,9            | 10,8           | 13,2           | 17,8           | 21,2           | 25,3            | 44,6            | 47,3            | 28,9             |
| Gjengens retning<br>(V eller H)                          | V              | V              | V              | V              | V              | V/H            | H              | H              | H              | H              | H               | H               | H               | H                |
| Standardlengder stag<br>$L$ [m]                          | 3 / 4          | 3 / 4          | 2 / 3 / 4      | 3 / 4          | 2 / 3 / 4      | 3              | 6,25           | 3              | 3              | 4              | 3               | 3               | 3               | 3                |
| Diameter skjøtehylse<br>$d_s$ [mm]                       | 38             | 38             | 38             | 54             | 54             | 70             | 89             | 89             | 95             | 95             | 123             | 132             | 140             | 140              |
| Lengde skjøtehylsa<br>$L_s$ [mm]                         | 105            | 105            | 105            | 140            | 140            | 160            | 235            | 235            | 245            | 245            | 255             | 290             | 330             | 255              |

| Table 1   | R32-210   | R32-250 | R32-280 | R32-320 | R32-360 | R38-420 | R38-500 | R38-550 |
|---|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Nominal Thread Diameter (mm)                              | 32        | 32      | 32      | 32      | 32      | 38      | 38      | 38      |
| Effective External Diameter (mm)                          | 29.5      | 29.5    | 29.5    | 29.5    | 29.5    | 36.4    | 36.4    | 36.4    |
| Internal Diameter <sup>[a]</sup> (mm)                     | 21.5      | 19.7    | 18.0    | 16.5    | 15.0    | 21.0    | 19.0    | 18.2    |
| Cross Section Area <sup>[b]</sup> (mm <sup>2</sup> )      | 321       | 380     | 429     | 470     | 507     | 695     | 757     | 781     |
| Ultimate Strength (kN)                                    | 210       | 250     | 280     | 320     | 360     | 420     | 500     | 550     |
| Yield Strength (kN)                                       | 170       | 190     | 220     | 280     | 300     | 350     | 400     | 430     |
| Steel Grade <sup>[c]</sup> Yld / Ult (N/mm <sup>2</sup> ) | 530/660   | 510/670 | 520/670 | 590/680 | 590/710 | 510/610 | 530/660 | 550/710 |
| Average Section Modulus (cm <sup>3</sup> )                | 1.83      | 2.04    | 2.21    | 2.32    | 2.43    | 4.18    | 4.59    | 4.84    |
| Moment of Inertia (cm <sup>4</sup> )                      | 2.72      | 3.06    | 3.30    | 3.46    | 3.62    | 8.02    | 8.46    | 8.78    |
| Thread (Left-Hand)  | ISO 10208 |         |         |         |         |         |         |         |
| Weight (kg/m)   | 2.8       | 3.0     | 3.4     | 3.9     | 4.1     | 5.3     | 6.0     | 6.2     |

Figur 30: Tekniske data Ischebeck TITAN

Nærmere beskrivelse av Titan, Dywidag og Mai er vist i vedlegg G.

## 5.8 Stag

Lissestag (wirestag, linestag, spenntau etc.) benyttes mye for bakforankret spunt. Fjellstag etableres normalt med helning 45 grader og løsmassestag med 10 – 20 grader. Andre vinkler forekommer også. Forskjellen mellom midlertidige og permanente stag ligger i krav til levetid, og stag med funksjonstid lengre enn to år regnes som permanente. I permanente stag utnyttes stålet lavere og det er også krav til korrosjonsbeskyttelse som krever et korrugert plastrør utenpå lissene.

Borediameter for de vanligste stagdimensjoner er vist i figurene nedenfor:

| Antall 0,6" liner/lisser | Borsystem | Hammer    | Rør (mm)    | Tykkvegga rør m/ringkrone | Hammer | Borediameter i fjell (mm) | Forankrings lengde (m) |
|--------------------------|-----------|-----------|-------------|---------------------------|--------|---------------------------|------------------------|
| <b>1-9</b>               | Odex 76   | Topp      | 88,9 x 4    | OD 101,6                  | Topp   | 72                        | 3 - 5                  |
| <b>1-11</b>              | Odex 90   | Topp/senk | 114,3 x 3,6 | OD 114,3                  | Topp   | 90                        | 3 - 5                  |
| <b>12-15</b>             | Odex 115  | Senk      | 139,7 x 4   | OD 133                    | Topp   | 115                       | 4 - 6                  |
| <b>16-22</b>             | Odex 140  | Senk      | 168,3x 4,5  |                           |        |                           | 5 - 8                  |

Figur 31: Midlertidige stag og boresystem, Odex til venstre og ringkrone med gjenga rør (OD) til høyre.

| Antall 0,6" liner/lisser | Borsystem | Hammer  | Rør (mm)   |
|--------------------------|-----------|---------|------------|
| <b>1-5</b>               | Odex 115  | 4" senk | 139,7x4    |
| <b>6-12</b>              | Odex 140  | 5" senk | 168,3x 4,5 |
| <b>12-16</b>             | Odex 165  | 6" senk | 193,7x5    |

Figur 32: Permanente stag og boresystem



Figur 33: Stagrigg med topphammer og magasin for rørhåndtering

## 5.9 Peler

Borede peler er normalt av to typer; spissbærende i berg eller friksjonspeler i løsmasser. Trykkpeler er mest vanlig, men de kan også enkelt utformes til å ta strekk ved underboring i berg.

Peler deles ifølge EN-NS standarder i mikro (liten diameter) < 300 millimeter og grove (stor diameter) > 300 millimeter. Men siden peler med diameter 324 millimeter bores med samme 8" hammer som 273 mm rør er det naturlig å sette grensen til dette for oss i Norge

Mikropeler består av 3 hovedtyper:

- Stålkjernepeler
- Borede stålrørspeler
- Selvborende

Grove peler armeres og støpes som oftest ut og blir da en samvirke pel med bæring i stålrør, armering og betong som kan ta store laster.

### 5.9.1 Stålkjernepeler

I peleveiledningen 2012 i kapittel 7 er det gitt en grundig gjennomgang av stålkjernepeler og det vises til denne. For utførelsen er valg av rørdimensjon i forhold til stålkjernerdimensjon vesentlig og en sammenstilling av kjernerdimensjon, rørdimensjon og mørteloverdekning er vist i figuren under:

| Stålkjerne | Foringsrør diam. | Min. godstykkelse | Overdekning innvendig rør | Berghull uten foringsrør | Overdekning i berg |
|------------|------------------|-------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------|
| (mm)       | (mm)             | (mm)              | (mm)                      | (mm)                     | (mm)               |
| 70         | 139,7            | 4,5               | 30                        | 115                      | 23                 |
| 90         | 168,3            | 4,5               | 35                        | 140                      | 25                 |
| 100        | 168,3            | 4,5               | 30                        | 140                      | 20                 |
| 110        | 193,7            | 5                 | 37                        | 165                      | 28                 |
| 120        | 193,7            | 5                 | 32                        | 165                      | 23                 |
| 130        | 219,1            | 5                 | 40                        | 190                      | 30                 |
| 150        | 219,1            | 5                 | 30                        | 190                      | 20                 |
| 180        | 273,0            | 5                 | 42                        | 240                      | 30                 |
| 200        | 273,0            | 5                 | 32                        | 240                      | 20                 |
| 220        | 323,9            | 6,3               | 46                        | 273                      | 27                 |
| 230        | 323,9            | 6,3               | 41                        | 273                      | 22                 |

Figur 34: Stålkjernepeler med tilhørende bordiameter

For trykkpeler der det aksepteres at foringsrøret bores helt ned til bunn berghull kan mindre dimensjoner på foringsrør benyttes for å tilfredsstille normale krav til mørteloverdekning (20 mm).

For stålkjernepeler er det ikke normalt å beregne bæring på stålrøret og dette fungerer derfor bare som forskaling for utstøpingen.

### 5.9.2 Borede stålrørspeler

Borede stålrørspeler er tilgjengelige i diametere fra 88.9 mm og opp til og med 1220 mm

I praksis er imidlertid ikke noe større enn diameter 1016 boret i Norge per i dag. De ulike diametere leveres med forskjellig godstykkelse, opptil 20 mm for de grovere pelerørene. Det skilles normalt mellom mikropeler med dimensjon 90 – 320 mm og grove peler med diameter fra 400 - 1220 mm.

For borede stålrørspeler regnes det bæring på stålrøret og det benyttes derfor større veggtykkelser enn ved stålkjerner. Dette gir større motstandsmoment (stivhet) ved boring enn for de tynnveggede



rør som benyttes til stålkjernepeler. Oppbygging av boresystem, hammer, ringkrone og borerør tilsier også at denne metoden har større stivhet og derfor ikke så lett gir borehullsavvik og skrens slik som ved eksenterboring for stålkjernepeler.

I figuren nedenfor er det vist en oversikt over de vanligste boremetoder, rørdiameter, veggtykkelse og skjøt som finnes tilgjengelig nå:

| Hammer  | Rør   | Tykkelse     | Skjøt       |
|---------|-------|--------------|-------------|
| 3"/Topp | 114,3 | 6,3 - 8 - 10 | Hylseskjøt  |
| 4"/Topp | 139,7 | 8-10         | Hylseskjøt  |
| 5"      | 168,3 | 10 - 12,5    | Hylseskjøt  |
| 6"      | 219,1 | 10 - 12,5    | Hylseskjøt  |
| 8"      | 273   | 10 - 12,5    | Sveiseskjøt |
| 8"      | 323,9 | 12,5         | Sveiseskjøt |

Figur 35: Borede stålrørspeler diameter < 350 mm

Produktark for mikropeler er vist i vedlegg H.

En sammenstilling av borehammer og rørdiameter for grove peler er gitt i figuren under:

| Borehammer<br>(") | Rørdiameter<br>(mm) | Godstykkelse<br>(mm)  |
|-------------------|---------------------|-----------------------|
| Senk 12"          | 406,4               | 6,3-10-12,5           |
| Senk 12"          | 508                 | 10-12,5-14,2-16       |
| Senk 18"          | 610                 | 10-12,5-14,2-16-18    |
| Senk 18"          | 711                 | 10-12,5-14,2-16-18-20 |
| Senk 20"          | 813                 | 12,5-14,2-16-18-20    |
| Senk 20"          | 914                 | 12,5-14,2-16-18-20    |
| Senk 24"          | 1016                | 12,5-14,2-16-18-20    |
| Senk 30"          | 1220*               | 12,5-14,2-16-18-20    |

\*Rørdiameter er ikke utført i Norge (pr oktober 2013)

Figur 36: Borede stålrørspeler > 350 mm – diameter og godstykkelse

Når det gjelder boreteknikk så kan stort sett de samme riggene som benyttes til andre mikropeler benyttes.

Borede peler, både mikropeler og grove, har økt relativt raskt de senere årene i Norge og Norden for øvrig. Når det gjelder prinsippet for borede peler, enten røret skal være konstruktivt bærende eller bare fungere som forskaling for armering og utstøping, så er det å anbefale sentriske boresystemer. For eksempel er tradisjonell boring av foringsrør vanligvis utført med ODEX-boring som er et eksentriske borsystem. Mens det eksentriske borsystemet kan gi en noe upresis boring i form av avvik fra vertikalitet, og skrens på blokk eller fjell, så vil et sentrisk system være mye mer presist og sjelden gi store avvik.

Prinsippet med sentrisk borsystem for stålrørspeler er at man har en ringborkrone som entres gjennom pelerøret og føres ned til bunnen (spiss) av første pelerøret. I enden av røret er det som regel påmontert en forsterkningsring / borsko som det er festet en ringborkrone på. Pilotkronen kobles mekanisk lett inn på ringborkronen før boring, slik at begge deler roterer og sammen gir et fullt bortverrsnitt i hele pelens tverrsnitt. Ringborkronen og pilotkronen roteres, mens evt slag og spyling utføres, og på den måten trekkes røret med nedover i grunnen. Røret roterer ikke, da ringborkronen ikke er fastlåst til borsko/ring. For de fleste dimensjoner av borede peler, med unntak av den minste  $\varnothing 90$ , benyttes senkborhammer.

Det finnes flere anerkjente borsystemer som kan benyttes til borede peler, det være seg mikropeler eller grove. Flere leverandører skiller i sine brosjyrer mellom borsystemer for tynnveggede foringsrør (casings) og de mer tykkveggede rørene. Dette er det viktig å være klar over da ytre diameter kan være lik for forskjellige veggtykkelser. For eksempel er det ikke sikkert man kan benytte samme pilotkrone i et rør med 20mm gods som et rør med 12 mm gods, det kan bli for trangt inni røret. Det er også viktig å være klar over at  $\varnothing 90 - \varnothing 220$  benyttes i relativt stort omfang med ytre, gjengede skjøtehyllser i stedet for sveiseskjøtting.

Disse bygger noen millimeter utenpå rørskjøten og krever derfor en noe større ringborkrone enn ved sveiseskjøtting. Atlas og Robit er de to leverandørene som har standardiserte ringborkroner for disse dimensjonene med gjengeskjøtehyllser. For eksempel har en RD220 ytre diameter 219,1 mm, mens skjøtehyllsen bygger ut til 234,9 mm, og ringborkronen er 240 mm. Altså har ringborkronen ca 20 mm større diameter enn pelerøret (5 mm større enn skjøtehyllsen), eller vi kan si at ringborkronen bygger 10 mm. Forøvring er prinsippet med boringen identisk med boring uten gjengede skjøtehyllser. Dersom man ikke benytter ringborkrone beregnet for skjøtehyllser, så vil røret lett kunne kile seg fast under nedboring.

I senere tid har det kommet en del ulike borsystemer på markedet som ikke krever bruk av ringborkrone, kun påsveising av borsko/forsterkningsring. Disse kjennetegnes ved at de på en eller annen måte har armer/ledd i pilotkronen som "slår ut" under boring og sørger for boring i hele peletverrsnittet. Bruken av disse vil sikkert utvikles, men per i dag er det litt forskjellige erfaringer med det.

Noen viktige momenter er at ringborkronen blir igjen i grunnen sammen med pelen. Ringborkronen tåler minst de samme laster som pelerøret dersom dette skal overføre laster direkte. Fordelen med ringborkronen er dessuten at den gir et noe større areal å fordele trykket over, enn et pelerør uten ringborkrone. Dette er sjelden noe tema, men ved relativt store konsentrerte laster og dårlig fjell, så kan ringborkronen være med å gi et viktig bidrag til den geotekniske bæreevnen. Pilotkronen trekkes selvfølgelig opp igjen og benyttes på neste pel.

For borede peler gjelder at man kan velge spylemedium, enten luft eller vann. Det vanligste er luft, men som i annen type boring er det viktig å vurdere fare for utblåsing utenfor rørene og konsekvensen av dette. Man kan eventuelt benytte vann i løsmassene dersom dette er kritisk, og så kan man skifte over til luft i fjell når man er trygg på at det er bedre.

Nærmere detaljer for borede stålrørspeler er vist vedlegg I.

For selv borende peler vises det til kapittel 5.6.

## 5.10 Borede piler

Denne beskrivelse omhandler borede piler utført ved hjelp av sjaktede metoder som ikke medfører fortregning av løsmassene, og hvor pelene støpes mot massene i grunnen.

Enten kan boringen utføres etter metoder der en sjakter/tømmer borehullet for masser, for deretter å armere og støpe ut pilarene i det åpne borehullet. Generelt vil en kunne dele boremetodene for sjaktede piler i to deler:

- Kelly-boring
- Grabbing

Den primære forskjellen er metodene for å tømme borehullet.

Alternativt kan en bore et auger (en skrue) ned i bakken. Deretter kan en pumpe betong gjennom augeret samtidig som augeret trekkes opp. Med denne metoden må armeringen plasseres i etterkant. Dette gjøres ved å presse/vibrere ned armeringskurven i den ferske betongen. Grovt sett kan augerboring deles i to kategorier

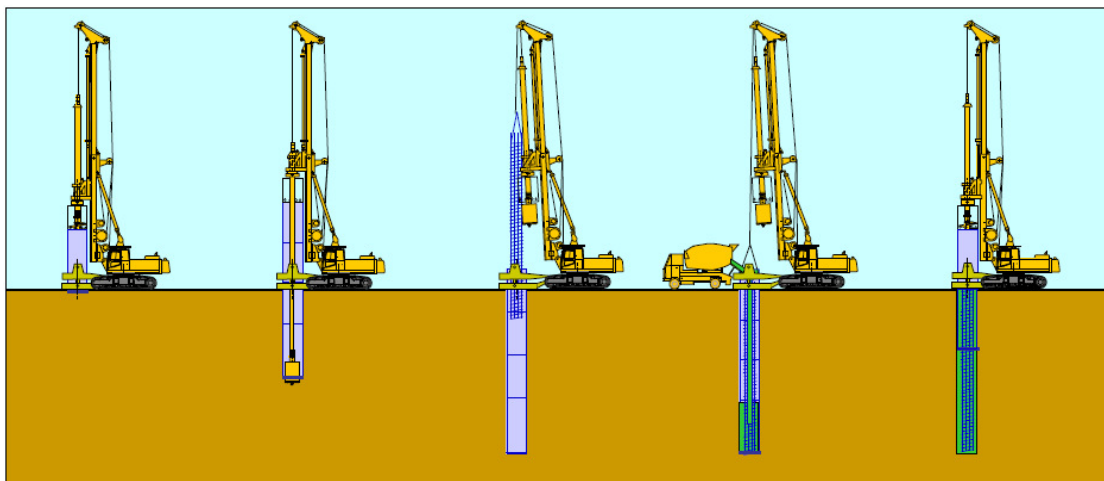
- CFA-boring (Continuous Flight Auger-drilling)
- Vor Der Wand (VDW) eller Double Rotary Drilling

Det som hovedsakelig skiller metodene er at med VDWSikres borehullet fortløpende med et midlertidig borerør.

Siden metodene ikke medfører massefortregning, samt at de medfører relativt lite støy samt begrenset med rystelser så ansees metodene å være skånsom mot omgivelsene.

Det er utarbeidet en egen standard for utførelse av piler: NS/EN-1536 "Utførelse av spesielle geotekniske arbeider -Borede peler". Der er både sjaktede og augrede metoder beskrevet.

Skjematisk kan prosessene oppsummeres slik:



Figur 37: Utførelses prinsipp for borede piler

- 1) Borehullet etableres ved at massene graves opp vannfylt. Hullet sikres vanligvis av et borerør (casing) som føres ned samtidig som massene fjernes. Noen ganger kan evt. hullet sikres med en støttevæske for eksempel med bentonit-slurry
- 2) Når boringen har nådd sin endelige dybde så rengjøres borehullet.
- 3) Armering blir installert.
- 4) Pelene utstøpes ved undervannstøp gjennom et støperør som er ført til bunnen av pelen.
- 5) I takt med utstøpningen trekkes borerøret opp.

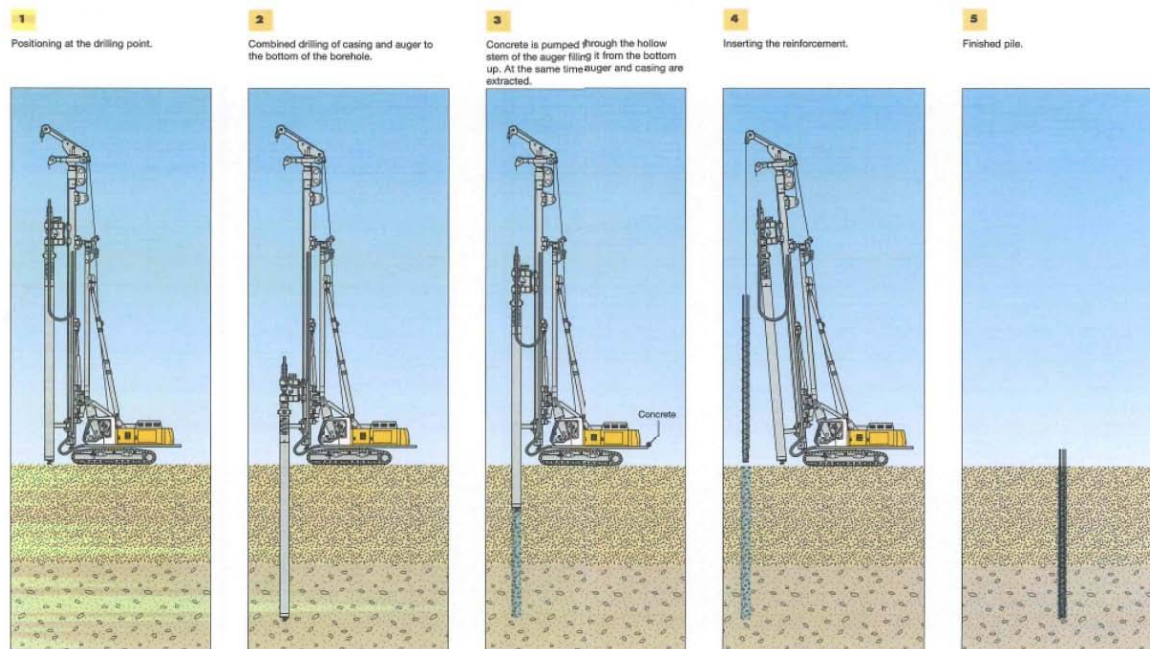
Metoden er anvendbar for dimensjoner fra 600 mm og opp til 3000 mm. Lengden kan bli opp mot 100 meter.

Nedføringen av borerøret ligger vanligvis i forkant av masseuttaket for å hindre bunnoppressing. Fjerning av masser i forkant av borerøret kan være aktuelt ved for eksempel å forsere en obstruksjon.

Kelly-systemene har overtatt en stor del av markedet for pilarboring, men fremdeles benyttes grabbing mye ved større dimensjoner, eller spesielle grunnforhold.



Figur 38: Utsjakting



Figur 39: Innstallasjon av augret boret pilar

1) + 2) Borehullet etableres ved at et borerør føres ned i bakken. Samtidig som dette skjer så bores det med en skrue inne i røret. Denne roterer motsatt vei av borerøret og masser føres kontinuerlig opp.

3) Når boringen har nådd sin endelige dybde pumpes betong inn gjennom støperøret som er kjernen på boreskruen. Samtidig trekkes rør og auger opp.

4) Etter at borehullet er fylt med betong så presses armeringskurven ned i den ferske betongen. Her kan evt. en stålbjelke også benyttes.

CFA-pel er i prinsippet utført på samme måte som en augret boret pilar, men uten at det føres ned et borerør



Figur 50: Eksempel auger rigg

VDW er anvendbar for dimensjoner fra 300 mm og opp til 1000 mm. Lengden kan bli opp mot 20 meter. CFA-peler kan installeres med diameter fra 500 mm og opp til 1400 mm. Lengden kan bli ca. 30 meter.

Ved VDW boring vil nedføringen av borerøret vanligvis ligge i forkant av nedføringen av augeret, men der en for eksempel støter på en obstruksjon eller hardere masser vil en også kunne jobbe i forkant av borerøret.



Figur 40. Rotasjonskasse

Kelly-boring har fått sitt navn p.g.a. Kellystangen. Dette er en teleskopisk stang som er montert på en borerigg. På stangen monteres forskjellig verktøy som brukes til å fjerne massene i borehullet. På boreriggen sitter også utstyret som fører borerøret ned.

Boreriggen som benyttes til denne typen boring finnes i varierende størrelser. Operativ vekt går fra ca. 40 tonn til 250 tonn. For norske forhold vil en normalt sett benytte rigger i størrelsen 50-140 tonn.

På boreriggens bom er det montert en rotasjonsenhet. Den driver både Kellystangen og borerøret. Dette gjelder for både rotasjon, samt at den presser nedover.



Figur 41: Borerigg med Kelly

Kelly-stangen er teleskopisk og består av 2-5 elementer. Hver seksjon har typisk 6 "hakk" som lengden kan låses på. Maks lengde for en Kelly er 80m -100m. For å løfte opp Kelly-stangen så benyttes en vinsj som er montert på boreriggen.



Figur 42 Kelly stang

Alle verktøyene er tilpasset den rørdimensjonen som bores.

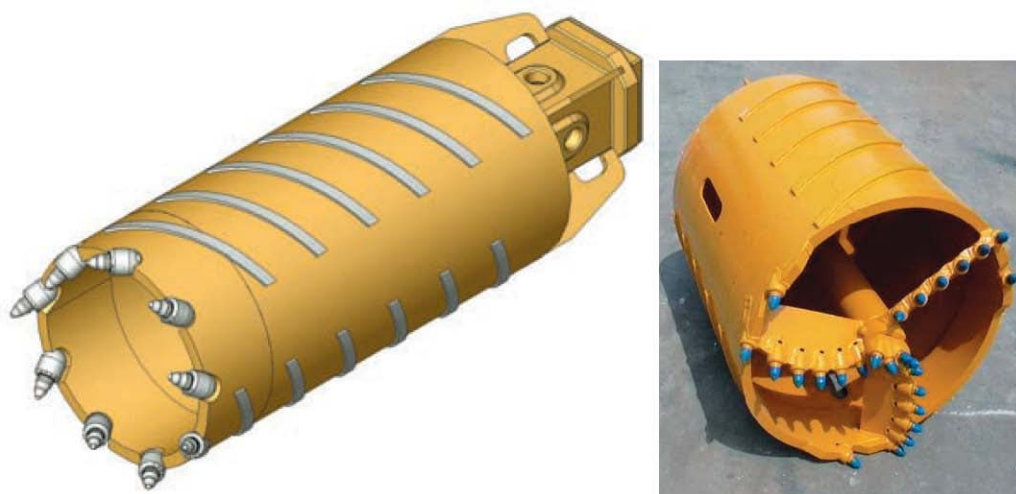
Der forholdene tillater det vil svært ofte et auger-bor være det mest effektive. Augere leveres i mange forskjellige utgaver for å kunne håndtere boring i forskjellige typer løsmasser og til dels også fjell (dog med lav styrke).



Figur 43 Eksempel på auger bor

Når forholdene gjør at et auger ikke lenger er effektivt kan en bytte over til for eksempel en lukket borebøtte. Dette skjer ofte fordi løsmassene blir vasket ut av augeret når en trekker det opp igjennom det vannfylte borerøret.

Borebøttene er på samme måte som augerene tilpasset de forhold de skal bore i. En typisk utforming er at en har en todelt bunnseksjon. I boremodus så er bunnen delvis åpen, og massene kan skjæres inn i bøtten. Når den er full så lukkes bunnen ved å rotere Kelly-stangen i motsatt retning. Etter at bøtten er løftet ut av borehullet så tømmes den ved å frigjøre bunnen som er hengslet i den ene kanten.



Figur 44 Eksempel hardmetall kroner til bruk i faste masser og berg.





Figur 45 Eksempel på borebøtte

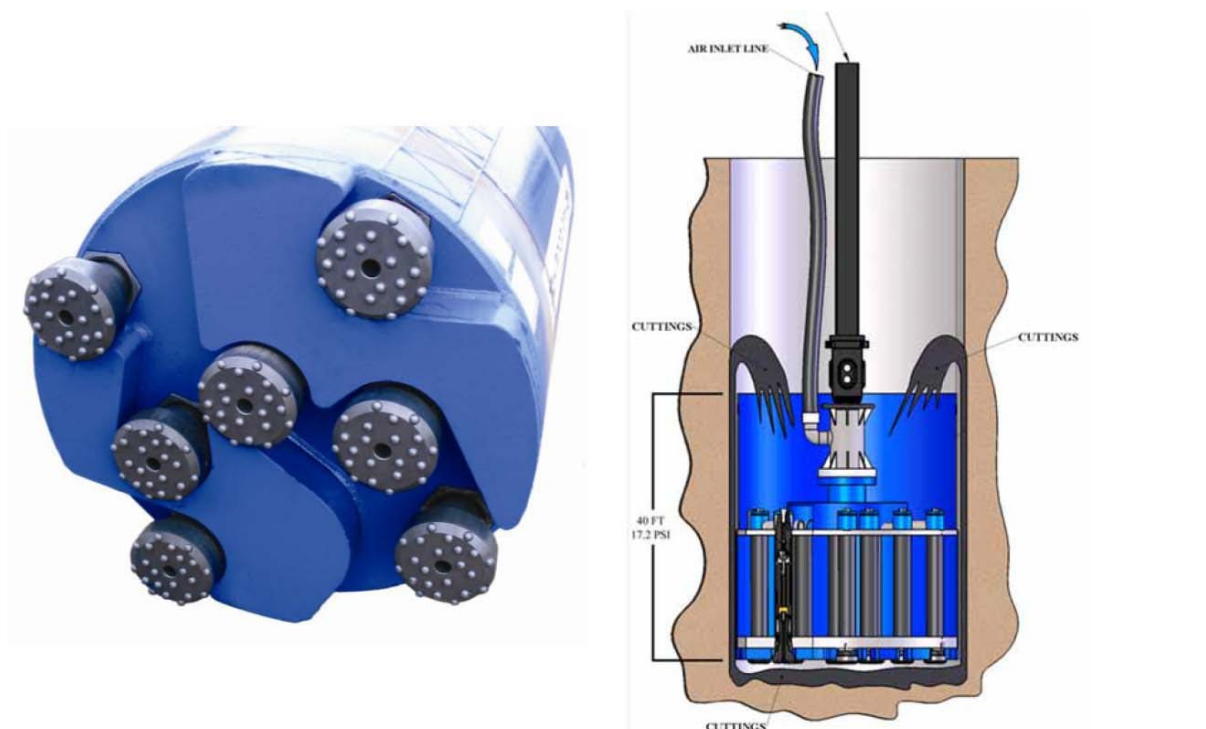
Dersom en treffer på hindringer (for eksempel en steinblokk) eller når en kommer ned til fast fjell bytter man over til et annet boreverktøy for å knuse og fjerne bergmassen. Massene tas opp med for eksempel en borebøtte.

Når en har kommet til massivt berg, og har fått en plan overflate ved hjelp av utstyret beskrevet over vil en kunne gå videre med spesielt fjellboringsutstyr.

To hovedtyper vil være naturlig å nevne her: - rullekrone-boring og multihammer-boring (cluster-drilling)

Begge metodene brukes som utstyr som monteres på Kellystangen, dvs. at det ytre borerøret er uforandret. Metodene er derfor mest effektive der det kan tillates å bore videre inn i berg med et redusert tverrsnitt (diameter i fjell = diameter på indre boreverktøy). Diameteren reduseres da med ca. 10 cm.

Rullekronen er montert på en modifisert borebøtte. Fjellet males i stykker og blir ved hjelp av luft ført inn i beholderen (bøtten). Når den er full føres den opp og tømmes som ved "vanlig" boring.



Figur 46: Eksempel rulleborkrone

| Größe /<br>Size [mm] | Größe<br>/Size in ['] | Anzahl der Hämmer<br>Number of hammers | Erforderliche Luftmenge<br>/Min air required<br>[m <sup>3</sup> /min] | Empfohlene Luftmenge<br>Recommended air required<br>[m <sup>3</sup> /min] |
|----------------------|-----------------------|--|---|---|
| 780                  | 31                    | 5                                      | 45 (1600 CFM)   | 60 (2200 CFM)   |
| 1060                 | 41,5                  | 7                                      | 60 (2200 CFM)   | 80 (2800 CFM)   |
| 1350                 | 53                    | 13                                     | 120 (4200 CFM)  | 150 (5200 CFM)  |

Figur 47: Multi senkhammer for hull diameter ca. 700-2000 mm

Behovet for luft vil være relativt stort ved denne typen boring

Det som skiller grabbing fra Kellyboring er måten massene tas opp fra borehullet. Borerøret føres for denne metoden også ned ved hjelp av rotasjon og påføring av vekt. Forskjellen er at ved grabbing så benyttes en oscillator eller rødreiningsmaskin som er en separat enhet som kobles til en gitterkran. Den vanligste måten å grabbe opp massene på er å benytte en grabb som er festet til kranen med to wirer. Dette gjør at en kan slippe grabben ned i massene i åpen tilstand flere ganger for å få med mest mulig masser opp. Den ene wiren arbeider med å løfte grabben, mens den andre styrer åpningen av grabben. Skovlene/skuffene på grabben er kuleformede, slik at de lukker mot borerørets innerside i åpen tilstand.

Grabbene som benyttes er tilpasset borerørets dimensjon slik at de får best mulig styring og effekt når de slippes ned over massene som skal graves opp.

Grabber finnes også i flere utførelser avhengig av hvilke masser som en skal grabbe opp. Dette betyr bl.a. at en har grabber med og uten stifter/tenner.



**Figur 48: Eksempel sjaktning med grabb**

Det finnes også enklere varianter av grabber som er styrt av kun en wire, samt mer avanserte hydrauliske systemer.

På samme måte som for Kelly-boring vil en måtte bytte verktøy når en møter obstruksjoner eller fjell. Det vanligste verktøyet som benyttes ved grabbing er en fallmeisel. Denne finnes også i forskjellige utførelser avhengig av bruken.



**Figur 49: Kryssmeisel**

CFA-boring kan til dels utføres med samme type borerigger som en bruker ved Kelly-boring.

Dette gir rigger som varierer i størrelse fra 40 til 250 tonn. Typiske størrelser er mellom 50 og 140 tonn.



Figur 50: Eksempel auger rigg

På samme måte som for Kelly-boring sitter det en rotasjonsenhet på bommen.

Denne er koblet til boreskruen – augeret.

Nederst er augeret utformet etter de masser en skal bore i. Denne kan varieres med bl.a. stifter og tenner eller skjær. Da boringen av en CFA-pel må ferdigstilles uten at borerøret trekkes opp er en avhengig av at utformingen er riktig. Om ikke så må boringen avbrytes.

Under boreoperasjonen vil et visst overskudd av masser blir ”skrudd” opp. Dette fjernes med en gravemaskin eller lignende. I denne fasen overvåkes boreddybde, rotasjonskraft og rotasjonshastighet. Det er viktig at boringen hele tiden har en fremdrift, da en ellers vil kunne risikere at augeret blir tilført masser fra siden av pelen, og ikke fra bunnen av pelen. Dette vil i verste fall kunne medføre setninger på omkringliggende terreng, eller dårligere kvalitet på utstøpningen.

Når endelig dybde er nådd starter utstøpningen ved at betong pumpes gjennom kjernen på augeret og kommer ut i bunnen. Denne prosessen overvåkes nøye, da det er meget viktig at det hele tiden er nok betong i pelen når augeret som har stabilisert borhullet trekkes opp. Det som typisk overvåkes i denne fasen er betongvolum og pumpetrykk.

CFA-boring vil kunne benyttes der en har bl.a. sand, silt og leire. Metoden egner seg ikke i meget bløt og i sensitiv leire. Dersom en har morene skal denne ikke bestå av større steiner og blokker. Da vil de sjaktede metodene være bedre.

En CFA/auger -boring kan også utføres med et foringsrør. Da auger-boringen er en kontinuerlig prosess så må foringsrøret bores ned samtidig. En må derfor ha en spesiell rotasjonsenhet på boreriggen for å håndtere dette. Den doble rotasjonsenheten kalles Double Head Drilling System eller Double Rotary Drilling. Metoden betegnes som VDW som nevnt tidligere.



Figur 51: Eksempel på CFA med foringsrør

Metoden kan sees som en kombinasjon av sjaktede pilarer og CFA-boring, der en dra fordel av augerboringens hastighet, samtidig som foringsrøret sørger for borhullets stabilet.

Boreriggen er med unntak av rotasjonsenheten i prinsippet lik som for Kelly-og CFA-boring. Augeret og borerøret er koblet til rotasjonsenheten. Under boreoperasjonen roterer disse to delene i hver sin retning. Vanligvis er underkant av augeret innenfor borerøret, men det vil i enkelte tilfeller kunne arbeide i forkant for å komme igjennom harde masser/forhindringer.

Med hensyn til augeret så henvises det til avsnittet foran om CFA.

Under boreoperasjonen vil massene blir ”skrudd” opp. Her skiller metoden seg fra CFA-boring, da massene frigjøres opp ved rotasjonsenheten (p.g.a. borerøret). Massene kan forløpende fallen ned langs borerøret, eller de kan samles i en kanal. I denne fasen overvåkes boreddybde, rotasjonskraft og rotasjonshastighet. I motsetning til CFA-boring vil en lettere kunne håndtere boring med lavere inndrift, da en har borerøret som hindrer løpende erosjon fra omkringliggende masser.

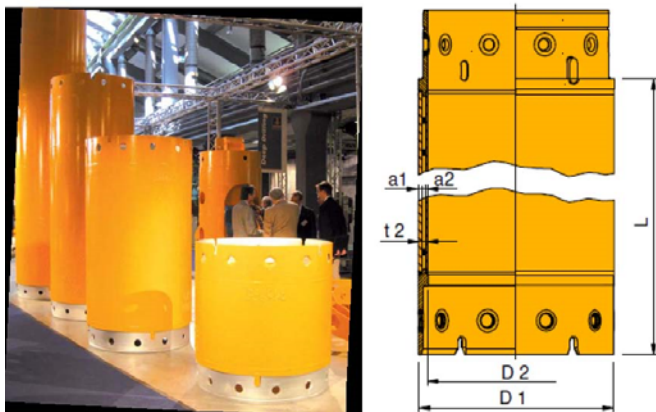
Utstøping utføres på samme måte som for CFA, med unntak av at nå vil også borerøret bli trukket opp samtidig.

Bruken av metoden vil være som for CFA-peler, men p.g.a. foringsrøret vil metoden være bedre i bløte masser, eller der en har soner med harde masser som vil kunne medføre en lav penetrasjonshastighet.

Borerøret er normalt sett utformet uten skjøter, da det følger augeret som også er i full lengde. Det sitter en starter nederst på borerøret. Denne inneholder en boresko/tannkrans.

Problemstillingene knyttet til denne er som for borerøret. Det henvises derfor til neste avsnitt.

Borerørene som brukes ved pilarboringer er som regel temporære, dvs. at de trekkes opp igjen etter bruk som vist i figur nedenfor. Figur 52: Eksempel foringsrør



Figur 52: Eksempel foringsrør

De vanligste dimensjonene som benyttes er  $\varnothing 750$ ,  $\varnothing 880$ ,  $\varnothing 1000$ ,  $\varnothing 1080$ ,  $\varnothing 1200$ ,  $\varnothing 1300$  og  $\varnothing 1500$  mm. Godstykkelsen på rørene er som regel mellom 40 mm og 50 mm. Den vanligste utformingen er doble vegger. Dette sikrer rør som er glatte på både inn- og utside uten at vekten blir for stor. Borerøret består av seksjoner som skjøtes sammen etter hvert som en borer seg nedover. Typiske seksjonslengder varierer mellom 1 meter og 6 meter.

En meget sentral del av borerøret er dets nederste seksjon som inneholder tannkransen. Tannkransen består av stifter som enten er sveis eller boltet fast til den nederste rørseksjonen. Utformingen er viktig for å bidra til at borerøret kan trenge igjennom massene. Det er også viktig at denne er så holdbar som mulig, da i motsetning til det øvrig boreverktøyet som benyttes vil ikke denne delen normalt sett kunne byttes ut under boringens gang. Skulle dette bli nødvendig må boringen avbrytes. Borerøret fylles med grus før det trekkes opp



Figur 53: Foringsrør med tannkrans

Produkt ark for borerigg og utstyr er vist i vedlegg J

## 5.11 Boring av fjellbrønner

### 5.11.1 Kort beskrivelse:

Foringsrør bores ned gjennom løsmassene og ned i godt fjell. Det tettes mellom fjell og foringsrør med bentonittpellets før videre boring i fjell. Boreddybden i fjell avhenger av kapasiteten / vannmengde som er ønsket i brønnen. Fjellbrønner kan benyttes til bl.a. vannforsyning, energi, grunnvannsovervåking, grunnvannssenkning og infiltrasjon.

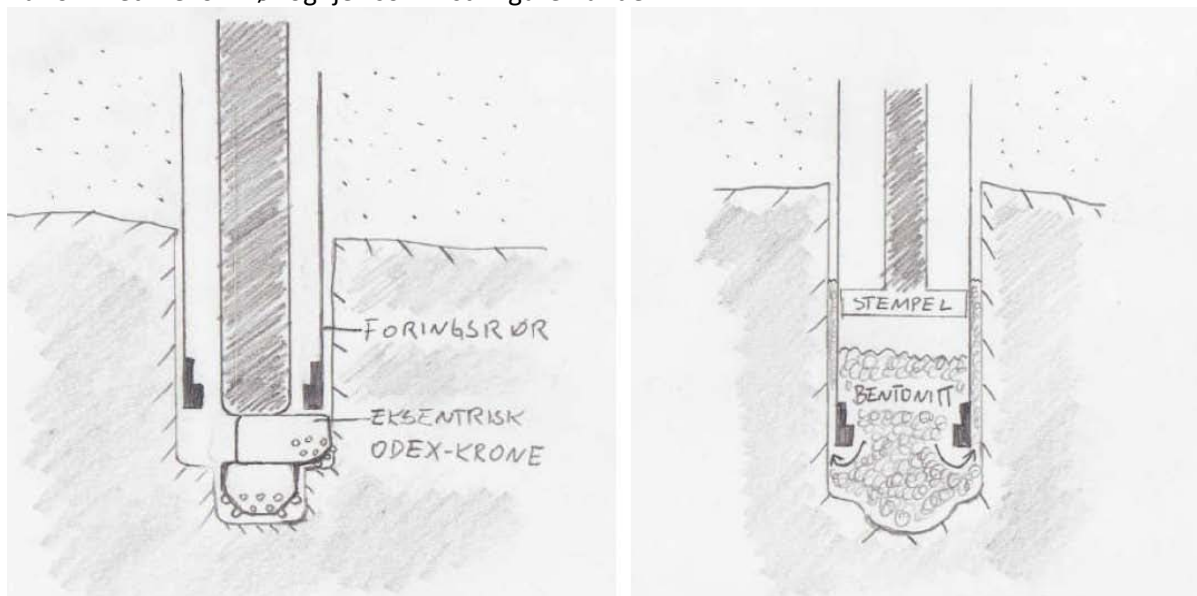
### 5.11.2 Boring og tetting i løsmasse

#### Nedboring av foringsrør til fast fjell:

Odex-boring er beskrevet tidligere kapittel 5.4.1 Vanlig dimensjon:  $\varnothing 139,7 \times 4 \text{ mm}$  eller  $\varnothing 168,3 \times 4,5 \text{ mm}$

#### Tetting mellom rør og fjell:

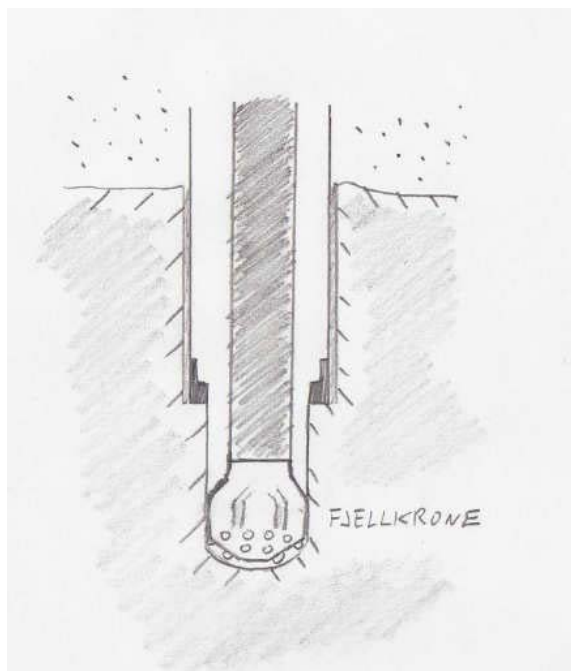
Etter at foringsrør er satt ned i godt fjell tømmes ca 10 liter bentonittpellets ned i røret. Ca 20 liter vann fylles etter. Bentonitten får stå og svulle i et par timer før det presses ned et stempel som presser "bentonittslurryen" opp langs utsiden av røret. Bentonitten fortsetter å svulle og tetter hulrommet mellom rør og fjell som vist i figuren under.



Figur 54: Innboring og tetting mellom foringsrør og berg

### 5.11.3 Boring i fjell:

Vanlig dimensjon på fjellkrone:  $\varnothing 115 \text{ mm}$  eller  $\varnothing 140 \text{ mm}$  (4" eller 5"). Videre boring i fjell under foringsrør utføres med luftdrevet senkborhammer. Luft presses ned gjennom borrhørene (strengen) og driver hammeren med borekrone i enden nedover i fjellet. Fjellet knuses under borekrona og borkaks og slam blåses opp gjennom hullet etter hvert som boret går ned. Ved store dybder kreves høyt trykk.



Figur 55: Boring av uforet hull i berg med fjellkrone

**Vannforsyningsbrønn:** Boredybde bestemmes ut ifra ønsket kapasitet i brønn og er avhengig av husholdningen som skal forsynes. Det bores både enkeltbrønner for privatpersoner og flere brønner som sammen utgjør et vannverk for flere husstander. Når tilstrekkelig dybde er oppnådd avsluttes boringen og brønnen blåses helt ren for slam før borestreng trekkes opp igjen. Det graves grøft fra borehull til teknisk rom før pumpe blir montert i brønn.

**Energibrønn:** Boredybde bestemmes ut ifra størrelsen på varmepumpa. Effektivt borehull regnes som antall meter vannsøyle i hullet. Når tilstrekkelig dybde er oppnådd avsluttes boringen og brønnen blåses helt ren for slam før borestreng trekkes opp igjen og kollektorslange settes ned.

#### 5.11.4 Boring av løsmassebrønner

I store sand- og grusavsetninger kan det være aktuelt med løsmassebrønner for vannforsyning og energi. Foringsrør settes ned til gitt nivå før filter og stigerør settes ned i arbeidsrøret som så trekkes opp igjen. Pumpe monteres i brønn etter filtertil trekking og prøvepumping. Det er en fordel å på forhånd utføre en grunnundersøkelse for dimensjonering av brønnen. I tillegg settes ofte løsmassebrønner i forbindelse med grunnvannsovervåking og grunnvannssenkning. For infiltrasjon er også løsmassebrønner aktuelt.

#### 5.11.5 Metoder for løsmassebrønner

**Grunnundersøkelse:** Det bør gjøres totalsonderinger for å finne mektigheten av avsetningen og deretter tas opp masseprøver for å finne kornfordelingen og lagdelingen i avsetningen. Totalsondering utføres med geoteknisk borerigg med topphammer. Motstand i massene registreres under boringen og gir en indikasjon på hvor videre undersøkelser kan være aktuelle. I punkter hvor totalsonderingen viser egnede masser fortsetter arbeidene med å sette ned peilerør for masseopptak. 5/4" stålrør blir slisset med lysåpning 5-6mm på de nedre 2 meterne av røret. For hver andre meter spyles røret rent for grus og massen som kommer opp samles i prøvepose. Når spissen på røret har kommet under vannstand settes det i tillegg på ei sugepumpe på toppen av røret. Hvis



mulig pumpes vann og masser opp og ny masseprøve samles av de oppumpede massene. Er massene grove nok vil man etter hvert få etablert et naturlig filter rundt spissen og man kan oppnå klart vann fra pumpa. Etter en stunds pumping kan det da tas en vannprøve for analyse på vannkvalitet. Masseprøvene leveres til laboratoriet og det utføres en kornfordelingsanalyse for å bestemme egnet lysåpning på filter som skal settes i produksjonsbrønnen som skal bores. Diameter og lengde på filter bestemmer ut ifra vannmengden som skal tas ut for enten vannforsyning eller varmepumpe.

#### **Nedboring av foringsrør:**

Boremotoder er beskrevet i kapittel 5.4 og de vanligste dimensjoner er 139,7-610 mm

#### **Brønnetablering:**

Dimensjonert filter og stigerør settes ned i ferdig boret foringsrør/arbeidsrør. Er de naturlige massene grove nok vil de fungere som naturlig filter rundt brønnen. I avsetninger med finere masser kan det være en fordel å fylle opp med filtersand mellom foringsrør og brønnrør. Når filter og rør er satt til riktig nivå trekkes arbeidsrøret opp igjen. Som en ekstra hygienisk barriere trekkes arbeidsrøret ofte bare opp til over filteret, og resten står som beskyttelse av brønnen videre opp mot topp av brønn. Etter opptrekk av arbeidsrør trekkes filteret til med blåsing eller pumping. Det tas da ut store mengder vann for å vaske ut finstoffet i massene rett rundt brønnen. Til slutt er massene rundt brønnen så utvasket for finstoff og de "grove" massene fungerer som naturlig filter utenfor brønnfilteret.

### **5.12 Aktuell problematikk -energibrønner:**

#### **Stor dybde til fjell (>25m)**

Ved store dybder til fjell er massenes beskaffenhet helt avgjørende om området er egnet for energibrønner eller ikke. Sandige og drenerende masser vil i liten grad påvirkes av foringsrøret ned mot bergoverflaten. I slike masser kan det eventuelt vurderes å bruke grunnvannet som medium i stedet for å montere kollektorslange. Det etableres da løsmassebrønn for opptak av vann og eventuelt en infiltrasjonsbrønn for utslipp av vann etter varmepumpe. Tette morene- og leirmasser gir ikke samme mulighet for direkte grunnvannsutnyttelse, og man er da avhengig av å bore ned til fjell. Når man da treffer på vannårer i fjellet vil ofte poretrykket stå høyere enn bergoverflaten og grunnvannet stiger da opp i foringsrøret. I kuldeperioder med stort varmeuttak fra brønnen kan man da risikere at øvre del av vannsøyla i brønnen fryser. Med frost i foringsrøret kan også massene på utsida av røret fryse. Når kuldeperioden er over og man eventuelt vil bruke varmepumpe til kjøling, vil varme pumpes ned i hullet og tine massene igjen. Man risikerer da setninger i massene rundt foringsrøret. En måte å løse problemet på er å isolere kollektorslangen ned mot fjell. Brønnen må da bores tilsvarende dypere i fjell for å oppnå samme effekt. Dypere brønn og foringsrørboringen gjør at energibrønner i områder med stor overdekning med morene og leire er et kostbart alternativ til varmekilde.

#### **Store vannmengder i fjellet**

Under fjellboringen kan man risikere å treffe partier med store sprekke-dannelser og dermed store mengder vann i borehullet. Vannet svekker boringen etter hvert som vannsøyla blir større og større

over borehammeren. I tillegg til at boringen går meget sakte (i tilfeller stopper helt opp) må vannmengdene som blåses opp håndteres på en forsvarlig måte for å hindre avrenning til vann, bekker og vassdrag. I områder med store vannmengder i fjellet kan grunnvannet brukes som medium på samme måte som beskrevet for løsmassebrønn. Det bores da noen brønner for uttak og noen for infiltrasjon avhengig av anleggets størrelse.

### **Rassoner**

Noen steder kan fjellet være så oppsprukket at ras forhindrer mulighet for boring til ønsket dybde. Rassonerne er ofte kombinert med store mengder vann og det er problematisk å få blåst hullet rent for vann og stein under boringen. Man risikerer at boreutstyr setter seg fast under boringen. Ras i hullet kan også skje etter avsluttet boring og kan da forhindre montering av kollektorslange til ønsket dybde.

#### *5.12.1 Infiltrasjonsbrønner*

Hovedformålet for infiltrasjonsbrønner er

- Å bli kvitt vann
- Å opprettholde poretrykk

For store energianlegg der grunnvannet brukes som medium er man avhengig av å bli kvitt vannet etter at varmen er "tatt ut". I stedet for å bruke avløpsnett kan det rene vannet pumpes rett tilbake i grunnen. Både løsmassebrønner og fjellbrønner med god gjennomgang egner seg til infiltrasjon.

I situasjoner der grunnvannet senkes på grunn av f.eks lekkasje til tunnel kan det oppstå setninger fordi poretrykket blir redusert i grunnen. Bygninger og konstruksjoner kan da få skader i forbindelse med at grunnen setter seg. Det kan da etableres infiltrasjonsbrønner for å opprettholde poretrykket. Rent vann pumpes ned i brønnen og man er avhengig av en vannkilde med nok kapasitet til å holde poretrykket konstant. Det er i slike tilfeller mest med både brønner i løsmasser og fjell. Det bør med infiltrasjonsbrønner som for produksjonsbrønner utføres en grunnundersøkelse først for å finne løsmassenes mektighet og beskaffenhet for prosjektering av brønnens dybde, dimensjon og lysåpning.

### **5.13 Sammenligning av bormetoder**

#### *5.13.1 Vann/luftspyling ved slagboring og risikomomenter*

Spyling med luft eller vann er nødvendig for fjerning av løsmasser og borekaks ved boring. Hvis ikke spyling utføres tilstrekkelig ved boring, vil dette føre til redusert penetrasjon og mulig proppdannelse som gjør at boringen stopper opp. Ved boring der det anvendes luft er det ekstra viktig å sørge for fri passasje og jevn transport av borekaks opp slik at risikoen for at luft går ut i løsmassene er så lav som mulig.

Nedboring i løsmasser skal utføres slik at løsmassene forstyrres minst mulig, det vil si minst mulig overboring/ erosjon, omrøring og massefortrenging.

Generelt skal det ved borearbeider følges med på endringer i grunnvannsnivå. Dette gjelder spesielt ved arbeider under grunnvannsnivå der poretryksreduksjoner vil kunne medføre setninger. Det er viktig å utføre tetting mellom foringsrør og løsmasser/berg i overgang for å unngå drenering opp langs foringsrør. Tilsvarende må artesiske forhold følges opp og behov for injeksjon av berg vurderes.

Ved bruk av topphammer brukes normalt kun vannspyling. Vanntrykk og vannmengde må tilpasses for å unngå overboring og erosjon. Generelt vil vann dempes mye raskere enn luft i løsmasser.

Vandrevet senkhammer for eksempel Wassare er mer skånsomme enn luftdrevet senkhammer.

SMEFA har utført noen jobber med Wassare i Norge, men metoden er ikke mye benyttet. Dette antas først å fremst å skyldes de store vannmengder som kreves for å drive hammeren og som også må tas hånd om ved retur fra boreriggen. Mange byggeplasser har begrenset tilgang på vann og med kuldegrader enkelte steder opptil seks måneder vil tiltak for å gjennomføre drift være krevende.

Det er begrensning i størrelse på hammer og erfaring så langt er med diameter 4-6", det vil si rørdiameter fra 140-220 mm.

Siden det er begrenset erfaring med vannhammer i Norge har vi også kontaktet Johan Hagblom i Skanska i Sverige og han sier følgende:

"Vi har använt Wassara i ett antal större projekt bl.a. grundförstärkningen av centralstationen i Stockholm, Södertälje SL 101, överdäckning av Drottningholmsvägen, Umeå och Norra länken. Vi har egen Wassara pump med blandarstation (kan också användas till Jetgrouting) Se bifogad bild. Det är en fördel med mindre omgivningspåverkan. Reducerar risken för borttransport av material och sättningsproblem".

Men også ved lufthammerboring er det viktig å beholde høy vannstand i rør ved start, skjøting og etter avsluttet boring er viktig for mest mulig skånsom etablering av borede peler.

Videre er tilgjengelig lufttrykk (alternativ vanntrykk) bestemmende for boredyp og mengde for opptransport av borekaks innvendig i stålrøret. Det vil derfor være begrensning i maksimums dybde, som kommer av trykket for boreutstyr som normalt bør begrenses til 15 bar, tilsvarer ca. 150 meter vanntrykk. Men det finnes også andre begrensninger som kommer fra borerigg med vekter fra 2-75 tonn og muligheter for praktisk gjennomføring av arbeidet.

Løsmassedybder opptil 50-150 meter er i dag mulig og vanlig med det boreutstyr som finnes tilgjengelig. Ved store dybder og spesielle grunnforhold bør det startes med en stor diameter og ved å gå inni med mindre diameter kan en nå store dybder. For eksempel kombinasjon av system 240 – 190 og 140 som hver bores ca. 50 meter.

Ved senkboring med luft i løsmasser skal ikke trykket ut fra kompressoren være over 15 bar både av hensyn til borkrone og risiko for skader. Luft under høyt trykk kan også sette opp lokalt poretrykk eller direkte eller indirekte forårsake skader som følge av lokal omrøring og uttak av masser. Risikoen øker ved stor diameter fordi luftmengde som kreves for å drive hammeren øker.

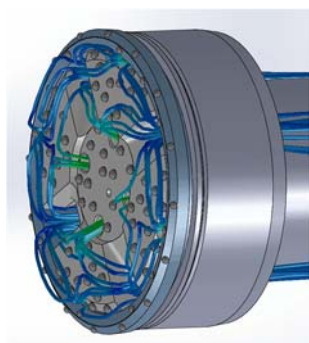
Negative effekter kan imidlertid elimineres eller reduseres ved forsiktig boring, valg av egnet metode og system samt erfarne boreledere. I denne sammenheng kan enkle tiltak være f.eks. redusert matetrykk ved overgang fra faste til bløte lag. Det er heller ikke nødvendig til en hver tid å benytte luft etter stangskifte eller ved blokkering av borekrone.

Ved spyling kan det benyttes en blanding av vann og luft. Luft alene er ikke nødvendig.

Skum kan også benyttes ved spyling slik at behov for luft reduseres. I tillegg kan skum forsegle sprekker og små kaviteter.

NS 3420-G presiserer at ved boring skal trykk og mengde tilpasses slik at uønsket erosjon unngås. Prosesskoden angir generelt at vannspyling skal benyttes i løsmasser med mindre annet er angitt i den spesielle beskrivelsen. Det er derfor nødvendig med tiltak som blant annet beskrevet ovenfor.

Det er ønskelig å benytte borekroner som gir mest mulig oppadrettet spyling slik at man reduserer risikoen for erosjon og poretrykkssendringer. Eksentrisk utstyr sitter lenger foran røret enn ringborkronesystem og medfører derfor større risiko for overboring og luft ut i formasjonen.



Figur 56: Eksempel på borekrone der luftstrømmen snus tilbake.

Ved normale forhold (for eksempel middels fast til bløt og ikke kvikk leire) er senkborutrustning med eksentersystem tilfredsstillende å benytte særlig når det kombineres med rotasjonboring og spyling gjennom leirlaget.

Dersom det er bløtere masser, moderate dybder til berg og rørdiameter ikke er større enn 139,7 mm, bør topphammerutrustning vurderes siden borerigg normalt bruker vann ved neddriving av rør, samt at hammerenergi er av mer moderat art. Både topphammerboring og vanddrevet senkhammer (opp til 220 mm) er metoder som er mer skånsomme enn luftdrevet senkhammer. Ringeborkrone eller vingeborkroner må benyttes ved store rørdiameter og/eller godstykkelse.

Ved krevende forhold (for eksempel i fyllmasser, fast og/eller vannførende morene, store dybder til berg, skrå bergoverflate, blokkrik jord, liten sidestøtte i masser etc.) er et symmetrisk boresystem med påsveiset ringborekrone på foringsrøret å foretrekke for å sikre gjennomføring og begrense erosjon i massene.

Ved særlig krevende forhold (for eksempel kvikkeleire og/eller meget bløt leire i kombinasjon med faste masser over berg) kan det være nødvendig å utføre boring med et lukket sirkulasjonssystem direkte eller reversibelt.

Tilsetting av vann i luft og å beholde høy vannstand i rør ved start, skjøting og etter avsluttet boring er viktig for mest mulig skånsom etablering av stålrør/foringsrør.

#### 5.13.2 Valg av metoder; fordeler og ulemper

Ved valg av boremetode må risiko for påvirkning vurderes sammen med kjennskap til hvordan nabobygg er fundamentert. Nedenfor gis kun en generell oversikt over noen typiske grunnforhold og valg av boremetoder. Rotasjons- og spyleboring er mye anvendt i Oslo-området der leira ofte er seig og rotasjon av rør kombinert med spyling har vist seg å være effektivt.

Tilsvarende oppnås også ved selvborende stag/peler. For boring gjennom faste lag og inn i berg benyttes da hammerboring og Odex- eller ringborkrone system.

I kvikkleire er det benyttet tilsetning av borevæske med polymer, cellulose eller bentonitt ved rørboring. Tilsvarende teknikk som ved boring av uforedede hull i løsmasser. Dette gir en kake på utsiden av røret og reduserer også påvirkning framfor borekronen. Metoden er anvendt både som direkte spyling og også reversibel.

Løsmassekrone er spesielt anvendelig som spyleboring (direkte og reversibel) i leire og kvikkleire der den kombineres med tilsetning av stabiliserende borevæske. Dersom det er anvendt kalk- sement stabilisering vil også en slik utforming av borekronen være mer skjærende enn en tradisjonell flat borekrone. Dette har sammen med ringborkronesystemet vist seg å være en anvendelig metode for etablering av borede stålrør ved krevende forhold.

En annen metode som er anvendt ved krevende forhold og der risiko for overboring og luft ut i grunnen vurderes å kunne medføre store konsekvenser, er boring med vannhammer.

Toppammerboring anvendes først og fremst til stagetablering, fordi det er begrensning i diameter og dybder. Det er en effektiv og skånsom metode sammenlignet med senkhammer ved løsmassedybder ned til ca. 30 meter.

For boring i sprengsteinfyllinger og i vannførende grusavsetninger har det vist seg at ringborkronesystemet er mer effektivt og skånsomt enn tradisjonell Odex-boring.

Tilsvarende vil ringborkronesystem og alternativet med vinger ha større mulighet for å komme inni skrått berg enn et eksentrisk system. Ved fjellstag som normalt er 45 grader og skråpeler må en vurdere helning og retning på borehullet i forhold til fjelloverflaten. Sidestøtte fra masse over fjell vil også ha stor betydning for mulighet for innboring i berg og eventuelt borehullsavvik.

Ved all boring gjennom løsmasser og inn i berg er det viktig å vurdere og følge opp under utførelse: overboring, jevn transport av borekaks/slam, luft ut i grunnen, trykk og mengde med luft/vann. Tilsvarende gjelder også ved boring i berg, men generelt medfører det mindre risiko boreteknisk enn boring i løsmasser.

Spyleboring uten bruk av slag er en effektiv og skånsom metode i finkornige jordarter.

Ved boring gjennom faste lag, slik som sand/grus, morene og stein/blokk og i berg er slagboring den metoden som har størst anvendelse og har vist seg å fungere for våre forhold.

Ved toppammerboring der slaget tilføres oppe er det begrensinger i dybde og diameter. Slaget fra stampelet gir også støy som er konstant så lenge hammeren går. Luftdrevet motorer og stempel støyer mer enn hydrauliske og er også mindre effektive. De eldre riggene med lufthammer slik som BBE57 er nå hovedsakelig erstattet av hel hydrauliske rigger der hammer og motorer drives hydraulisk.

Når det gjelder senkhammerboring drives fortsatt hammeren i alt vesentlig av luft, og siden den sitter nede i hullet er ikke hydraulikk tjenlig. Eneste alternativ til luft er vandrevet hammer. Fordel med metoden er at en kan bore til store dybder med stor diameter. Støyen fra hammeren forsvinner etter hvert som en borer seg ned og metoden er derfor støysvak, fordi det i alt vesentlig kun blir maskinstøy igjen oppe.

Stål er ikke borbart med hammerboring, men kan enkelte ganger forseres ved forsiktig boring og håndmating. Det er tidkrevende og boreutstyr blir normalt ødelagt av stål i grunnen slik at dersom det er mulig bør det forgraves og masseutskiftes dersom en vet om at det kan være stål i fyllmasser.

Tilsvarende er trevirke også vanskelig å forsere avhengig av størrelse og hvordan en treffer det. Utførende entreprenører har derfor forbehold om at fyllmasser er borbare og at eventuelt skadet utstyr dekkes av byggherre siden det normale er at de har ansvar for grunnforholdene.

I steinfyllinger og fyllmasser med trevirke etc og i vannførende alternativt harde lag over berg bør ringborkrone systemer brukes og ofte det eneste som gjør at rørene kan bores inni berg

I figuren nedenfor er det gitt en skjematisk sammenstilling av fordel og ulempe med metodene:

| METODE                 | FORDEL  | ULEMPE   |
|------------------------|---|--|
| Topp                   | Ingen senkning av vannivå<br>Kun vannspyling<br>Ved tett borekrone er det ikke risiko for at luft går ut i formasjon.   | Begrenset dybde 30-50 m<br>Diameter 90-140 mm<br>Borehullsavvik pga slag opp<br>Skrens i blokk og skrått fjell   |
| Senk, luft             | Store dybder, 50-100 meter<br>Stor diameter<br>Lik energi uavhengig av dybde<br>Slag nede gir lite borehullsavvik<br>Ringkrone liten påvirking og borer fullt tverrsnitt<br>Eksenter og vinger lavere pris enn ringborkrone | Vannnivå senkes til hammer<br>Luft ut i formasjon<br>Odex kan gi skrens<br>Odex gir erosjon fordi borekrone sitter foran røret<br>Vingesystem har begrenset erfaring i Norge   |
| Spyle/rotasjonsboring  | Liten påvirkning på formasjonen<br>Godt egnet for homogene og bløte leirer  | Kan ikke bore i harde lag og blokk.<br>Begrenset diameter med normale senkborerigger, men kan løses med større rotasjonskasse  |
| Reversibel med polymer | Polymer lager tettende sjikt på utsiden av stålrør og foran borestrengen  | Pris<br>Egner seg ikke i harde lag   |
| Reversibel senkhammer  | Snur luft inn i borestreng<br>Flere diameter på en streng   | Tetting av små kanaler i borekronen.   |
| Kjerneboring           | Gunstig ved boring i armert betong og stål<br>Rystelsessvak   | Begrenset diameter<br>Tidkrevende<br>Pris  |
| Selvborende stag/peler | Godt egnet som løsmassestag<br>Rask installasjon<br>Toppammer<br>Mulig å injisere kontinuerlig ved boring   | Begrenset dybde og diameter<br>Størrelse og utbredelse av injeksjons sone/kropp<br>Begrenset erfaring i Norge som bergstag   |
| Borede pilarer         | Store laster/diameterer<br>Ingen massefortrenging ved sjakting/boring<br>Ingen senkning av vannstand  | Etablering av fjellfot i harde bergarter og skrå fjell eventuelt i kombinasjon med bløte sensitive løsmasser<br>Utstøping i bløte løsmasser ved trekking av foringsrør<br>Pris |

Figur 57: Boremetoder.

## 6 ERFARINGSPROSJEKTER FRA STATENS VEGVESEN

### Forankringer og stag, vedlegg K

Jernbaneverket Utbygging har på prosjektet Sandvika - Asker prosjektert og etablert et stort antall foringsrør for stag og stålkjernepeler i flere ulike typer løsmasse. Det etablert et samlet antall på ca. 3000 stk. med kompleks geometri, boring i; fyllmasser, morene, lite sensitiv leire og kvikk leire.

### Stålkjernepeler, vedlegg L

#### Eksempel på skadesak ;Helland Bruer

Under boring av foringsrør for stålkjernepeler oppstår det store hull / krater rundt rørene. Årsaken oppgis å være uforsiktig bruk av trykkluft. Hendelsen plasseres i kategorien "tap ved boring", siden det umiddelbart var store luftlommer i grunnen må masse ha forsvunnet. Det ble også registrert store basseng med omrørt kvikkleire som over tid vil konsolidere og minke i volum, men effekten av dette er ikke registrert. Erfaringer fra dette prosjektet er gjennomgått i vedlegg A

#### Eksempel der det gikk godt; Ny Sandesund bru

Dette er ikke en skadesak, men et prosjekt med omfattende dokumentasjon av to boremetoder. I forbindelse med bygging av ny Sandesund bru var det spesielt to typer borede peler/pilarer som er interessante. Det ble boret stålkjernepeler med "reverse circulation" gjennom løsmassene, dermed kunne man bore med lavt trykk og redusere forstyrrelsene på omkringliggende kvikkleire. I tillegg ble det boret pilarer med diameter 180 cm inn i skrått berg. Erfaringer med disse to metodene og øvrig grunnarbeid for brua er beskrevet i vedlegg B.

### Borede peler, vedlegg M

NSB- bru Hamnang (1992), 8 stk  $\varnothing$  1300 mm  
Hølendalen jernbanebru (1994), 6 stk  $\varnothing$  1500 mm  
E6 Sandesund (2006) Borede peler  $\varnothing$  1800 mm

### Borede stålrør, vedlegg N

Møllenberg, testboring for stålrørsspunt med geoteknisk dokumentasjon

## 7 REFERANSER

Brunner CTH, 1984

Anleggsteknikk, 1981

Produktark fra Atlas Copco, Robit, Ruukki, Mai, Ischebeck.