

UNDERSVINGSSERIE

Boringer

2

Registreringsblad

Udgiver:

Miljø- og Energiministeriet. Miljøstyrelsen
Strandgade 29, 1401 København K
telefon 3266 0100 – telefax 3266 0479
Internet <http://www.mst.dk>

Udgivelsen er støttet af Vandfonden

Udgivelsesår: 2001

Titel: Boringer

Forfatter(e): Sørensen, Ellis; Schmidt, Henrik

Foto: David Trood

Resumé: Denne bog er en håndbog og et undervisningsmateriale. Den er en håndbog for alle der udfører boringer på land: Geologer, ingeniører, brøndborere m.fl. Bogen er også undervisningsmateriale til Brøndborer-uddannelsen – en uddannelse for alle der foretager boringer på land.

I serien om udførelse af boringer på land findes i alt seks bøger. Denne bog er den anden i rækken og indeholder afsnit om boreteknik, boringens konstruktion, renovering og vedligeholdelse af boringer

Emneord: grundvand; boringer; lærebøger

Andre oplysninger:

En del af en serie om boringer på land, der består af 6 håndbøger. Udover denne publikation består serien af: "Grundlæggende geologi og grundvand" (Miljøstyrelsen, 2001), "Kort, nivellering og arbejdsmiljø" (Miljøstyrelsen, 2001), "Maskinteknik" (Miljøstyrelsen, 2001), "Udvidet geologi og grundvand" (Miljøstyrelsen, 2001) og "Vandforsyningsteknik og regler" (Miljøstyrelsen, 2001).

Genoptryk af Kapitel 7, 8 og 9 i undervisnings-materialet "Udførelse af boringer på land, Håndbog og undervisningsmateriale til brøndborer-uddannelsen 1999" (Danske Vandværkers Forening, 1999).

Md./år for redaktionens afslutning: oktober 2001

Sideantal: 185

Format: A4

Oplag: 550

ISBN: 87-7944-821-6

Layout: Rumfang.dk

Tryk: Levinson + Johnson + Johnson a/s

Papir: Trykt på 100% genbrugspapir Cyclus

Pris (inkl. moms): 185 kr.

Ved køb af alle 6 publikationer: 420 kr.

Kan købes i:

Miljøbutikken
Læderstræde 1-3
1201 København K
telefon 3395 4000
telefax 3392 7690
butik@mem.dk

Må citeres med kildeangivelse



Denne tryksag er svanemærket

Boringer

Registreringsblad

Udgiver:

Miljø- og Energiministeriet. Miljøstyrelsen
Strandgade 29, 1401 København K
telefon 3266 0100 – telefax 3266 0479
Internet <http://www.mst.dk>

Udgivelsen er støttet af Vandfonden

Udgivelsesår: 2001

Titel: Boringer

Forfatter(e): Sørensen, Ellis; Schmidt, Henrik

Foto: David Trood

Resumé: Denne bog er en håndbog og et undervisningsmateriale. Den er en håndbog for alle der udfører boringer på land: Geologer, ingeniører, brøndborere m.fl. Bogen er også undervisningsmateriale til Brøndborer-uddannelsen – en uddannelse for alle der foretager boringer på land.

I serien om udførelse af boringer på land findes i alt seks bøger. Denne bog er den anden i rækken og indeholder afsnit om boreteknik, boringens konstruktion, renovering og vedligeholdelse af boringer

Emneord: grundvand; boringer; lærebøger

Andre oplysninger:

En del af en serie om boringer på land, der består af 6 håndbøger. Udover denne publikation består serien af: "Grundlæggende geologi og grundvand" (Miljøstyrelsen, 2001), "Kort, nivellering og arbejdsmiljø" (Miljøstyrelsen, 2001), "Maskinteknik" (Miljøstyrelsen, 2001), "Udvidet geologi og grundvand" (Miljøstyrelsen, 2001) og "Vandforsyningsteknik og regler" (Miljøstyrelsen, 2001).

Genoptryk af Kapitel 7, 8 og 9 i undervisnings-materialet "Udførelse af boringer på land, Håndbog og undervisningsmateriale til brøndborer-uddannelsen 1999" (Danske Vandværkers Forening, 1999).

Md./år for redaktionens afslutning: oktober 2001

Sideantal: 185

Format: A4

Oplag: 550

ISBN: 87-7944-821-6

Layout: Rumfang.dk

Tryk: Levison + Johnsen + Johnsen a/s

Papir: Trykt på 100% genbrugspapir Cyclus

Pris (inkl. moms): 185 kr.

Ved køb af alle 6 publikationer: 420 kr.

Kan købes i:

Miljøbutikken
Læderstræde 1-3
1201 København K
telefon 3395 4000
telefax 3392 7690
butik@mem.dk

Må citeres med kildeangivelse



Denne tryksag er svanemærket

Indhold

1. Boret teknik	6
1.1 Boremetoder generelt	6
1.1.1 Stabilitet af borehuller	7
1.1.2 Inddeling af boremetoder	9
1.2 Slagboring/tørboring	10
1.2.1 Linestødsboring	11
1.2.2 Slagboring	16
1.3 Rotationsboring/tørboring	17
1.3.1 Håndboring	19
1.3.2 Uforet, tør rotationsboring	20
1.3.3 Foret, tør rotationsboring	23
1.3.4 Hollow Stem Auger boring	24
1.3.5 Boring med hul boresnegl	25
1.4 Skylleboring	27
1.4.1 Direkte skylning	28
1.4.2 Omvendt skylning	34
1.4.3 Lufthæveboring	37
1.5 Trykluftboring	38
1.5.1 DTH-boring	41
1.5.2 Excenter-boring	46
1.6 Diamantkerneboring	48
1.6.1 Konventionel kerneboring	49
1.6.2 Wirelinekerneboring	58
1.7 Specielle boreteknikker	60
1.8 Borerigge	63
1.9 Borestamme. Skæreværktøj	67
1.9.1 Borestænger	67
1.9.2 Skæreværktøj	69
1.10 Skyllesystemet	75
1.10.1 Skyllemediet	75
1.10.2 Cirkulationsenheden	77
1.10.3 Borestrengen	80
1.10.4 Skyllemediereservoir	80
1.10.5 Separationsudstyr	82

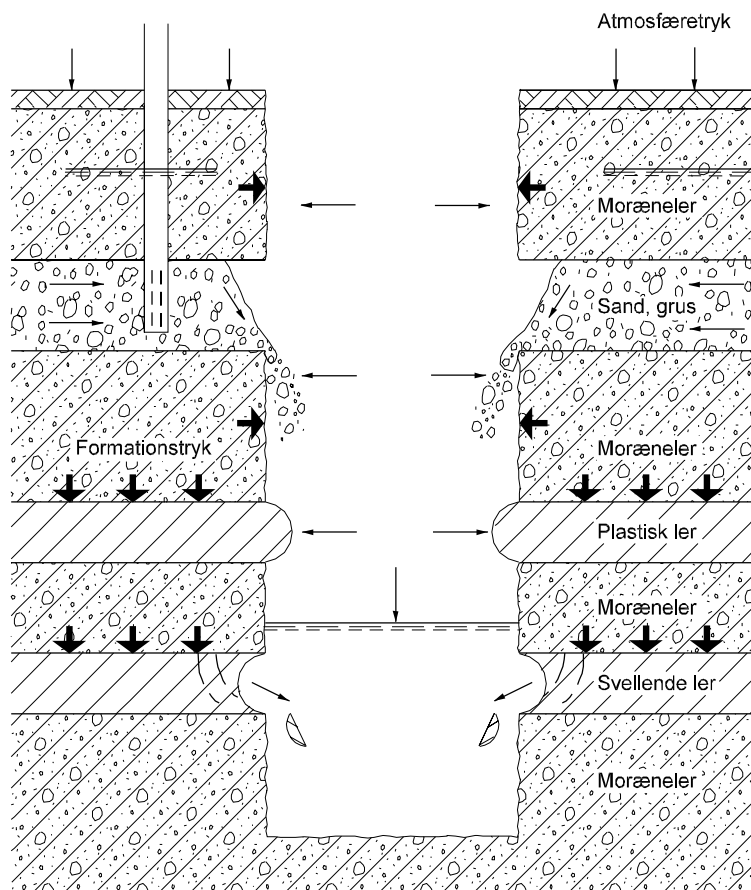
1.11	Boremudder	82
1.11.1	Boremudders egenskaber	82
1.11.2	Boremuddertyper	94
1.11.3	Blanding af boremudder	99
1.11.4	Forurening af boremudder	102
1.11.5	Rensning af boremudder	103
1.11.6	Analyse af boremudders egenskaber	107
1.12	Dimensionering af boreenheden	113
1.12.1	Boremast og spilwirekapacitet	114
1.12.2	Bittryk	115
1.12.3	Drejningsmoment og rotationshastighed	117
1.12.4	Styrke af borestreng	117
1.12.5	Cirkulationsenhedens volumen- og trykkapacitet	118
1.12.6	Kraftforsyning	118
1.12.7	Instrumentering	118
1.13	Prøvetagning	119
1.14	Registreringer og dokumentation	125
2.	Boringens konstruktion	130
2.1	Indledning	130
2.2	Boringens udbygning og filtersætning	131
2.2.1	Dimensionering af gruskastning og filter	133
2.2.1.1	Sigteanalyse og filterdimensionering	135
2.2.1.2	Filterteori	137
2.2.1.3	Sigteanalysen	138
2.2.1.4	Bestemmelse af gruskastning	139
2.2.1.5	Spalteteori	141
2.2.1.6	Dobbelt gruskastning	142
2.2.1.7	Direkte indbygning af filtre i vandførende sandlag	143
2.2.2	Gruskastningen og filterets betydning for boringens afsenkning	145
2.2.3	Gruskastningen og filterets betydning for boringens vedligeholdelse	146
2.3	Forerøret	150
2.3.1	Opfyldning langs forerøret	153
2.3.2	Pakstykket	155

2.4	Valg af materialer til forerør og filter	156
2.5	Samlingsmetoder	160
2.6	Boringens overbygning	163
2.7	Litteratur	166
3.	Renovering og vedligeholdelse af boringer	168
3.1	Indledning	168
3.2	Opgaveformulering	169
3.3	Oparbejdning af boringer	171
3.3.1	Oparbejdning af kalkboringer	171
3.3.2	Oparbejdning af filtersatte boringer	174
3.3.2.1	Eksempel	178
3.4	Reparation af boringer	180
3.5	Sløjfning af boringer og brønde	183
3.6	Ordliste	185
3.7	Litteratur	185

1. Boreteknik

1.1 Boremetoder generelt

Løsjord	De fleste borer, som bliver udført af danske brøndborere og danske forundersøgere, udføres i løsjordsaflejringer af muld, grus, sand, ler, silt m.m. I mange tilfælde er der tale om blandingsaflejringer såsom moræneaflejringer med et varierende indhold af sten, grus, sand, silt og ler. Alle disse aflejringer er hovedsageligt fra kvartærperioden (istiden) eller yngre.
Ældre aflejringer	I nogle områder af Danmark kommer boreentreprenøren ved større boredybder til at arbejde i ældre aflejringer fra Tertiærtiden – marine sandede aflejringer, glimmersand og -ler, marine mergelaflejringer, plastisk ler, grønsandsaflejringer m.m.
Kridt	I andre områder af Danmark – eksempelvis Lolland-Falster, østlige og nordøstlige områder af Sjælland, den nordlige del af Djursland, Himmerland, dele af Vendsyssel og Thy – vil boreentreprenøren under udførelse af sit arbejde ofte skulle arbejde i aflejringer fra Kridtperioden, dvs. kridt- og kalkaflejringer med flintlag. Alle disse aflejringer er i boreteknisk forstand forholdsvis bløde formationer måske lige bortset fra flintlagene i kalkaflejringer.
Grundfjeld	Kun på Bornholm træffes egentlig hårde aflejringer som grundfjeld helt fra terræn eller i ringe dybde i form af granitter, gnejser, sandsten m.m. En detaljeret beskrivelse af Danmarks geologi fremgår af Kapitel 1, Geologi og hydrogeologi (bog nr. 1). De boreteknikker, der fortrinsvis anvendes og har været anvendt i Danmark, er derfor orienteret mod borearbejde i løse og forholdsvis bløde aflejringer. Undtagelsen herfra er Bornholm, hvor der som det første sted i Danmark blev introduceret trykluftteknikker, der specielt er udviklet for borearbejder i grundfjeld (hårde bjergarter).
Kundernes krav	En anden faktor, som bestemmer hvilke boreteknikker, der vil være fremherskende på markedet, er bestillerens krav til det produkt, som boreentreprenøren skal levere. Herhjemme har rådgiverbranchen været orienteret mod ikke-destruktive boremetoder til fx geotekniske og miljøtekniske undersøgelser. Branchen har ønsket mange, nøjagtige og detaljerede oplysninger fra den enkelte boring, såsom veldefinerede laggrænser og repræsentative, ikke opblandede eller sorteret prøver fra en veldefineret dybde. Dette har rotationstørboringer og i mindre udstrækning diamantkerneboringer kunnet imødekomme.
Pris	En tredje og ikke uvæsentlig faktor for valg af boreteknik er naturligvis prisniveauet for arbejdet, som bestemmes af de nødvendige investeringer samt metodens effektivitet og produktionskapacitet.
Udstyr	Som følge af at det danske boremarked er forholdsvis lille, og at prisen på større borerigge er betydelig (1,5 - 3,0 mio. kr.), er der dels sket en specialisering dels en udvikling hen mod anvendelse af universalborerigge. Herved forstås borerigge, der kan udføre flere forskellige boreteknikker, således at den enkelte boreentreprenør kan dække et større spektrum af markedet med en enkelt borerig. Samtidig sker der en udvikling, hvorved der kombineres fordelagtige operationer fra en teknik med nødvendige operationer fra en anden og vice versa. Et eksempel herpå er kombinationen af wirelineteknik med hulboresnegl, jf. afsnit 1.3.5.
	Disse tendenser forstærkes af, at mange boreentreprenører foruden undersøgelses-



Figur 1
Stabilitetsproblemer
i et borehul; skematisk
fremstilling

boringer udfører vandforsyningsboringer og grundvandssænkingsboringer med de samme borerigge.

Før vi går over til at beskrive boremetoderne, vil vi kort berøre problemet omkring stabiliteten af borehuller, et problem, der er generelt for alle boringer, og som opstår ved anvendelse af alle boreteknikker.

1.1.1 Stabilitet af borehuller

Når der bores gennem en serie aflejringer, og det løsborede materiale tages op af boringen sammen med det vand, materialet måtte indeholde, ændrer jordens og porevands tryk sig i og lige omkring borepositionen.

Der vil være et tryk fra den omgivende jord ind mod boringen stammende fra vægten af den jord eller den bjergart, der ligger oven over. Der vil endvidere være en gradient ("et tryk") i porevandet ind mod boringen, fordi grundvandsspejlet i den omgivende jord ligger højere end vandspejlet i boringen, jf. Figur 1.

Afhængigt af hvilke jordarter, boringen er udført i, kan nævnte forhold give anledning til en række stabilitetsproblemer, som kan medføre, at borehullet ikke bliver stående åbent, således som det er udført.

Problemerne kan bl.a. være forårsaget af:

- Gennemboring af et vandførende, permeabelt lag af friktionsmateriale (sten, grus, sand) med et vandtryk, der ligger over vandspejlet i boringen. Vandet vil da strømme fra det permeable lag og ind mod boringen og rive sand og grus med sig ind og ned i boringen. Evt. kan det foregå så voldsomt, at overliggende lag mister deres understøtning og falder ind i boringen i store flager

Trykændringer

Stabilitetsproblemer

Vandførende lag

Plastisk aflejring	– Gennemboring af en plastisk (tyktflydende) aflejring, der ved ændringen af trykforholdene i borepositionen langsomt flyder ind i borehullet grundet vægten af de overliggende aflejringer
Svellende lag	– Gennemboring af en aflejring, der er følsom over for vand – en såkaldt svellende aflejring. Denne type aflejringer (normalt leraflejringer) optager vandmolekyler, hvorved jorden udvider sig.
Opskydning	– Gennemboring af en forholdsvis tæt aflejring ned til en permeabel aflejring med et vandtryk væsentligt højere end svarende til vandspejlet i boringen. Der vil da ske en strømning af reservoirvand fra den permeable zone og op i boringen, og denne strømning vil trække materialet fra aflejringen med op i boringen. Det kaldes i branchen for “opskydning i boringen”.
Opspækket fjeld	– Gennemboring af faste bjergarter med zoner, hvori der er sket opsprækning eller knusning. Når der bores i faste bjergarter, vil disse normalt have styrkeparametre, der gør, at borehullerne bliver stående åbne. Der kan dog være zoner i bjergarten, hvor der er sket en opsprækning eller knusning af fjeldet, eller der kan være zoner, hvor kemiske processer har forvitret det. Sådanne zoner betyder ustabilt borehul, hvis de gennembøres, og boreentreprenøren må tage hensyn hertil i sin boreproces.
Løsninger	Vi skal følgende nævne nogle af de løsninger, der findes for at klare disse stabilitetsproblemer:
Arbejdsrør	– Der nedsættes et stålrør, i fagsproget kaldet et ‘arbejdsrør’, i boringen, enten når et vist interval er boret eller successivt i takt med uddybningen af boringen. Stålrørene holder borehullet åbent. Der kan arbejdes med flere dimensioner af arbejdsrør i samme borehul. Når den først anvendte dimension går fast eller af anden årsag ikke ønskes dybere ned, fortsættes med en mindre dimension inden i den første. Dette princip kan gentages. I fagsproget kaldes det at ‘teleskopere’.
Tilsætning af vand	– Der tilsættes vand til borehullet, således at vandspejlet i borehullet står i et højere niveau end vandspejlet i formationen. Herved forhindres, at formationsvand og formationsmateriale strømmer ind i eller op i boringen. Denne løsning vil normalt kræve kontinuert vandtilførsel til borehullet under borearbejdet, da det tilsatte vand løber ud i formationen på grund af overtrykket i vandet i borehullet.
Boremudder	– Der holdes overtryk i boringen ved at fylde en boremudder i borehullet, jf. afsnit 1.11. Boremudder fremstilles ved at blande vand med et eller flere stoffer (tilsatsmidler), der giver blandingen de egenskaber, der netop ønskes i den konkrete situation. Det kan fx være iblanding af et stof, der øger blandingens rumvægt, eller iblanding af et stof, der giver en høj viskositet (gør blandingen “tyktflydende”). Vandfasen i en boremudder vil på grund af overtrykket i boringen trænge ud i permeable zoner i de omgivne aflejringer. Herved filtreres tilsatsmidlerne fra og sætter sig som en tynd film, kaldet “filterkage”, på borehullets væg. Filterkagen hindrer fortsat udtrængning af væske fra boremudderet til formationen og holder samtidig borehullets væg afstivet. Da filterkagen holder boremudderet inde i boringen, er det muligt at etablere en væskestand i boringen i et væsentligt højere niveau end vandspejlet i formationen og derved opnå et overtryk i borehullet. Boremudderet vil på grund af de iblandede tilsatsmidler have en rumvægt, som er større end vands. Herved opnås et yderligere supplement til at etablere overtryk i boringen. Deciderede vægtforøgende tilsatsmidler kan iblandes.
Kemikalietilsætning	– Der anvendes en boremudder til at etablere et overtryk i boringen, og desuden til-

- sættes kemikalier, der hindrer, at en svellende formation optager vand fra bore-mudderet. Derved hindres det, at formationen sveller og bliver ustabil.
- Nedknuste og opsprækkede zoner i fjeld kan injiceres med en cementmasse, i mange situationer med trykinjektion. Når cementen er trængt ud i sprækkesyste-met og er afbundet (hærdet), gennembøres den opsprækkede strækning. I mange tilfælde klares terrænnære opsprækkede zoner ved hjælp af et stålrør – et arbejds-rør. I Danmark anvendes dette i de øvre opsprækkede zoner i kalken.

Injicering

1.1.2 Inddeling af boremetoder

Alle boremetoder har til formål:

Formål

- at løsbore det intakte formationsmateriale efterhånden som boringen uddybes
- at transportere løsboret formationsmateriale op til terræn
- at bevare stabiliteten af borehullet i takt med uddybningen.

Hvilken metode, der vælges, er afhængig af:

Metodevalg

- hvilken formation (jordart eller bjergart) der skal bores i
- hvilket formål boringen har (hvad den skal bruges til)
- hvilken diameter borehullet skal have, og hvilken dybde, der ønskes nået.

Man kan inddele boremetoderne ud fra flere forskellige principper. I denne sammenhæng er der valgt en opdeling baseret på materialetransporten fra bund af boring til terræn:

- *tørboringsteknik*, hvor løsboret materiale bringes op til terræn med et stykke bore-værktøj. Der tilsættes ofte vand til en tørboring, enten fordi det anvendte værktøj kun kan fungere under vand (det gælder fx en sandspand eller sandpumpe), eller der tilsættes vand for at sikre boringens stabilitet (dvs. for at hindre opskydning af materialer i arbejdsrørene)
- *skylleboringsteknik*, hvor løsboret materiale bringes op til terræn ved en væske-strøm, som normalt består af vand eller boremudder.

I de følgende afsnit 1.2 til 1.7 præsenteres et udsnit af de mest almindelige boreme-toder med fokus på metoder anvendt i Danmark, men suppleret med enkelte uden-landske metoder.

Omtalte metoder

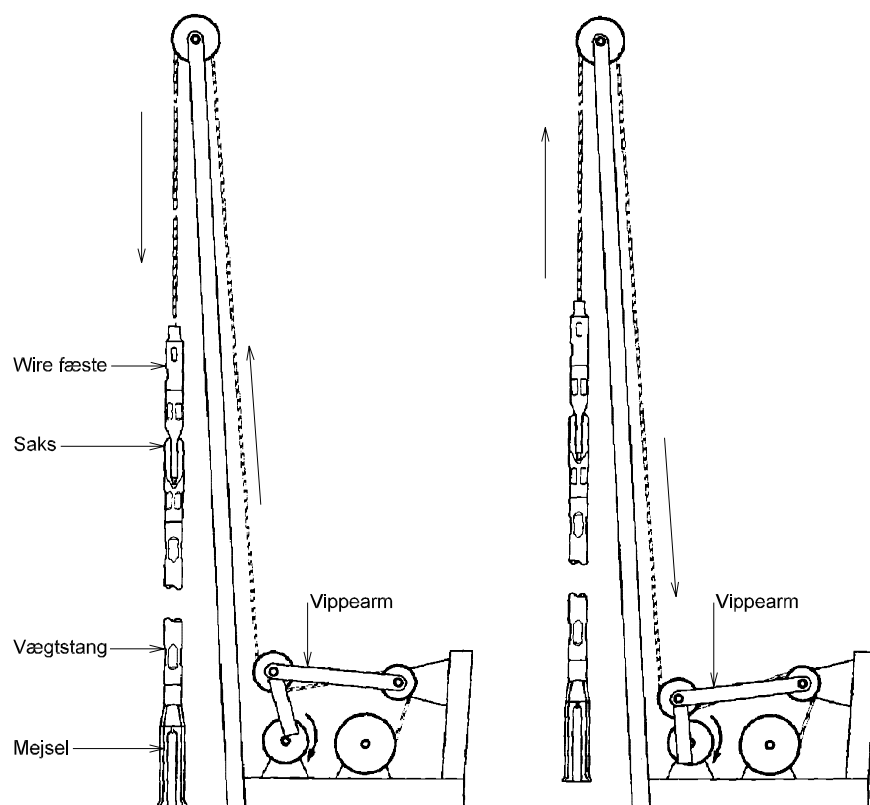
Følgende metoder vil blive omtalt:

- | | |
|---------------------|----------------------------|
| Tørboringsteknik | – slagboring |
| | – rotationsboring |
| Skylleboringsteknik | – rotationsskylleboring |
| | – trykluftboring |
| | – diamantkerneboring |
| | – specielle boreteknikker. |

Vi vil i denne sammenhæng betragte trykluftboringer som skylleboringer, hvor der anvendes luft som skyllemiddel i stedet for en vandbaseret boremudder. Ligeledes vil vi betragte diamantkerneboring som en skylleboremetode, fordi der cirkuleres et skyllemiddel gennem boringen under selve boreprocessen.

Metodevalget indebærer, at der efterfølgende er krav til boreriggens kapacitet, bo-restamme, skæreværktøjer (boreværktøjer) og eventuelt skyllesystemer. Disse forhold er ligeledes behandlet i efterfølgende afsnit, 1.8 til 1.10.

Figur 2
Principskitse af Linestøds-
boremetoden (Cable Tool
Drilling). (Drilling Techno-
logy, British Drilling Asso-
ciation, herefter forkortet
til Drill.Tech.)



1.2 Slagboring/tørboring

Den ældste metode

Slagboring er formentlig den ældste generelt anvendte boremetode. Metoden anvendes fortsat såvel i udlandet som i Danmark. Metoden anvendes herhjemme især i grovkornede aflejringer med stor permeabilitet, hvor anvendelse af skylleboreteknikker kræver helt specielle tiltag for ikke at miste boremudderet ud i formationen. Den anvendes også til udførelse af borer for miljøprojekter, hvor tilsatzmidler ikke er ønsket i boringen.

Der hersker nogen sproglig forvirring omkring benævnelsen af metoden og dens varianter. Det gælder også metodens beskrivelse; men vi støtter os her til den engelske terminologi og klassificering af metoderne.

To varianter

Vi har valgt at medtage to varianter, som har været og stadig er de generelt anvendte:

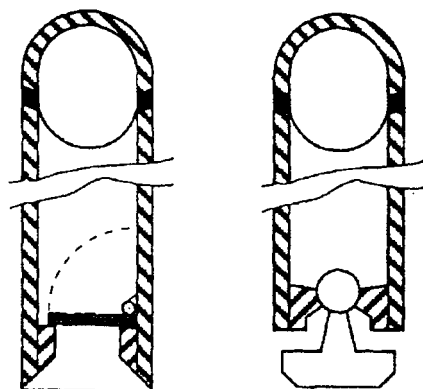
- *Linestødsboring* – på engelsk “Cable Tool Drilling”, der er beregnet for boring i hårde formationer. Metoden har været meget anvendt i Danmark til udførelse af vandforsyningsboringer, men er næsten helt fortrængt af slagboring med sandspand og rotationsskylleboring.

Vi har valgt at beskrive denne variant, fordi senere udvikling af boreteknikker i nogen udstrækning er baseret på erfaringerne fra disse værktøjers anvendelse.

Endvidere kan mange af de boretekniske problemer forbundet med denne metode fortsat opleves ved anvendelse af mere moderne teknikker

- *Slagboring* – på engelsk “Cable Percussion Boring”. Andre benævnelser er tørboring med wire og sandspand.

Denne variant er velegnet for boring i danske løsjordsformationer og kalkformatio-



Figur 3
Sandspand med klapventil
og med kugleventil
(Drill.Tech.)

ner, dvs. for boring i bløde og forholdsvis hårde aflejringer. Metoden anvendes i dag af nogle brøndborere i Danmark, og stort set alle borefirmaer har trods anskaffelse af hydraulisk rotationsboreudstyr beholdt en slagboremaskine for at bruge den i de områder, hvor rotationsskylleboring er vanskelig.

1.2.1 Linestødsboring

Ved linestødsboring anvendes en tung mejsel til at slå aflejringerne i bunden af borehullet løse og derefter knuse dem til mindre partikler svævende i det vand, der står i bunden af borehullet, dvs. få lavet en opslemning (grød) af løsboret, nedknust materiale.

Mejslen løftes 0,4 -1,0 m op fra boringens bund og falder herefter frit mod bunden af borehullet. Vægten af mejslen samt eventuelle stænger giver ved faldet den kraft, der slår formationsmaterialet løst og knuser det.

Når en vis dybde er boret løst med mejslen, trækkes den op, og en sandspand eller en sandpumpe fires ned i boringen for at samle det løsborede materiale op. Det sker ved at påføre sandspanden pumpebevægelser ved boringens bund.

Af principskitsen, **Figur 2**, fremgår det, at en wire går fra et spil via to wireskiver, der sidder i hver sin ende af en bjælke (vippearms) op over en topskive i masten og ned til mejselarrangementet.

Bjælkeenden med skive nærmest masten bevæges i op- og nedgående retning ved påvirkning fra en plejstang monteret excentrisk på et svinghjul.

Når bjælkeenden med skive går ned, løftes mejselarrangementet, og når bjælke med skive går op, får mejselarrangementet et fald mod boringens bund.

Wiren fires af i takt med, at mejslen slår formationen løs og i stykker. Den bedste effekt fås, når mejslen i sit fald lige netop når at ramme den faste bund af boringen, før den bliver løftet af wiren igen.

Wiren er fastgjort til mejselarrangementet via en form for svirvel og drejes i forhold til mejselarrangementet, når wiren er slæk.

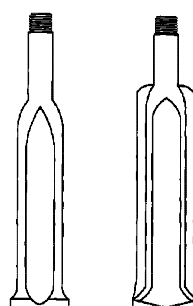
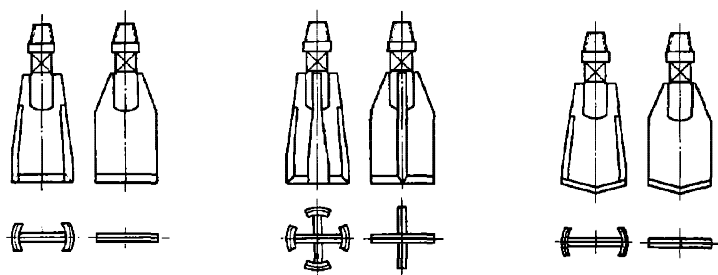
Hver gang mejslen løftes, drejer wiren sig en lille smule på grund af torsionskræfterne i wiren, og mejslen drejer med. Når mejslen slippes og falder til bunden af boringen, følger wiren med og slækkes og drejer tilbage til sin oprindelige stilling. Drejningen i forhold til mejslen sker i svirvelen. Næste gang wiren strammes, fastholdes svirvelen i en ny position i forhold til mejslen, og denne drejes et stykke svarende til, at torsionskraften i wiren og giver wiren en lille drejning. Herved opnås, at mejslen rammer boringens bund i en ny position ved hvert fald, hvorved hele arealet af boringsbunden løsbøres.

Mejsel

Slagarrangement

Wire

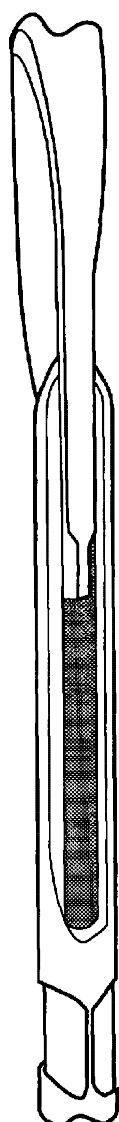
Lodret boring	Det er vigtigt for borearbejdet, at boringen er lodret, og at wiren er centreret i borehullet, da wiren ellers forhindres i at dreje sig, når mejslen løftes. Registreres en begyndende afvigelse fra lodret, fyldes den afvigende del af boringen op med fx sten, og borearbejdet genoptages fra toppen af opfyldningen. Der anvendes nu små faldhøjder for at få slået materiale løs fra borehullets væg og derved få rettet boringen op.
Oprensning	Efterhånden som det løsborede materiale hober sig op i bunden af boringen, vil dette materiale dæmpe mejslens fald - dens slagenergi - og dermed slagets effekt på den intakte bund i boringen. Dermed reduceres nedboringshastigheden. Derfor skal mejslen med visse mellemrum - vurderet af borelederen - trækkes op af boringen, og løsboret og nedknust materiale fjernes fra boringen.
Tilsætning af vand	Hvis der ikke er grundvand i formationen, må der tilsættes vand til boringen for at få dannet en opslemning af det nedknuste materiale. Dannelsen af denne opslemning er en forudsætning for at få de værktøjer, der normalt bruges til at rense op med, til at arbejde i bunden af boringen.
Sandspand	Et par eksempler på sådanne værktøjer til oprensning af boringer er vist på Figur 3. Sandspanden kaldes også sandpumpe eller ventilbor. Den arbejder ved at blive bevæget op og ned i en slags pumpebevægelse, samtidig med at den langsomt fires nedad. Sandspandens pumpebevægelse igangsættes i den øverste del af opslemningen. Under sandspandens opadgående pumpebevægelse er klappen eller kugleventilen lukket; i den nedadgående pumpebevægelse åbner klappen eller kugleventilen sig. Ved sandspandens opadgående pumpebevægelser opstår der vacuum under spannden, og de faste partikler i opslemningen hvirvles herved op fra boringens bund. Ved spandens nedadgående bevægelse fanges disse partikler i sandspanden over klappen eller kugleventilen. Når spanden er fyldt, eller den faste bund i boringen er nået, trækkes sandspanden op og tømmes. Tømningen sker normalt ved, at der slås en hjælpewire om bunden af sandspanden. Bunden løftes, og indholdet hældes herved ud af toppen af sandspanden. Det kan være nødvendigt at åbne klappen eller kugleventilen ved fysisk påvirkning for at få indholdet til at løbe ud.
Mejseltyper	Mejslerne, der anvendes ved denne boremetode, kan have forskellig udformning afhængigt af, hvilke materialer, der skal bores i. På Figur 4 er vist et udsnit af mejseltyper. Den almindeligst anvendte mejsel er fladmejslen. Krydsmejslen anvendes bl.a. til at rette en boring, der er begyndt at afvige fra lodret. Mejslerne kan gives en udformning, så de lettere falder ned gennem vand og opslemning i bunden af boringen, fx som Pennsylvansk mejsle med vandspor.
Effektivitet	Fremdriften ved mejsling er afhængig af: – kontaktarealet mellem skæret på mejslen og formationen i bunden af boringen – frekvensen af slag med mejslen (antallet af slag pr. minut) – fladhøjden eller slaglængden for mejslen – vægten af mejslen. Skæret på mejslen tilpasses den formation, der skal bores i. Jo hårdere formation, jo mere stumpt laves mejslens bund – dvs. skærevinklen laves større. Samtidig udformes skæret, så kontaktarealet bliver mindre, jo hårdere formationen er – dvs. skæret laves skarpt. Herved opnås, at slagenergien pr. arealenhed bliver stor, hvorved hårdere formationer lettere kan løsbøres.
Slagfrekvens	Frekvensen af slag afpasses efter vægt og fladhøjde og vil normalt variere mellem



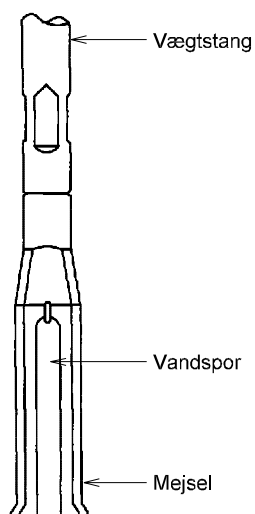
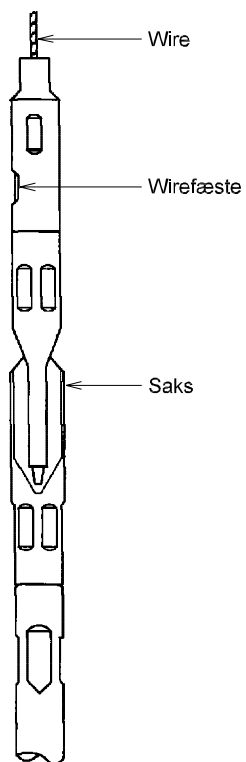
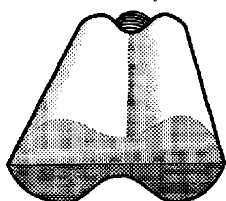
Pennsylvansk mejsel med vandspor

Figur 4
Almindeligt brugt mejsel-typer

Saks

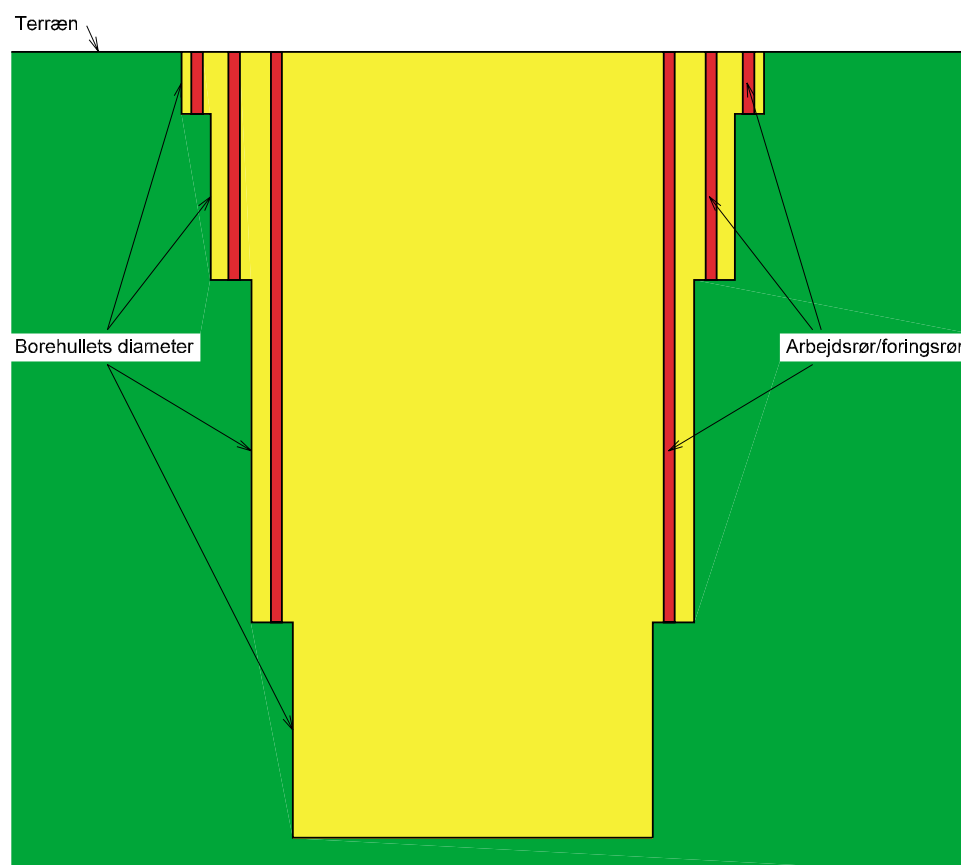


Standard mejsel



Figur 5
Mejsel med vægtstænger og saks (Drill.Tech.)

Figur 6
Teleskopering



30 og 60 slag pr. minut. Faldhøjden vil også variere afhængigt af vægt af udstyr og slagfrekvens. Den normale faldhøjde vil være fra 0,4 til 1,0 meter. Ifald vægten af mejslen alene ikke er tilstrækkelig til at løsbore materialet, kan mejslen påmonteres en eller flere vægtstænger, jf. **Figur 5**.

Når der bores i lagdelte formationer med varierende hårdhed, og mejslen pludselig rammer ned i en blødere formation, kan mejslen være tilbøjelig til at sætte sig fast i bunden af boringen. Der er af denne årsag ofte monteret en "saks" oven på vægtstangen.

"Saks"

Denne *saks* er opbygget af to led (svarende til to meget kraftige kædeled), der kan vandre i forhold til hinanden. Wiren har fat i øverste led, og nederste led er fastgjort på vægtstangen og dermed på mejslen. Når mejslen falder ned, falder øverste led ned mod og i det nederste led. Når wiren trækkes op, vil øverste led bevæge sig opad, før det rammer den øverste bøjle i nederste led. Den bevægelsesenergi, som øverste led har opnået, før den rammer øverste bøjle i nederste led, vil medvirke til at slå mejslen løs. Der rammes således opad på mejslen.

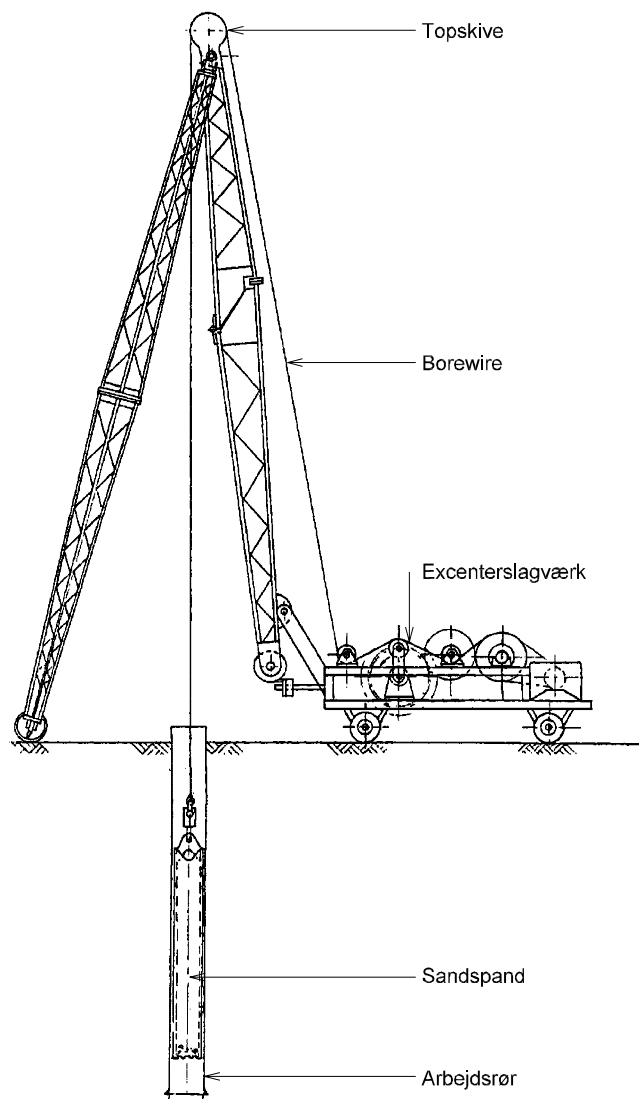
Metoden anvendes generelt til borediametre i størrelsen 6" - 12" og til dybder på 100 - 300 m.

Stabilitet af borehul

Når der bores i løsjord, er borehullet normalt ikke stabilt. Væggen i borehullet vil ikke uden videre blive stående under det fortsatte borearbejde, dels på grund af et formationstryk ind mod boringen, dels på grund af den fysiske påvirkning, som det fortsatte borearbejde udøver på borehulsvæggen.

Arbejdsrør

For at sikre stabiliteten af boringen nedsættes derfor stålrør – *arbejdsrør* – gennem



Figur 7
Opbygning af en
slagborerig

den del af boringen, der allerede er gennemboret. Rørene kan installeres i et hul, der allerede er boret i en diameter svarende til rørets udvendige diameter, og man må så efterfølgende skifte til en mindre mejsel dimension.

Alternativt kan arbejdsrørene rammes eller presses ned samtidig med, at der bores inden i rørene. I så fald skal rørene arbejdes ned gennem intakte aflejringer, og de skal være kraftige nok til at tåle påvirkningen dels fra formationen dels fra ramningen eller presningen af rørene ved terræn.

Hvis arbejdsrørene går fast, kan der udføres en teleskopering. Dvs. der nedsættes et nyt arbejdsrør inden i det første, og der skiftes til en mindre mejsel, jf. **Figur 6**.

Teleskopering

Arbejdsrørene kan svejses sammen, eller de kan være forsynede med gevind, så de skrues sammen.

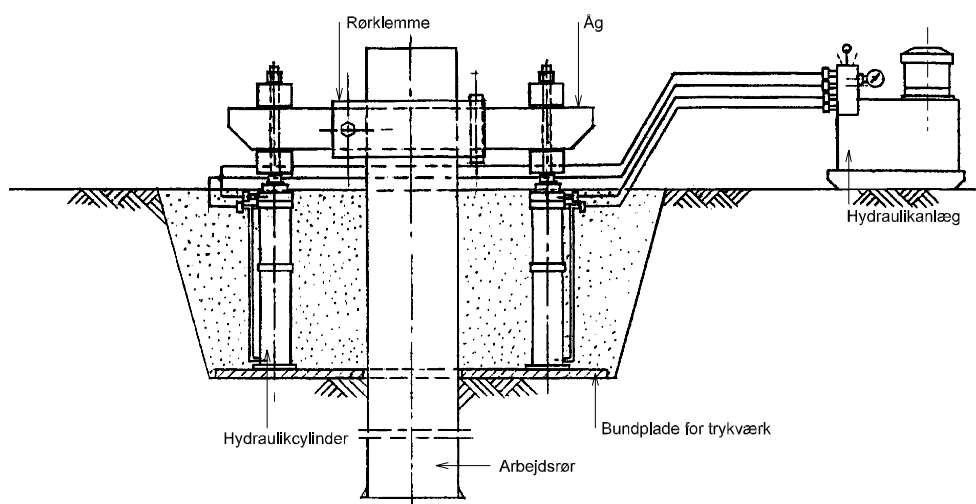
Hvis arbejdsrørene trækkes op for genanvendelse, vil de normalt være af gevindtypen, hvorimod arbejdsrør, der skal blive stående, oftest svejses sammen.

Arbejdsrør forstærkes ofte ved bunden med en påsvejet *boresko* eller bundsko for at klare den kraftige påvirkning fra formationen, når de presses eller rammes ned.

Boresko

1.2.2 Slagboring

Betegnelser	Som tidligere nævnt er der en del forskellige betegnelser for denne metode: – slagboring – tørboring med wire og sandspand – fritfaldsboring og i engelsk version: – cable percussion boring
Metode	Metoden er en forenkling af den i afsnit 1.2.1 beskrevne linestødsteknik, idet de to værktøjer, mejsel og sandspand, anvendt ved linestødsboring er kombineret til et værktøj, nemlig en tung sandspand, der i en og samme arbejdsgang fungerer både som mejsel og som oprensningsværktøj. Sandspanden anvendes altså på samme måde og skal arbejde efter samme princip som ved oprensning, når der bores med linestødsteknikken.
Ydelse	Metoden er udviklet og specielt velegnet for boring i løsjordsaflejringer samt i blødere bjergarter, fx kalk og kridt. Den har derfor været en meget udbredt metode i Danmark, før rotationsboreteknikken blev udviklet. Metoden har generelt været anvendt til brug i 8", 10", 12" og 16" dimension; men kan også anvendes til mindre dimension. Boredybderne vil generelt ligge i intervallet 30 - 150 m. Sandspanden har ikke samme nedknusningseffekt som en mejsel. Det betyder, at sten i fx glaciale aflejringer skal opsamles i sandspanden og løftes op fremfor at blive nedknust og dernæst opsamlet i sandspanden. Boreværktøjet er således i højere grad beregnet på at opsamle materialet med den kornstørrelse, materialet har, fremfor at nedknuse det.
Slagværk	Borerigge til slagboring har en simplere opbygning end linestødsmaskiner, idet der kun er behov for et slagværk. Sandspanden er normalt fastgjort til borewiren via en svirvel. Borewiren går over en topskive i boretårnet, der ofte er et treben. Slaget frembringes normalt ved et <i>excenterslagværk</i> som illustreret på Figur 7. Excenterarm og -skive drejes om en aksel (mod uret på figuren) og har et delvist friløb om akslen i akslens rotationsretning, når armen har passeret topstillingen. Dette bevirker, at excenterarm med wireskive falder frit fremad i rotationsretningen, når arm og skive har passeret topstillingen. Herved bliver wiren pludselig ubelastet, og sandspanden i borehullet får frit fald mod boringens bund. Wiren fires af, efterhånden som sandspanden arbejder sig ned i formationen.
Slagfrekvens	Slagfrekvensen vil normalt ligge i intervallet 20 - 40 slag pr. minut, og slaglængden i intervallet 0,4 - 0,6 meter.
Sandspand	Sandspanden trækkes op og tømmes, når den er fyldt. Tømningen kan udføres efter samme metode som ved linestødsboring. Sandspandens bundskær afpasses efter formationens hårdhed. Det kan enten være helkantet eller forsynet med tænder, evt. med en hårdmetalbelægning. Vægten varierer afhængigt af boredimensionen fra 100 kg i bløde formationer og små dimensioner til 800 à 1000 kg for boring i kalk i stor dimension. Sandspanden vil generelt have en diameter, der er ca. 10% mindre end arbejdsrørens diameter. Eksempelvis kan der anvendes en indvendig diameter på 250 mm for arbejdsrør og en udvendig diameter på 225 mm for sandspanden.
Lersnapper	Sandspanden kan ved boring i leraflejring erstattes med en <i>lersnapper</i>, der i princippet består af et rør med bundskær, hvor der på toppen er anbragt et styret rammelod. Ved hjælp af slagværket på boreriggen aktiveres rammelodet, og lersnapper-



Figur 8
Boring med nedgravet
trykværk

ren rammes ned i formationen, indtil den er fyldt, hvorefter den trækkes op med wiren på boreriggen. Friktionen mellem stålrør og ler vil holde materialet inde i lersnapperen.

Boringen holdes stabil ved anvendelse af arbejdsrør – stålrør – der nedbores i takt med uddybningen af boringen.

Arbejdsrørene kan enten rammes, presses eller trykkes ned. Arbejdsrørene kan være samlet ved svejsning, hvilket er normalt, hvis de skal indgå i en permanent installation, ellers anvendes gevindsamlede rør. Det kan være problematisk at ramme på gevindsamlede rør, idet gevindgangene kan blive ødelagt. Der anvendes derfor hovedsageligt en metode, hvor arbejdsrørene presses ned, ofte med skiftende op- og nedadgående bevægelser af rørene, men med resulterende nedadgående.

Som skitseret på **Figur 8** nedgraves et *trykværk* på det sted, hvor boringen skal udføres. Trykværket består af to kraftige hydrauliske donkrafte, der er fastgjort til en kraftig bundplade med hul for arbejdsrørene. Donkraftens stempelstænger er foroven fastgjort til et åg, der omgiver arbejdsrøret. Åget er forsynet med en rørklemme, der kan fastgøres til arbejdsrøret enten ved ren mekanisk tilspænding eller ved hydraulisk påvirkning af klembakker. Når klemmen er fastspændt på røret, kan røret bevæges op og ned ved aktivering af de hydrauliske donkrafte i op- eller nedadgående retning. Tilbagefyldt jord på den kraftige bundplade giver modhold, når rørene presses ned i takt med uddybningen af boringen.

Ved boring i lerholdige aflejringer vil man ofte forsøge at skabe en omrørt lerzone omkring rørene for at mindske friktionen på rørene. Det gøres ved at påføre arbejdsrørene en "pumpende" op- og nedadgående bevægelse med donkraften.

Arbejdsrør

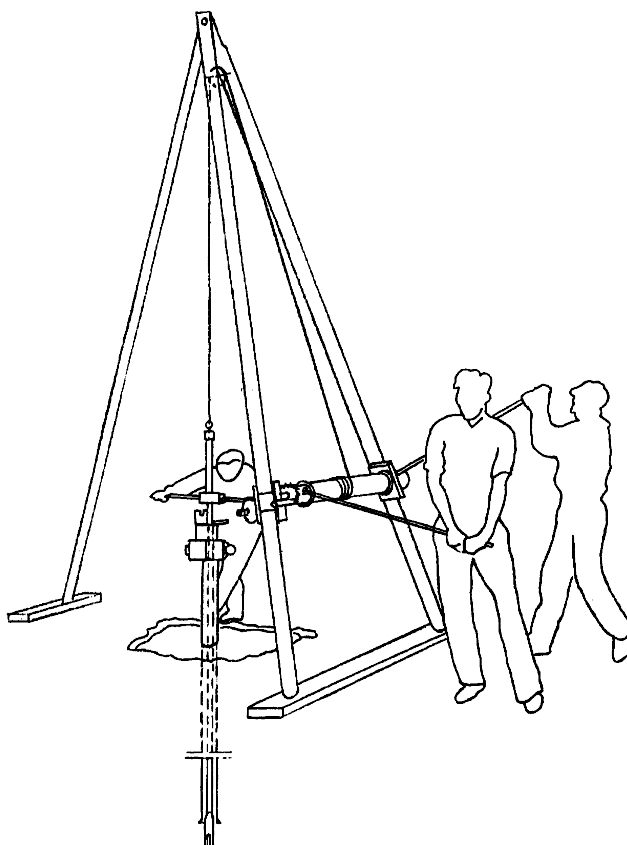
Trykværk

1.3 Rotationsboring/tørborring

Rotationstørborring er i dag den mest anvendte boreteknik til undersøgelsesboringer i de øvre aflejringer i Danmark. Metoden anvendes såvel uden foring som med foring, dog således at boringer til større dybder ofte kræver en stabilisering af borehullet med en foring (arbejdsrør). Metoden anvendes i dimensioner fra 3" à 4" og op til 12" à 15" og til dybder varierende fra 0 til 60-70 meter under terræn. Dog kræver de større dimensioner til stor dybde, at der er en borerig med stor løfte- og rotationskapacitet til rådighed, jf. afsnit 1.8 og 1.9.

Mest anvendt til
undersøgelsesboringer

Figur 9
Manuel boring med
treben



Karakteristika

Teknikken er især udviklet for at kunne:

- bestemme laggrænser så nøjagtigt som muligt
- udtage repræsentative prøver i veldefinerede niveauer
- udføre borehulsforsøg, såsom vingeforsøg (måling af lerjordarters udrænede forskydningsstyrke) og SPT-forsøg (Standard Penetration Test – for vurdering af sandjordarters lejringsstæthed)
- optage intakte prøver i prøverør i veldefinerede niveauer
- udføre specielle borehulsforsøg, såsom pressiometerforsøg, permeabilitetsforsøg m.m.

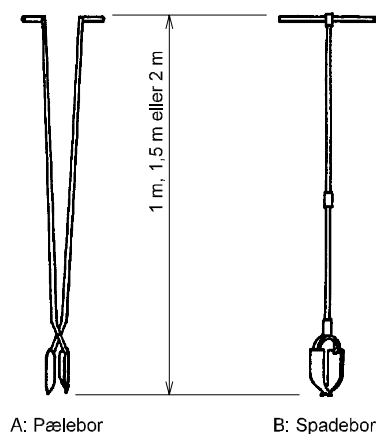
Anvendelse i Danmark

Som tidligere nævnt er metoden velegnet til udførelse af undersøgelsesboringer. Den har været anvendt til geotekniske borearbejder i Danmark fra midten af 1960'erne, hvor en mere systematisk geoteknisk undersøgelsesteknik blev introduceret.

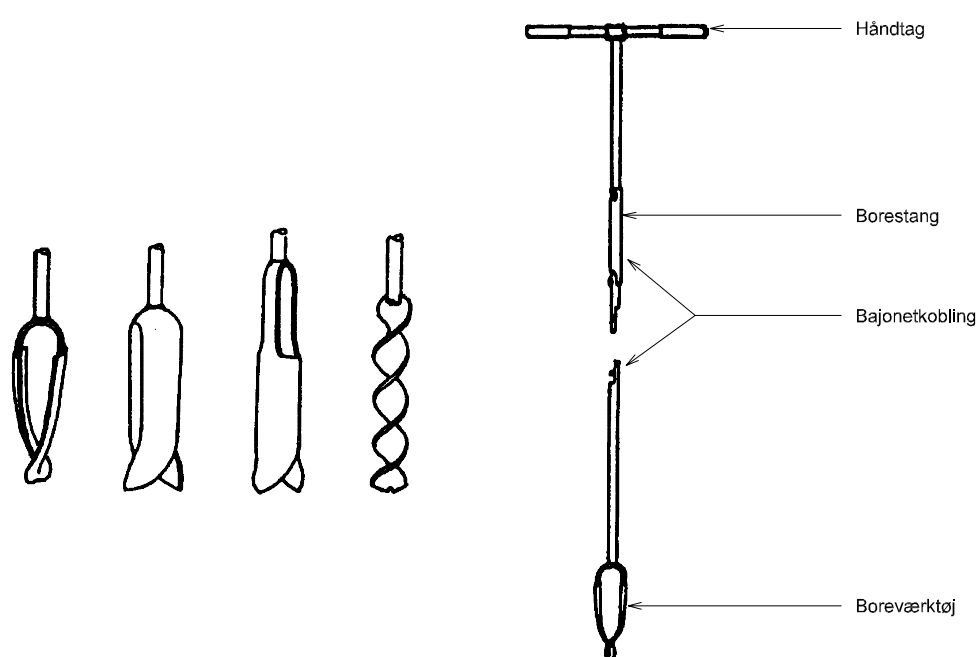
Frem til slutningen af 1960'erne og begyndelsen af 1970'erne blev boringerne udført ved hårdt manuelt arbejde i en form som illustreret på **Figur 9**. På det tidspunkt dukkede serieproducerede, hydrauliske boreværker til mindre og korte undersøgelsesboringer op på markedet.

Den rent manuelle udførelse af boringer anvendes fortsat under helt specielle omstændigheder som for eksempel vanskelige adgangsforhold samt på blødbundsarealer, hvortil kørsel med hydraulisk materiel ikke er mulig.

Der findes i dag adskillige metoder og et omfattende udstyr på markedet for udførelse af tørrotationsboringer. Vi skal i det følgende præsentere nogle eksempler til illustration af spredningen, såvel teknisk som kapacitetsmæssigt.



Figur 10
Værktøj til håndboring



Figur 11
Adskilleligt udstyr
til håndboring

1.3.1 Håndboring

Ved opgaver med lille volumen og til meget små dybder anvendes ofte håndboreudstyr, der både kan bæres og betjenes af een mand.

På **Figur 10** er vist eksempler på håndværktøj i faste sammenbyggede længder for udførelse af borer i dimensioner fra 3" til 6" og ned til 2 meter.

Ved større boredybder anvendes udstyr, der kan forlænges i takt med uddybningen af boringen.

De fleste udstyr til håndboring er fremstillet af letmetal for at mindske vægten. På **Figur 11** er vist et eksempel på udstyr, der er adskilleligt.

Adskilleligt håndboreudstyr fås generelt i dimensionerne fra 3" til 6" og kan afhængigt af jordbundsforholdene anvendes ned til 4-6 meters dybde.

Håndboring anvendes generelt i øvre lag, hvor stabilitetsproblemerne normalt ikke er fremherskende. Der kan dog til nogle udstyrstyper fås arbejdsrør i letmetal i 0,5 og 1 meters længder med gevindsamlinger. Arbejdsrørene trykkes og roteres ned med håndkraft ved hjælp af et håndtag, der kan spændes på arbejdsrørene.

Lille volumen –
små dybder

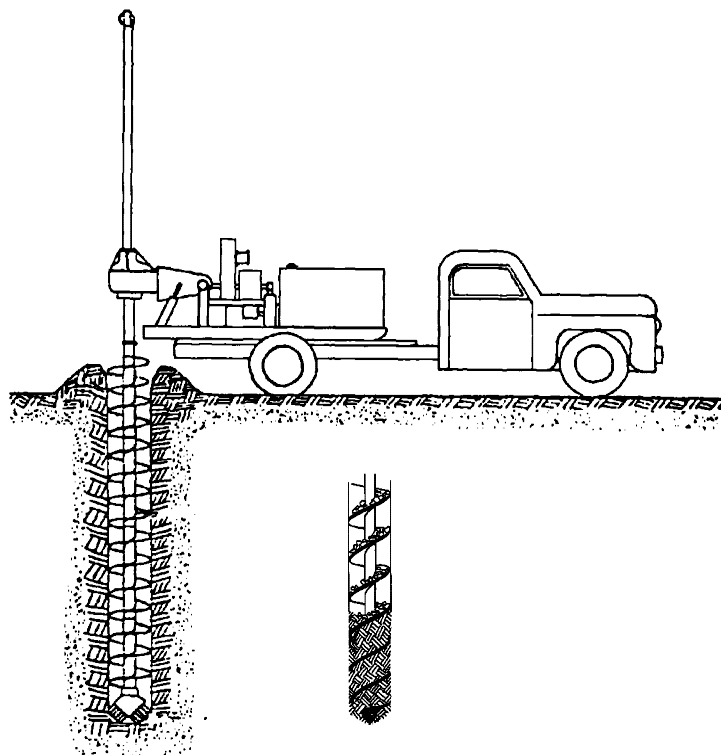
Brug af letmetal

Kun i øvre lag

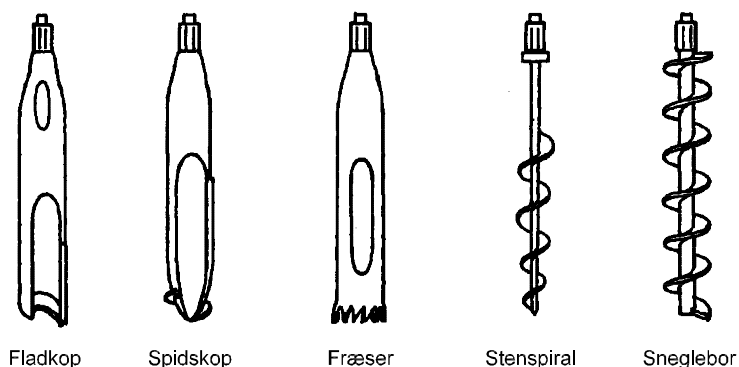
Løsboringen og opsamlingen af materiale udføres ved at dreje og presse værktøjet ned i formationen. Når værktøjet er fyldt med løsboret materiale, trækkes det op og tømmes.

1.3.2 Uforet, tør rotationsboring

Princip	Ved uforet, tør rotationsboring forstås, at der ikke anvendes et forings- eller arbejdsrør for at stabilisere borehullet under udførelsen, og at løsboret materiale bringes til terræn ved mekaniske hjælpemidler. Materialet bringes op enten indeholdt i et boreværktøj, der løftes op, eller det skubbes/transporteres op ved fysisk påvirkning af boreværktøjet. Løsboringen af materialet sker ved en roterende og skærende bevægelse af de anvendte boreværktøjer.
Anvendelse	Denne metode er den mest anvendte ved undersøgelsesboringer for geotekniske, miljøtekniske og geohydrologiske formål i de øvre løsjordsaflejringer. Den anvendes også i stor udstrækning til at gennembore øvre løsjordsaflejringer for at etablere et hul til nedsætning af en topforing, når der udføres fx omvendt skylleboring, jf. afsnit 1.4.2, eller som forboring, når der skal installeres sugespids, pejlerør, telefonpæle, hegnspæle, punktfundamenter m.m.
Boreværktøj	I borehullet bruges et boreværktøj, der er monteret på en <i>borestamme</i> (sammensat af en eller flere borestænger), der har til formål at overføre rotationen fra borehovedet på den anvendte borerig til boreværktøjet, som vist på Figur 12. Borestængerne tjener desuden til optrækning og nedsætning af boreværktøjet. Borehovedet er monteret på en borevogn, der ved wiretræk eller kædetræk kan forskydes op og ned ad boretårnet (<i>boremægleren</i>) styret af skinner. Borehovedet er en hydraulisk motor med gearkasse og nedadrettet udgangsaksel med en koblingsanordning til de anvendte borestænger. Via borehovedet påføres borestængerne såvel rotation som tryk og træk. Det anvendte boreværktøj kan have mange forskellige udformninger, og valget af boreværktøj tilpasses den aflejringsstype, der skal gennembøres. Skift af boreværktøjer under udførelse af den enkelte boring udføres, når boreformanden vurderer, at det er formålstjenligt. For alle værktøjer gælder det, at skærefladen eller flader, der er udsat for stort slid under boreprocessen, belægges med hårdmetal.
Typer af boreværktøj	På Figur 13 er vist et udvalg af de mest almindelige boreværktøjer beregnet til tør rotationsboring. – <i>Sneglebor</i>, som er det mest anvendte boreværktøj, kan fås i mange forskellige længder og udgaver. En meget anvendt type kan sættes sammen og forlænges efter behov (kontinuert sneglebor, engelsk “continuous flight auger”). – <i>Kopbor</i> fås ligeledes i mange udgaver med forskellig udformning af bundskæret i form af <i>fladkop</i> og <i>spidskop</i>. Fladkoppen anvendes fortrinsvis i blødere aflejringer uden for stort stenindhold. Størrelsen af åbningen i et kopbor vælges med henblik på dels at kunne holde materialet inde i kopboret under optrækningen dels at kunne få materialet ud af boret ved terræn. Kopbor med store åbninger vil være lettest at arbejde med i aflejringer med stort lerindhold – specielt i fede lerarter. – <i>Fræser</i> anvendes til boring i meget faste eller cementerede aflejringer, hvor sneglebor og kopbor ikke kan penetrere (trænge ned i) eller skære i materialet. Værktøjet udgøres i princippet af et stålrør, der i toppen er monteret med en kobling til borestængerne, og hvis bund forsynet med tænder. Tænderne er belagt med hårdmetal for at forstærke dem samt mindske slitagen på dem. Bundskæret kan være belagt med wolframcarbide, der gør fræseren til et effektivt værktøj, når eksempelvis sten indlejret i moræner skal gennembøres.



Figur 12
Boring med tør, uforet
rotationsteknik



Figur 13
Boreværktøjer til tør,
uforet rotationsboring

Ved udførelse af tør, foret rotationsboring anvendes normalt borestænger med notsamlinger og tilhørende låsebolte. Derved kan der udføres såvel højre- som venstre-rotation under borearbejdet, hvilket er en stor hjælp. Desuden er der en stor tidsbesparelse ved under optrækning og nedsætning af borestammen at arbejde med notsamlinger frem for gevindsamlinger.

Borestænger

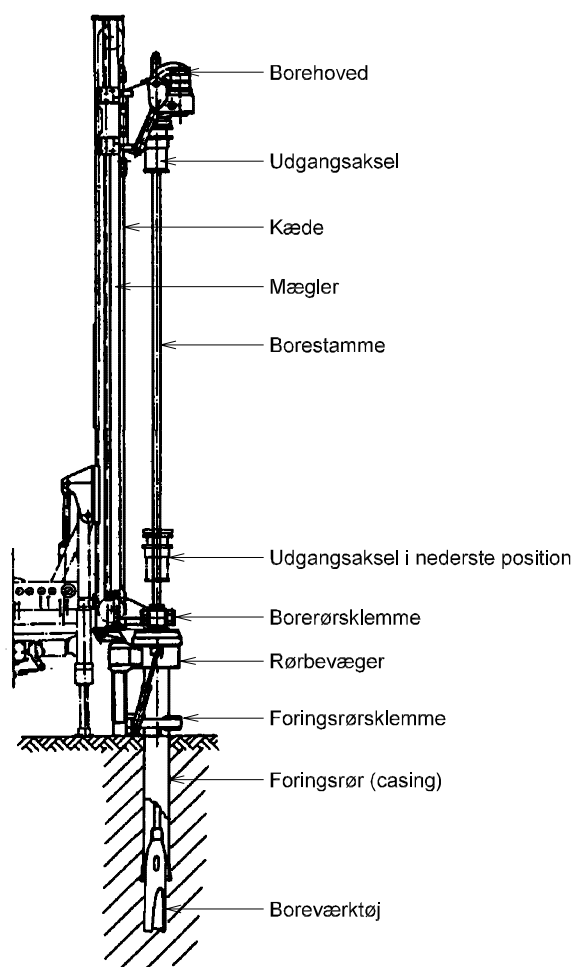
Under boreprocessen roteres og presses boreværktøjet ned i den aflejring, der skal løsbores. Når boreværktøjet er fyldt, eller hvis en ønsket dybde er nået, trækkes værktøjet op og tømmes for løsboret materiale. Herefter nedsættes værktøjet (eller andet mere velegnet værktøj) igen, og processen gentages.

Ved anvendelse af *sneglebor* kan det være nødvendigt at holde igen på borestammen, så sneglen ikke skruer sig selv ned i aflejringerne som en proptrækker, da det så kan være svært at trække den op.

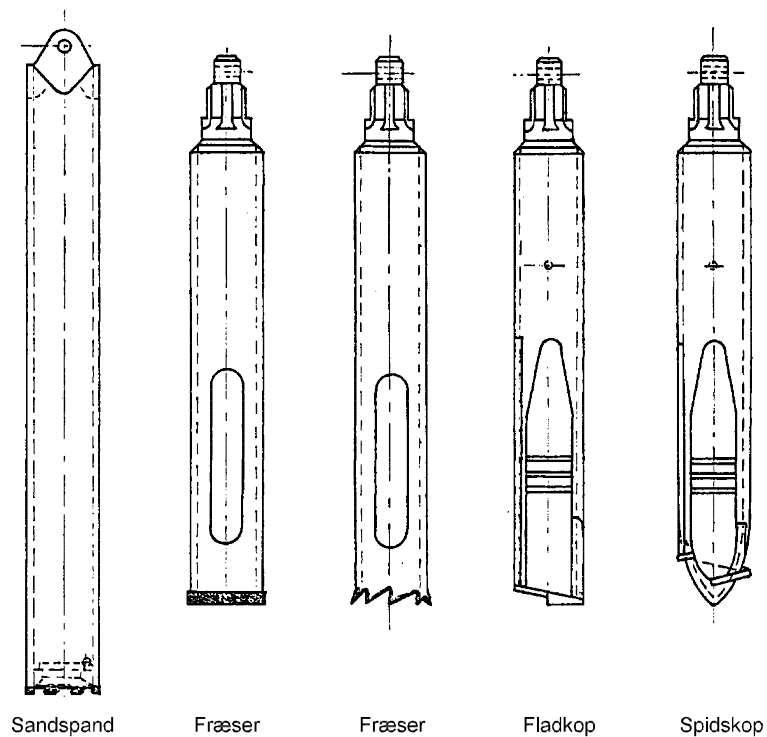
Sneglebor

Sneglen har samme udvendige diameter hele vejen, hvilket gør, at der ved optrækning og specielt ved hurtig optrækning etableres et vacuum under skæret på snegleboret. Herved kan der opstå stabilitetsproblemer i boringen, hvis der bores i

Figur 14
Borerig med foret,
tør rotationsboring



Figur 15
Boreværktøj til foret,
tør rotationsboring



bløde og måske sandede eller siltholdige aflejringer. Hvis aflejringerne tilmed er vandførende, forstærkes stabilitetsproblemet.

Snegleboret er følgende bedst i ler og i aflejringer, der ligger over det naturlige grundvandsspejl.

Kopbor eller skebor samt fræsere er normalt udformet, så skæret etablerer et borehul, der er nogle få millimeter større end diameteren på kroppen af boreværktøjet – dvs. udvendig diameter på det stålrør, som værktøjet er produceret af. Herved mindskes risikoen for, at der opstår vacuum under værktøjet, når det trækkes op.

Når der anvendes uforet, tør rotationsboring til forundersøgelsesformål (geotekniske og miljøtekniske boringer), vil der normalt blive boret i dimensioner fra 3” til 6” til dybder indtil 6 meter. Kontinuerte sneglebor kan dog anvendes til langt større dybde, op til 15-20 meter, hvis forholdene tillader det. Omdrejningshastighederne ligger i intervallet 30-60 omdrejninger pr. minut.

Sneglebor og kopbor anvendes ved forboringer til skylleboringer i dimensioner op til 16”-20”; men i så fald bruges en noget mindre omdrejningshastighed.

Ved specielle boringer for punktfundamenter eller lignende anvendes korte sneglebor med en diameter på indtil 80-100 cm.

Andet værktøj

Ydelse

1.3.3 Foret, tør rotationsboring

Ved foret, tør rotationsboring anvendes et foringsrør eller arbejdsrør til at stabilisere borehullet, og løsboret materiale bringes til terræn ved mekaniske metoder. Løsboringen af aflejringer sker ved en roterende og skærende bevægelse af de anvendte boreværktøjer.

Princip

Metoden er en udbygning af den uforede, tørre rotationsboret teknik med et foringsrør, der nedbringes i takt med uddybningen af boringen for at stabilisere borehullet (**figur 14**). Metoden muliggør boring i aflejringer, der ikke er stabile – specielt boring i grus, sand og silt under grundvandsspejlet. Samtidig muliggør denne teknik generelt boring til større dybder.

Der anvendes stænger og boreværktøjer af type som vist på **Figur 15**. Boreriggene vil normalt være lidt kraftigere for at kunne nedbore foringsrøret/arbejdsrøret og for at kunne håndtere de lidt større dybder, der normalt er interessante for denne teknik.

Udstyr

Foringsrøret skal normalt kun bruges under udførelsen af boringen og er derfor fremstillet af 1-2 meter lange stålrør med gevindsamlinger. Det nederste foringsrør/arbejdsrør er enten fremstillet med et savtakket skær med hårdmetalbelægning, eller der er påskruet en bundsko eller boresko på den nederste gevindende.

Foringsrør

Foringsrørene vil normalt have venstreskåret gevind for at hindre, at friktion mellem boreværktøj, der roteres højre om, og foringsrør skal skrue de nederste rør løse.

Foringsrørene kan nedbores med boreriggens borehoved, ved at der monteres et overgangs- eller koblingsstykke øverst på det rør, der skal nedbores. Koblingsstykket fastgøres til borehovedet, så der kan overføres tryk og rotation til foringsrøret. Ved denne anordning kan foringsrør ikke roteres ned samtidig med, at borestammen er installeret i borehullet.

Uddybning af boringen og nedboring af foring må derfor ske skiftevis.

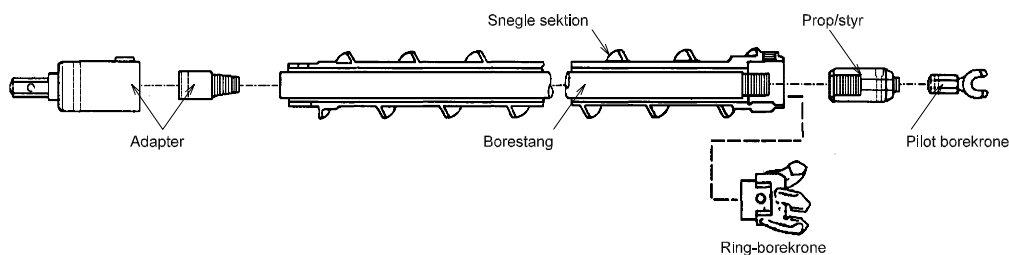
Boreriggen vil normalt være forsynet med en foringsrørsklemme – kaldet en bundklemme – nederst på mægleren. Bundklemmen kan åbnes og lukkes hydraulisk og således holde foringsrøret fastlåst i sin vertikale position samt danne modhold, når rør skal skrues af eller på.

Bundklemme

Rørbevæger	Nogle rigtyper har nederst på boretårnet/mægleren påmonteret en rørbevæger (casing rotator), der uafhængigt af borehovedet kan nedbringe foringsrørene. Hermed kan uddybning og stabilisering ske samtidigt. Rotationsboreværktøjerne, sneglebor, kopbor mv. er ikke anvendelige ved boring i sandede aflejringer under vandspejlet. Her anvendes sandspande som omtalt under slagboring i afsnit 1.2.
Borerig	Borerigge til foret, tør rotationsboring er derfor ofte udstyret med et slagværk - enten et excenterslagværk monteret bag på mægleren eller et cylinderslagværk monteret på toppen af mægleren.
Boreværktøj	Boreværktøjerne, herunder sandspande, skal have en diameter, der er en lille smule mindre end den indvendige diameter på de anvendte foringsrør dels for at sikre passage gennem foringsrørene dels for at modvirke dannelse af vacuum under boreværktøjet ved optræk. Diameteren på boreværktøjet skal samtidig være sådan, at der ikke efterlades en skal af jord inden i foringsrøret.
Ydelse	Foret, tør rotationsboring anvendes i stor udstrækning til forundersøgelserformål (geotekniske og miljøtekniske) og normalt i dimensionerne 4" og 6" og i dybder indtil 0-30 meter. Metoden anvendes også i større dimensioner, 8", 10" og 12" til boring af filterbrønde til vandforsyning og grundvandssænkning. Metoden er særlig velegnet til etablering af filterbrønde i forbindelse med forureningsprojekter, idet metoden ikke introducerer skyllevæsker (boremudder) i boringen og dermed mulige fejlkilder ved efterfølgende analyser af oppumpet formationsvand. En anden anvendelse af foret rotationsteknik er til gennemboring af løsjordsaflejringer med tilhørende nedsætning af stålforing til faste aflejringer - fx til kalk - før der her skiftes til en anden boreteknik såsom skylleboring, trykluftboring eller diamantkerneboring. Foret, tør rotationsboring i disse dimensioner 8" - 12" anvendes i dybder indtil 80 meter.

1.3.4 Hollow Stem Auger boring

Amerikansk metode	<i>Hollow Stem Auger boring</i> er en meget anvendt amerikansk metode fortrinsvist beregnet til undersøgelsesboringer med geotekniske formål. Metoden har aldrig vundet indpas på det danske marked, formodentlig fordi man ikke opnår en veldefineret dybdeangivelse af laggrænser. Metoden beskrives her, fordi den danner basis for en metode, der er taget i brug på det danske marked de seneste år. Denne metode - <i>hulsneglboring</i> - er beskrevet i afsnit 7.2.5.
Princip	På Figur 16 er vist princippet i et Hollow Stem Auger udstyr. Det består af et <i>sneglebor</i> med et rør som kerne eller centerstang. Sneglesektionerne er alle ens og af standardlængde, og de kobles sammen. Sneglesektionerne har samme lysning (indvendig diameter) hele vejen og tillader, at der nedsættes indvendige borestænger gennem sneglen. Disse borestænger er af samme standardlængde som sneglesektionerne. På nederste sneglesektion sidder en ringborekrone med tænder (hårdmetalbelagte), der kan løsbore et ringareal svarende til den hule snegls tværsnit. På nederste borestang sidder et overgangsstykke, en prop, der passer præcis inden i ringborekronen og slutter tæt til denne, så der ikke kan komme løsboret materiale ind mellem sneglens centerstang og borestængerne. I bunden af denne prop sidder en pilotborekrone, der løsborer materialet i den centrale del af borehullet.



Figur 16
Hollow Stem Auger
udstyr (Drill.Tech.)

I toppen af den hule boresnegl monteres koblingsstykker (adaptere), der fastlåser den indvendige borestang og den hule boresnegl til hinanden. Adapteren har en kobling til borehovedet. Herved opnås, at snegl med ringborekrone og borestang med pilotborekrone roteres sammenlåst.

Borearbejdet udføres ved, at snegl med ringborekrone og pilotborekrone roteres ned, og løsboret materiale transporteres op ad den udvendige sneglegang. Der vil naturligvis være forsinkelse i materialetransporten, så det løsborede materiale først kan ses og vurderes ved terræn nogen tid efter gennemboringen af det niveau, hvori materialet var lejret. Herved kan det være svært at få en nøjagtig bestemmelse af dybden til laggrænser.

Udtagning af intakte prøver samt udførelse af forsøg i boringen (vingeforsøg, SPT-forsøg) sker ved optræk af borestænger og pilotkrone, og nedsætning af prøveoptager eller forsøgsudstyr sker gennem den hule snegl. Sneglen fungerer i princippet som et foringsrør/arbejdsrør.

Metoden er anvendelig i løsjordsaflejringer og også i aflejringer med rimelig stor hårdhed. Problemerne opstår ved boring i vandførende aflejringer med finsand og silt, idet disse materialer kan trænge igennem eller sætte sig fast i samlinger og specielt mellem proppen på borestængerne og ringborekronen.

Ved optræk af borestænger og pilotkrone i finsand og silt er der stor risiko for, at formationsmateriale skyder op inde i den hule boresnegl.

Opskydning kan reduceres ved tilsætning af vand til boresneglens centrerrør før centerborestænger trækkes op.

"Forsinket" prøvetagning

Forsøg og prøvetagning

Anvendelse

1.3.5 Boring med hul boresnegl

I de seneste år er der udviklet en teknik, der kombinerer 'Hollow Stem Auger' boreteknikken med den 'wireline teknik', som kendes fra diamantkerneboringer, jf. afsnit 1.6.2.

Teknikken er så ny, at den endnu ikke har fået en dansk betegnelse. Almindeligvis omtales den som 'boring med hulboresneglen', hvilken betegnelse vil blive brugt efterfølgende.

Udstyret består af hule sneglesektioner, der sættes sammen som ved 'Hollow Stem Auger' udstyret. Den nederste del er specielt udformet med indvendige udfræsninger, der gør, at nedsænket udstyr kan fastlåses indvendigt i den nederste sneglesektion. Nederste sneglesektion er endvidere forsynet med en ringborekrone.

De indvendige borestænger er erstattet med udstyr, der kan fires ned med wire og frigøres, når de har nået den ønskede position, hvorefter wiren kan trækkes op. Tilsvarende kan wiren fires ned med fangeudstyr, der "fanger" det indvendige udstyr, frigør dette og holder det fast, mens det trækkes op.

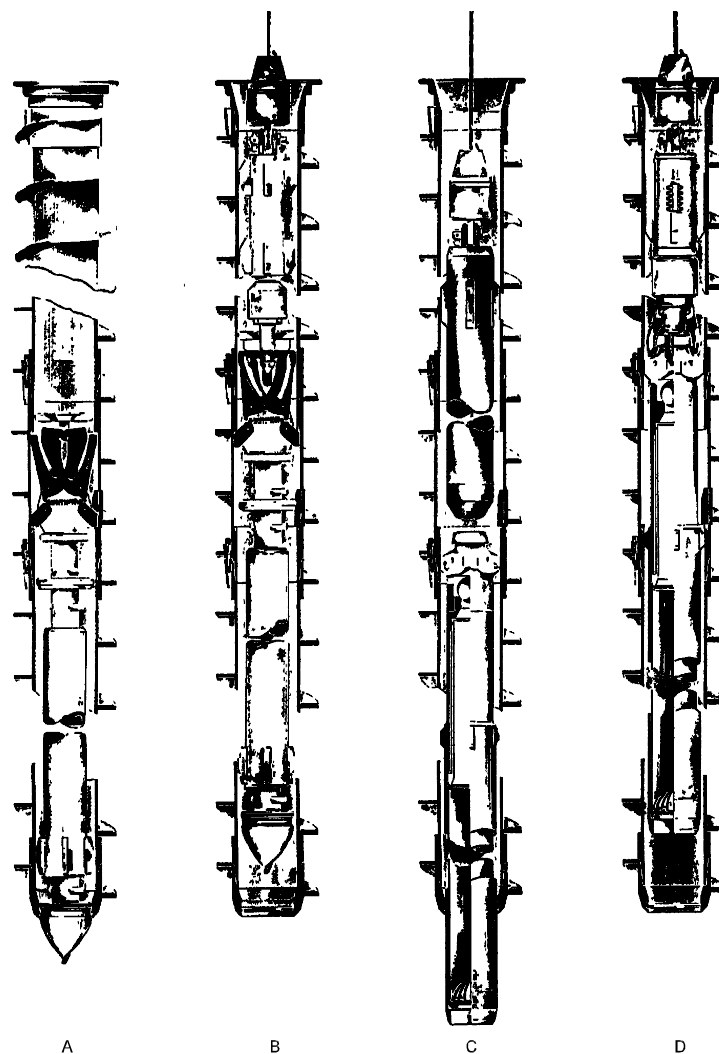
Der er til denne metode udviklet en række udstyr til montage i bundsektionen af hulboresneglen. Derved er der mulighed for at

Ny metode

Princip

Anvendelse

Figur 17
Udstyr til boring med
hulboresnegl
(Nordmeyer)



A: Hulboresnegl med pilotkrone monteret til boring
B: Hulboresnegl med pilotkrone under optræk
C: Hulboresnegl med rammekernerør under vedramning
D: Hulboresnegl med rammekernerør under optrækning

- ramme en prøveoptager ned i intakte aflejringer under boringens bund for at tage intakte prøver
- udføre “full face” boring, dvs. løsbore alt materiale i hele borehullets tværsnit og transportere dette op via den udvendige sneglegang
- udbore og optage en intakt jordcylinder i form af en kerneprøve
- udføre borehulsforsøg.

Principperne og nogle af mulighederne fremgår af **Figur 17**.

Metoden er beregnet for boring i løsjord, men er ikke velegnet i stærkt stenholdige materialer eller hårde sammenkittede eller cementerede aflejringer. Den er ej heller anvendelig i bjergarter, herunder kalk.

Metoden er meget hurtig at arbejde med, da den tidskrævende operation med optrækning og nedsætning af borestænger undgås. Samtidig kan udstyret fås i dimensioner, der gør det muligt at sætte filtre og udføre gruskastning inde i sneglesektionerne.

Ydelse

Der findes udstyr med indvendige lysninger i intervallet 80-200 mm og med maksimal udvendig diameter (borehullets diameter) mellem 140 og 300 mm.

Udstyret anvendes primært til mindre vandforsyningsboringer (private vandboringer) samt filterbrønde til projekter på forurenede arealer og i mindre udstrækning til undersøgelsesboringer på forurenede arealer.

Metoden er endnu ikke generelt accepteret til brug ved geotekniske forundersøgelser i Danmark.

1.4 Skylléboring

Vi vil i dette afsnit omtale skylleboremeteren – en mere præcis beskrivelse vil være rotationsskylleboremeteren. Boremeteren er den mest anvendte i verden i dag, og den har især vundet udbredelse inden for olieindustrien.

Mest anvendt til
olieeftersforskning

Som nævnt i afsnit 1.2.1 er skylleboring en metode, hvor løsboret materiale, “cuttings”, bringes op til terræn ved en væskestrømning. Der skal således ikke ske en jævnlig optrækning af borestænger eller sandspande for at fjerne løsboret materiale fra boringen.

Dette gør, at boremeteren er hurtig og effektiv, og tiden for boring af en meter borehul er ikke afhængig af boredybden, men kun af formationens hårdhed.

Den ovennævnte væskestrøms evne til at fjerne cuttings fra boringens bund er afhængig af to faktorer:

- den hastighed, som væsken strømmer med og
- væskens egenskaber (viskositet, vægt).

Væsken, også kaldet *boremudderet*, kan være rent vand, men der vil normalt være tilsat additiver (materialer, der giver væsken de ønskede egenskaber). Additiverne har i relation til transporten af *cuttings* primært til formål at øge boremudders viskositet og dermed boremudders evne til at løfte cuttings op til terræn. Jo højere viskositet en væske har, jo større evne har den til at bære cuttings.

Boremudder

Den hastighed, hvormed cuttings transporteres til terræn, afhænger af form og vægt for den enkelte partikel i cuttings – jo mere findelt og dermed jo lettere cuttings, jo hurtigere transporteres disse op til terræn.

Grundet varierende partikelstørrelse sker der en opblanding af cuttings fra forskellige dybder under transporten til terræn, og opblandingsgraden øges med dybden.

De cuttings, der observeres på et givet tidspunkt ved terræn, stammer følgelig fra aflejringer, der ligger højere oppe end det niveau, der bores i, når observationen sker.

Skylleboremeterne giver derfor ikke:

- veldefineret angivelse af laggrænser
- veldefinerede og repræsentative prøver af jordlagene.

Begrænsninger

Der er en øvre grænse for, hvor meget viskositeten i en boreblanding kan øges. Det skyldes, at man gerne vil have fjernet cuttings fra boreblanding ved terræn for at kunne recirkulere boreblanding - dvs. genbruge det. Jo højere viskositet af boreblanding, jo sværere er det at få fjernet cuttings fra boreblanding.

Recirkulering udføres for at reducere omkostningerne til boreblanding. Samtidig bevirker recirkulationen, at boreentreprenøren minimerer sit udledningsproblem og de dermed forbundne miljøproblemer ved brug af specielle additiver.

Fjernelse af cuttings fra boreblanding er nødvendigt for at undgå boretekniske problemer. Det er begrænset, hvor tyk en væske, der kan pumpes rundt i systemet. Boreprocessen går således i stå – borestængerne låses fast - hvis boreblanding indeholder for mange cuttings.

Vægten af boremudderet øges, jo flere cuttings boremudderet indeholder. En tung boremudder trænger længere ud i permeable formationer end en let boremudder, hvilket kan ødelægge boringens senere anvendelse, fx til vandforsyningsformål. Bore-mudder skal behandles – conditioneres – så dets planlagte egenskaber bibeholdes gennem hele boreddybden.

Overtryk i boringen

Rotationsskylleboring af den type, som er omtalt i dette afsnit, holdes stabile ved hjælp af overtryk i boringen. Overtrykket etableres ved hjælp af den anvendte bore-mudder, dels ved at holde boremudderstanden (overfladen af boremudderet) over vandstandsniveauet i de omgivende jordlag, dels ved evt. at øge rumvægten af bore-mudderet.

Standrør

Normalt sættes en stålforing (et standrør) i de øverste løsjordsaflejringer for at holde disse stabile, idet et hurtigt flow op eller ned gennem et åbent hul ved terræn vil skabe stor erosion omkring borehullet og eventuelt fjerne understøtningen for bo-reriggen.

En mere detaljeret beskrivelse af skyllesystemer samt boremuddertyper, deres anvendelse, formål og funktion fremgår af afsnit 1.10 og 1.11.

Transport af cuttings

Ved udførelse af skylleboringer med recirkulation af boremudder kan transporten af cuttings fra boringernes bund til terræn foregå på to forskellige måder:

- *direkte skylning*

hvor cuttings transporteres op i ringvolumet mellem borestammen og borehullets væg

- *omvendt skylning*

hvor cuttings føres til terræn i hulrummet inde i borestammen.

I det følgende gennemgås nogle af de rotationsskylleboreteknikker, der oftest anvendes i Danmark.

1.4.1 Direkte skylning

Princip

Ved rotationsskylleboring med direkte skylning løsbøres formationen i boringens bund med en borekrone – kaldet en mejsel – ved rotation af denne under et konstant tryk. Princippet i selve løsboringen afhænger af typen af mejsel, der igen afhænger af formationstypen.

Rotationen og trykket overføres til mejslen gennem vægtstænger og borestænger, der øverst er forbundet til en rotationsenhed.

Cuttings fjernes kontinuert fra mejslens skær og bunden af boringen ved renskyling med boremudder, der pumpes ned gennem borestammen og ud gennem mejslen. Bore-mudder indeholdende cuttings trykkes op gennem ringvolumenet mellem borestammen og borehulsvæggen.

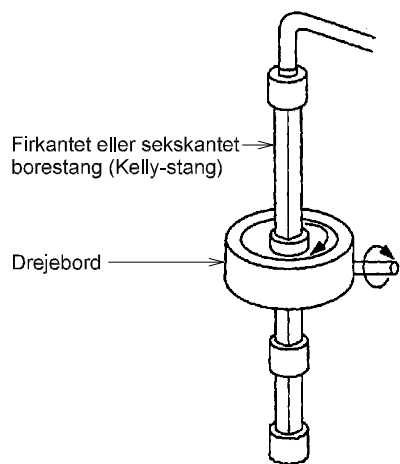
Overførsel af rotation

Rotationen kan overføres til mejslen på tre forskellige måder:

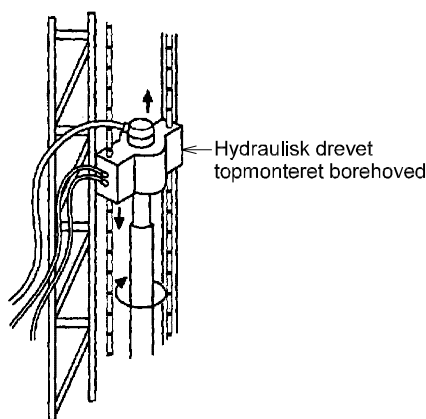
- Et tidligere anvendt system til overføring af rotation bestod af en firkantet eller sekskantet borestang – en såkaldt Kelly-stang – monteret øverst på borestammen. Denne kunne vandre lodret gennem et drejebord med en central gennemgang med tværsnit svarende til Kelly-stangens.

Rotationen overføres via drejebordet til Kelly-stangen og dermed til borestammen, jf. **Figur 18**. Borestammen med mejsel blev holdt oppe af en wire fastgjort til toppen af kellystangen, som via en topskive i boreårnet var forbundet til et wirespil. Wiren blev firet af spillet i takt med uddybningen af boringen.

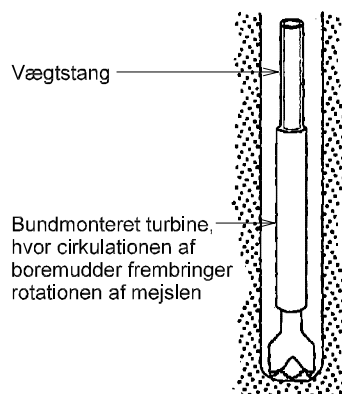
Dette princip blev især anvendt inden for olieindustrien og anvendes stadig i nogen udstrækning.



Figur 18
Drejebord med Kelly-stang
(Drill.Tech.)



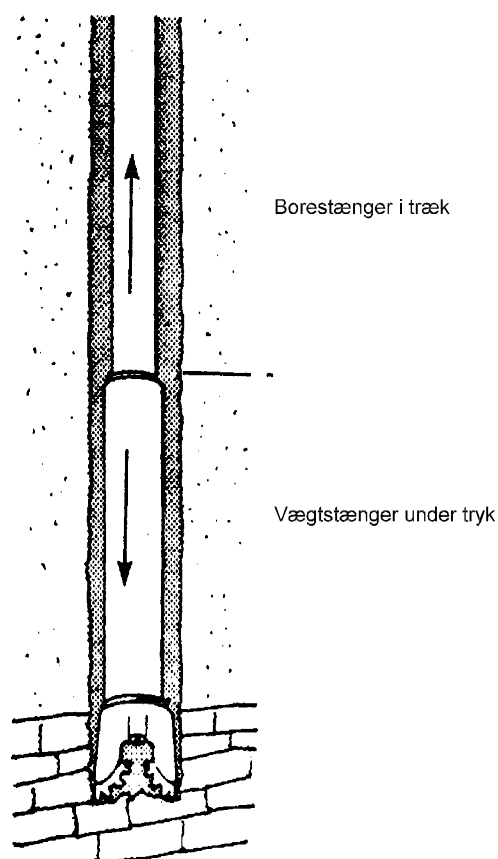
Figur 19
Topmonteret Rotations-
borehoved (Drill.Tech.)



Figur 20
Bundmonteret turbine
(Drill.Tech.)

- Det generelle princip, som i dag bruges til rotationsskylleboring og i øvrigt til næsten alle andre rotationsboremetoder, er baseret på et topmonteret borehoved med hydraulisk motor og gear med en udgangsaksel direkte forbundet til toppen af borestammen. Princippet er vist på **Figur 19**. Borehovedets lodrette bevægelse sker ved kæde eller wiretræk frembragt enten ved en hydraulisk motor med tandhjul på udgangsakslen eller ved en hydraulisk cylinder.
- Et mere sjældent rotationsprincip udgøres som vist på **Figur 20** af en turbine monteret direkte oven på og forbundet med mejslen. Turbinen drives af den strømmende boremudder. Metoden anvendes hovedsageligt inden for olieindustrien.

Figur 21
Borestamme med vægt-
stænger (Drill.Tech.)



Rotationshastighed

Rotationshastigheden på en mejsel skal fastlægges, dels ud fra mejseltypen, dels ud fra, hvilken formation der børes i, og endelig ud fra mejslens diameter.

Der findes ikke nogen eksakt beregningsformel. Man må følge leverandørens anbefalinger. Bores der med rullemejsel (se senere i dette afsnit) i middelhårde og hårde formationer, kan som vejledende værdier for rotationshastigheden anvendes følgende:

- Periferihastigheden for rullemejslen bør ligge i intervallet 0,5 - 1,0 m pr. sek.

Mejseltryk

Mejslen skal for at løsbore formationsmaterialet dels roteres, dels påvirke formationen med et tryk i kontaktpunkterne. Det betyder, at mejslen skal påvirkes med et nedadrettet tryk.

Det nødvendige tryk afhænger af mejslens størrelse, mejseltypen, formationstypen, rotationshastigheden m.m. I afsnit 1.9 gives en mere detaljeret redegørelse for trykkræfterne.

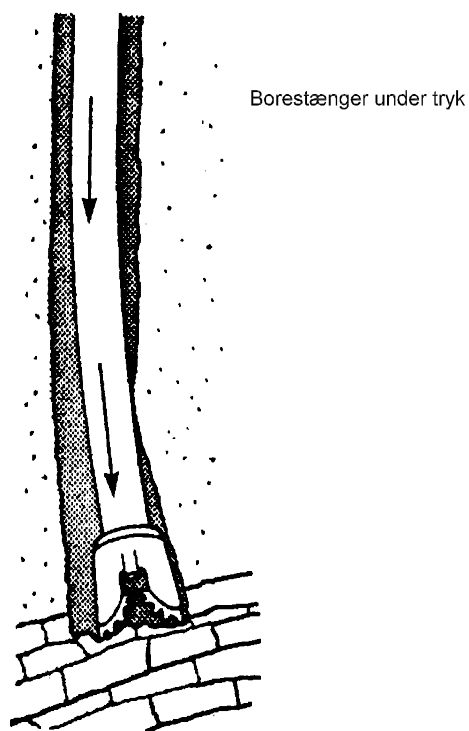
Borestamme

Lad os se på opbygningen af en borestamme for at forstå, hvordan vægten på mejslen tilvejebringes, og hvordan boretekniske problemer kan undgås ved fornuftig opbygning af borestammen.

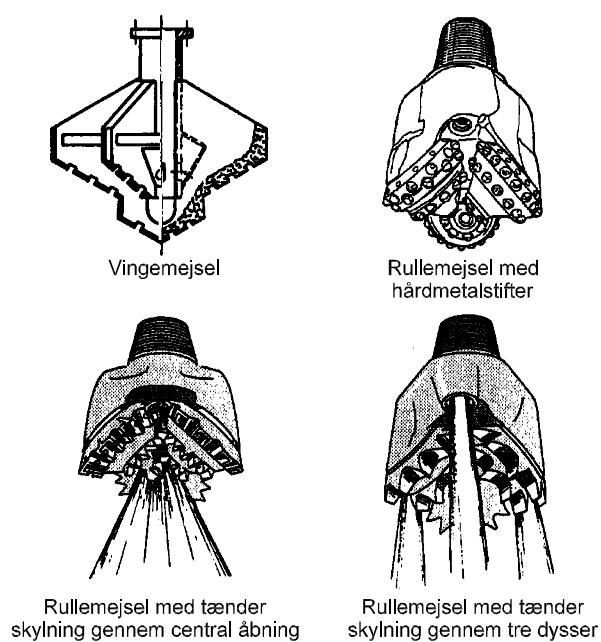
Nederst sidder mejslen som vist på **Figur 21**.

Oven på mejslen anbringes nogle tykvæggede og tunge stålrør, der fungerer som vægtstænger. Den engelske betegnelse for vægtstænger er 'drill collar', og denne betegnelse bruges ofte i den danske borebranche.

Oven på vægtstængerne sidder borestængerne, der er tyndvæggede stålrør. Disse fremstilles til tider af aluminium. Borestængerne kobles øverst til borehovedet. Der tilføjes borestænger i takt med uddybningen af boringen.



Figur 22
En borestamme uden
vægtstænger (Drill.Tech.)



Figur 23
Mejseltyper

Mængden af vægtstænger planlægges, således at disse tilvejebringer cirka den vægt, der skal påføres mejslen, for at mejslen kan løsbore formationen.

Herved opnås:

- at vægtstængerne koncentrerer vægten på mejslen tæt på denne
- at borestængerne kan holdes i træk i stedet for tryk.

Dvs. at borestammen faktisk fungerer som et pendul med en tung masse nederst. Fordelen herved er, at et pendul altid søger at komme til at hænge lodret.

Fordele ved vægtstænger

Hvis vægtstængerne var udeladt, kunne der opstå situationer, hvor der måtte trykkes på toppen af borestammen for at få mejslen til at arbejde hensigtsmæssigt i formationen. Herved ville borestammen få udbøjninger, fordi den virker som en høj, slank søjle. Mejslen ville blive presset ud mod siden af borehullet, og boringen ville afvige fra den vertikale boreakse, jf. **Figur 22**.

Der ville samtidig opstå problemer med boringens stabilitet, da borestængerne konstant ville slå mod borehulsvæggen og udvide boringens tværsnitsareal ud for bløde, mindre stabile aflejringer. Et større tværsnitsareal ville betyde et fald i strømningshastigheden for boremudderet i det pågældende niveau.

Boremudderets strømningshastighed ville eventuelt blive reduceret så meget, at det ikke ville kunne transportere de største cuttings. Koncentration af cuttings ville øges med fare for blokering af boremudderstrømningen og fastlåsning af borestammen.

Mejseltyper

Mejsler til rotationsskylleboring omtales i afsnit 1.9. Nogle mejseltyper er vist på **Figur 23**. Her skal nævnes de to almindeligst anvendte typer på det danske marked:

- *Vingemejslen*, der er beregnet for boring i bløde til middelhårde, homogene formationer. Vingemejsler bruges til at skrælle materiale løs i bunden af boringen og er forsynet med et eller flere skær, der tilsammen dækker hele boringens tværsnitsareal. Vingemejslen har gennemgang for et eller flere spulehuller - dyser. Vingemejslen er ikke velegnet for boring i stenholdige løsjordsaflejringer, da mejslen ikke knuser stenene, men blot borer dem løse. Boremudderets strømningshastighed er normalt ikke tilstrækkelig til at løfte sten ud af boringen. Der bliver dannet en "stenrede" omkring mejslen, og borearbejdet vil gå i stå. Denne form for mejsel kan løsskære store cuttings i lerformationer, hvilket skal tages i betragtning ved fastlæggelse af strømningshastigheden og viskositeten for bore-mudderet.
- *Rullemejslen*, der er beregnet for boring i middelhårde og hårde formationer. Rullemejsler bruges til at knuse eller brække formationsmaterialet. Rullemejslen kan anvendes i bløde aflejringer og også i inhomogene formationstyper. Rullemejslen kan indeholde en, to eller flere ruller, der udfører den egentlige løsboring af formationen. Når selve rullemejslen roterer i borehullet, roterer disse mindre ruller (cones) om deres egen akse, hvorved hele borehullets tværsnitsareal bliver påvirket af tænderne på rullerne.

Tændernes udformning er bestemmende for, hvilken formation rullemejslen er mest velegnet til at bore i. Den dobbelte rotation bevirker, dels at formationen bliver påvirket af højt tryk, der hvor tænderne presser på formationen, dels at der opstår en skrabende eller skubbende effekt på det formationsmateriale, der er blevet løsboret eller knust af tændernes tryk.

Boremudderet pumpes ud enten gennem en central åbning i centeret af rullemejslen eller gennem et antal dyser placeret mellem rullerne på mejslen. Dyserne kan have udskiftelige indsatse, så spuleeffekten kan reguleres.

I Danmark anvendes normalt rullemejsler med tre cones – 'three cone roller bit'.

Brug af boremudder

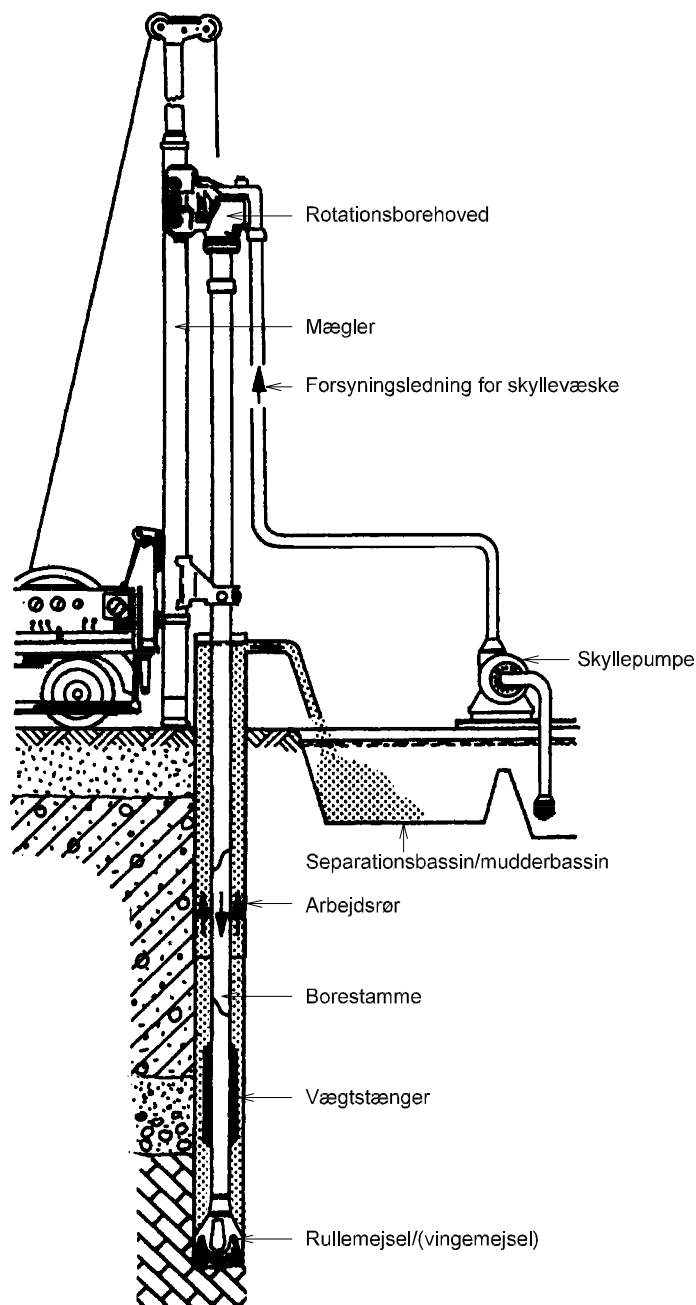
Som nævnt forrest i dette afsnit, sikrer stabiliteten af boringen ved etablering af et overtryk i boringen med boremudder.

På **Figur 24** er princippet i direkte skylleboring illustreret. En mere detaljeret beskrivelse af skyllesystemer fremgår af afsnit 1.10.

Boremudderet har flere funktioner ved udførelse af skylleboring:

- at stabilisere borehullet
- at fjerne cuttings fra bunden af boringen og løfte cuttings op til terræn

Figur 24
Principskitse af direkte
skylleboreteknik



- at køle og smøre mejslen, når den arbejder i bunden af boringen og derved opvarmes
- at danne en film på borehulsvæggen, der dels holder boremudderet inde i borehullet, og dels holder formationsvandet ude af borehullet.

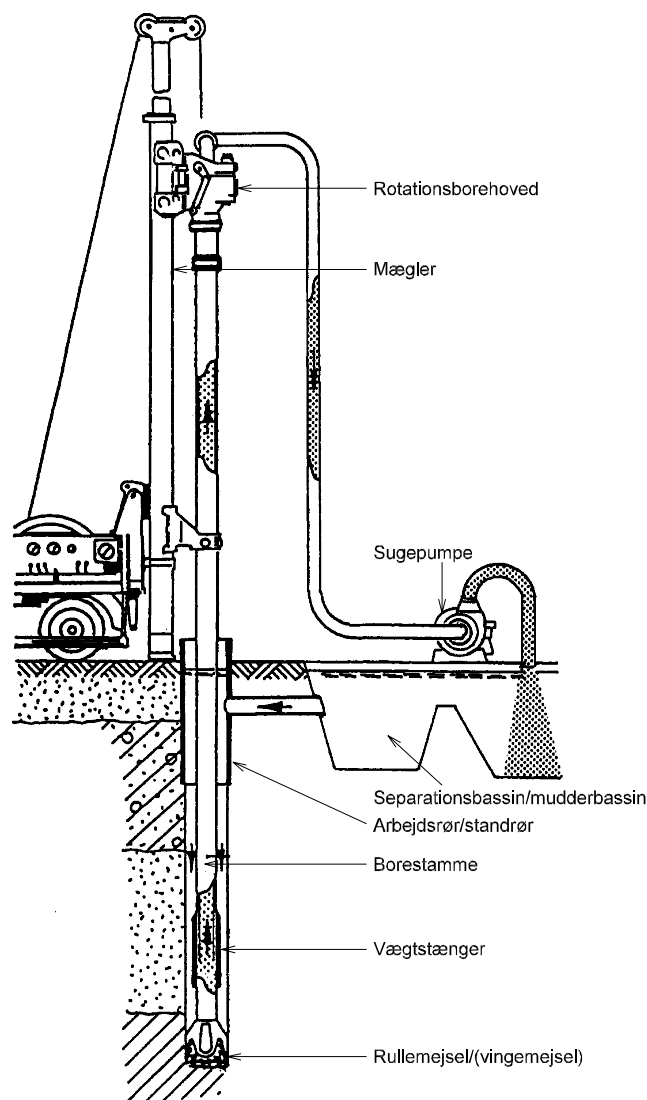
Disse forhold beskrives mere detaljeret i afsnit 1.11.

Rotationsskylleboring anvendes som tidligere anført inden for olieindustrien, hvor der er boret huller til mere end 10.000 meters dybde. I sådanne tilfælde udføres der teleskopboring med sætning af flere stålforinger ~8" til ~30", der cementeres fast. Disse store dimensioner kræver meget stor pumpekapacitet og specielle borestænger.

I Danmark anvendes rotationsskylleboreteknikken med direkte skylning hovedsageligt til vandforsyningsboringer (markvandingsboringer) og i mindre udstrækning til undersøgelsesboringer.

Anvendelse

Figur 25
Principskitse af omvendt
skylning



Dette skyldes de tidligere omtalte problemer med fastlæggelse af laggrænser og udtagning af repræsentative prøver fra cuttings i boremudderet.

Ydelse

Der bores normalt herhjemme i dimensioner fra 6" og op til 12" og ned til dybder på 2-300 meter – i enkelte tilfælde ned til 5-600 meter.

1.4.2 Omvendt skylning

Princip

Ved omvendt skylning vendes strømningsretningen på boremudderet. Boremudderet strømmer ned i ringvolumenet mellem borehullets væg og borestængerne, henholdsvis vægtstængerne, og strømmer op inden i vægt- og borestængerne (figur 25).

Da strømningstværsnittet indvendig i stængerne er lille, opnås her en stor strømningshastighed på boremudderet, der skal renskylle borehullets bund og bære cuttings op til terræn. Boremudderets evne til at transportere cuttings (rense boringen) bliver derved uafhængig af borehullets diameter, og boreentreprenøren kan øge borediameteren uden samtidig at skulle øge sin pumpekapacitet væsentligt.

Transport af cuttings

Den nedadrettede strømningshastighed i ringvolumenet mellem borehulsvæg og

stænger bliver til gengæld lille på grund af større strømningstværsnit, og den aftager med øget borediameter. Dermed mindskes risikoen for erosion af borehullets vægge.

En borestamme til omvendt skylning er i princippet opbygget på samme måde som en borestamme til direkte skylning. Der anvendes dog kun mejsler med stor central lysning, så der skabes så fri passage som muligt for boremudder med cuttings. Denne lysning – åbningsareal – skal bibeholdes hele systemet igennem lige til udledningen af boremudderet i bassinet for at undgå tilstopning.

For at mindske strømningsmodstanden i rørene anvendes generelt rør med større diameter end ved den direkte rotationsskylleboremetode.

Da strømningshastigheden i den cuttingsbærende boremuddersøjle er væsentlig større ved den omvendte skylning end ved den direkte skyllemetode, vil cuttings ved omvendt skylning blive bragt hurtigere til terræn og ikke nå samme grad af udvaskning, sortering og opblanding som ved direkte skylning.

Metoden med omvendt skylning giver derfor:

- rimeligt veldefinerede laggrænser
- rimeligt repræsentative prøver af gennemborede aflejringer.

Fordele

Borehullets stabilitet sikres ved etablering af overtryk med boremudder. Boringen holdes fyldt med boremudder ved at skabe direkte hydraulisk kontakt mellem borehullet og bassinet med rensset boremudder. Det betyder, at der skal være samme væskestand i boremudderbassin og borehul.

For at undgå overfladenære erosionsproblemer sættes normalt et standrør (arbejdsrør) gennem de øverste meter af løsjorden. Standrøret har overløbsstuds med tilslutning til mudderbassin.

Standrøret graves ned i forbindelse med etableringen af mudderbassinet, eller der udføres en forboring med et sneglebor eller lignende før etableringen af tilslutningen til mudderbassinet.

Cirkulationen af boremudderet kan ske med en stor centrifugalpumpe, hvis sugeside er tilsluttet toppen af borestammen. Der skal naturligvis anvendes specielle og særligt robuste pumper, da boremudder med cuttings skal strømme gennem pumpen før udledning til mudderbassin. Der kan indbygges en "stenfælde" på ledningen, hvor sten enten ved egenvægten eller ved en centrifugalkraft fanges i en lukket container, før de når frem til pumpen. Containeren må åbnes og tømmes for sten ved passende stop i boreprocessen.

Pumpning af boremudder

Centrifugalpumper er ikke selvansugende, og systemet – borestænger over væskestand i bassin, sugeslange og centrifugalpumpe – må derfor evakueres for at kunne begynde cirkulationen af boremudder.

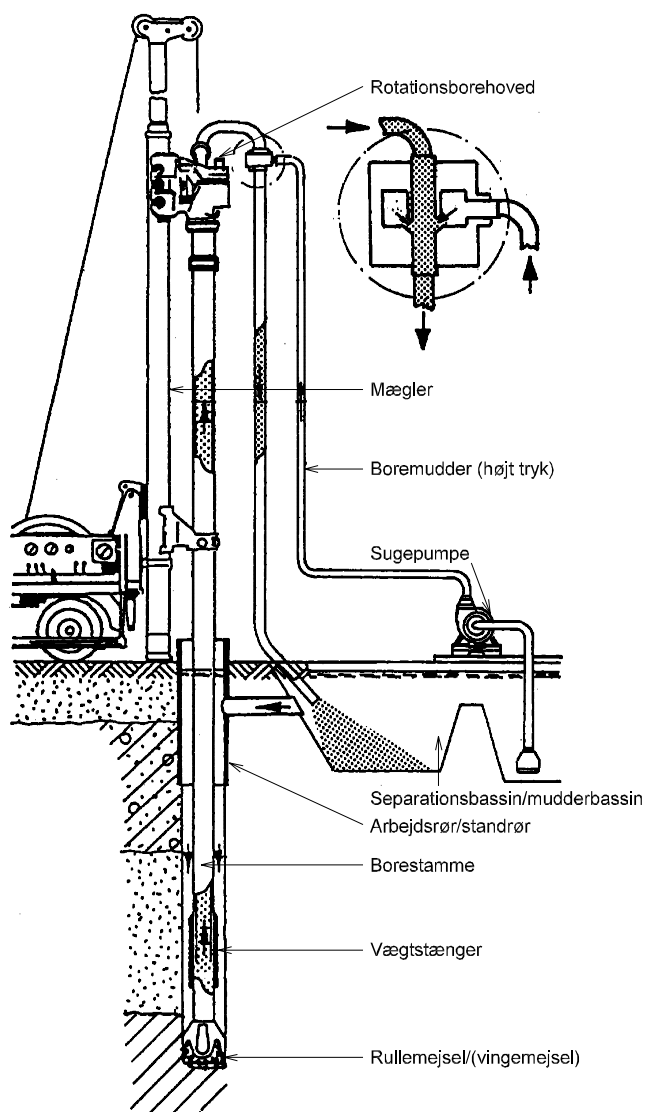
Den her nævnte boremetode kaldes for sugeboring. Sugeboringsmetoden som omvendt skylleboringsteknik anvendes sjældent i Danmark.

Centrifugalpumpen kan erstattes med et ejektorsystem som vist på **Figur 26**. Herved undgås, at boremudder med cuttings skal igennem et pumpesystem. En højtrykspumpe pumper rensset boremudder gennem en eller flere ejektorer anbragt i strømningssystemet. Herved etableres en sugeeffekt tilstrækkelig til at holde cirkulationen i gang. Princippet er kendt fra ejektorpumper.

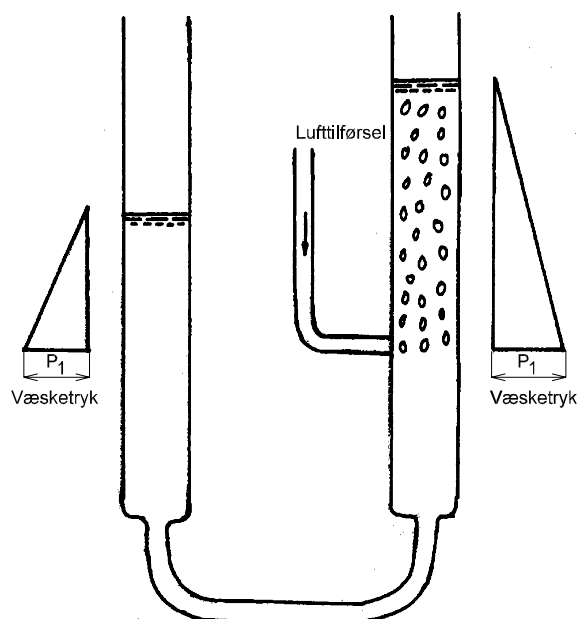
Metoden kan anvendes til boringer i stor dimension til flere hundrede meters dybde. Begrænsningerne for boreddybdens vedkommende ligger i strømningstab i borestængerne. Ønskes en større boreddybde, kan borestængerne øges til en større dimension, hvorved tryktabet pr. meter borestang reduceres. Borehullets diameter skal dog fortsat være væsentlig større end borestængernes, så erosion af borehullets væg på grund af for hurtigt nedstrømmende ren boremudder undgås.

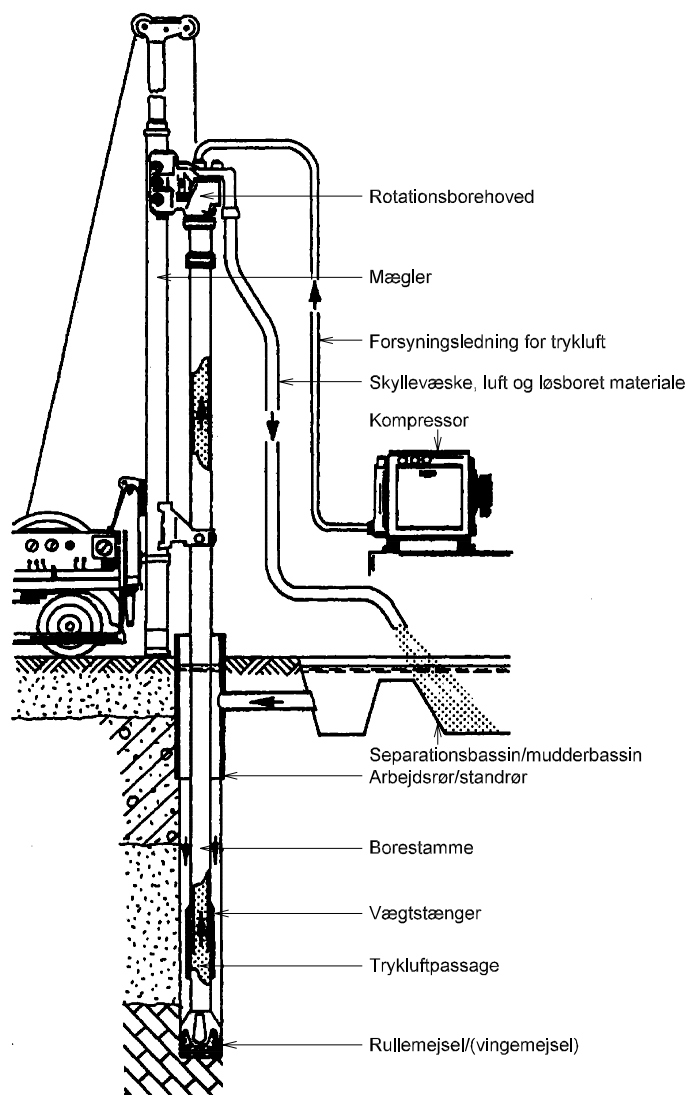
Ydelse

Figur 26
Principskitse af omvendt
skylning, ejektormetoden



Figur 27
Forbundne kar





Figur 28
Princip for lufthæve-
boretteknik

1.4.3 Lufthæveboring

Den i Danmark oftest anvendte skylleboringsteknik med omvendt skylning er luft-hæveboretteknikken. Den omvendte cirkulation af boremudderet frembringes ved at introducere trykluft i borestammen. Vi vil kort se på, hvordan princippet virker.

Hvis vi med en slange forbinder to kar, der som vist på **Figur 27** indeholder samme væske, vil væsken strømme mellem karrene, til der er samme overfladeniveau i væsken i de to kar.

Hvis vi tilfører luft til det ene kar, vil den væske, der bliver blandet med luften, få en mindre rumvægt. Der vil så strømme væske fra karret uden lufttilsætning over til karret med lufttilsætning, indtil der er samme tryk i det niveau, hvor luften tilledes (og i lavere niveauer). Væskeoverfladen vil således stille sig højere i karret med lufttilsætning. Jo mere luft, der tilledes, jo større vil højdeforskellen mellem de to væskeoverflader blive.

Dette princip udnyttes ved lufthæveboretteknikken, således som vist på **Figur 28**.

Der injiceres så meget luft inde i borestængerne under boreprocessen, at der ikke kan opnås en ligevægtssituation mellem væsketrykket i borestangen og væsketrykket

Princip

Injektion af luft

mellem borestænger og borehulsvæg. Der vil derved opstå en strømning af bore-mudder ned mellem borehulsvæg og borestænger og op inde i borestængerne.

Strømningshastigheden er styret af hvor meget luft, der tilføres pr. tidsenhed, og den kan blive høj.

Tiden

Tiden for transport af løsboret materiale fra boringens bund til terræn er derfor tilsvarende kort sammenlignet med direkte skylleboringsteknik. Det betyder, at den omvendte skylleboremethode giver:

- rimeligt veldefinerede laggrænser
- rimeligt repræsentative prøver af gennemborede aflejringer.

Borestammen

Borestammen til lufthæveboring er fra bunden af stammen opbygget af en mejsel med stor centralåbning efterfulgt af vægtstænger, som skal påføre vægt på mejslen. Fra vægtstænger til rotationsborehoved er monteret borestænger. Et passende sted på borestammen er indbygget en luftsluse (trykluftpassage), der leder tryklufften ind i borestammen.

Der anvendes i Danmark to typer af borestænger. Den ene type har flangesam-lede rør, hvor tryklufft ledes ned gennem et eller to rør, som er fast monteret udven-digt på borestangen. Der skal være gennemboring af flangerne for luftpassage. For at opnå en sikker tætning ved flangerne anvendes pakninger eller O-ringe ved sam-lingerne. Denne type borestænger kræver borediametre på ca. 12" eller større for at sikre et tilstrækkeligt nedadrettet flow af boremudder uden om flangerne.

Den anden type borestænger består af dobbeltvæggede rør, hvor tryklufften ledes ned i mellemrummet mellem indvendige og udvendige rør, og blandingen af luft, boremudder og cuttings strømmer op i det inderste rør. Borestængerne har gevind-samlinger med gummiringe i samlingerne for at sikre tætheden. De dobbeltvæggede borestænger har en maksimal udvendig diameter, der er mindre end de flangesam-lede rørs diameter (ved flangerne), hvorfor lufthæveteknikken med brug af denne type borestænger kan anvendes til boringer med diametre ned til 10" og 8".

Boringernes udførelse

Borehullets stabilitet sikres ved at skabe overtryk i borehullet med boremudder ef-ter samme princip som beskrevet i afsnit 1.4.2.

Der etableres et standrør gennem de øverste meter af løsjorden ved hjælp af an-den teknik for at sikre mod erosionsproblemer. Det er nødvendigt at have et væske-fyldt borehul af en vis dybde (6 - 8 m u.t.) før opstart med lufthæveteknik, idet etableringen af trykforskellen mellem væskesøjlerne inden i og uden for borestæn-gerne kræver en væskesøjle af denne størrelsesorden.

Cirkulationen af boremudder og dermed boreprocessen går i stå, når trykket i bo-re-muddersøjlen inde i borestammen er lig med eller større end lufttrykket fra kom-pressoren ved luftslusens indgang i borestammen. Hvis boringen ønskes ført til større dybde, må borestammen trækkes op, og luftslusen flyttes højere op på bores-tammen. Herefter kan boreprocessen fortsættes, indtil trykket i bore-muddersøjlen igen er lig lufttrykket ved sluseindgangen.

Anvendelse

Lufthæveteknik anvendes i stor udstrækning til vandforsyningsboringer og i nogen udstrækning til filtersatte boringer i forbindelse med afhjælpningsprojekter (afværge-projekter) på forurenede arealer.

1.5 Trykluftboring

Vi skal i dette afsnit beskæftige os med en speciel form for rotationsskylleboring, hvor skylningen sker med luft. Der kan dog også her anvendes tilsætningsmidler (additiver) for at hæve viskositeten i skyllemidlet (luften).

Lad os først se på nogle af de forhold, der var karakteristiske for rotationsskylleboring efter de traditionelle metoder, som blev omtalt i afsnit 1.4.

Traditionelle metoder

- Der skal etableres vægt på boremejslen for at få den til at skære. Dvs. det er nødvendigt at anvende tunge vægtstænger, som boreriggen skal have kapacitet til at trække op
- Der kræves en forholdsvis stor rotationshastighed, og et forholdsvis stort drejningsmoment for at frembringe rotationen
- Der skal etableres skyllebassiner eller opstilles skyllekar og blandes boremudder, hvilket kræver en del forberedelsesarbejde før opstart af det egentlige borearbejde
- Borerigge for rotationsskylleboring med boremudder er ofte selvkørende fuldhydrauliske borerigge med stor kapacitet, hvad angår rotation og løfteevne.

Specielt ved rotationsskylleboring i hårde formationer kræves der stor vægt på rullemejslen, for at den kan penetrere (dvs. skære sig ned i) formationen, hvilket ved små borediametre kan give problemer med bæreløjerne i rullemejslerne.

Ovennævnte forhold satte for 40-50 år siden gang i en udvikling af trykluftteknikker, primært beregnet på boring i bjergarter.

Trykluftteknologien har været kendt fra den såkaldte skarvboringsteknik, anvendt inden for minedrift til boring af sprænghuller, og fra opbrydningsværktøjer til boring af huller i beton. I begge situationer slår en hammer på toppen af en borestamme, og trykluft bruges til at blæse løsboret materiale ud af borehullet.

Man kan også beskrive metoden som en kombination af linestødsboreteknikken, hvor mejslen løsslår formationsmaterialet i bunden af boringen, og skylleboreteknikken med rullemejsler, der dels knuser formationsmaterialet lige under kontaktfladen på tænderne, dels skubber det op fra borehulsbunden, så boremudderet kan løfte det op til terræn.

De store fremskridt i udviklingen skete, da der blev udviklet en *hammer* – en slagmekanisme – der kunne monteres i bunden af borehullet direkte oven på borekronen (mejslen). Hammeren blev drevet af strømmende luft. Borekronen var til at begynde med en krydsmejsel som vist på **Figur 29**.

Et nyt princip

I slutningen af 1960'erne udvikledes *borekroner med hårdmetalstifter*, der blev presset ind i borekronen i stedet for at blive loddet fast. Dette bevirkede en væsentlig længere levetid for borekronerne og dermed også en reduceret boremeterpris.

Hårdmetalstifter kan samtidig placeres, hvor de har størst effekt, dvs. i den yderste del af borekronen, hvor der skal opbores det største areal.

Sammenlignet med rotationsskylleboring med boremudder og rullemejsler har trykluftmetoden nogle fordele:

Fordele

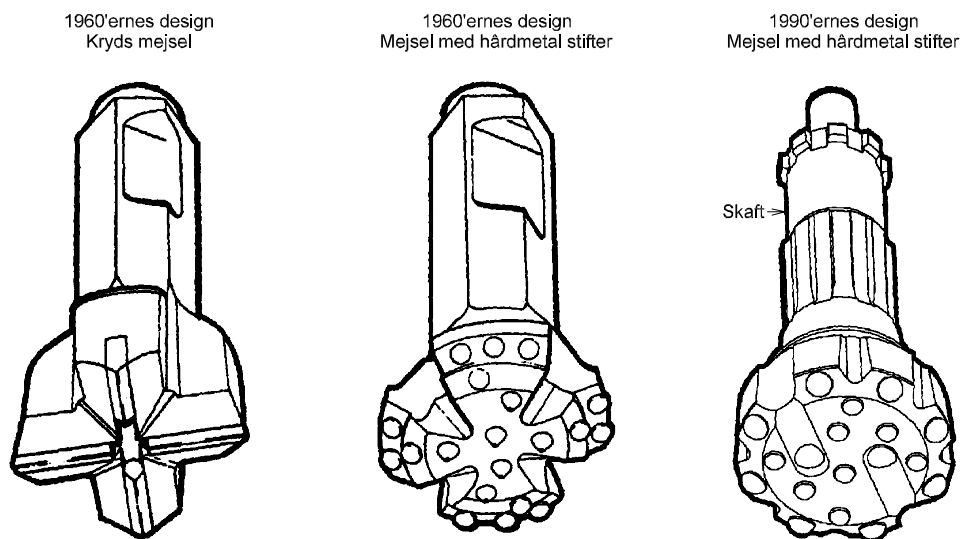
- Der kræves væsentligt mindre tryk (tilspænding) på borekronen
- Der kræves væsentligt mindre rotationskraft
- Den mindre tilspænding og det mindre drejningsmoment giver væsentligt færre vibrationer i borehovedet
- Den mindre tilspænding giver mindre risiko for afvigelse
- Der opnås en hurtigere nedboring i stort set alle formationer og især i hårde og middelhårde bjergarter.

Tilstedeværelsen af vand i formationen giver begrænsninger for metodens anvendelse, som skal omtales i det følgende.

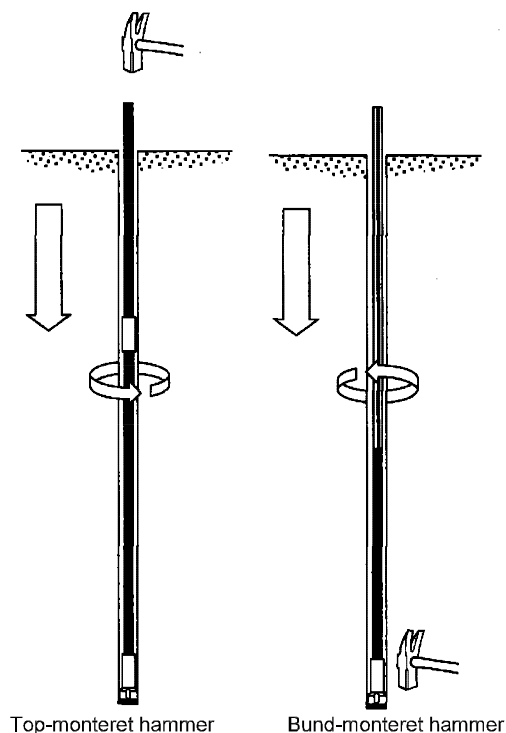
Begrænsninger

Hammerens slag frembringes af et stempel i denne. Stemplets op- og nedadgående bevægelse frembringes ved trykluft. Efter at tryklften har passeret stemplet,

Figur 29
Udvikling af borekroner
(Halco)



Figur 30
Placering af hamre
(Drill.Tech.)



føres luften ud gennem borekronen og blæser cuttings væk fra boringens bund og ud af borehullet.

Hvis det hydrostatiske tryk i boringen er større end det tryk, kompressoren kan levere, eller større end det lufttryk, hammeren er dimensioneret til, kan boringen ikke renblæses for vand, så borearbejdet kan fortsætte.

En 10 meters vandsøjle svarer til 1 bars tryk, og de fleste hamre arbejder ved 15-18 bars lufttryk, så boringer til 150 m under vandspejlet kan generelt udføres uden problemer, hvad tryk angår.

Vi har hidtil talt om hamre placeret lige over borekronen. Der findes også top-

monterede hamre, der hovedsageligt fremstilles som hydraulikhamre. Disse systemer omtales i afsnit 1.7. Forskellen på topmonterede og bundmonterede hamre er illustreret i **Figur 30**.

For såvel topmonterede som nedsænkedeammersystemer er der udviklet metoder, så der kan nedbores stålforinger samtidig med uddybningen af boringen.

I afsnit 1.5.1 og 1.5.2 gives en mere detaljeret beskrivelse af sådanne trykluftboremetoder som:

- Trykluftboring med hammeren monteret i borehullet oven på borekronen. Der findes ikke noget dansk ord for metoden. Generelt bruges den engelske betegnelse ‘Down-The-Hole drilling’, forkortet til *DTH-boring* og tilsvarende til DTH-hammer. Vi vil her bruge disse forkortede engelske termer. Mejslen eller pilotborekronen vil vi benævne borekronen eller DTH-borekronen.
- Trykluftboring, hvor der nedbringes en stålforing, hedder på engelsk ‘Drilling with Eccentric Bit’. Navnet henviser til den borekrone, der anvendes til formålet. Vi vil her bruge benævnelsen *Excenter boring*. Mejslen vil vi kalde Excenterborekrone.

To typer
trykluftboremetoder

De tilsvarende svenske betegnelser er ‘sänkhammarbörning’ og ‘excenterbörning’, og begge betegnelser bruges i en fordansket version. Excenterboring kaldes også for Odex-boring; ‘Odex’ er et handelsnavn for en bestemt excenterborekrone.

1.5.1 DTH-boring

Ved *DTH-boring* tilvejebringes rotationen af borehovedet på boreriggen. Dette vil normalt være hydraulisk drevet og med gennemgang for tilførsel af luft gennem borehovedet og ned gennem borestængerne til DTH-hammeren (**figur 31**).

Princip

Da der kun trykkes ganske let på toppen af borestængerne for at holde borekronen i kontakt med formationen, anvendes der kun vægtstænger for at sikre tilstrækkeligt borekronetryk, når der bores i store dimensioner.

For at sikre lige boreriger kan der indsættes styr (centreringsstykke) på borestammen. Disse placeres oftest lige over hammeren og har en diameter, som er en lille smule mindre end borekronens diameter. På **Figur 32** er vist opbygningen af en borestamme til DTH-boring.

DTH-hammeren er en tryklufthammer, der i princippet er en cylinder med et stempel, der ved lufttryk og luftsluser/-kanaler bringes til at slå på borekronens skaft.

DTH-hammer

Hammeren er opbygget, så borekronens skaft efter montage i hammeren har en lille frigang i hammerens længdeakse.

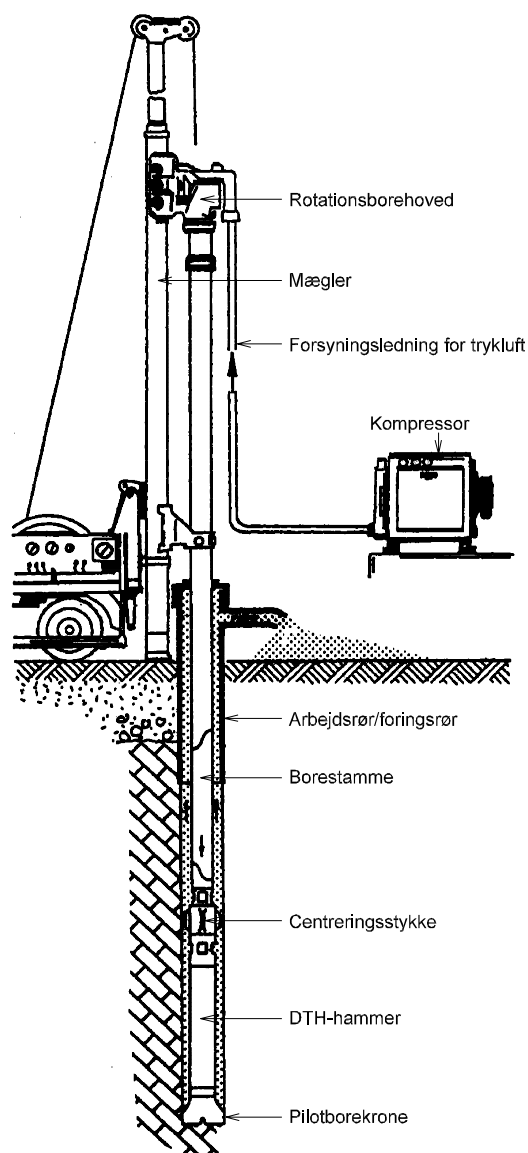
Borekronens skaft skal trykkes op i hammeren, for at stemplet i hammeren aktiveres. Det sker ved at sætte borekronen mod bunden af boringen. Når borestammen med DTH-hammer og borekrone løftes, synker eller slås borekrone og skaft et lille stykke ud af hammeren, hvilket medfører, at luftstrømmen omdirigeres, og stemplet holder op med at slå.

Borekronen er udskiftelig, og rotationen overføres fra hammer til borekronen gennem en splined kobling, jf. **Figur 30**. Rotationshastigheden skal ligge i intervallet 15-50 omdrejninger pr. minut og i øvrigt efter fabrikantens vejledning. Der skal anvendes størst hastighed for de små hamre, som bruges ved små borehulsdiameter, jf. **Figur 33**.

Borekrone

Hårdmetalstifterne på borekronen slår mod formationen og knuser denne i kontaktpunktet. Chokeffekten forplanter sig og skaber en svagere zone omkring det nedknuste område. Hammeren når at dreje en lille smule, før næste slag/chokpåvirkning

Figur 31
Principskitse af DTH-bore-
teknik



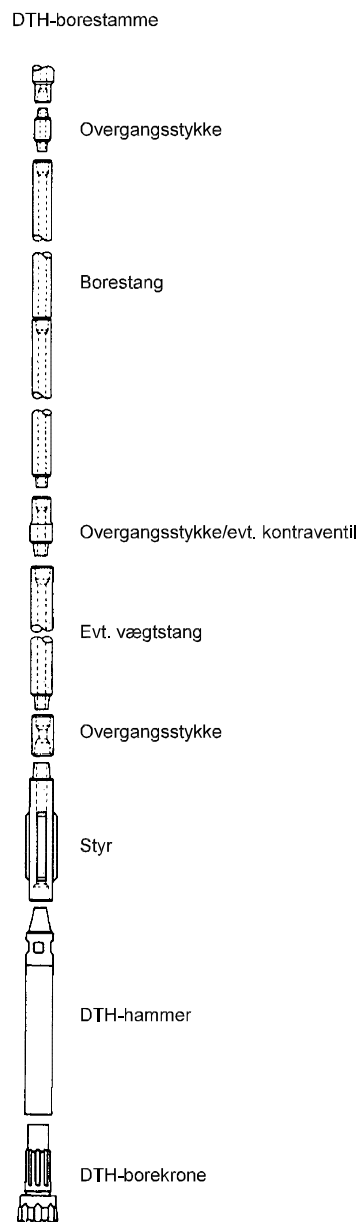
rammer den svage zone og knuser materialet, samtidig med at den skaber en ny, svag zone foran den enkelte hårdmetalstift.

Borekronerne har luftkanaler, hvor den luft, der er gået igennem hammeren, fortsætter ud gennem borekronen, renblæser borehullets bund og bærer cuttings op til terræn. Når stemplet i hammeren ikke er aktiveret, er luftgennemstrømningen i hammeren op til 70% større. Dette udnyttes, hvis lufthastigheden under boreprocessen er for lille til at rense boringen for cuttings. Borearbejdet stoppes da ved, at hammer med mejsel løftes fra boringens bund, og boringen renblæses. Hammer og mejsel sænkes igen efter renblæsningen, og hammeren begynder automatisk at arbejde igen.

Dimensioner

DTH-hamre fabrikeres i mange størrelser med udvendige diametre i intervallet 2" til 12" til anvendelse inden for de arbejdsområder, vi beskæftiger os med.

Borekronernes udvendige diameter er lidt større end hammerens for at skabe plads til luftpassage med cuttings. De til ovennævnte hammerstørrelse svarende udvendige diametre på borekroner ligger i intervallet 3" til 20". Der kan eksempelvis monteres en 8" borekrone på en 6" DTH-hammer. Der er imidlertid en øvre



Figur 32
Borestamme til
DTH-boring

grænse for borekronens overstørrelse i forhold til hammeren, idet hammerens effekt skal passe til borekronens størrelse, for at denne kan arbejde.

Tidligere har hver fabrikant af DTH-udstyr haft sit specielle design af kobling mellem hammer og borekrone. Koblingen var samtidig forskellig for de forskellige hammerstørrelser inden for samme fabrikat.

Standardisering

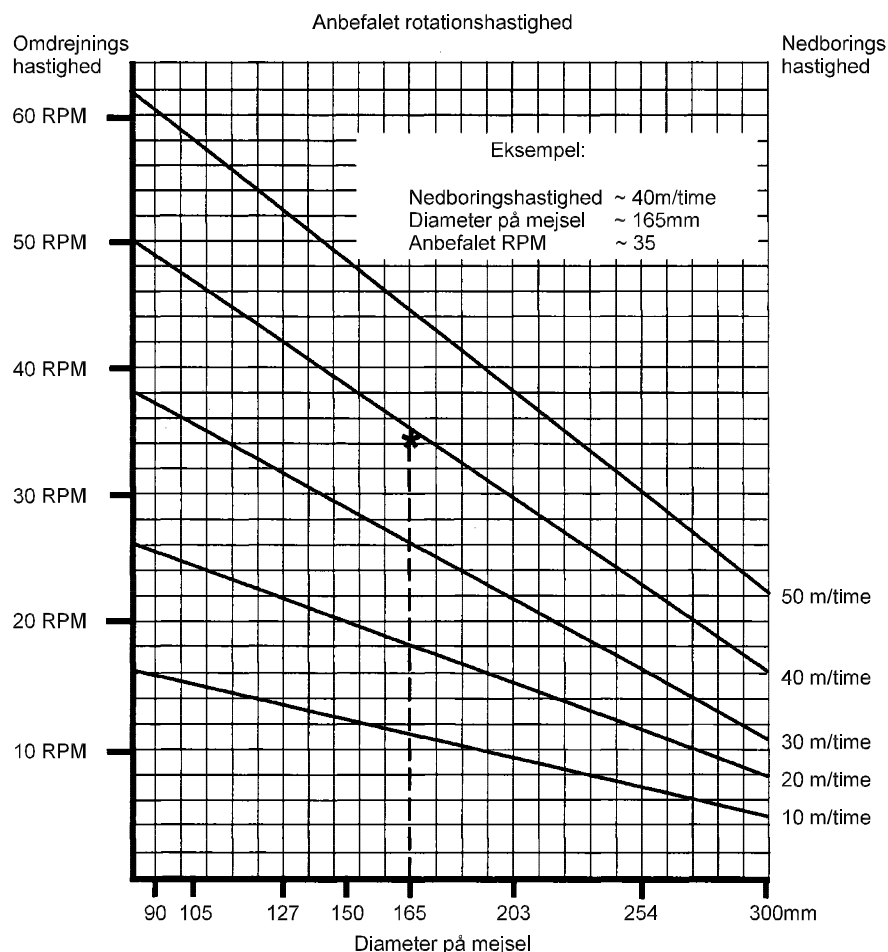
Der er nu ved at blive etableret en vis systematik, så flere fabrikater af DTH-udstyr anvender samme koblingstyper. Samtidig fremstilles borekronerne i visse standardmål, hvilket er vigtigt i den situation, hvor boringen skal fortsættes ned gennem en stålforing/casing.

DTH-hamre er fra fabrikantens side specificeret med et interval for arbejdsstryk (lufttryk ved indgangen til hammeren), hvor hammeren kan arbejde. Nedborings-hastigheden øges, hvis arbejdsstrykket øges – inden for det anbefalede interval.

Arbejdsstrykket vil normalt være foreskrevet til at ligge i intervallet 7-24 bar. Den nødvendige luftmængde vil ligge i intervallet 5 til 30 m³ luft pr. minut afhængigt af hammerstørrelsen. Hertil skal lægges ekstra luftmængde for renblæsning af boringen.

Trykluftforsyning

Figur 33
Rotationshastighed ved
DTH-boring (Halco)



Luften gennem hammeren renblæser borefladen og skal blæse cuttings ud af borehullet.

Afhængigt af formationens art, nedboringshastigheden samt tilstrømning af vand skal der være en opadrettet hastighed på luften i størrelsesordenen 900-1800 m/min.

Strømningshastigheden er bestemt af:

- borehullets diameter
- borestængernes diameter
- DTH-hammerens luftforbrug.

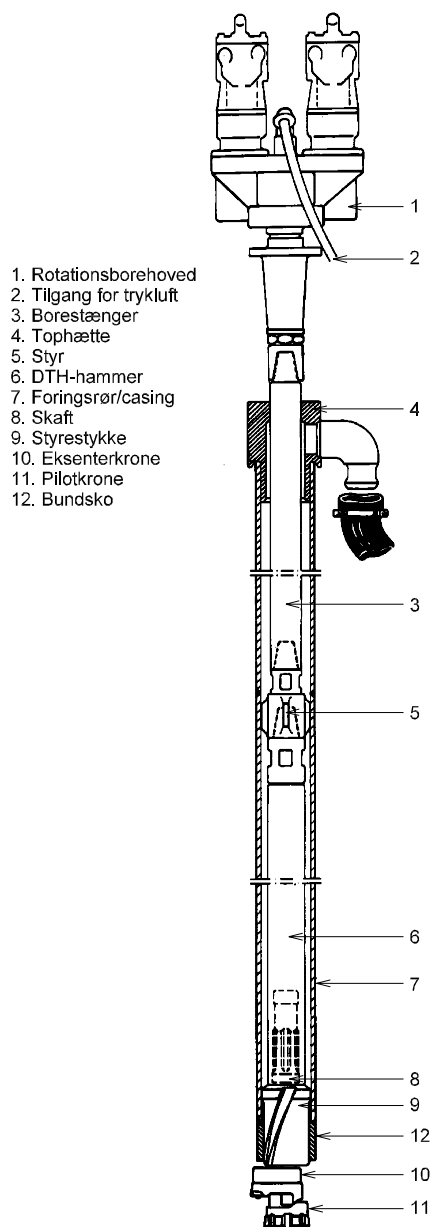
Alle disse forhold skal tages med i kalkulationen af det totale luftforbrug og dermed størrelsen på den anvendte kompressor.

Tilsætning af skum

En mulig måde at reducere behovet for luftvolumen på er tilsætning af skum til tryklufte. Herved øges luftens ("skyllemidlets") viskositet og dermed evnen til at bære cuttings ud af boringen. Skum fås som en væske og blandes med vand i forholdet 0,5-2,0 liter skummiddel til 100 liter vand før injektion i luftstrømmen. Der injiceres mellem 1 og 25 liter skum-vand blanding pr. minut for hammerstørrelser mellem 3" og 12". Skum har en stabiliserende effekt på borehullet.

Den hurtige strømning af skylleluften bevirker, at cuttings kommer hurtigt op til terræn, og derved opnås en rimelig præcis dybdeangivelse af laggrænser. Den hurtige transport af cuttings uden en væsentlig opblanding giver samtidig nogenlunde repræsentative prøver af de gennemborede aflejringer, men materialet vil være stærkt nedknust.

Figur 34
Borestamme til excenter-
boring



Ren DTH-boring anvendes i Danmark til boring i kalk- og flintaflejringer samt i bjergarterne på Bornholm. Metoden anvendes til undersøgelsesformål, hvor der ikke er krav om intakte prøver. Desuden laves en del filterbrønde, dvs. borer, hvor der nedsættes et filterrør og udføres gruskastning omkring dette (jf. kapitel 8, Boringens konstruktion) samt en del åbentstående borer. Begge typer borer anvendes såvel til vandforsyning som til grundvandssænkning.

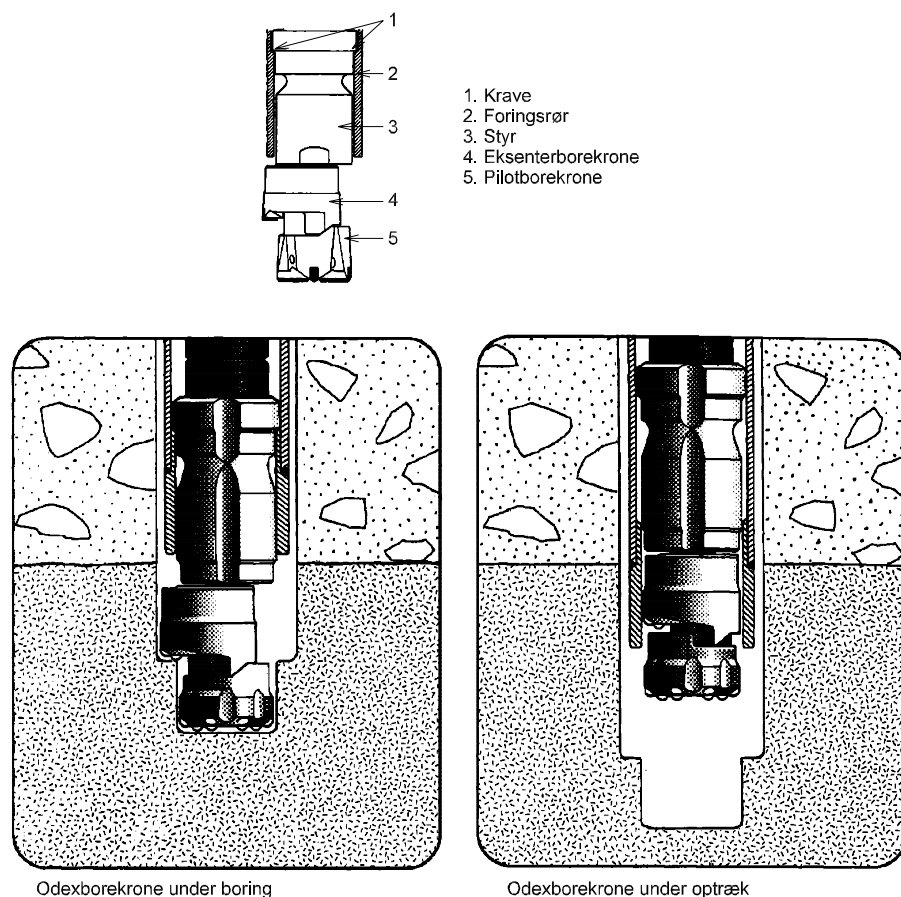
Anvendelse

Metoden har også vundet udbredelse inden for forureningsprojekter, både i forundersøgelser og i udbedringsfasen. Det skyldes primært, at der ikke introduceres tilfælsmidler i borerne, hvis skummidler udelades, sekundært at metoden er væsentlig hurtigere end de traditionelle tørboringer.

I udlandet anvendes DTH-boring til sådanne formål som: boring af sprænghuller, mineralprospektering, boring for jordankre, borer til instrumentering og overvågning, minipæle og jordforbedring.

Vi skal her, uden nærmere beskrivelse, nævne, at der er udviklet DTH-hamre med omvendt skylning, hvor der anvendes dobbeltvæggede borerør.

Figur 35
Excenterborekronens
opbygning



Aktuelt er DTH-hamre, der drives med vandtryk i stedet for trykluft, under afprøvning. Ved brug af sådanne hamre spares udgifter til store kompressorer med et stort brændstofforbrug. Der bruges vandtryk af anseelig størrelse. Produktion af vandtryk er imidlertid ikke så energikrævende som lufttryk, og en samlet reduktion af produktionsomkostningerne vil kunne opnås.

Borehulsstabilitet

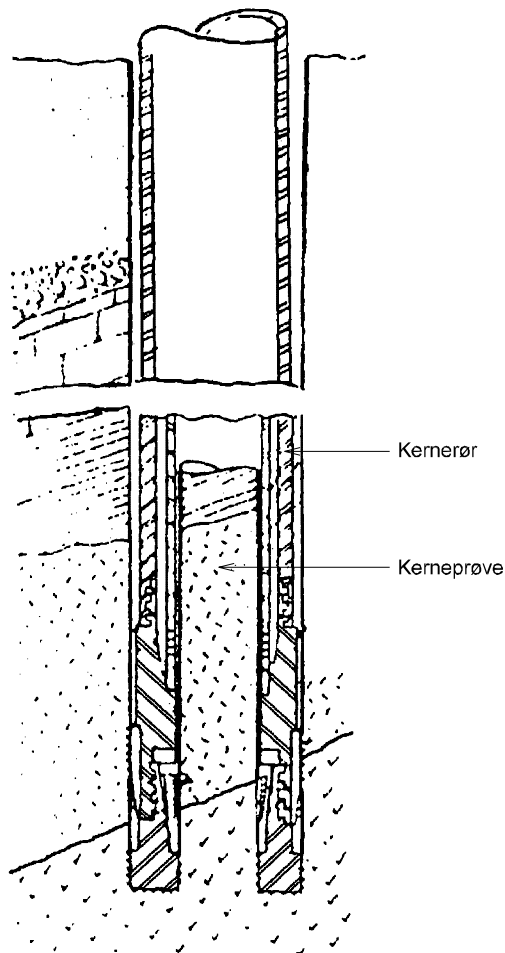
Stort set overalt, hvor der skal bores, er der et løsjordsdække. Mægtigheden vil variere; men selv meget små mægtigheder vil give stabilitetsproblemer, hvis der anvendes DTH-teknik fra terræn. Alene den meget høje hastighed på returluften vil spule løsjordsaflejringer i borehullet bort og gøre borehullet ustabil. Problemet klares generelt ved, at der nedsættes en stålforing (en casing) gennem løsjorden og et lille stykke ned i den faste formation, hvor DTH-boring skal udføres.

Stålforingen kan etableres ved almindelig tør, foret rotationsboring, skylleboring med boremudder efterfulgt af nedsætning af stålforing eller DTH-hammeren kan monteres til at medbringe stålforingen under nedboringen. Næste afsnit beskriver denne metode.

1.5.2 Excenterboring

Borekrone

Ved udførelse af *excenterboring* anvendes stort set samme udstyr som til DTH-boring. Ændringerne består i at udskifte pilotborekronen i hammeren med en excenter borekrone og en pilotborekrone samt supplere med en stålforing med en boresko. Den komplette borestamme er vist på **Figur 34**.



Figur 36
Kernerør med kerneprøve

Af **Figur 35** fremgår, at excenterborekronen består af flere dele:

- et skaft svarende til det skaft, der sidder på en DTH-borekrone til samme hammer
- et styrestykke med krave, der lægger an mod toppen af boreskoen, og udvendige luftsluser for passage af luft med cuttings
- en excenterkrone, der under boreskoen borer et hul en lille smule større end den anvendte stålforing
- en pilotborekrone.

Excenterdelen er udformet og fastgjort til borekronen, sådan at en højre-rotation får den til at svinge ud i borepositionen, og en venstrerotation skubber den ind, således at hele borekronen kan trækkes op gennem stålforingen, jf. **Figur 35**.

Når hammeren aktiveres og roteres, borer pilotkronen et hul i formationen, og excenterdelen af borekronen udvider borehullet (reamer hullet op til en større diameter). Kraven på styrestykket overfører samtidig en del af hammerens slagenergi til boreskoen, der er fastsvejet indvendigt på stålforingen. Derved trækkes denne med ned, uden at stålforingen roterer. Borestænger og styr svarer til udstyr anvendt ved DTH-boring; det samme gælder rotationsborehoved og borerig.

Til stålforing (casing) anvendes stål af ganske almindelig stållegering. Der anvendes normalt stålrør, der sammensvejses. Kun i begrænset udstrækning, hvor installationen er temporær, anvendes stålforing med gevindsamlinger. Der kan være problemer med at få gevindsamlinger til at holde tilammerslagets påvirkning under nedboringen.

Stålforing

Stålforinger fås i dag i standarddimensioner, som passer til standards for excenterborekroner. Der tillades dog en rimelig tolerance inden for den enkelte dimension. Udstyr kan naturligvis fås efter specialmål.

Cuttings

Løsboret materiale føres af udblæsningsluften gennem luftsluserne udvendigt på styrestykket af borekronen og op mellem stålforingen og borestængerne.

Normalt monteres en hætte på toppen af stålforingen med gennemgang for borestængerne og udledningsstuds for luft og cuttings. Herfra føres luft og cuttings til centrifuge, jf. afsnit 1.10, eller direkte til opsamlingscontainer.

Excenterboring kan anvendes i alle former for løsjordsaflejring, dog bedst i sand- og grusaflejring. Lerholdige (fede) aflejring kan give problemer med tilstopning mellem stålforing og borestænger.

Anvendelse

Formålet med borerne kan være forundersøgelse med simpel prøvetagning, instrumentering eller filtersætning. Formålet kan også være at stabilisere et løsjordsdække over stabile aflejring, hvor borearbejdet skal fortsættes med DTH-teknik eller med diamantboreteknik.

Det er også muligt at udføre excenterboring i hårde bjergarter, hvis fx en sprækkezone nogle meter under bjergets overside ønskes stabiliseret med en stålforing.

1.6 Diamantkerneboring

Princip

Diamantkerneboring er en form for rotationskylleboring med direkte skylning.

Ved direkte skylleboring løsskæres hele boringens tværsnitsareal. Ved diamantkerneboring løsskæres kun det yderste ringareal af borehullets tværsnitsareal. Resten står tilbage som en intakt kontinuert prøve (kerneprøve) af den gennemborede aflejring, jf. **Figur 36**.

En lang udvikling

Princippet i kerneboring er kendt helt tilbage fra Ægyptens oldtid, hvor metoden blev brugt under bygningen af pyramiderne. Boringen udførtes formentlig med slibepulver som skæremiddel i stedet for de diamanter, der blev introduceret til skæringen i 1860'erne.

Siden er udviklingen fortsat, så der i dag kan fås borekroner med skær indeholdende ægte eller syntetiske diamanter samt hårdmetalskær, dvs. skær af legeringer, der er billigere end diamanter.

Anvendelse af kerneboretteknikker har efterhånden ændret sig fra hovedsageligt at blive brugt til at optage intakte kontinuerede prøver (borekerner) fra bjergarter til også at blive brugt til opboring af kerner i middelhårde og bløde aflejring til forundersøgelser (geotekniske undersøgelser). Dette sker med boreværktøjer udviklet specielt til formålet.

To varianter

Udviklingen er foregået af to spor:

- *Konventionel kerneboring*, hvor borestænger trækkes op og sættes ned, hver gang en borekerne skal tages op af borehullet
- *Wirelinekerneboring*, hvor en løsboret borekerne trækkes op med en wire.

Disse to metoder omtales særskilt i afsnit 1.6.1 og 1.6.2.

Forskellige standarder

Der fremstilles udstyr efter en række internationale standarder: amerikanske, engelske, japanske, metriske (svenske) m.fl.

Vi vil i det følgende koncentrere os om to:

- Amerikansk, baseret på D.C.D.M.A. Standardization (Diamond Core Drill Manufacturers Association).

Diametre baseres på tomme-mål, men angives ved en bogstavbetegnelse (A, B, N, H, P, S). Længder angives i fod.

- Metrisk eller europæisk som beskrevet af “Swedish Diamond Rock Drilling Company”.

Diametre og længder af boreværktøj angives i millimeter og centimeter.

Det er for omfattende her at beskrive hele spektret af muligheder. Gennem eksempler vil vi derfor illustrere, at mulighederne er mange, og at hele produktionsprocessen og planlægningen skal gennemtænkes, før udstyr anskaffes.

Nogle eksempler

Boreværktøjer kan anskaffes efter fx de to nævnte standards; med nogle eksempler vil vi vise, hvordan boringer med diametre på 56-60 mm kan udføres:

- Konventionel kerneboring med udstyr efter metrisk standard,
Huldiameter: 56,3 mm
Der kan vælges indtil flere udstyr fra samme fabrikant med kerner diameter varierende fra 41,7-45,2 mm fra Craelius, Sverige.
- Konventionel kerneboring med udstyr efter amerikansk standard.
Huldiameter: 60 mm
Der kan vælges indtil flere udstyr med kerner diameter varierende mellem 42,0 og 44,9 mm.
- Wireline kerneboring med udstyr efter amerikansk standard – standard udførelse
Huldiameter: 60 mm
Kerner diameter: 36,3 mm
- Wireline kerneboring med udstyr efter amerikansk standard – tyndvægget udførelse
Huldiameter: 60 mm
Kerner diameter: 42 mm
- Wireline kerneboring med udstyr efter amerikansk standard – tykvægget udførelse
Huldiameter: 60 mm
Kerner diameter: 30,3 mm.

Vi vil efterfølgende beskrive de to kerneboringsmetoder.

1.6.1 Konventionel kerneboring

Selve borearbejdet udføres med en ringformet borekrone monteret på et enkelt- eller dobbeltvægget rør, under et kaldet kernerør. Toppen af kernerøret er forbundet til rotationsborehovedet ved borestænger, der overfører rotation samt tryk og træk til kernerøret. Den friskårne prøvecylinder skydes op i kernerøret, efterhånden som boringen skrider frem. Prøven tages op ved at trække alle borestænger inklusive kernerøret op, skille dette ad og tage prøven ud. Herefter samles kernerøret igen og sættes ned med alle borestængerne, og rotationen/kerneboringen fortsættes.

Princip

Kernerør fås i standardlængder i forskellige dimensioner.

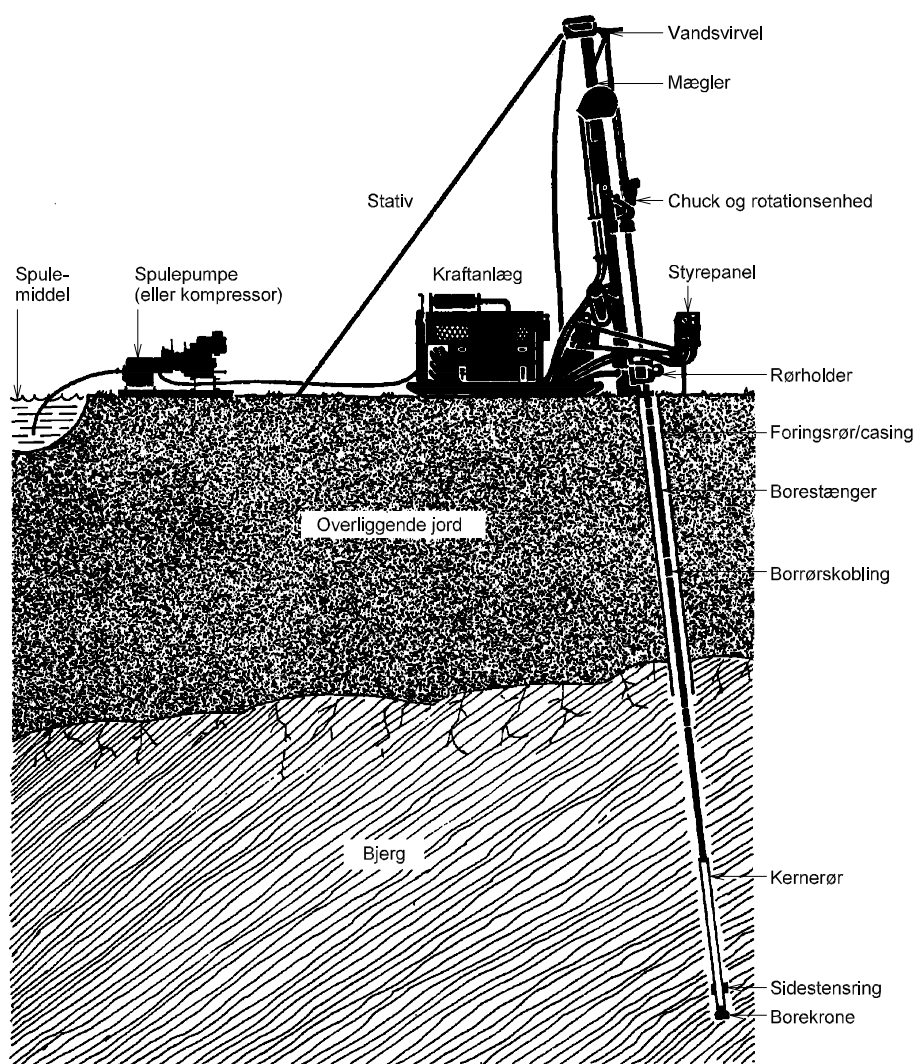
Kernerør

I metrisk standard findes fx følgende standardlængder: 0,5 m, 1,5 m, 3,0 m, 4,5 m og 6 m. Ved boring i homogene, faste aflejringer vælges der forholdsvis lange kernerør. Herved reduceres antallet af tidskrævende stangoperationer i forbindelse med optrækning af kernerør.

For at køle borekronen samt fjerne cuttings fra boreprocessen, cirkuleres en skyllevæske ned gennem borestængerne og kernerøret, ned forbi skæret og udvendigt op mellem kernerør eller borestænger og borehulsvæggen. Skyllevæsken kan være, og er ofte, rent vand; der anvendes også ofte tilsatzmidler, normalt en polymer, jf. afsnit 1.11.

Skyllevæske

Figur 37
Princip af konventionel
kerneboring (Craelius)

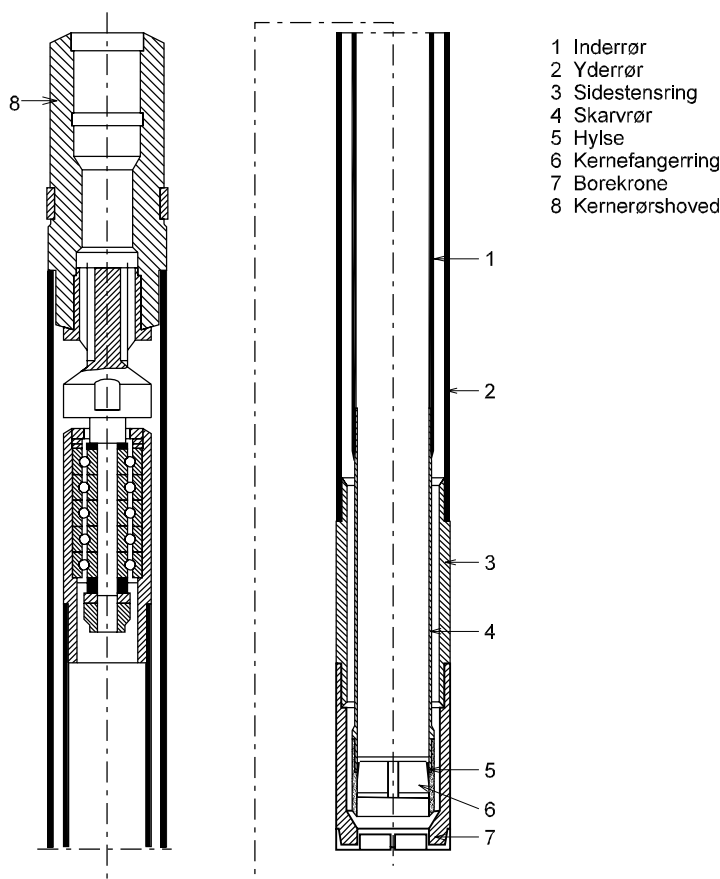


Formålet med at bruge tilsatzmidler er hovedsageligt at mindske friktionen mellem roterende og stillestående dele, herunder også med borehulsvæggen. Herved fås mindre slitage på udstyr, en mere effektiv produktionsproces og en bedre prøvekvalitet ved boring i løse eller bløde til middelhårde aflejringer. En højere viskositet øger også boremuddrets evne til at bære cuttings ud af borehullet. En højere viskositet kan ligeledes være med til at danne en filterkage ud for permeable aflejringer og derved være med til at mindske tabet af boremudder ud i formationen. Det kan være vanskeligt at rense boremuddret for de meget fine cuttings, der produceres ved diamantkerneboring, hvorfor recirkulation af boremuddret ikke udføres konsekvent.

Kernerør

Kernerør skal udformes med henblik på optimal produktion, såvel kvantitativt som kvalitativt. Herved skal der tages hensyn til sådanne forhold som:

- mindst mulig påvirkning dels af formationen ved skærefladsen dels den løsskårede kerne
- mindst mulig skæreflade for at minimere diamantforbruget
- udformning af kernerør og borekroner, så skyllevand kan passere gennem kernerør og forbi borekrone samt friskærer tilstrækkeligt ringareal uden om kernerøret til at skyllevæsken kan passere op forbi kernerøret
- sikre, at borekernen kan komme ind i kernerøret uden at blive ødelagt, dels når



Figur 38
Dobbelt kernerør af
svirveltypen (Craelius)

kernerøret roterer og bevæger sig nedad, dels af skyllevæskens strømning forbi kernen ved skærefladen.

- sikre, at kernen kan udtages af kernerøret ved terræn, uden at den bliver forstyrret (mister sin intakthed).

Kernerør fabrikeres derfor i flere typer og i flere standarddimensioner inden for de forskellige standards (metrisk, amerikansk, japansk m.fl.).

Der er dog tre hovedtyper inden for konventionel kerneboring:

- enkelt kernerør (single tube core barrel)
- dobbelt kernerør (double tube core barrel)
- dobbelt kernerør med liner (triple tube core barrel).

På **Figur 38** er vist et dobbelt kernerør af svirveltypen. Betegnelser for de vigtigste dele af kernerøret fremgår af figuren.

Borekroner

Hvis vi ser på borekronen, er der inden for den enkelte dimension flere valgmuligheder. Hovedinddelingen relaterer til den skæremetode, der påregnes anvendt, og dermed til den formation, der skal bores/skæres i:

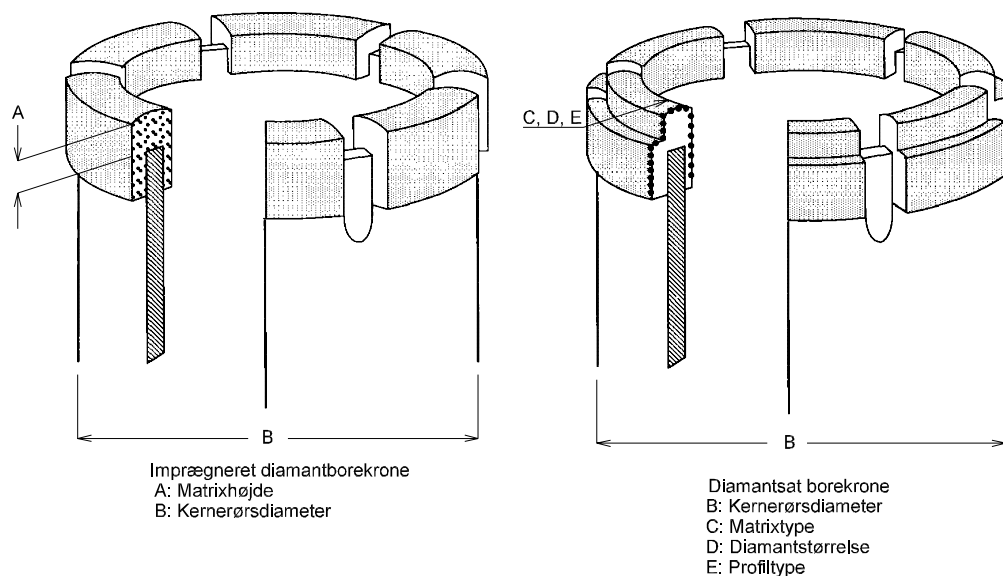
- *Imprægnerede diamantborekroner*

Syntetiske diamanter er indstøbt i en grundmasse - en såkaldt matrice. Matricen slides i samme takt som diamanterne og frilægger derved nye diamanter til fortsat skæring af formationen. Der er normalt tale om meget små diamansegmenter.

- *Satte diamantborekroner*

Naturligt dannede diamanter sættes i en matrice. Diamanterne sættes i bestemte mønstre svarende til anvendelsen af borekronen og størrelsen af diamanterne.

Figur 39
To typer kerneborekroner



Figur 40
Borekronetyper og deres
anvendelse (Craelius)

Roch groups	Roch description	Approx. hardness of rock	Hårdmetal kroner	CORBORIT®	DIAPAX	TRIPAX	Satte kroner®					Impregnerede kroner®								Side stensing		
							Stones/Carat					HH		HM		KM		KS		SS		TC
							10 15	20 25	30 50	50 70	4	5	6	7			8					
1	Clay Soft shale Chalk Soft limestone Gypsum Volcanic tuff	Soft rock																				
2	Sand Loose sandstones Shale Hard shale Marl shale Medium hard limestone Salt Frozen soil Ice	Soft or medium (mixed rock)																				
3	Soft sandstone Sandy shale Shale Claystone Sandy limestone Soft schist	Medium hard, non abrasive rock																				
4	Medium hard sandstone Siltstone Alluvial deposits Calclitic limestone Medium hard limestone Hard shale	Medium hard, abrasive rock																				
5	Hard limestone Dolomitic limestone Schist Serpentine	Hard, slightly abrasive rock																				
6	Hard schist Mica schist Hard siliceous Limestone Dolomits Marble Syenite Peridotite Andesite Diabase Pegmatite Hematite Magnetite	Hard, non abrasive rock																				
7	Metamorphic schist Gneiss Amphibolite Granite Leptite Basalt Diorite Gabbro Porphyry Rhyolite Trachyte	Very hard rock																				
8	Conglomerate Taconite Abrasive sandstone Abrasive quartzite Rock with pyrite Banded hematite	Ultra hard rock																				

* I slibende formationer

** I ikke slibende formationer

Matricen vil normalt være meget hård og slidstærk, og der anvendes diamanter, der er væsentligt større end de syntetiske, der bruges i imprægnerede kroner.

– *Hårdmetalborekroner*

I en matrice er indstøbt et antal hårdmetal stifter eller plader, der udfører skærearbejdet under nedboringen. Denne type borekroner er primært beregnet for middelhårde og bløde aflejringer.

På **Figur 39** er vist standardkroner af de to førstnævnte typer.

Der er en række andre variable, der skal inddrages i beslutningsprocessen, når der skal vælges borekroner til en boreopgave. Det kan være:

- profilet på skæret
- matricens hårdhed
- størrelsen, kvaliteten og mængden af såvel syntetiske som naturlige diamanter
- højden på matricen
- antallet af vandspor i kronen.

Borekroner kan fås med 'face-discharge', dvs. at skyllevæsken strømmer gennem skyllekanaler boret lodret i matricen med udmundning direkte i vandspor på skæreflader. Kun en meget lille del af skyllevæsken strømmer ned på den indvendige side af borekronen og rundt om skæret.

På **Figur 40** er vist en oversigt over en fabrikants (Craelius) borekronetyper med tilhørende anbefaling for anvendelsesområde i relation til jord- og bjergarter.

Borekronen har en diameter, der er en lille smule større end selve kernerøret (yderrøret), så der er plads til passage af skyllevand. Over borekronen sidder en sidestensring, der har til formål at sikre en glat og jævn borehulsvæg i den diameter, som borekronen skærer hullet, jf. **Figur 38**. Jo mere slidt borekronen er, desto mindre bliver borehullets diameter. Sidestensringen er med til at sikre, at en ny borekrone kan komme helt til bunds i boringen. Sidestensringe kan være monteret med hårdmetalplader eller diamanter, og der er spor, der tillader vandpassage.

Over sidestensringen sidder yderrøret, der forbinder borekrone/sidestensring med kernerørshovedet og overfører rotation og tryk herfra til borekronen. Kernerørshovedet er fast forbundet med gevindsamling til borestængerne.

Kernerørshovedet består af to dele forbundet med et kugleleje. Det betyder, at inderrøret, hvori borekernen er indeholdt, kan være stillestående, mens yderrøret roterer og skærer borekernen fri. Herved mindskes påvirkningen af den friskårne borekrone.

Nederst i inderrøret sidder et arrangement til at holde på borekernen, dels når den trækkes eller brækkes fri af formationen, dels under optrækning af det komplette kernerør til terræn for udtagning af borekernen fra kernerøret.

Inderrøret er normalt fastgjort til kernerørshovedet med en gevindsamling. I bunden af inderrøret sidder først et forlængerstykke, et skarvrør, med en glidesamling.

Skarvrøret går over i en hylse med konisk bundflade, der kan gå ned og træde på den indvendige affasning af borekronen.

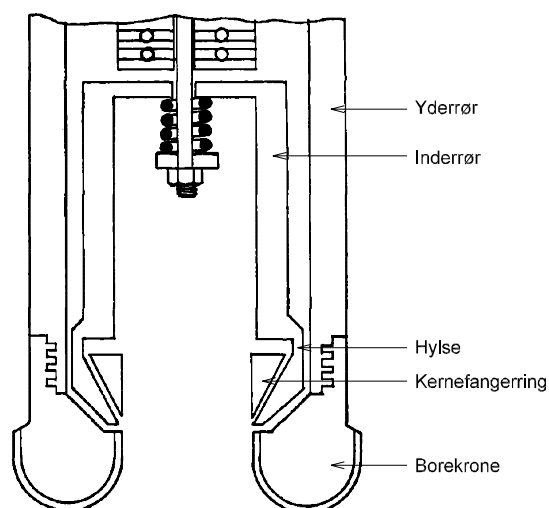
Hylsen er monteret på skarvrøret med en glidesamling. Hylsen har indvendigt en konisk form med spidsenden nedad. I dette koniske stykke sidder en konisk ring – en kernefangerring. Denne ring er ikke helt sluttet, dvs. den kan ændre indvendig diameter, hvis den bliver klemmt. Den koniske affasning i kernefangerringen vender ud mod den koniske affasning i hylsen. Foroven har kernefangerringen anslag mod kanten af skarvrøret. Indvendigt har kernefangerringen en diameter i fuld åben tilstand, som svarer til diameteren på borekernen, jf. **Figur 41** og **Figur 42**.

Borekronetyper

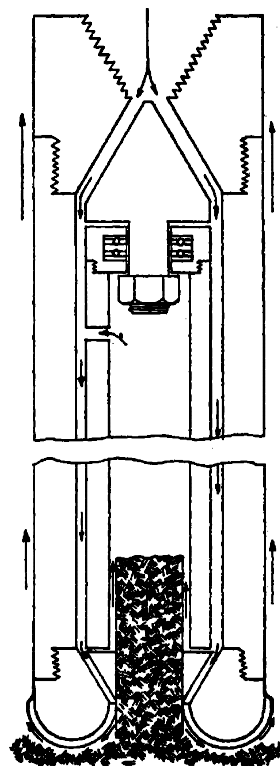
Fastgørelse af borekrone

Kernefang

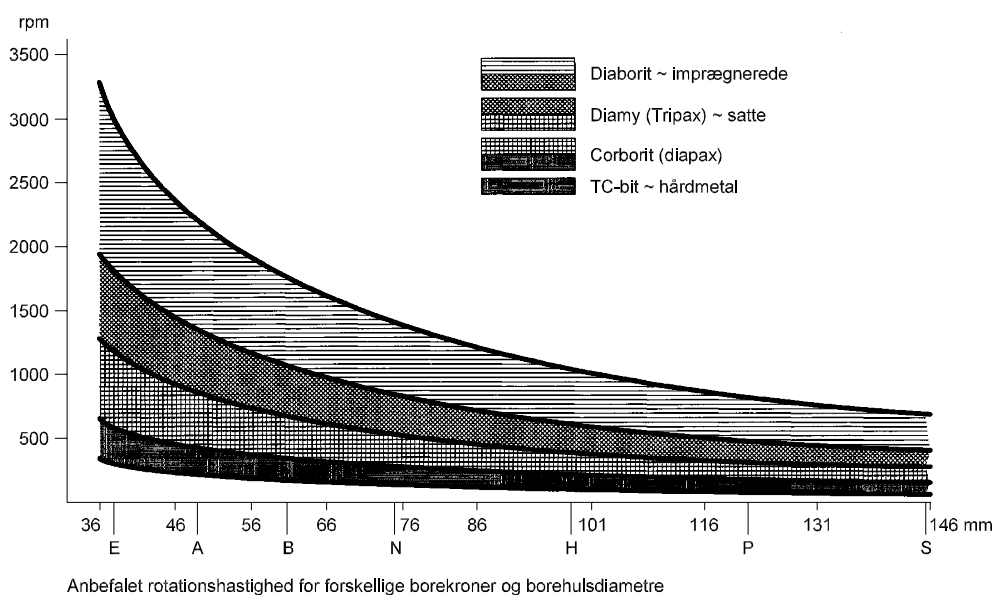
Figur 41
Princip i dobbelt kernerør
af svirveltypen



Figur 42
Skematisk dobbelt kerne-
rør af svirveltypen med
borekerne gennem kerne-
fangerring og med angiv-
else af borevæskens
strømning



Den friskårne del af kernen glider op gennem kernefangerringen under boreprocessen, og når kernerøret ønskes trukket op, trækkes der i yderrør med borekrone. Borekronen støder mod bund af hylse, der trækkes med op, og derved presser de koniske flader i hylse og på kernefangerring mod hinanden. Kernefangerringen trykkes ind mod eller ind i borekernen og hindrer denne i at blive trukket ud af inderrøret. Når borekernens trækbrudstyrke er nået, knækker denne mellem kernefanger og bund af boring. Herefter kan kernerøret tages op, skilles ad og kernen tages ud af inderrøret.



Figur 43
Rotationshastigheder,
anbefalinger (Craelius)

For at beskytte borekernen ekstra godt, kan kernerøret udformes, således at der kan monteres et PVC-rør (en liner) inden i inderrøret. Dette anvendes specielt ved kernerør til boring i bløde formationer. Hele lineren trækkes ud af inderrøret med prøve og emballeres for opbevaring og transport.

PVC-liner

Borestænger anvendes i dimensioner og standardlængder afpasset efter kernerørsdimensionen og de kræfter for rotation og tryk, der skal overføres til kernerøret. Borestænger omtales nærmere i afsnit 1.9.

Udstyr

Når der udføres kerneboring, er det væsentligt for kvaliteten af kernerne, at der anvendes den rigtige borekrone og det rigtige kernerør til den aktuelle formation. Også boreriggens funktionelle stand har betydning. Borehovedets rotationsakse skal være parallel med borevognens vandringsakse på mægleren, ellers opstår der vibrationer/rystelser i borestængerne. Vibrationerne kan forplantes til borekronen og være ødelæggende for kernekvaliteten.

I det følgende vil vi se på nogle vigtige detaljer omkring kerneborearbejdet.

Rotationshastigheden er væsentlig, idet højere rotationshastighed medfører hurtigere nedboring. Rotationshastigheden skal afpasses til diameteren på borekronen, de stænger der benyttes, dybden der bores i, mv. Varmeudviklingen afhænger af rotationshastigheden; det betyder, at væskehastigheden for tilstrækkelig køling og for borttransport af cuttings skal passe til rotationshastigheden.

Rotationshastighed

Fabrikanter angiver kun generelle anbefalinger for rotationshastigheder, og den enkelte boreentreprenør må gøre sig sine erfaringer. På **Figur 43** er vist Craelius's anbefalinger for rotationshastigheder som funktion af diameteren på de borekronetyper, som tidligere er omtalt, jf. **Figur 40**.

For kronetyper som omtalt på **Figur 40** anbefaler producenten tryk på borekronerne svarende til:

Tryk på borekrone

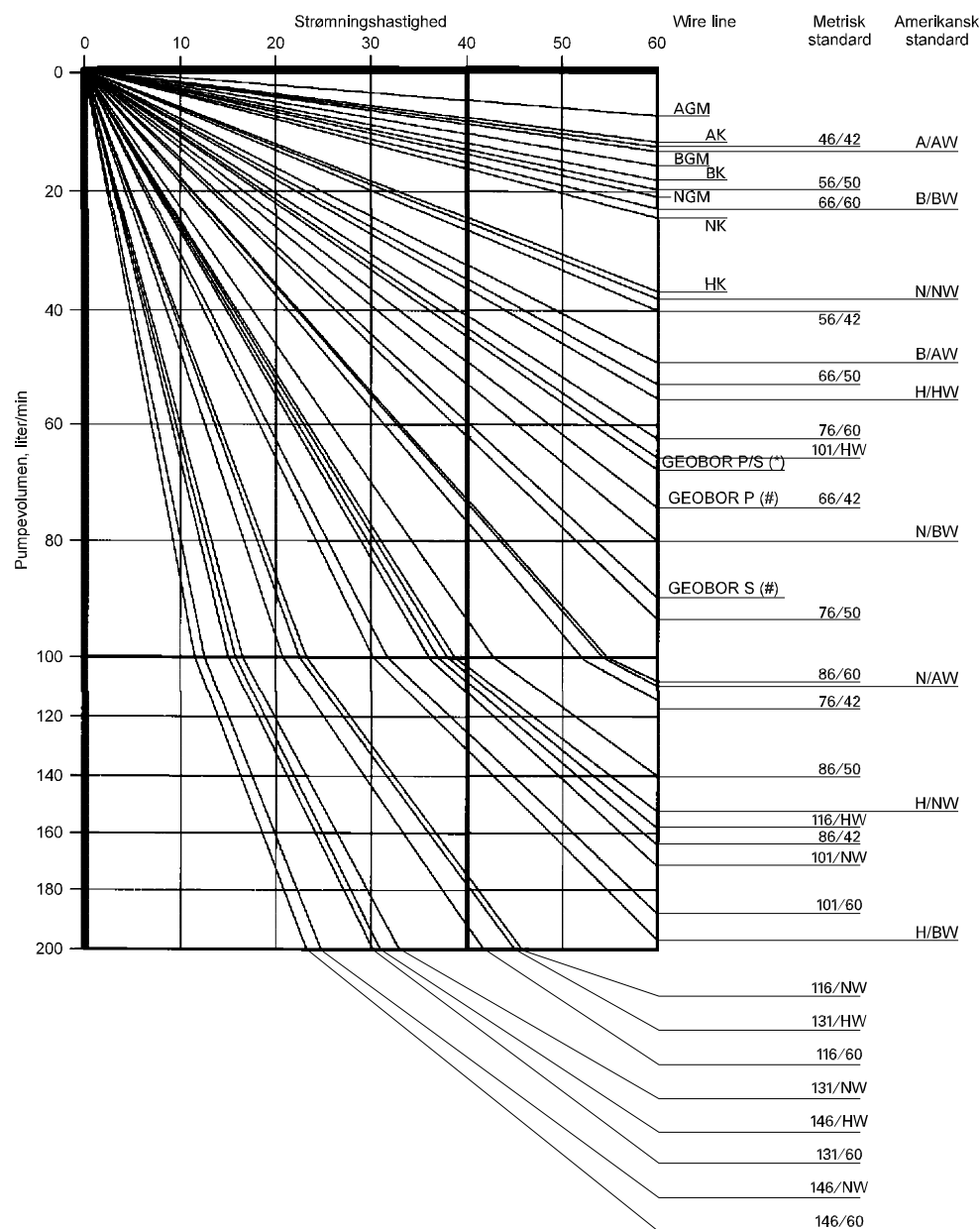
Imprægnerede kroner (Diaborit):	1000-1250 N/cm ²
Satte kroner (Diamy):	800-1000 N/cm ²

Ved anvendelse af øvrige typer bør fabrikantens vejledning følges.

Ved beregning af det totale tryk på borekronerne skal de anførte værdier ganges

Figur 44

Strømningshastigheder og pumpevolumen (Craelius)



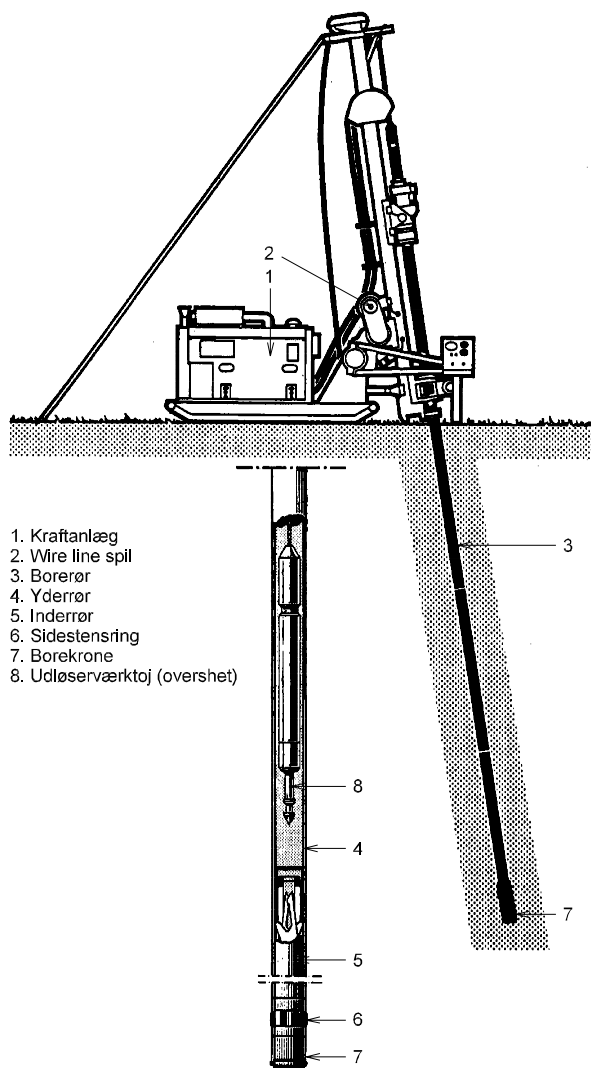
med det totale skæreareal for borekronen. Disse skærearealer findes angivet i fabrikanternes tekniske specifikationer for produkterne.

Ved anvendelse af imprægnerede kroner vil for højt tryk på borekronen resultere i en unødvendig høj slitage. Anvendelse af for lille tryk vil resultere i en "polering" af diamanterne med deraf følgende tab af skæreevne. Ved anvendelse af satte kroner vil såvel for højt tryk som for lavt tryk resultere i en polering af diamanterne og dermed i et tab af skæreevnen på kronen. Kroner, der er blevet polerede, kan slås eller files op igen, så skæreevnen retableres.

Skyllevæske

Skyllevæsken har til formål at køle borekronen, at skylle cuttings op, at smøre og derved mindske friktion og slitage samt at stabilisere. Der skal normalt ikke cirkuleres store væskemængder; til gengæld skal der anvendes forholdsvis store pumpetryk (5-40 bar) på grund af de meget begrænsede strømningsarealer for skyllevæsken.

Figur 45
Kerneboring med
wirelineteknik (Craelius)



På **Figur 44** er angivet strømningshastigheder og pumpevolumener for forskellige huldiameter/borestænger.

Wirelinekernerør og borestænger har samme diameter i hele boringens udstrækning, hvorfor kun kernerørets betegnelse er angivet i oversigten, jf. afsnit 1.6.2.

Ved konventionel kerneboring er der mange operationer ind og ud af borehullet, hvilket stiller store krav til stabiliteten af borehullet. Kerneboring har normalt kun interesse i aflejring af en rimelig hårdhed.

Udførelse

Øvre løsjordsdækker gennembøres derfor ofte med en anden teknik, såsom foret, tør rotationsboring eller excenterboring. Herved etableres en stålforing, som stabiliserer disse aflejringer.

Kerneboring kan udføres helt fra terræn, og der bores så successivt en speciel kerneboreforing – en casing – ned uden om borehullet. Til disse casings fås bundskær – casingsko – af samme typer som kerneborekronerne, men normalt med en tyndere skæreflade.

De forskellige standarder er opbygget, så høj grad af teleskopering kan anvendes, fx metrisk standard:

Standarder

- 64,4 mm casing med 66 mm casingsko passer inden i et 66,3 mm kerneboret hul, som kan være udført gennem en 74,4 mm casing med en 76 mm casingsko

- 56,2 mm kerneboring kan udføres gennem en 64,4 mm casing med 66 mm casingsko
- 54,4 mm casing med 56 mm casingsko kan monteres i et 56,3 mm kerneboret hul osv.

Casing

Casing nedsættes kun til den dybde, det er nødvendigt, da den enten skal bores efter, hvis man ikke ønsker at skifte til mindre kerneborediameter, alternativt må der teleskoperes.

Efterboring kan kun anvendes, så længe der er skær på casing-skoen.

Ved stabilitetsproblemer i større dybder, fx ved opsprækkede, knuste fjeldzoner i dybder, hvor casing ikke er nedboret, anvendes ofte udstøbning med cementgrout. Den opsprækkede zone injiceres og gennembøres, når cementmassen er afbundet.

I udlandet anvendes kerneboring hovedsageligt til prospekteringsarbejder, dvs. opboring af kerner for undersøgelse af mineralforekomster. Dette sker både i eftersøgningsfasen, men også i produktionsfasen for at fastlægge af mineralreserver og for at planlægge brydningsretninger.

Et andet anvendelsesområde er geotekniske undersøgelser, hvor der ønskes såvel veldefinerede laggrænser som intakte prøver til udførelse af laboratorieforsøg.

Konventionel kerneboring kræver som tidligere nævnt mange operationer med borestænger for optrækning og nedsætning af kernerør. Jo dyrere boringen er, jo mere tidskrævende er disse operationer.

Vi skal efterfølgende se på en kerneboreteknik, hvor optagning af kerneprøver foregår meget hurtigere, nemlig med wire.

1.6.2 Wirelinekerneboring

Princip

Ved *wirelinekerneboring* foregår selve skæringen efter samme princip som ved konventionel kerneboring. Rotationen overføres til kernerøret ved wirelineborerør, der har næsten samme diameter som kernerørets yderrør helt op til rotationsborehovedet. Princippet i metoden fremgår af **Figur 45**.

Udstyr

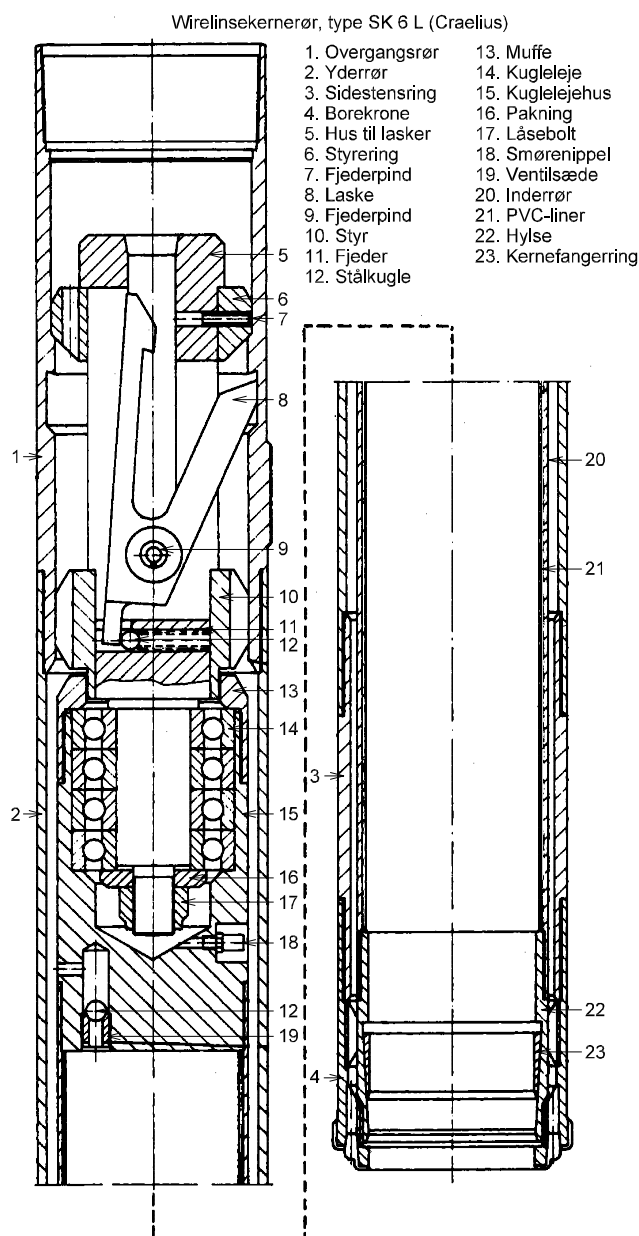
Inderrøret med kernerørshoved har en dimension, så det kan trækkes op og sættes ned inden i borerørene.

Kernerørshovedet er som ved konventionelle dobbelte kernerør af svirveltypen to-delt med inderrøret skruet på den nederste del af kernerørshovedet. Der er normalt kuglelejer mellem den nedre og øvre del af kernerørshovedet. Den øvre del er forsynet med fjederbelastede lasker, der låser kernerørshovedets øvre del mod en opadgående vertikal bevægelse, når laskerne ved nedsætning når en indvendig udfræsning i toppen af kernerørets yderrør. Samtidig udløses fastgørelsen af det værktøj – en inshot – der har holdt inderrør med kernerørshoved fra at falde frit ned gennem wirelineborerørene. Inshot'en er monteret på enden af en wire, der kører over et spil på boreriggen, når inderrør og kernerørshoved fires ned.

En recess på indvendig side af yderrøret samt en tilsvarende på kernerørshovedet hindrer, at inderrøret falder helt ned og støtter mod indvendig side af borekronen.

Når en kerneprøve er boret op i inderrøret, fires et fangværktøj – en overshot – ned i wiren. Dette værktøj frigør laskerne fra fastlåsnings i yderrøret og låser sig samtidig fast til kernerørshovedet, så dette kan trækkes op med det fyldte inderrør.

Hylsen med kernefangerringen er skruet på inderrøret, så kernen ikke kan trækkes eller falde ud under optrækning af inderrøret. På **Figur 46** er vist et dobbelt kernerør for wirelineboring.



Figur 46
Wirelinekernerør

Wirelinekerneboring kræver anvendelse af dobbeltkernerør eller dobbeltkernerør med en ekstra liner af PVC eller andet materiale.

Skyllevæske/boremudder for smøring, køling og rensning af skærefladen for cuttings pumpes ned gennem wirelineborerørerne og ned mellem inderrør og yderrør og rundt om borekronen og op mellem kernerør/wirelineborerør og borehulsvæggen. Anvendelsen af tilsatzmidler for reducere af friktion og dermed slitage er væsentlig her, hvor det roterende wirelineborerør har næsten samme diameter som borehullet.

Der findes samme valgmuligheder for borekronetyper som ved konventionel kerneboring. Opbygningen af kernerøret betyder, at borekronerne til wirelineboring skal skære et bredere spor, således at skærearealet vil udgøre en væsentlig større procentdel af borehullets tværsnitsareal sammenlignet med et konventionelt kernerør.

Skærehastigheden vil derfor være mindre for wirelineboring end for konventionel boring, når der er tale om samme huldiameter.

Forbruget af diamanter vil tilsvarende være større pr. meter boring.

Skyllevæske

Borekroner

For rotationshastigheder, tryk på borekronerne samt skyllevæskevolumener henvises generelt til fabrikanternes anbefalinger, hvoraf der er vist eksempler i **Figur 43** og **44** i afsnit 1.6.1.

Stabilitet af borehul

Stabilitetsproblemerne i borehullet overkommes let, idet wirelineborerørene fungerer som foringsrør – casing. Friktionen på disse kan dog blive så stor, at de ikke kan roteres. Man må så foretage en teleskopering – dvs. bore i efterfølgende mindre dimension ud gennem borekronen i den fastlåste wirelinestamme.

Teleskopering må også foretages, hvis borekronen bliver slidt op, og optrækning for skift af borekrone ikke ønskes udført, fordi en del af boringen så eventuelt ville falde sammen og skulle genbores.

Anvendelse

Wirelinekerneboring har samme anvendelsesområde som konventionel kerneboring, jf. afsnit 1.6.1.

Generelt opfattes konventionel kerneboring til prospekteringsformål billigst på de øverste 150-200 m boring på grund af den hurtigere skæretid – mindre skærespor – og den mindre slitage af borekroner.

I dybere boringer fra 150-200 m og nedefter opfattes wirelineteknikken som mest konkurrencedygtig på grund af store tidsbesparelser ved optræk af inderrør med wire.

Tidligere anvendtes hovedsageligt konventionel teknik i Danmark, men wirelineteknikken er også inden for kerneboreområdet på vej ind på markedet. Dette skyldes hovedsageligt udviklingen af specielle kernerør, der er velegnede til boring i bløde og middelhårde aflejringer med sigte på forundersøgelsesbranchen.

1.7 Specielle boreteknikker

Udførelsesmetoder, der er baseret på boring, anvendes som tidligere anført ved en lang række opgaver inden for det anlægstekniske område.

Det drejer sig om boring af eksempelvis sprænghuller inden for mineindustrien, ventilationsskakte til miner, huller til trykinjicering af cementmasse og i stor skala tunneller.

Også i Danmark er anlægskonstruerede anvendelser introduceret gennem årene, og vi vil kort beskrive to metoder:

- Styret underboring
- Boring for jordankre.

Styret underboring

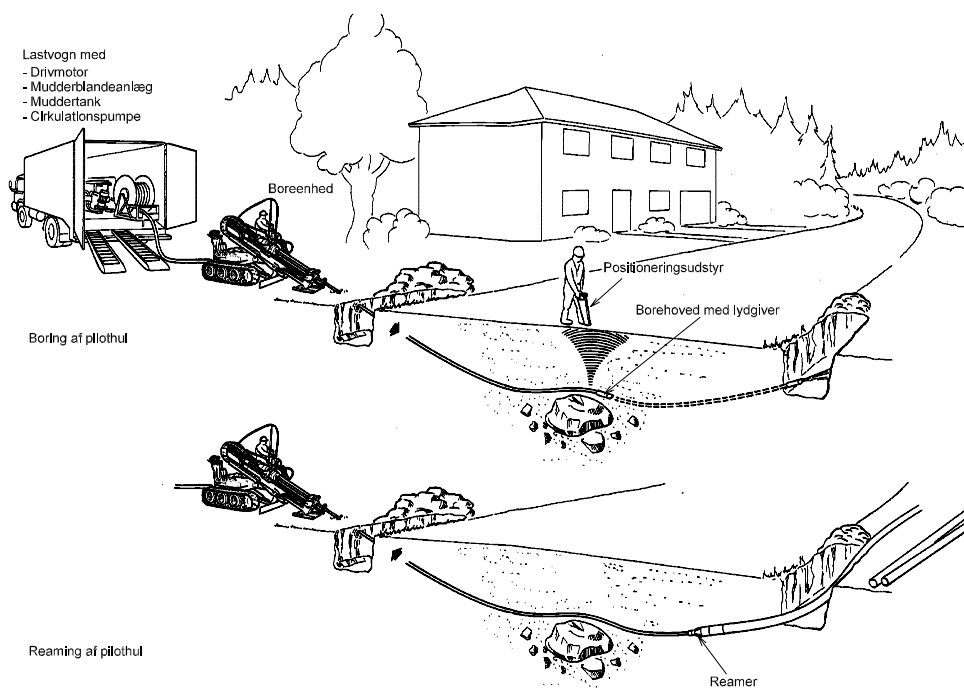
Ved *styret underboring* anvendes en skylleboreteknik til installation af rørledninger af plast, kabler, drænledninger m.m.

På **Figur 47** er vist en principskitse af udstyr og metode.

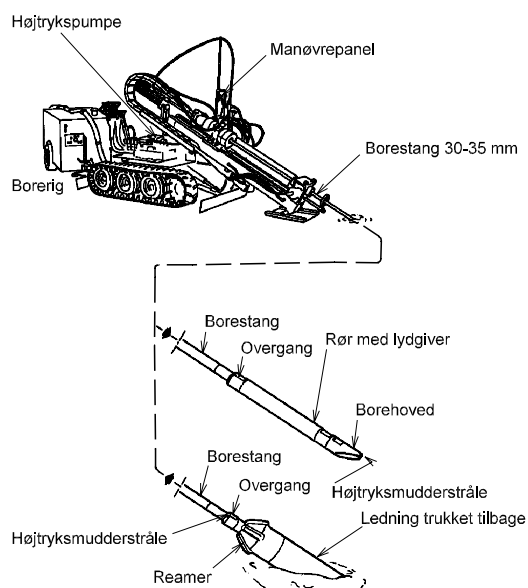
Det vigtigste udstyr er en hydraulisk rotationsborerig med en hældning på mægle-ren, der svarer til den ønskede udgangsretning. Et dieselhydraulisk anlæg leverer olietryk og -flow til boreriggen. Borestængerne er meget fleksible, 30-35 mm i diameter, og fremstillet af aluminium. I spidsen af borestammen sidder et affaset borehoved med gennemgang for boremudder under højt tryk, jf. **Figur 48**.

Mellem borehoved og borestænger sidder en sonde med en sender (lydgiver). Et blandaanlæg for boremudder samt opbevaringstank og højtrykspumpe leverer gennem en svirveltilslutning boremudder til borestammen. Der arbejdes med høje pumpe-tryk og små pumpemængder (op til 150 bar og 50-100 l/min.)

Ved hjælp af en bærbar, trådløs modtager/sender på terræn kan positionen i planen, dybden til borehovedet samt orienteringen af affasningen fastlægges, ligesom borehovedets affasning kan drejes.



Figur 47
Styret underboring,
principskitse (Atlas
Copco)

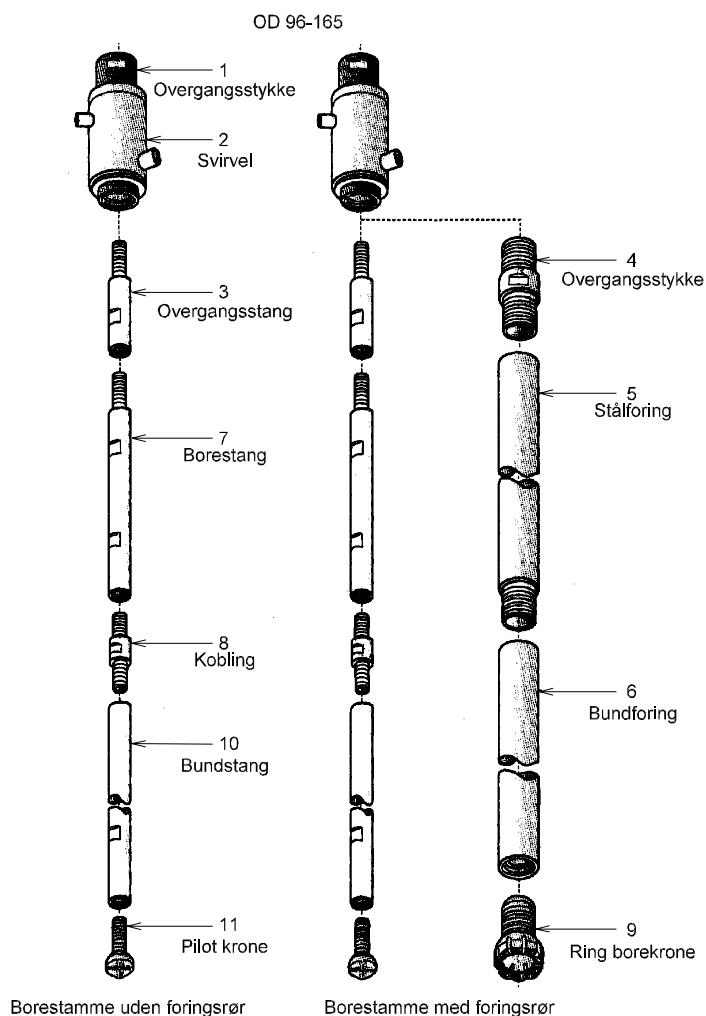


Figur 48
Styret underboring, udstyr
(Atlas Copco)

Boreoperationen udføres ved langsom rotation af borestænger og borehoved, samtidig med at der spules foran borehovedet med en mudderstråle under højt tryk. Hvis borehovedet afviger fra ønsket retning, eller hvis boreretningen ønskes ændret, stoppes rotationen. Ved hjælp af den bærbare modtager/sender drejes affasningen, således at fortsat tryk på borehovedet og samtidig spuling presser borehovedet i den ønskede retning. Når den ønskede korrektion af retningen er opnået – kontrolleret med modtageren/senderen på terræn – genoptages rotationen. Løsboret materiale cirkuleres op gennem borehullet mellem borestænger og borehulsvæg.

Når pilotboringen er udført frem til den udgravning, hvorfra rør skal trækkes, udskiftes borehovedet med sender med en borekrone, der kan opbore (ream) bo-

Figur 49
Udstyr til boring for
installation af jordankre
(Atlas Copco)



ringen til en lidt større diameter end diameteren på det rør, der ønskes trukket gennem boringen. Mellem reamer'en og ledningen, der skal trækkes gennem borehullet, er der monteret en svirvel, således at reamer'en kan rotere i forhold til røret. Røret trækkes efter uden rotation.

Pilotboringen reames op ved langsom rotation af borestamme og reamer, samtidig med at der spules med boremudder, og borestammen trækkes med rotation gennem borehullet.

Der anvendes normalt en boremudder baseret på vand tilsat bentonit eller en polymer.

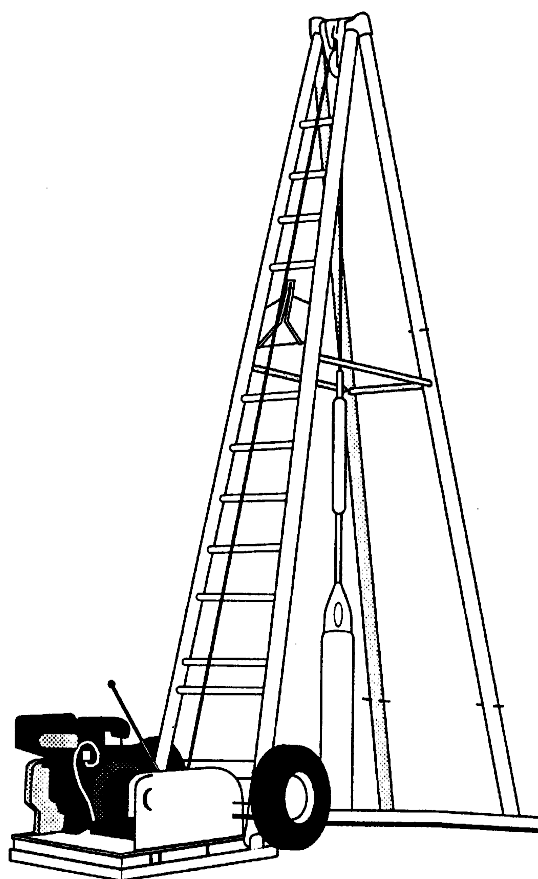
Ankerboring

Anvendelse af jordankre til forankring af såvel midlertidige som permanente konstruktioner er stigende i Danmark. De fleste installationer udføres med borerigge, der er specielt byggede til formålet med store variationsmuligheder for mæglerens hældning under boringens udførelse.

Borehovedet vil normalt være en hydraulisk hammer med rotation på hammerens udgangsspindel. Selve hullet for installation udføres normalt med et udstyr som vist på **Figur 49**.

Udstyret kaldes OD-udstyr, hvor OD står for 'Overburden Drilling'.

Under borehovedet sidder en svirvel (en pakkåse), der tillader, at vand og/eller luft kan ledes ind til og ned gennem borestængerne og pilotborekronen. Tilsvarende



Figur 50
Let, transportabelt,
wireopereret slagspil
(Drill.Techn.)

kan returvand/-luft, der kommer op mellem borestængerne og stålforingen, ledes ud gennem svirvelen.

Under svirvelen findes der gevindtilslutninger for borestænger og stålforinger. Gevindtilslutningerne er sammenbyggede, så borestænger og stålforinger roteres med samme omdrejningshastighed. I bunden af borestængerne monteres en pilotborekrone, og i bunden af stålforingen en ringborekrone.

Borearbejdet udføres ved rotation og spuling med enten vand eller luft eller en blanding heraf. Slag introduceres, når aflejringerne har en hårdhed, der kræver slag for at gennembore aflejringerne.

Når fuld borelængde er nået, skilles stålforingen fra svirvelen, og den indvendige borestang trækkes ud. Jordankeret installeres, svirvelen tilsluttes stålforingen og en cementblanding pumpes under tryk ind gennem stålforingen, mens denne trækkes ud af borehullet.

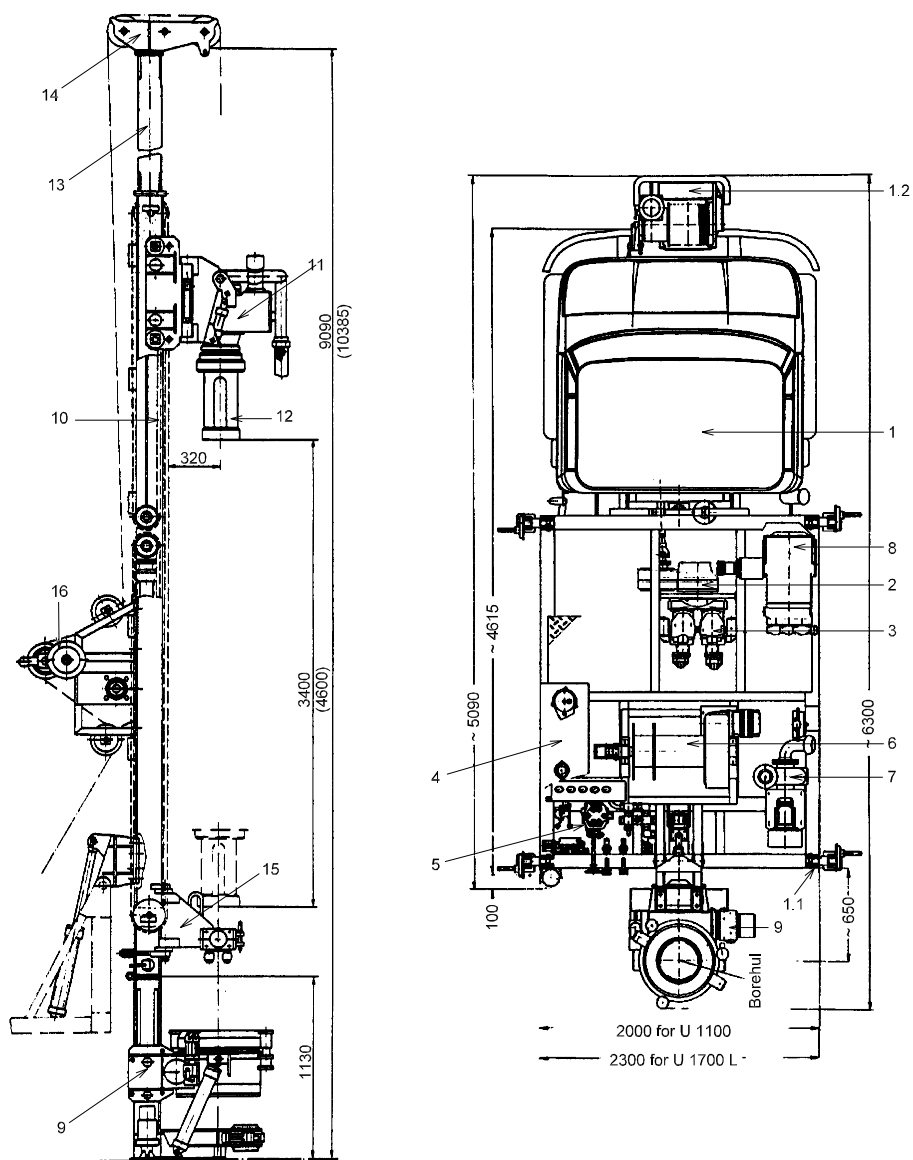
Udstyret fås i et antal dimensioner, så der kan vælges dimensioner svarende til den ønskede ankerstørrelse.

Boremetoden er meget hurtig og velegnet for borelængder indtil ca. 30 meter. Ved større stanglængder tabes hammerens slagenergi i stængerne. I hårde aflejringer kan det udvendige foringsrør udelades.

1.8 Borerigge

En borerig (boreenhed) er i sin simpleste form det udstyr, der bevæger boreværktøjet ind og ud af borehullet og samtidig giver boreværktøjet den fornødne bevægelse og kraft til at frembringe det ønskede hul i formationen.

Figur 51
 Let, mobilt, fuldhydraulisk
 universalboregig
 (Nordmeyer)



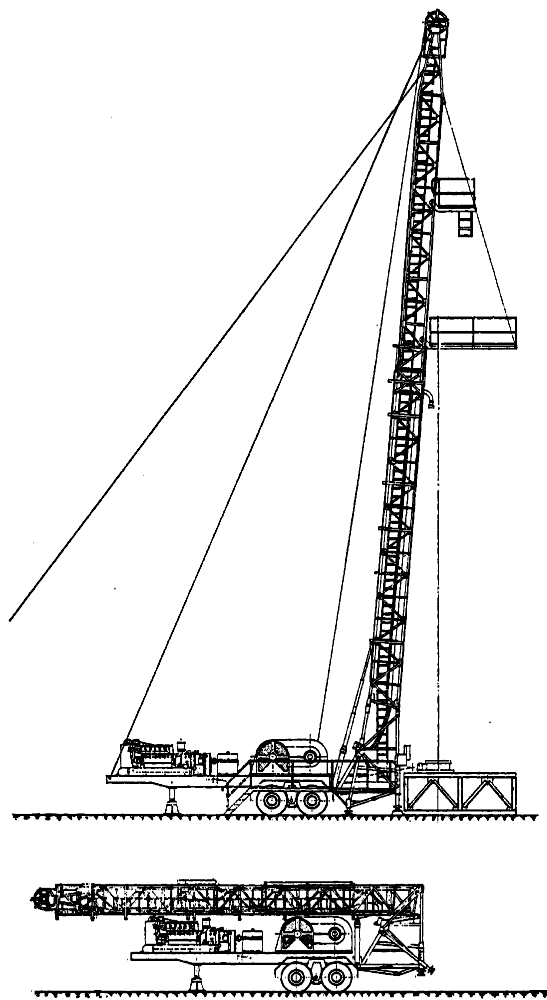
I sin enkleste form kan boregiggen være en type for anvendelse af alene wirehånderet boreværktøj som eksempelvis slagboreværket på **Figur 50** bestående af et drivagregat med transmission til løfte- og slagspil med enkelt wireløb over en wireskive i toppen af et gittertreben.

Ringkomponenter

Rotationsskylleboreudstyr og luftdrevet slagboreudstyr må desuden omfatte komponenter til overførsel af tryk og rotation til boreværktøjet i form af

- boremast med bæreevne til at løfte det *“lodrette udstyr”* – borestænger, vægstænger og boreværktøj
- rotationsenhed med drejningsmoment til under belastning at kunne rotere borestrengen
- *svirvel* til passage af skyllemedium til borestrengen under dennes rotation
- cirkulationsenhed til varetagelse af den nødvendige cirkulation af skyllemediet i cirkulationssystemet.

Rotationsboregigge er efterhånden udviklet til at kunne udføre alle de mest anvendte boremetoder, inklusive wirehånderede boreoperationer og nedrotering af casing.

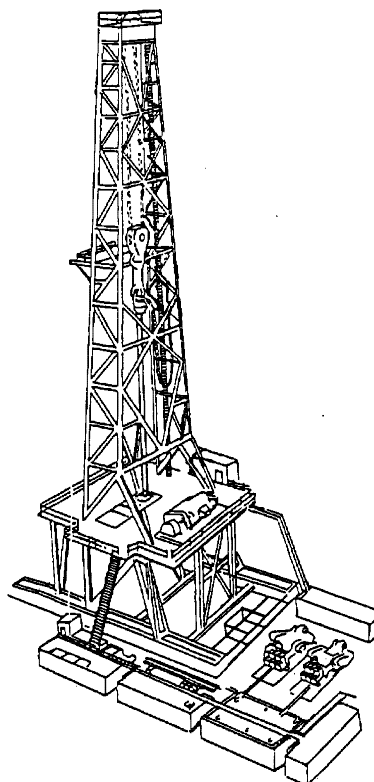


Figur 52
Kraftig, trailermonteret
rotationsborerig

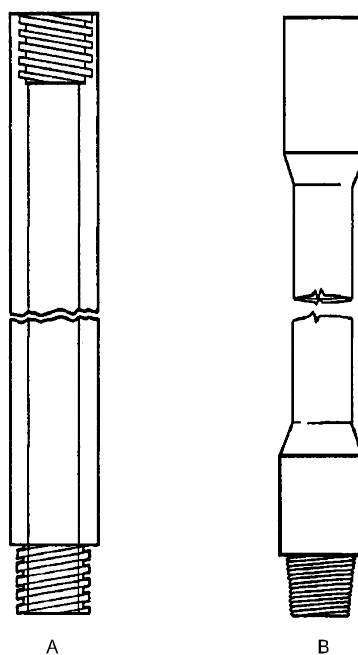
Figur 51 viser en skitse af et sådant universelt, hydraulisk rotationsboreudstyr med følgende komponenter.

1. truck
- 1.1 donkrafte til opretning af boreenheden
- 1.2 frontspil
2. drivaggregat trukket af truckmotor
3. hydraulikpumper
4. hydraulikolietank
5. operations- og kontrolpanel
6. wirespil
7. cirkulationsenhed, centrifugalpumpe
8. cirkulationsenhed, stempelpumpe
9. rørbevæger
10. boremast med tryk-træk system for rotationsenhed
11. rotationsenhed med svirvel
12. choke
13. mastforlænger
14. mastehoved med wireskiver
15. borestrengsklemme
16. fritfalds slagspil

Figur 53
Olieboreurig



Figur 54
Borestangstyper



Afhængigt af boreentreprenørens specialisering i visse boringsudførelsestyper kan udstyrskomponenter udelades eller erstattes med andre faciliteter, der vil kunne forøge produktiviteten inden for den valgte specialisering.

Mobilitet

Det samme gælder valg af at lade boreriggen være trailermonteret eller fuldt mobil ved fast opbygning på et fx terrængående køretøj. For boringer til stor dybde kan boreriggens opholdstid på borestedet være så lang, at det er uøkonomisk at have

bundet en truck på stedet. Ved trailermonterede borerigge er det derfor nødvendigt at have monteret et drivmotoraggregat på traileren.

En skitse af en tung, trailermonteret borerig beregnet for 8" rotationsskylleboring til 1.500 meters dybde er vist på **Figur 52**.

Når det drejer sig om borerigge til udførelse af boreopgaver til flere kilometers dybde i middel eller stor dimension, fx olie- eller gasboring, er boreriggen normalt immobil og må transporteres i enkeltdele til borestedet, hvor den opbygges med det fornødne udstyr for at kunne fungere rationelt. **Figur 53** viser en skitse af et sådant immobilt rotationsboreudstyr.

1.9 Borestamme. Skæreværktøj

Borestammen (borestrengen) med skæreværktøj er den vitale del af boreudstyret, som ved belastning og omdrejning frembringer borehullet i formationen.

For tørboring, skylleboring, trykluftboring og diamantkerneboring er borestrengene og skære- og løsboringstværktøjer generelt beskrevet i afsnit 1.2 til 1.6. Nærværende afsnit indeholder en gennemgang af de forskellige typer og betegnelser for borestænger og skæreværktøj beregnet for rotationskylleboringer.

1.9.1 Borestænger

Borestængerne skal have den nødvendige træk- og torsionsstyrke til at optage de kræfter, de påvirkes af under de mest ugunstige omstændigheder. Borestangssamlingerne (*joint*) skal være lette at samle og adskille, og samlingerne skal have samme træk- og torsionsstyrke som selve stangen. Desuden skal samlingerne være helt tætte.

Skylleborestænger samles med gevind, der enten kan være cylindriske eller koniske som vist på **Figur 54**.

Borestangsenden med indvendigt gevind benævnes "*BOX*", mens enden med udvendigt gevind benævnes "*PIN*". For at undgå indsnævring, som kan reducere borestængernes indre hultværsnit, har borestængernes samlinger normalt en større udvendig diameter end den mellemsiddende borestangslængde som vist ved B på **Figur 54**. Sådanne fortykkede samlinger giver endvidere en god sikkerhed mod tab af borestrengen, såfremt denne måtte skride nedad i en for dårligt spændt borestangklemme.

Under visse forhold – fx ved wireline kerneboring – er det ønskeligt, at borestængerne er helt glatte såvel udvendigt som indvendigt. Dette kræver normalt større godstykkelse for borestangen og anvendelse af cylindrisk gevind som vist ved A på **Figur 54**.

Normalt anvendes *API* standard (American Petroleum Institute) for betegnelse af borestangens dimension og samlingstype som følger

API REG (regular):	normalt indsnævret samling
API IF (internal flush):	strømlinet samling med let indsnævring
API FH (full hole):	samlingstværsnit som i borestængerne

Der eksisterer dog en lang række borestænger, som ikke helt opfylder *API* standard, men som er tilnærmet denne.

API dimensionen angiver borestangens normale udvendige diameter mellem samlingerne. Den indvendige diameter og dermed vægten af borestængerne kan variere svarende til kravene om træk- og torsionsstyrke.

Borestangsdiametre i henhold til *API* standard er:

Krav til borestænger

Borestænger for skylleboring med direkte cirkulation

Borestangsbetegnelser

Figur 55
Drill collar med
spiralformede vandspor



Figur 56
Vægt af drill collars

(OD = ydre diameter, ID = indre diameter)

Drill collar nom. OD (mm)	Drill collar vægt (kg/m) nom. ID mm			
	30	40	50	90
90	43	40	–	–
115	74	71	64	–
150	–	134	126	–
200	–	245	238	205

2 3/8"	(60,3 mm)	4 1/2"	(114,3 mm)
2 7/8"	(73,0 mm)	5"	(127,0 mm)
3 1/2"	(88,9 mm)	5 1/2"	(139,7 mm)
4"	(101,6 mm)	6"	(152,4 mm)

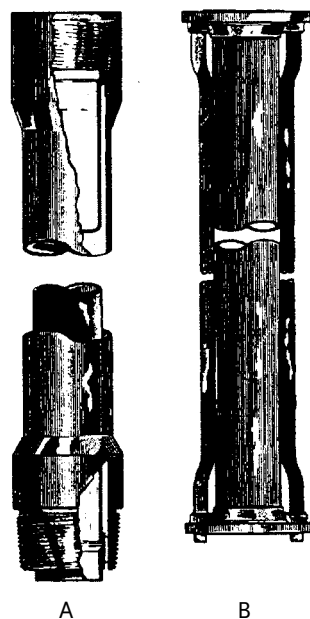
Drill collar

Ekstra tunge borestænger – vægtstænger (*drill collars*) –, som anvendes for at holde mere tyndvæggede borestænger i stræk, vælges normalt i en dimension, som kun er lidt mindre end borehulsdiameteren. Herved opnås en bedre styring. Vægtstængerne er derfor ofte forsynet med spiralformede vandspor som vist på **Figur 55**, for at give passage for skyllemediet.

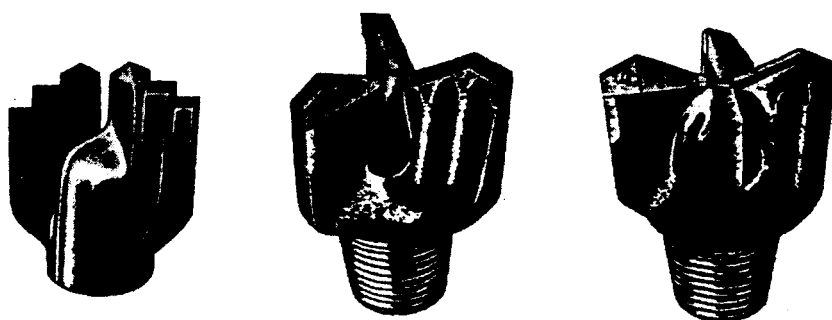
Drill collars fremstilles i mange dimensioner, men tabellen i **Figur 56** giver et indtryk af egenvægten for drill collars af udvalgte dimensioner.

For at begrænse boringens afvigelse fra lodlinien, kan der ud over drill collars anvendes centreringer placeret med passende afstand på borestrengens nederste del.

Gevindsamlingerne i borestænger er normalt højreskåret. Gevindsamlinger i de



Figur 57
Lufthæverør med gevind
eller flangesamlinger



Figur 58
Fastmejseltyper med
hårdmetalskær

casings, der bruges sammen med højre skårne borestænger, bør derfor være venstreskåret for at undgå casingadskillelse under borestrengsrotationen.

Ved rotationsskylleboring med lufthæveteknik skal trykluft føres fra luftslusen i rotationsenheden og ned til indblæsningsdyserne på den nederste del af borestrengen. Under hensyn til teknikkens effektivitet anvendes normalt borestænger med en minimumsdimension for den opadgående luft-/vandstrøm på 4"- 6".

Lufthæveborestængerne skal, ud over at føre cirkulationsmediet med cuttings opad, føre trykluft nedad. Transportkanalerne for luft og cirkulationsmedium skal derfor være adskilte. Som vist på **Figur 57** kan dette ske ved særskilte luftrør uden på transportrørene for cirkulationsmediet med cuttings (B) eller gennem *annulus* mellem koncentrisk arrangerede rør (A).

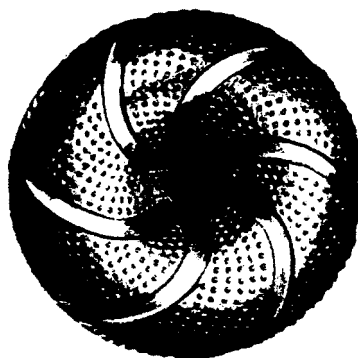
Sammenbygning af lufthæverør med gevindsamlinger er hurtigere end sammen-spænding af flangesamlinger og kan bruges i mindre borehulsdiametre. Flangesamlingerne har den lille fordel, at det her er lettere at sikre tæthed mellem de to transportveje.

Borestænger for skylle-
boring med omvendt
cirkulation ved lufthæve-
teknik

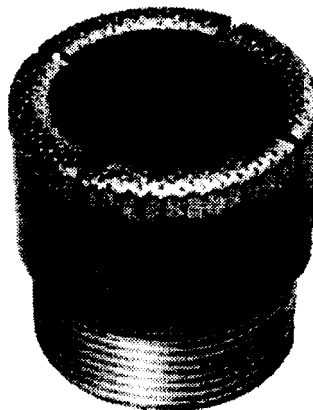
1.9.2 Skæreværktøj

Ved udførelse af rotationsskylleboringer anvendes skæreværktøjer, hvor skærets placering er fast i forhold til borestrengen, eller hvor skæret samtidig med borestrengens drejning foretager rotationer om en akse, som er forskellig fra borestrengsaksen.

Figur 59
Diamantbesat boreværktøj
(Mill.) (Christensen)



Figur 60
Diamantbesat
kerneborekrone



Til den første kategori hører fastmejsler og diamantborekroner, mens den anden kategori omfatter rulleborekroner.

Fastmejsler

Fastmejsler af forskellig udformning er beregnet til at skære/høvle formationen op foran skæret, når borestrengen roterer. For at opnå dette må mejslens skær presses ned i formationen og føres gennem denne for at friskære spåner herfra (cuttings). Mejslen må herunder påføres såvel et stort bittryk som et stort drejningsmoment. Af denne grund anvendes fastmejsler, som eksempelvis er skitseret på **Figur 58**, hovedsageligt til penetrering af bløde til middelhårde formationer.

Ved anvendelse af fastmejsler er det muligt at frembringe cuttings af en sådan størrelse, at de, ud over at være lette at udskille fra cirkulationsmediet, også er egnede for geologisk bedømmelse.

De anbefalede rotationshastigheder (RPM = omdrejninger pr. minut) for fastmejsler er

Bløde formationer:	100-200 RPM
Medium formationer:	60-100 RPM
Hårde formationer:	30-60 RPM

Diamantborekroner

For at gennembore ekstremt hårde aflejringer kan det være nødvendigt at slibe sig igennem disse ved hjælp af faste, diamantbesatte boreværktøjer som det på **Figur 59** viste.

Anvendelse af et sådant *full-face boreværktøj* vil totalt destruere materialet fra formationen. Har man brug for at optage prøvemateriale egnet for bedømmelse og laboratorieforsøg, må boringen udføres med diamantkerneboret teknik med en borekrone, som kan udformes som vist på **Figur 60**.

Kerneboringskroner har udformninger og besætninger af frie diamanter, impræg-

Casing OD/ID	Borestænger	Core barrel type	dim.	Hul diameter i mm		Core barrel type	dim.	Borestænger	Casing OD/ID
				Metrisk serie	Amerikansk serie				
143/134	NW70(NW) NWY70(NWY) 60mm 2)	T6 T6S B SK6L	146 146 146 146	146	S ~146	T6-S T6S-S		NW70 NWY70 (NW) (NWY)	
128/119	NW70 NWY70 60mm	T6 T6S B	131 131 131	131				NW70 NWY70 (NW) (NWY)	
113/104	NW70 NWY70 60mm	T6 T6S B	116 116 116	116	P ~121			NW70 NWY70 (NW) (NWY)	HW (114,37 101,6)
98/89	NW70 NWY70 60mm	T2 T6 T6S B	101 101 101 101	101				NW70 NWY70 (NW) (NWY)	NW (89,1/ 76,4)
84/77	50mm SE-50 60mm NW70 NWY70	T2 T6 T6S B	86 86 86 86	86	H ~99	T6-H T6S-H DIABOR® H		NW70 NWY70 (NW) (NWY) HK (HQ) 2)3) HCK 4)	
74/67	50mm SE-50 60mm NW70 NWY70	T2 T6 T6S B	76 76 76 76	76				NW70 NWY70 (NW) (NWY)	BW (73,2/ 60,5)
64/57	50mm SE-50 53mm 1) 60mm	T2 T6	66 66	66	N ~76	TNW T6-N T6S-N DIABOR® N		NW70 NWY70 (NW) (NWY) NK (NQ) 2)3) NCK 4)	
54/47	50mm SE-50 53mm 1) ST53	TT T2 B T/B ST	56 56 56 56 56	56	B ~60	TNW DIABOR® B		BW BW55 BK (BQ) 2)3) BCK 4)	AW (57,4/ 48,6)
44/37	42mm SE-43 43mm 1) 43 Composite 4) WL43 2)	TT T2 B T/B DIABOR®	46 46 46 46 46	46				AK (AQ) 2)3) AW AW 1)	
	33mm 33mm 1)	T	36	36	A ~48	TAW			

1) Aluminium borestænger

2) Wire line borestænger

3) Uskiftelige med tilsvarende BQ, NQ og HQ borestænger

4) Lette stål borestænger

Figur 61
Oversigt over
kerneboredimensioner
(Atlas Copco)

nerede diamanter eller hårdmetal, som vælges ud fra formationens hårdhed og sammensætning.

Kerneoptageren (*core barrel*), hvorpå borekronen er fæstnet, har ud over en type og dimensionsbetegnelse en bogstavkode. Denne bogstavkode er

- F: kerneoptager for borekrone med face discharge – skylle-medieudløb – i borekronens front uden strømning forbi den friskårne kerne
- G: kerneoptager, som kan være med enkelt eller dobbelt kernerør, forsynet med en borekrone med indvendige vandspor, så skyllemediet passerer den friborede kerne, før det passerer under borekronens skæreflade
- M: kerneoptager af amerikansk design med dobbelt kernerør, som passer til såvel borekroner med face discharge som indvendige vandspor
- T: tyndvægget, dobbelt kernerør med borekrone med indvendige vandspor.

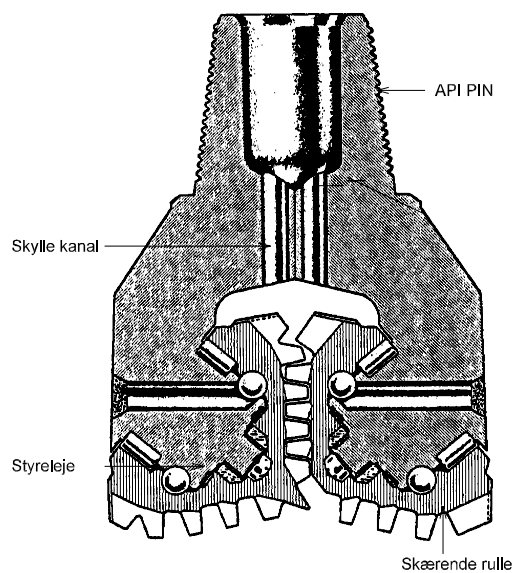
I skemaet **Figur 61** er angivet sammenhørende specifikationer for kernebohulsdiameter, casing, kernerør og borestænger med normale typebetegnelser.

Rullemejsler er boreværktøjer med roterende, skærende elementer. Når rullemejslen er i kontakt med borehulsbunden og bliver roteret af borestrengen, vil hvert skærende element også rotere om sin egen akse, som er forskellig fra borestrengens akse.

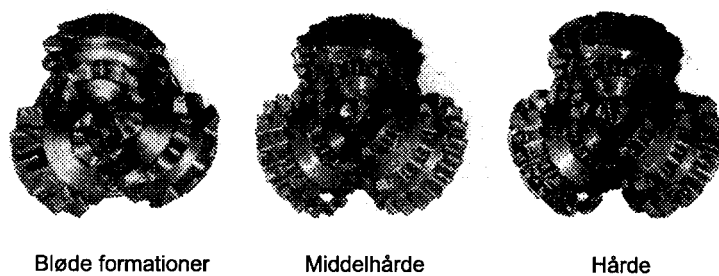
Rullemejsler er forsynet med roterende, skærende elementer, der i antal varierer fra eet og opefter afhængigt af rullemejslens diameter. Det normale antal skærende elementer er tre (*three cone bit*).

Rullemejsler

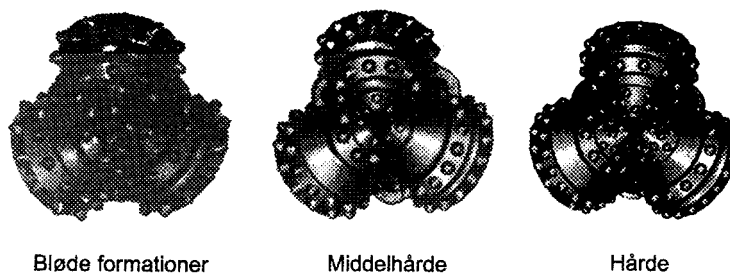
Figur 62
Generel opbygning af en
rullemejsel



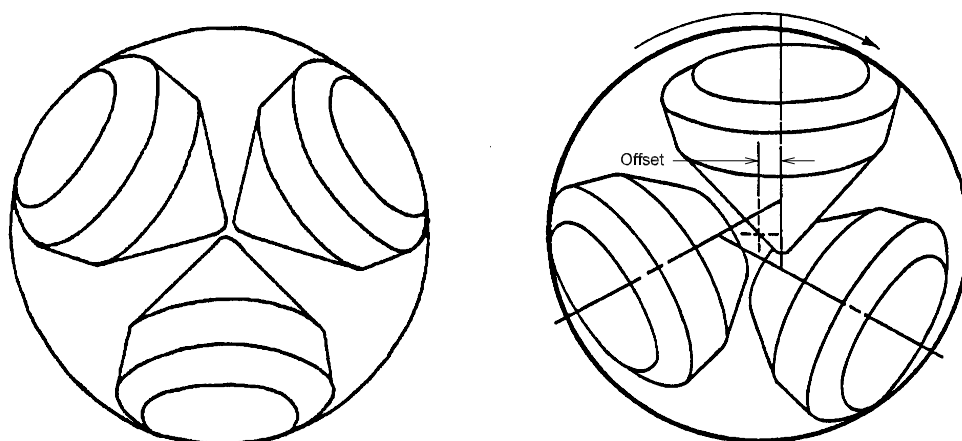
Figur 63
Rullemejslers med
hårdmetal tænder



Figur 64
Rullemejslers med
hårdmetal inserts



Figur 65
Tandruller placeret med
offset for skæring af større
cuttings



En rullemejsel består af tre hovedkomponenter således som vist på **Figur 62**

- mejselkroppen bestående af 3 sammensvejste ben
- de skærende ruller
- styrelejerne, hvorom de skærende ruller roterer.

Rullemejselkomponenter

På **Figur 62** er vist en central kanal og dyse for skyllemediet. Oftest findes en dyse i hvert kropben med retning mod de roterende rullers tænder.

Enkeltskærene på rullerne, der er arrangeret, således at hele boringsbunden kommer i kontakt med rullemejslens tænder under en omdrejning af borestrengen, kan være udført som

- udskåret i rullernes hærdede stål og besat med hårdmetal (tungsten carbid) eller
- udført af cylindriske tungsten carbid *inserts* monteret i forborede huller i rullernes hærdede stål.

Begge typer skæreelementer kan anvendes i alle formationer, men tand- eller insert-størrelse og indbyrdes afstande skal afstemmes efter formationens hårdhed.

I bløde formationer anvendes tandsæt, der graver dybt ned i boringsbunden og derved skræller store cuttings ud herfra. Sådanne tandsæt er kendetegnede ved, at tænderne er lange og tynde med stor afstand for plads til cuttings.

Lange tænder

Hårde formationer penetreres ved, at belastningen på de enkelte skæreflader knuser og løsgør små flager fra boringsbunden.

Korte tænder

For at kunne holde til de store kontakttryk består tandsættet her af korte, kraftige og tætsiddende tænder.

Rulleborekroner kan leveres med mange variationer af tandudformninger og tand-afstande, men generelt vil tandsættet på de enkelte ruller være arrangeret således, at de opfylder det generelle krav om rensning.

Figur 63 og **Figur 64** viser billeder af tandsæt bestående af hård-metal tænder belagt med tungsten karbid og tungsten karbid inserts.

Insert bits

For at opnå en skrabende virkning fra tungstenbelagte tandmejselruller kan disse være placeret med offset, som det fremgår af skitsen **Figur 65**.

Det anbefales, at rotationshastigheden for rullemejsler vælges inden for interval-lerne

Rotationshastighed

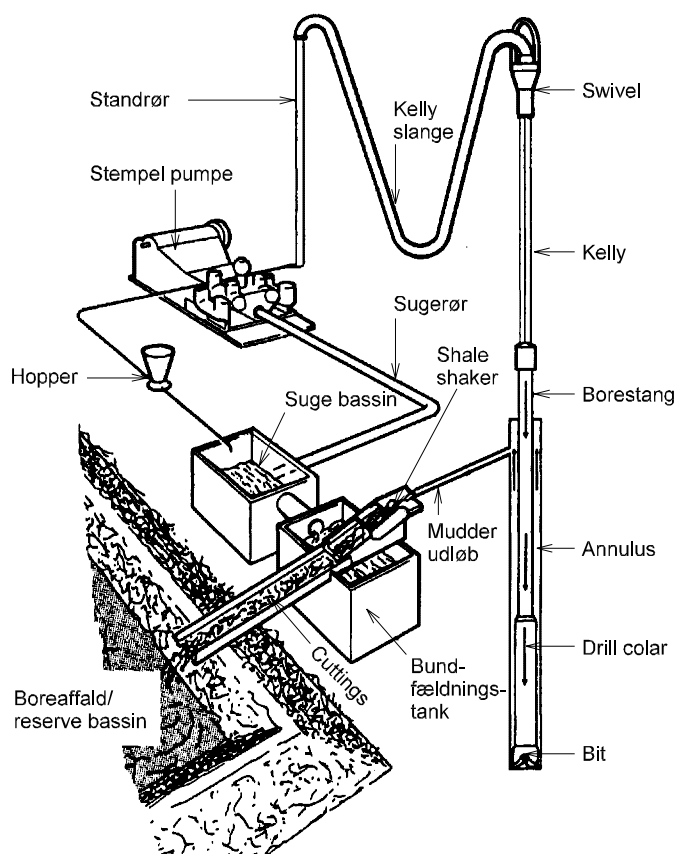
Bløde-middelhårde formationer:	70-140 RPM
Middelhårde formationer:	35-95 RPM
Hårde formationer:	20-60 RPM

Leverandørerne af rullemejsler anvender egne betegnelser for de forskellige typer, men disse kan konverteres til en særlig *IADC* kode (International Association of Drilling Contractors), der består af tre tal i kombination, hvor første tal i koden mellem 1 og 8 angiver

Mejselbetegnelser

- 1: tandmejsel med stort offset
- 2: tandmejsel med middel offset
- 3: tandmejsel uden offset
- 4: (åben for særlig udformning)
- 5: insertmejsel med lange inserts
- 6: insertmejsel med middellange inserts
- 7: insertmejsel med knop inserts
- 8: insertmejsel med keramiske inserts

Figur 66
Typisk cirkulationssystem
for rotationsboring med
direkte skylning



Tallet fra 1-4 på anden plads i koden angiver den formationshårdhed, som rullemejslen er bedst egnet til

- 1: bløde formationer
- 2: middelbløde formationer
- 3: middelhårde formationer
- 4: hårde formationer.

Det tredje og sidste tal fra 1-9 i koden betegner kaliberudførelsen, lejetætheden, lejetypen og udførelse efter særlige krav.

Rullemejslernes forbindelse til borestrengen gennem et overgangsstykke (*sub*) er altid udført som API REG gevind og som PIN.

Pindimensionen varierer med mejselstørrelsen (= diameteren i det hul, mejslen borer) efter følgende standard:

Pin dim. API REG	Mejselstørrelse
2 3/8"	2 7/8" - 4 1/2"
2 7/8"	4 5/8" - 5 1/8"
3 1/2"	5 5/8" - 7 3/8"
4 1/2"	7 5/8" - 9"
6 5/8"	9 7/8" - 12 1/4"
7 5/8"	13 3/4" - 17 1/2"

1.10 Skyllesystemet

Ved udførelse af rotationsskylleboringer anvendes der en skyllestøm til transport af løsboret materiale (*cuttings*) fra boringens bund til terræn som beskrevet i afsnit 1.4.

For såvel direkte som omvendt skylleboringsteknik indeholder skyllesystemet følgende hovedkomponenter:

- skyllemediet, der transporterer det løsborede materiale fra boringens bund til terræn
- cirkulationsenheden, der varetager den nødvendige cirkulation af skyllemediet
- borestrengen, der sammen med rør- eller slangeforbindelser og annulus udgør skyllemediets transportveje
- skyllemediereservoir, der sikrer tilstedeværelsen af det volumen af skyllemediet, der er nødvendigt for boreoperationens gennemførelse
- separationsudstyr, der udskiller det løsborede materiale fra skyllemediet.

Cuttingstransport

Skyllesystemets cirkulationsprincipper for forskellige typer af rotationsskylleboringer fremgår af **Figur 24, 25, 26** og **28** i afsnit 1.4 samt af den skematiske **Figur 66**.

Cirkulationsprincipper

1.10.1 Skyllemediet

Skyllemediet kan bestå af:

- væske
- luft
- skum

og det vælges på basis af strukturen af den formation, der skal gennembøres.

Egenskaberne og sammensætningen af væskebaseret skyllemedium (boremudder) gennemgås i afsnit 1.11.

Væskebaseret
skyllemedium

Anvendelsesområderne for boremudder er ikke så begrænsede som for de luftbaserede skyllemedier, men forarbejderne til etablering af boreplads og selve borearbejdet ved anvendelse af boremudder, der skal recirkuleres, er langt mere tidskrævende end ved udførelse af trykluftbaserede operationer.

Ved boring i hårde, stabile formationer som kalk og fjeld samt i velkonsoliderede, kohæsive morænale aflejringer er anvendelse af trykluft til at drive boreværktøjet og til at transportere cuttings den mest effektive boremetode.

Tør trykluft

Som ved anvendelse af rent vand som skyllemedium (jf. afsnit 1.11) har luften udfyldt sin mission, når den når op til terræn medbringende de løsborede cuttings. Som følge af luftens lille massefylde vil tryk på boringsbund og -væg være meget begrænset. Den kraftige udvidelse af luftvolumenet, der sker, når luften forlader boreværktøjets dyser, resulterer i en effektiv oprensning af borehullets bund, således at penetrationshastigheden for såvel rotationsværktøj som slagværktøj ikke reduceres.

God renseeffekt

Da den indre friktion mellem luftmolekylerne og mellem disse og de løsborede, faste partikler er lille, samtidig med at luftens lave massefylde ikke i sig selv giver opdrift, er det nødvendigt at etablere meget store opadrettede lufthastigheder for at transportere cuttings ud af borehullet.

Den nødvendige, opadrettede lufthastighed for en hensigtsmæssig cuttingstransport er mellem 1.000 og 2.000 m pr. minut afhængigt af cuttingsstørrelsen. Dette indebærer de i tabellen **Figur 67** angivne krav til kompressorydelser.

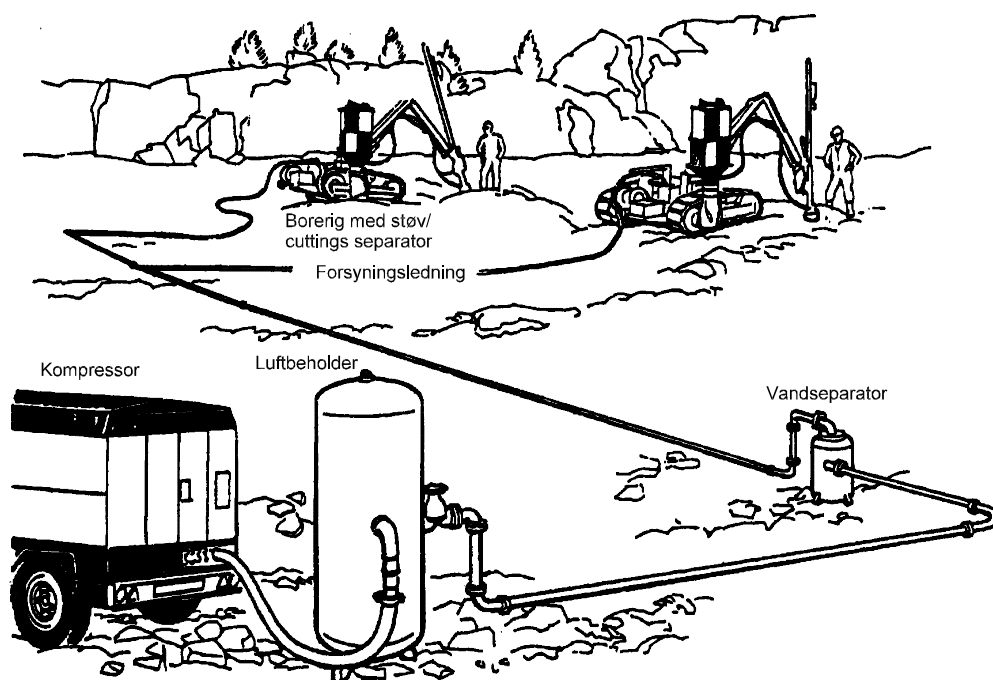
Lufthastighed

Det anses almindeligvis for uøkonomisk at skulle anvende kompressorer med større ydelse end 20-30 m³/min til at udføre boringer. Hermed begrænses anven-

Figur 67
Kompressorydelser
i relation til borestrengs-
dimension og borings-
diameter

Borestrengsdimension, udv.	Boringsdimension, diameter	Kompressorkrav m ³ /min.
2 1/2"	4"	7
	6"	15
	8"	40
3"	6"	20
	8"	42
	10"	70
5"	8"	30
	10"	60
	12"	90
	14"	160

Figur 68
Komponenter til udførelse
af tør, trykluftboring i lille
dimension



delse af trykluft som eneste skyllemedium til boringer med boringsdiametre mindre end 6" - 8".

Små hulstabiliserende
kræfter

Luftens lave massefylde begrænser endvidere anvendelsen af trykluft som skyllemedium på en anden måde. Således er det ikke muligt at mobilisere et effektivt lufttryk på bund og væg af borehullet, der kan forhindre, at der her sker indpresning af sætningsfølsomme formationer eller grundvand. Trykluft som skyllemedium egner sig derfor bedst i ikke så dybe boringer eller i tørre, ret faste formationer.

Grundvand i borehullet

Illustrationen på **Figur 68** viser en typisk, tør trykluftboreoperation i lille dimension.

Luftstrømmen kan transportere mindre mængder af indtrængt grundvand ud af borehullet. En begrænset vandmængde vil endog reducere behovet for opadrettet lufthastighed, da luft-vandblandingen har en væsentlig højere transportkapacitet end den rene, tørre luft.

Trykafhængig boreddybde

Det store problem med anvendelse af trykluft i forbindelse med vandindtrængen opstår, når det tilladte lufttryk bliver mindre end vandets hydrostatiske tryk i trykluftens udlædningsniveau. I en dyb boring vil der kunne komme til at stå vand i bore-

hullet, og på grund af vandets vægt vil lufttilledningen ikke kunne “blæse vandet ovenud af boringen”.

Er grundvandsindtrængningen i boringen meget lille, men stor nok til at fugte overfladen af de løsborede cuttings, kan det resultere i, at cuttings ved luftudtørringen hæfter sig på borestrengen og på boringsvæggen. De kan således komme til at blokere for luftpassagen. Sådanne indsnævringer kan give et hurtigt fald i lufthastigheden og opbygning af yderligere cuttingsbarrierer.

For at forhindre, at cuttings samles i klumper, der hæfter sig på borestreng og boringsvæg, kan der tilsættes små vandmængder eller en tynd boremudder til den komprimerede luft. Dette sker ved injektion i luftstrømmen, efter at denne har forladt kompressoren. Den tåge, som dannes af væske og luft, holder cuttings fugtige og adskilte under transporten ud af borehullet. Væsketilsætningen reducerer samtidig støvproblemet.

Luftvæske

Såfremt grundvandsindtrængningen i borehullet er større end den mængde, luften kan transportere bort, såfremt cuttings er store, eller såfremt annulusvolumenet er for stort til, at den nødvendige lufthastighed kan etableres med den tilstedeværende kompressor, kan problemerne normalt løses ved at anvende skum som skyllemedium.

Skum

Boreskummet fremstilles ved at injicere et vandblandet skummiddel i luftstrømmen mellem kompressoren og svirvlen på borestrengen. Ved det trykfald, der opstår, når luft-skummiddelblandingen passerer ud af boreredskabets dyser, udvider luften sig, og der dannes skum med små, tætte, tyndvæggede bobler, som presses opad i annulus som en samlet søjle.

Den store transportkapacitet er ikke alene baseret på skyllemediets hastighed, men i højere grad af det frembragte skums stabilitet. Denne kan forøges ved tilsætning af en polymer.

Stor transporttid

Polymertilsætningen vil desuden medvirke til at opbygge en tynd hinde på borehullets væg, hvilket reducerer filtratindtrængningen i permeable aflejringer.

Med stabiliseret skum kan transporthastigheden i boringens annulus nedsættes til 15-20 m pr. minut. Dette er en cirka 100 gange mindre hastighed end ved tør luft alene. Anvendelse af skum reducerer derfor kapacitetskravet for trykluftkompressoren tilsvarende. Trykluftboring med skum kan derfor anvendes til udførelse af boringer med stor diameter på linie med omvendt cirkulation af vandbaseret skyllemedium.

1.10.2 Cirkulationsenheden

Til cirkulation af skyllemediet anvendes mekanisk udstyr som

- pumper
- kompressorer

Cirkulationsmængde og tryk

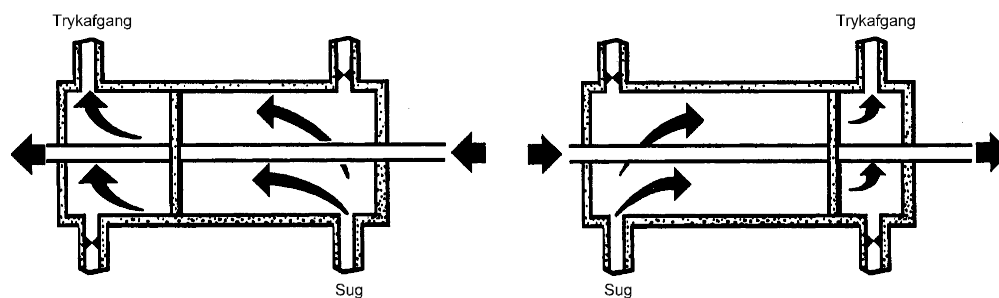
Typen af udstyret vælges ud fra kravene til cirkulationsmængde og drifstryk for at opnå den transporthastighed, som er nødvendig for at fjerne det løsborede materiale fra borehullets bund og annulus.

Transporthastighed

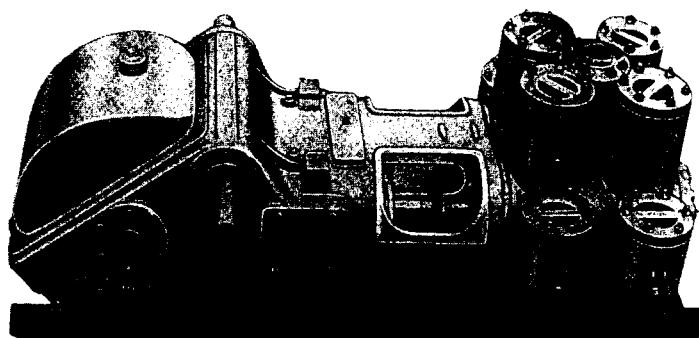
Ved anvendelse af vandbaseret cirkulationsmedium - boremudder eller skum – er den anbefalede transporthastighed i annulus 20-30 m pr. minut, mens den som nævnt for tør luft er 1.000-2.000 m pr. minut. Det er disse størrelser, som bestemmer forholdet mellem borestrengsdimensionen og borehulsdiameteren.

Det helt ideelle for at opnå den ønskede transporthastighed i annulus ved en begrænset cirkulationsmængde ville være at anvende en borestrengsdimension, der kun

Figur 69
Funktion i en dobbeltvir-
kende stempelpumpe



Figur 70
5" Duplex stempelpumpe
(Conrad)



var lidt mindre end borehulsdimensionen. Dette ville imidlertid resultere i en uhen-
sigtmæssig stor borestrengsvægt samt risiko for ukontrollerbar erosion af borehuls-
væggen som følge af friktionskræfterne i det lille annulustværsnit.

Omvendt vil en lille borestrengsdimension med tilsvarende lille gennemstrøm-
ningstværsnit, hvorigennem den nødvendige mængde cirkulationsmedium for det
store annulustværsnit skal passere, indebære meget store friktionskræfter mellem cir-
kulationsmediet og borestrengens indervæg.

Ved valg af cirkulationsenhed er det derfor ikke alene mængdekravet, men også
trykkravet til overvindelse af friktionskræfterne, der er afgørende.

Nødvendigt drivtryk

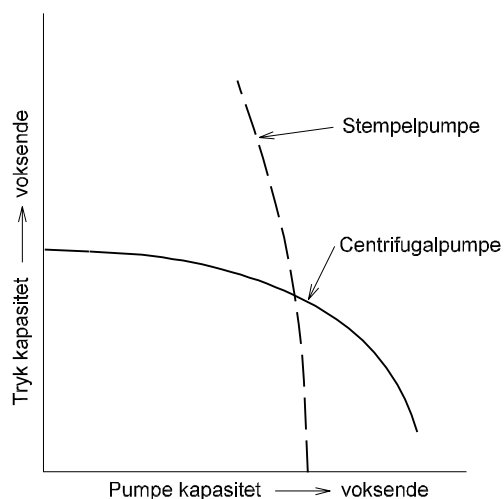
Det nødvendige drivtryk for at føre en given cirkulationsmængde gennem hele
skyllesystemet kan bestemmes som summen af

- friktionstryktab i
 - borestreng
 - dyser
 - annulus
 - rør- og slangeforbindelser
- differenstryk som følge af massefyldforskelle mellem nedpumpet cirkulationsme-
dium og cirkulationsmedium i annulus indeholdende løsborede, faste partikler.

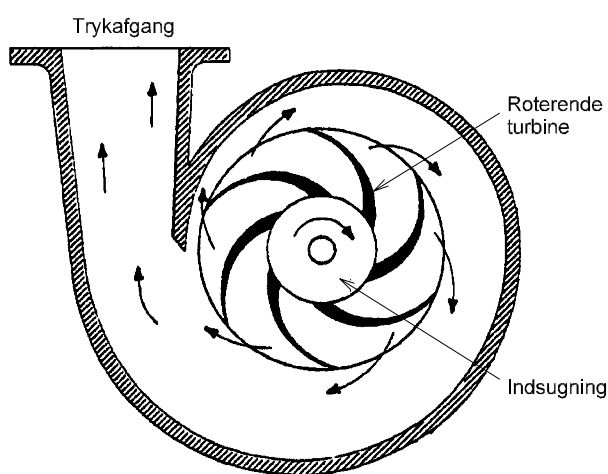
Pumper

For rotationsskylleboringer med direkte cirkulation af skyllemediet og fornuftigt valg
af forholdet mellem borestrengsdimension og borehulsdimension, vil kravet om
overtryk normalt ligge under 10 bar for boreddybder indtil 100 meter under terræn.
For meget dybe boringer vil de samlede tryktab som følge af friktionskræfterne
kunne blive flere hundrede bar.

Valget af pumpetype skal derfor tilpasses de aktuelle omstændigheder og står nor-
malt mellem stempelpumper og centrifugalpumper.



Figur 71
Sammenhørende værdier
af tryk og volumenkapaci-
tet for stempel- og centri-
fugalpumper



Figur 72
Centrifugalpumpeprincip

Stempelpumper yder for hvert stempelslag en cirkulationsmængde, som er uafhængig af det aktuelle tryk. Det er denne egenskab, der gør stempelpumpen velegnet som cirkulationsenhed ved direkte skylning, hvor det nødvendige drivtryk stiger med boredybden. Princippet for en dobbeltvirkende stempelpumpe fremgår af **Figur 69**. Stempelcylinderen har her 2 indsugningsventiler og 2 afgangsventiler.

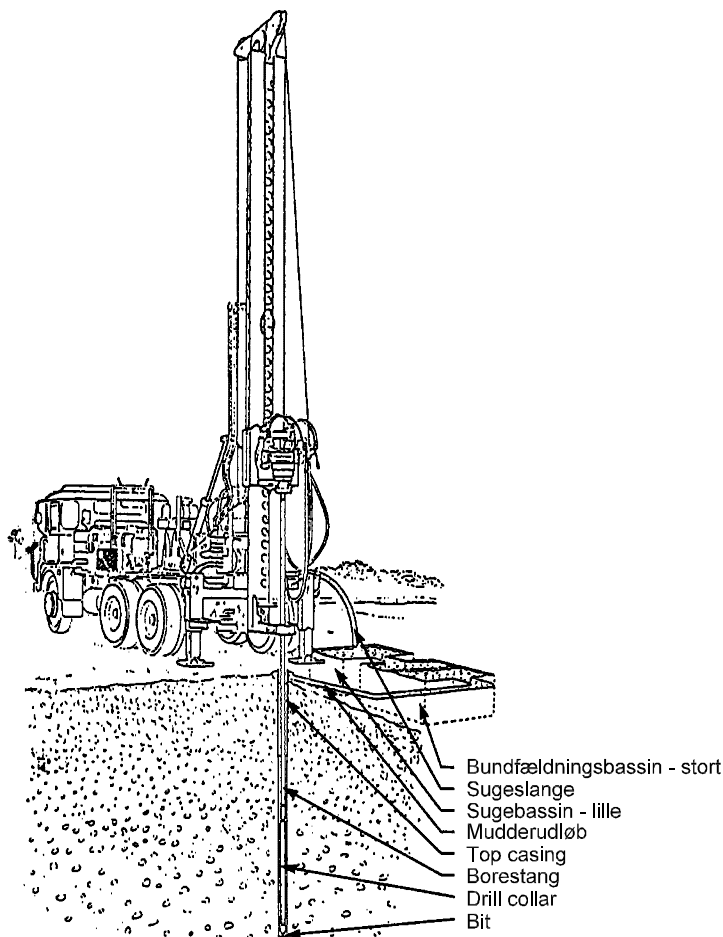
Når pumpestemplet bevæges gennem cylinderen, bliver cirkulationsmediet presset ud af afgangsstudsene foran stemplet, mens der indses en tilsvarende mængde på bagsiden af stemplet. Over- og undertryksventiler bestemmer strømningsretningen for cirkulationsmediet ind eller ud af pumpecylinderen. Ved en frem og tilbage bevægelse af pumpestemplet (cyclus) er ydelsen af den dobbeltvirkende stempelpumpe det dobbelte af cylindervolumenet. Til begrænsning af trykstød i cirkulationssystemet kan indbygges en pulsationsdæmper.

Stempelpumpen kan være opbygget med 1, 2 eller 3 cylindre. *Simplex* og *Duplex pumper* (1 og 2 cylindre) har normalt dobbeltvirkende cylindre, mens *Triplex pumper* (3 cylindre) er enkeltvirkende.

Figur 70 viser en Duplex stempelpumpe, der med 75 Hk kan frembringe et tryk på 30 bar ved 60 m³/time. Vægten af pumpeenheten uden drivaggregat er ca. 3 tons. Vægten af en centrifugpumpe med kapacitet 10 bar ved 60 m³/time vil uden drivaggregat kun udgøre ca. 10% af Duplex pumpens vægt.

Stempelpumper til
direkte skylning

	Centrifugalpumpers funktion adskiller sig fra stempelpumpers ved et begrænset maksimalt drivtryk samt faldende pumpemængde ved stigende drivtryk, som dette skematisk fremgår af Figur 71. Som følge heraf er centrifugalpumpers anvendelse begrænset til et snævert interval af mængde og tryk. Centrifugalpumper er derfor ikke velegnede til direkte skylleboringer, hvor trykkravet vokser med boreddybden. Ved omvendt skylning kan centrifugalpumper udmærket bruges ved sugeboring, hvor det nødvendige tryk og den nødvendige kapacitet er så godt som konstant. Som det fremgår af Figur 72, består en centrifugalpumpe til cirkulering af skyllebo-remedium af et snegleformet pumpehus med 1 indsugning og 1 afgang uden ventiler. I pumpehuset er placeret en turbine, som kan rotere med stor hastighed. Turbinens rotation frembringer en centrifugalkraft, der slynger skyllemediet mod pumpehusets inderside og ud af afgangsstudsens. Herved opstår et undertryk ved turbinens center, hvor indsugningen er placeret. Dette undertryk holder pumpehuset væskefyldt.
Centrifugalpumper til sugeboring	
Kompressorer	Kompressorer til at tilvejebringe den nødvendige luftmængde og tryk for direkte eller omvendt cirkulation samt for operation af lufthamre (DTH) mv. fungerer efter samme princip som stempel- og centrifugalpumperne og benævnes efter deres komprimeringsprincip på følgende måde – stempelkompressor – rotationskompressor – skruekompressor.
	1.10.3 Borestrengen Borestrengen og rør- eller slangeforbindelser, der udgør transportvejen fra cirkulationsenheden til boringens bund, skal have dimensioner, der sikrer så små tryktab som muligt. Herved bevares det tryk, der efter passage af boreredskabets dyser omsættes til hastighed for at rense boringsbund og skæreværktøj samt for at transportere cuttings via annulus til terræn.
Begrænsning af tryktab	
	1.10.4 Skyllemediereservoir Et skyllemediereservoir har to hovedfunktioner – at være lager for et tilstrækkeligt volumen af rent, cuttingsfrit skyllemedium, klar til anvendelse i borehullet – at fungere som et effektivt bundfældningsbassin for cuttings bragt op fra borehullets bund af skyllemediet.
Transportable bassiner	Skyllemediereservoir – mudderbassinet – kan bestå af transportable tanke, der kan kobles sammen, eller det kan etableres ved udgravning fra terræn.
Udgravede bassiner	Såfremt mudderbassinet er udgravet fra terræn, må det normalt tætnes med en membran, alternativt med boremudder, for at undgå, at det kommer i berøring med muld- eller tørvelag. I modsat fald kan boremudderet forurennes med humussyre. Mudderbassinets volumen kan derfor kun udnyttes for den del, der ligger under vækstlagsgrænsen. Figur 73 viser et typisk boremudderbassin til at udføre rotations-skyleboring med direkte cirkulation.
Opdeling af bassiner	Boremudderet, der presses op af borehullet, føres til et sedimentationsbassin. Efter at have passeret sedimentationsbassinet med en opholdstid, i hvilken de groveste



Figur 73
Arrangement af mudder-
bassin for direkte skylning

cuttings bundfældes, løber boremuddret over en tærskel til sugebassinet. Herfra op-pumpes boremuddret med de finere restpartikler og trykkes til boringens bund gen-nem borestrengen.

Der er ingen faste regler for selve udformningen af mudderbassinet, men følgende retningslinier kan gives for bassinvolumen.

Det anbefalede bassinvolumen sættes i relation til det endelige boringsvolumen og bør udgøre ca. 3 x boringsvolumenet fordelt på to afsnit

Sugebassin: 1 x boringsvolumen for at sikre, at der altid er tilstrækkeligt boremudder til opfyldning af borehullet

Sedimentationsbassin: 2 x boringsvolumen, hvoraf halvdel skal reserveres til det til-svarende cuttingsvolumen, der bliver sedimenteret i bassinet under tærsklen til sugebassinet

Dybden af mudderbassinets to afsnit bør være min. 2 meter, og udgravningsskrå-ningerne skal være stabile.

Såfremt sedimentationsbassinets volumen reduceres, fordi cuttings i stedet for vil blive oprenset fra dette under boreprocessen, skal en sådan oprensning ske, mens cirkulationen gennem sedimentationsbassinet er stoppet. I modsat fald vil en del af allerede sedimenterede cuttings blive ført over i sugebassinet under oprensningspro-cessen.

Oprensning af bassin

1.10.5 Separationsudstyr

Separationsudstyr til at udskille cuttings inden recirkulering af skyllemidlet er den komponent i skyllesystemet, der oftest udelades.

Slitage. Boretryk

Ved rotationsskylleboringer med direkte cirkulation indebærer en udeladelse et uhensigtsmæssigt slid, specielt på cirkulationsenheden. Samtidig vil cirkulationsmediets massefylde stige.

Er cirkulationsenheden en stempelpumpe, vil dennes tryk- og volumenkapacitet hurtigt blive reduceret som følge af, at ikke udskilte, faste partikler har en slibende virkning på stempler og foringer, hvilket giver passage fra tryk- til sugesiden af stemplet.

Centrifugalpumper er mindre slidfølsomme, fordi der er en større spaltevidde mellem turbinehjul og pumpehus. De faste partikler vil dog ved centrifugalkraftens hjælp med tiden gøre denne spaltevidde større med en reduktion af pumpeeffekten til følge.

Den del af de løsborede materialer, der ikke er blevet bundfældet i skyllemidlerservoirets sedimentationsafsnit, bør derfor udskilles ved separation under anvendelse af rysteværk, hydrocyklon eller centrifuge som beskrevet i afsnit 1.11.5.

1.11 Boremudder

Anvendelse af boremudder blev indført samtidig med, at rotationsboretækningen med direkte cirkulation af skyllemidlet blev taget i anvendelse for ca. 100 år siden. Oprindeligt var hovedformålet med boremuddet at fjerne det løsborede materiale fra boringens bund, så snart det var løst, og bringe dette op til terræn. Med udviklingen af nye skylleboretækninger og erkendelsen af, at boremudder i den rigtige sammensætning kan øge borehastigheden og samtidig reducere visse boretekniske problemer, er den oprindeligt meget simple boremudder blevet udviklet til en mere kompliceret blanding af væske, faststoffer og kemikalier.

I boremudderteknologien skelner man normalt mellem boremudder, hvor grundvæsken er vand, og boremudder, hvor olie er hovedbestanddelen.

Til de boreopgaver, som omtales i det følgende, anvendes af bl.a. miljømæssige hensyn kun vandbaseret boremudder.

Boremudderkomponenter

Boremudder på vandbasis består normalt af de tre hovedkomponenter

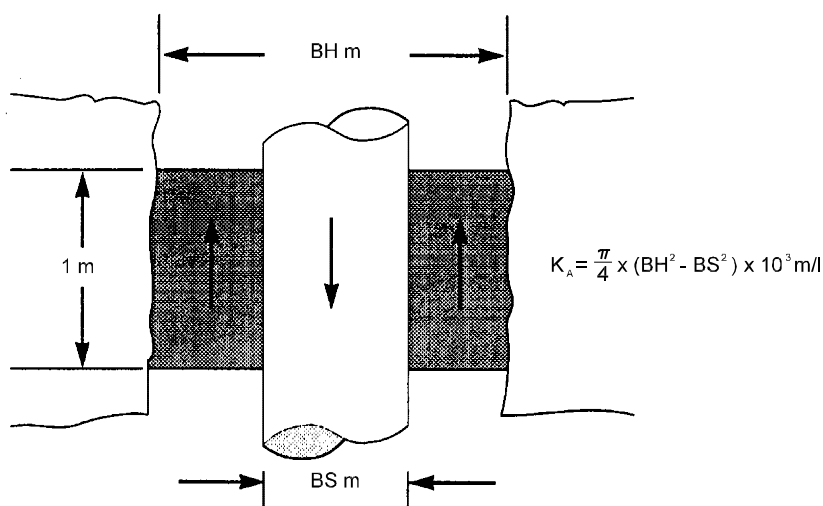
- vand
- ler
- vægtmaterialer

hvortil der kan sættes kemikalier, som fx CMC, for at opnå de mudderegenskaber, der er mest hensigtsmæssige under hensyn til miljøet og de jordlag, som skal gennembores.

1.11.1 Boremudders egenskaber

Boremudder har følgende funktioner:

- at rense boringsbunden for løsboret materiale (*cuttings*) og transportere dette op til terrænniveau
- at holde cuttings og vægtmaterialer svævende ved stop i væsecirkulationen, dvs.
- at hindre *sedimentering* (bundfældning) af de faste partikler ved stop
- at udskille cuttings i terrænniveau før recirkulering



Figur 74
Bestemmelse af
annulusvolumen, K_A

- at balancere det *hydrostatiske tryk* (poretryk, formationstryk) i jordlagene for at hindre strømning fra disse ind i borehullet
- at afsætte en tynd *impermeable* (uigennemtrængelig) *filterkage* (hinde) på borehulsvæggen for at hindre borevæsketab, forurening/tilstopning af permeable lag samt for at stabilisere borehullet
- at køle og smøre
- at begrænse korrosion på boreudstyret
- at reducere belastninger på boreenheden

For at opnå en hurtig *penetrationshastighed* (borehastighed) er det vigtigt, at såvel boringens bund som borekronen til enhver tid er rensat for cuttings. Hvis der findes cuttings på borekronens tandsæt og på boringens bund vil borekronens skærende virkning i de intakte aflejringer reduceres, og en del af den tilførte energi bruges til finmaling af det løsborede materiale og sløvslibning af borekronen. Begge forhold resulterer i en nedsat penetrationshastighed og forøgede omkostninger pr. udført boremeter.

Ved direkte skylning opnås de nødvendige dynamiske trykdifferencer og bore-muddershastigheder ved korrekt dimensionering af pumper, borestreng og bitdyser i forhold til borehulsdiameter. Ved omvendt skylning etableres de nødvendige trykdifferencer som hydrostatiske trykspring mellem muddersøjlen i annulus og muddersøjlen i borestammen.

Det trykfald, der ved den direkte skylning opstår i borekronens dyser, og ved den omvendte skylning sker i grænsezonen mellem *annulus* (det ringformede rum mellem boringsvæggen og borestrengen), borebitprofilet og hultværsnittet i borestrengen, omdannes til hastighed.

Ved begge skyllemetoder opnås en forøget væskehastighed omkring borekronen, og denne forøgede hastighed bevirker, at skyllemediet er i stand til at rense borekronens tandsæt og skylle det løsborede materiale bort fra boringens bund og borekronens sider.

For at forhindre, at cuttings falder tilbage gennem borevæsken mod boringens bund som følge af tyngdekraftens virkning på enkelte partikler, er det nødvendigt, at boremuddret har en opadrettet hastighed, der er større end faldhastigheden for de enkelte cuttings.

Borehulsrensning og
cuttingstransport

Krav til boremuddrets
stigningshastighed

Faldhastighed for cuttings

For en stillestående væskesøjle kan faldhastigheden for en kugleformet partikel beskrives ved hjælp af *Stokes lov*:

$$V_1 = \frac{56 \cdot g \cdot D^2}{\mu} \cdot (\gamma_1 - \gamma_2)$$

hvor V_1 = Partiklens faldhastighed, cm/sek

g = Tyngdens acceleration, 98 cm/sek²

D = Partikeldiameter, cm

γ_1 = Partiklens massefylde (rumvægt), g/cm³

γ_2 = Væskens massefylde, g/cm³

μ = Væskens viskositet, centipoise, cP

Det fremgår heraf, at både boremudders massefylde og viskositet er vigtige faktorer til reduktion af faldhastigheden for en cuttingspartikel af en bestemt størrelse og vægt.

Den opadgående hastighed for boremuddret skal ikke alene modsvare faldhastigheden for cuttings, men skal være væsentlig større, fordi en lang transporttid i forhold til borehastigheden betyder

- forøgelse af boremudders rumvægt i annulus, der vil kræve forøget pumpetryk/hydrostatisk differens samt risiko for brud i boringsvæg med tabt cirkulation som følge
- forlængelse af tidsintervallet fra formationsmateriale er løsboret, til cuttings når terrænniveau for prøveudtagning. Dette vanskeliggør en nøjagtig angivelse af cuttingsprøvens oprindelige placering i jordartsprofilet
- sortering af cuttings/partikler i størrelsesorden, således at det fine materiale fra formationen når op til terræn før det grovere.

Cirkulationshastighed

Ved direkte skylning bestemmes boremudders cirkulations-hastighed i annulus (V_2) i et bestemt niveau ved:

$$V_2 = \frac{Q_p}{K_a}$$

hvor Q_p = Pumpeydelse, l/sek

K_a = Annulusvolumen, l/m bestemt som differensvolumenet pr. meter mellem borehul og borestreng, jf. **Figur 74**.

Boremudders cirkulationshastighed i annulus (V_2) bør normalt ligge i intervallet 0,3 - 0,7 m/sek.

Mindre cirkulationshastigheder som følge af manglende kapacitet af pumpeudstyr eller for lille borestrengsdiameter i forhold til borehulsdiameter, kan delvist kompenseres ved forøgelse af viskositeten af boremuddret. En sådan nødløsning kan dog ikke anbefales, da forøget viskositet stiller forøgede krav til pumpetryk, samtidig med at muddertrykket i annulus forøges kraftigt, såfremt borehastigheden ikke nedsættes væsentligt for at reducere cuttingsmængden pr. annulusvolumet (K_A).

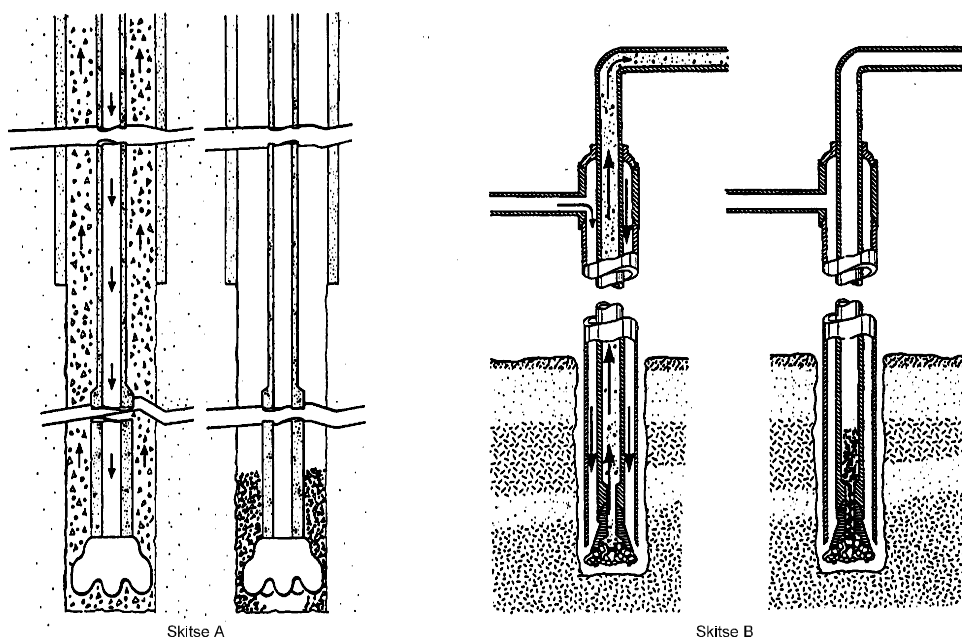
Største boringstværsnit

Ved bestemmelse af mudderhastigheden V_2 skal der tages hensyn til det største boringstværsnit, som kan være placeret i det anvendte standrør, i de nedsatte casings, ved skift af boringsdimension eller i *kaviteter* (hulrum).

Bliver mudderhastigheden for lille i sådanne tværsnit, vil cuttings i bedste fald svæve rundt her og i værste fald falde tilbage og pakke omkring borestrengen ved stop af cirkulationen.

Borestrengsdimension, udv.	Boringsdimension diameter	Pumpeydelse, Q_P m ³ /time
2 2"	4"	7
	6"	14
	8"	42
3"	6"	20
	8"	40
	10"	66
5"	8"	28
	10"	55
	12"	87
	14"	125

Figur 75
Pumpeydelse i relation til
borestrengsdimension og
boringsdiameter



Figur 76
Borehulsproblemer ved
sedimentation af cuttings

I tabellen, **Figur 75**, er angivet anbefalede pumpeydelse, Q_P , for forskellige boringsdimensioner og sammenhørende borestrengsdimensioner for opnåelse af en cirkulationshastighed, V_2 , på ca. 0,4 m/sek.

Når den opadgående cirkulationshastighed, V_2 , for borevæsken bliver mindre end faldhastigheden, V_1 , for det løsborede formationsmateriale, vil dette falde ned mod boringens bund med en hastighed svarende til differensen $V_1 - V_2$.

Ved stop af cirkulationen bliver V_2 nul, og den resulterende faldhastighed for cuttings vil svare til en bestemmelse af V_1 under anvendelse af Stokes lov.

Under boreoperationen kan det ikke undgås, at cirkulationshastigheden lejlighedsvis bliver nul.

Dette sker planlagt ved

- indbygning af borestænger i borestrengen
- udskiftning af borekrone
- installation af evt. casing
- borehulslogging

Hindring af sedimentering

Stop af cirkulation

- arbejdspauser med pumpestop
- indbygning af filterkonstruktion mv. og kan uplanlagt ske ved
- break down på overfladeudstyr (boremaskine og pumper)
- brud på borestreng
- *lost cirkulation* (mistet væskedirkulation til terrænniveau)
- pakket annulus
- stoppede dyser i borekrone.

For at undgå de problemer, som en sedimentation af cuttings i og omkring borekrone og borestreng medfører, og som fremgår af skitserne i **Figur 76**, er det nødvendigt, at borevæsken – boremudderet – har egenskaber, der reducerer faldhastigheden, V_1 , til et minimum og helst stopper denne helt.

Rumvægt

Som det fremgår af Stokes lov, er faldhastigheden for en bestemt cuttingsstørrelse direkte proportional med forskellen mellem cuttingsrumvægten og borevæskens rumvægt, idet det er denne forskel, som bestemmer opdriften på cuttings.

Viskositet

Faldhastigheden, V_1 , kan derfor reduceres ved at forøge borevæskens massefylde, γ_2 . Faldhastigheden er endvidere omvendt proportional med borevæskens viskositet, μ . Borevæskens *viskositet*, μ , er væskens modstand mod strømning (tykflydighed) og dermed afgørende for den bremsende friktion mellem cuttingsoverfladen og borevæsken. Den forlænger faldvejen og reducerer faldhastigheden for en cuttingspartikel som skitseret på **Figur 77**.

Hastighedsfordeling

Viskositeten, μ , har ikke en fast værdi for en bestemt borevæske. Ud over at være afhængig af temperaturen, som det fremgår af tabellen, **Figur 78**, kan den også afhænge af forskelle i hastigheden fra sted til sted i væsken, hvis væsken har et indhold af faste partikler. **Figur 79** viser en væske, som bevæger sig i et rør, hvor pilenes længde angiver væskens hastighed. Langs rørvæggen er væskenhastigheden nul i et tyndt væskelag, mens hastigheden er størst i rørets centerlinje.

Mellem hvert væskelag er der en friktionsmodstand mod strømningen. For at overvinde denne modstand må væsken påføres en bevægelseskraft af samme størrelse. Denne bevægelseskraft, der forskyder væskelagene i forhold til hinanden, benævnes “forskydningsspændingen” (engelsk: *shear stress*), mens hastigheden mellem væskelagene forårsaget af denne kraft benævnes “forskydningshastigheden” (engelsk: *shear rate*).

Viskositeten er defineret som:

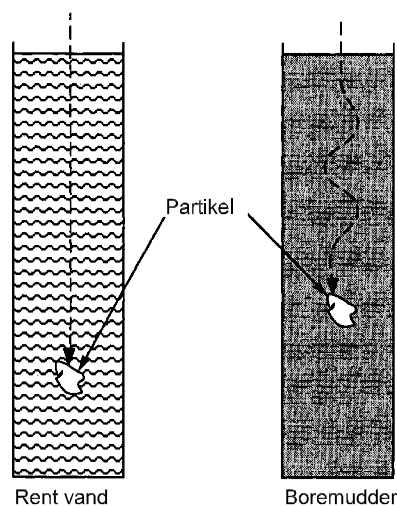
$$\mu = \frac{\text{Forskydningsspænding}}{\text{Forskydningshastighed}}$$

og afhænger af basisvæsken samt af koncentrationen og spredningen (*homogeniteten*) af de heri værende faste stoffer. Friktionen opstår nemlig dels mellem væskemolekylerne, mellem disse og de faste partikler samt mellem de faste partikler indbyrdes.

Plastisk viskositet

Den del af strømningsmodstanden (forskydningsspændingen), som hidrører fra den mekaniske friktion, benævnes plastisk viskositet. Da den plastiske viskositet vokser med forøget partikelindhold i væsken, må dette holdes så lavt, at det næsten svarer til partikelkoncentrationen for de stoffer, som er tilsat væsken, for at denne kan opfylde sin funktion. Partikelkoncentrationen fra cuttings søges derfor fjernet ved udskillelse.

Den plastiske viskositet er ikke til stede, når væsken er i ro, da friktionen jo kun optræder under bevægelse. For at reducere og evt. stoppe faldhastigheden for cut-

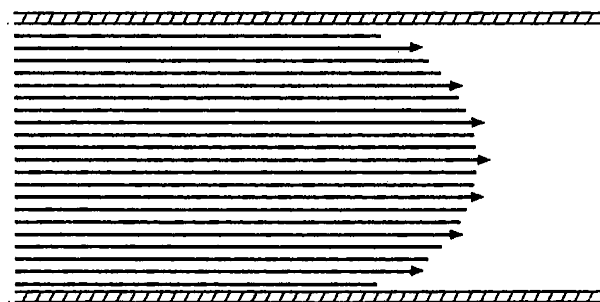


Figur 77
Faldvej for partikler i
væske

Viskositet, m i millipoise (mp)										
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	17,04	17,32	16,74	16,19	15,68	15,19	14,73	14,29	13,67	13,48
10	13,10	12,74	12,39	12,06	11,75	11,45	11,16	10,88	10,60	10,34
20	10,09	9,81	9,61	9,38	9,16	8,95	8,75	8,55	8,36	8,18
30	8,00	7,83	7,67	7,51	7,36	7,31	7,06	6,92	6,79	6,66
40	6,54	6,42	6,30	6,18	6,08	5,97	5,87	5,77	5,68	5,88
50	5,29	5,40	5,32	5,24	5,15	5,07	4,99	4,92	4,84	4,77
60	4,70	4,63	4,56	4,50	4,43	4,37	4,31	4,24	4,19	4,13
70	4,07	4,02	3,96	3,91	3,86	3,81	3,76	3,74	3,66	3,62
80	3,57	3,53	3,48	3,44	3,40	3,36	3,32	3,28	3,24	3,20
90	3,17	3,13	3,10	3,06	3,03	2,99	2,96	2,93	2,90	2,87
100	2,84	2,82	2,79	2,76	2,73	2,70	2,67	2,64	2,62	2,59

1 dyn x sek/cm²; 1 gram x sek/cm²; 1 poise = 1000 millipoise

Figur 78
Vands viskositet som
funktion af temperaturen



Figur 79
Hastighedsfordeling for
væskestrøm i rør

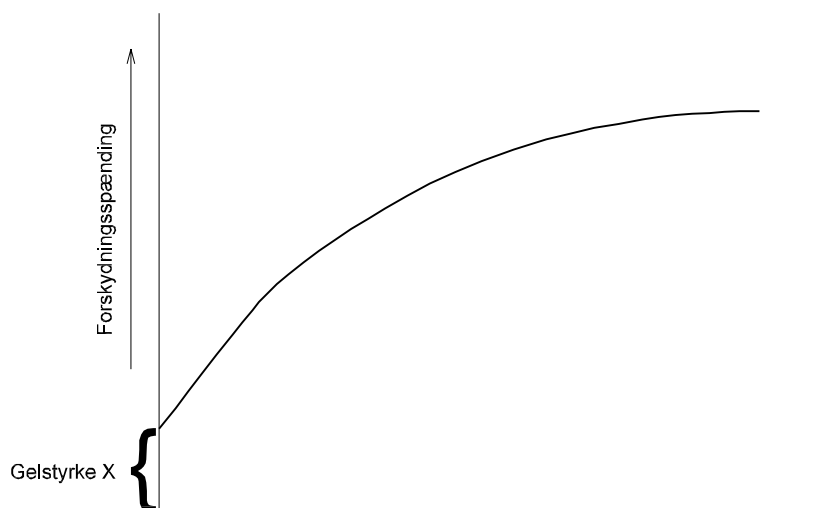
tings og vægtmaterialer, tilsættes borevæsker derfor aktivt ler (bentonit) eller polymer, som giver væsken tiksotrope egenskaber.

At en væske er *tiksotrop* betyder, at den under langsom bevægelse er tyktfyldende (høj forskydningsstyrke), under stilstand danner en gel og under hurtig bevægelse bliver tyndere (lav forskydningsstyrke).

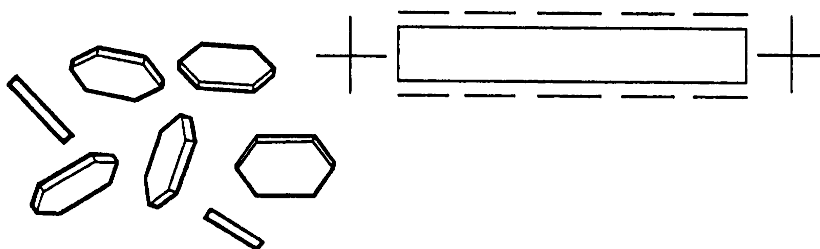
Netop disse egenskaber er vigtige for boremudders funktionen, idet væsken har mi-

Tiksotropi

Figur 80
Viskositetsvariation
i tiksotropisk boremudder

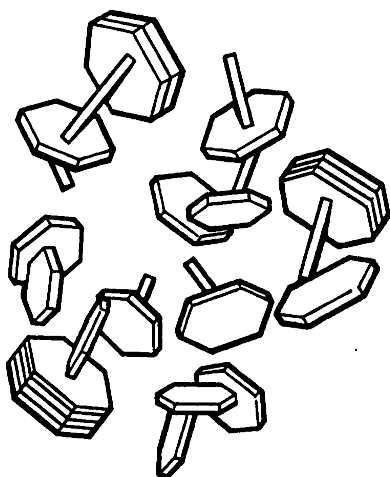


Figur 81
Elektriske overflade-
ladninger på bentonit-
partikler



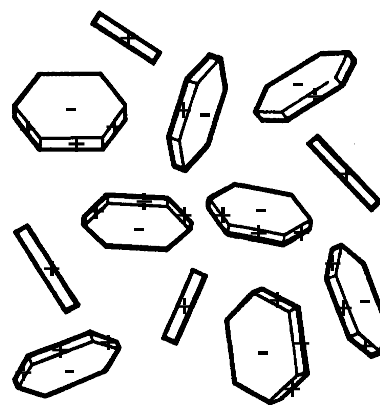
Figur 82
Bentonitpladestruktur
efter gelling

82



Figur 83
Boremudderstruktur ved
stor cirkulationshastighed

83



nimum viskositet, hvor bevægelseshastigheden er stor i skyllesystemet (borestreng og borekrone med dyser), har forøget viskositet, når den bevæger sig opad i annulus og transporterer cuttings og har gelkonsistens, der gør det muligt at holde cuttings og vægtmaterialer svævende, når cirkulation af boremuddret stoppes.

For en typisk boremudder med tiksotrope egenskaber kan viskositeten variere som angivet på **Figur 80**.

En bestemt kraft (forskydningsspænding), X , må påføres væsken, før denne begynder at bevæge sig og forskydnings-hastigheden bliver større end 0. Forskydnings-

spændingen, X , er således den kraft, der skal til for at bryde muddergelen og igangsætte cirkulationen.

Som det fremgår af grafen, er denne ikke en ret linie, men en kurve med faldende hældningskoefficient for stigende forskydningshastighed. For rent vand vil grafen være en ret linie gennem 0-punktet.

En fuldt dækkende forklaring af den kemi, der ligger bag dannelse af gel i boremudder, er kun af betydning for producenter af tilsætningsstoffer.

For at forstå, hvorfor boremudder har nogle helt specielle egenskaber, kan det være hensigtsmæssigt at forestille sig dimensionerne på de lerpartikler, som boremuddret er opbygget af. Disse partikler er pladeformede, og hvis de blev forstørret kraftigt op, ville deres dimensioner i de tre retninger svarende til dimensionerne på et ark A4-kopipapir. Altså meget stor udstrækning i de to retninger og en meget lille udstrækning i den tredje retning.

Faktisk er udstrækningen i denne tredje retning kun af størrelsesorden som nogle få molekyler. Det er disse forhold, som giver lerpartiklerne deres meget specielle egenskaber: De vil for det første synke meget langsomt i en væske – som “et faldende blad” – og der vil for det andet være en lang række elektriske kræfter, som tiltrækker og frastøder partiklerne i forhold til hinanden – som, når materialet optræder som ler, giver dette dets kohæsive egenskaber.

Elektriske ladninger

Når de *submikroskopiske* ($< 2\mu\text{m}$), *pladeformede partikler* af bentonit, bestående af montmorillonit, blandes i vand, kvælder de ud under vandoptagelse og danner elektriske ladninger på overfladen, men forbliver som partiklen elektrisk neutrale.

Kvældning

Som det fremgår af **Figur 81**, er en bentonitplades flader negativt ladede, mens kanterne er dækket af positive ladninger.

Positive og negative ladninger tiltrækker hinanden, mens ens ladninger frastøder hinanden som polerne på magneter. Dette resulterer i, at pladerne i stillestående væske orienterer sig som illustreret på **Figur 82**, hvorved en gel bliver dannet.

Når boremuddret igen sættes i bevægelse ved cirkulationen, bliver de elektriske tiltrækningskræfter overvundet, og det dannede gelgitter bliver brudt som vist på **Figur 83**.

Boremudder baseret på polymer opfører sig anderledes, idet denne type boremudder ikke danner gel, men udvikler en høj viskositet, når væsken er i ro. Når polymervæsken sættes i bevægelse, vil der stort set være proportionalitet mellem forskydningsspænding og forskydningshastighed (konstant viskositet).

Benævnelsen “flydegrænse” (engelsk: *yield point*) er et mål for de dynamiske, elektriske tiltrækningskræfter, der findes i boremuddret under bevægelse, og som vil medføre geldannelse, hvis væsken kommer i ro.

Yield point

Den mindste forskydningskraft (forskydningsspænding), der skal til for at bryde muddergelgitteret, benævnes “gelstyrke” (engelsk: *gel strength*).

De rheologiske egenskaber: viskositet, flydegrænsen og gelstyrken er således særdeles beskrivende for boremuddrets funktion som transportvæske og midlertidig parkering af cuttings mv.

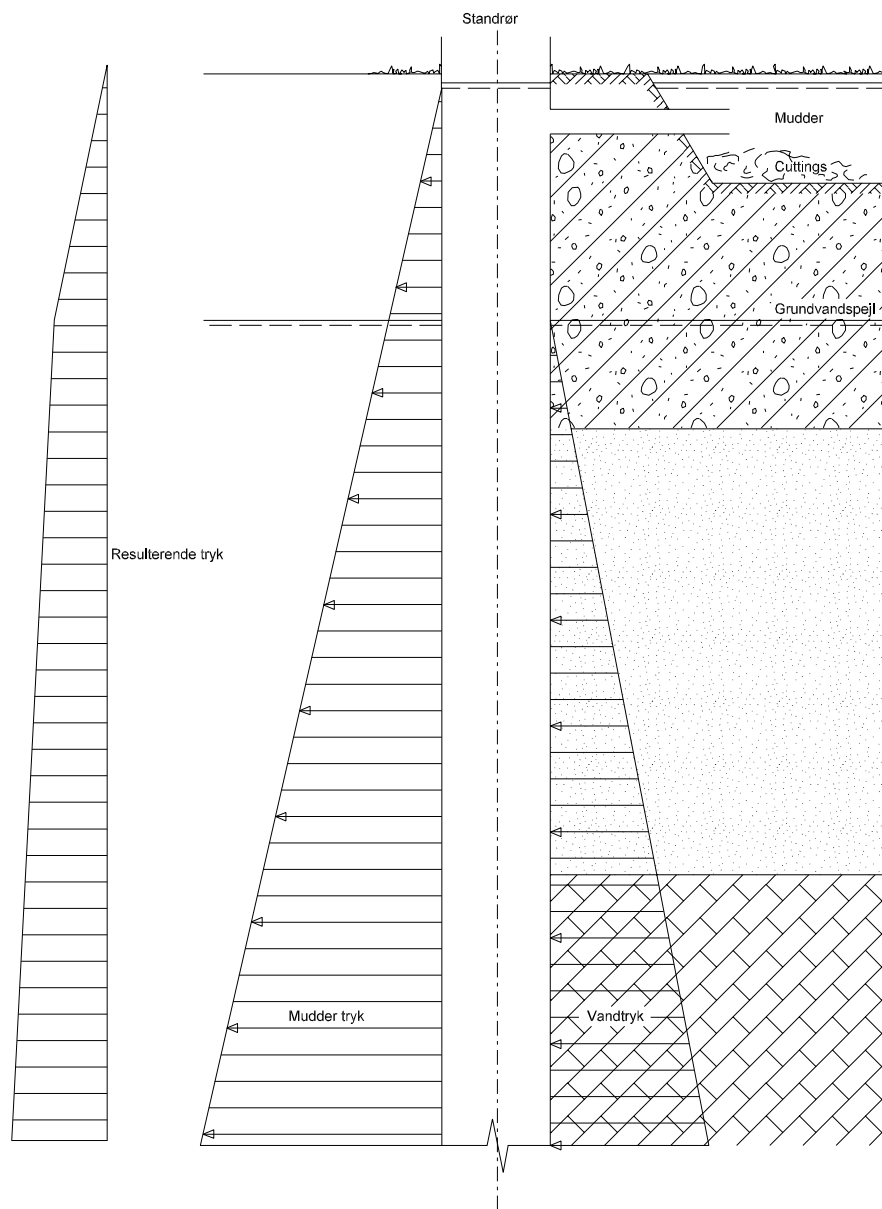
Boremuddret skal have egenskaber, som gør det muligt let at udskille cuttings fra cirkulationssystemet, når de er blevet bragt op til terræn.

Udskillelse af cuttings

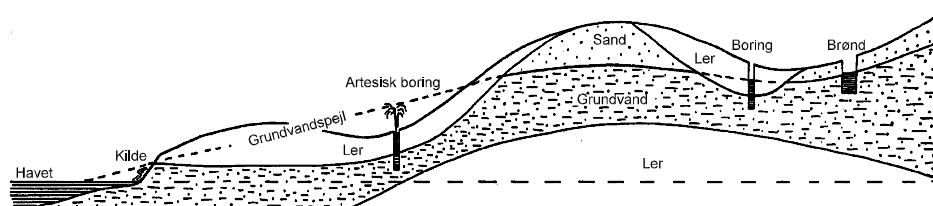
Såfremt cuttings fra det netop gennemborede lag recirkuleres i systemet, vil det ud over ekstra slitage på skyllesystemets komponenter (pumper, borestreng og -bit) resultere i, at

- prøvematerialet udtaget som cuttings ikke er repræsentativt for det netop gennemborede lag
- cuttings indeholdende mineraler eller forurening, som er skadelige for miljøet eller

Figur 84
Resulterende stabiliserende muddertryk på boringsvæg



Figur 85
Artesisk tryk som følge af variationer i aflejringer og terrænforhold



for boremudders stabilitet, vil kunne smitte formationerne og boremudders bestanddele.

Egenskabskonflikt

I et vist omfang vil større cuttings kunne blive bundfældet i mudderbassinets bundfældningsafsnit. Såfremt boremuddret imidlertid har de ønskede egenskaber for transport og reduktion af cuttings faldhastighed i borehullet, opnået ved tilsætning af bentonit eller polymer, vil disse egenskaber også modarbejde en sedimentation i

mudderbassinet, hvor gennemstrømningshastigheden er lille. Ved anvendelse af sådant tiksotrop boremudder må cuttings derfor udskilles ved hjælp af mekanisk udstyr som

- stationære sigter (risteværk)
- vibrerende sigter (rysteværk)
- hydrocykloner
- centrifuger, m.v.

Alle aflejringer/formationer, som gennembøres er mere eller mindre porøse. At *aflejringerne er porøse*, skyldes, at der mellem de faste partikler er større eller mindre åbninger (porer). Over grundvandspejlets beliggenhed kan disse porer være luftfyldte og under dette fyldt med væske (porevæske). Væsken i porevolumenet vil udøve et tryk på omgivelserne. Dette tryk benævnes *poretrykket* eller *formationstrykket*.

Balancere
formationstrukket

Hvis der er kanaler, der forbinder formationens porer, kan porevæsken ved trykdifferenser flyde gennem disse kanaler med en større eller mindre hastighed. Formationen betegnes da som permeabel, og porekanalernes størrelse er bestemmende for permeabilitetens størrelse.

Permeable formation

Når et borehul åbnes med boreudstyret, vil poretrykket søge at presse porevæsken ud af porerne og ind i boringen. Afhængig af formationens art kan udtrængningen af porevæsken resultere i erosion af borehulsvæggen og gøre denne *instabil* (sammenfald).

Borehulserosion

Ud over at transportere cuttings fra boringens bund til terræn skal boremuddret derfor også påvirke boringsvæggen og dermed porekanalernes forbindelse til boringsvolumnet med et modtryk, som er mindst lige så stort som formationstrykket i enhver dybde.

Formationstrykket svarer normalt til det hydrostatiske tryk fra væsken i porerne i den dybde, hvori trykket betragtes. Det kan bestemmes af følgende formel:

Hydrostatisk tryk

$$P_H = \rho \cdot D \cdot 0,0981$$

hvor P_H = hydrostatisk tryk, bar

ρ = massefylden af porevæsken, kg/liter

D = dybde under den frie væskeoverflade kun påvirket af atmosfæretrykket, m

Det fremgår heraf, at det hydrostatiske tryk, P_H , kun afhænger af væskens massefylde, ρ , og dybden under væskens frie overflade, D, og ikke af vægten af de overliggende jordlag.

For en boring, der er under udførelse ved anvendelse af omvendt skylning, vil den hydrostatiske trykfordeling for formationsvandet og for boremuddret normalt være som angivet på skitsen i **Figur 84**.

Når det hydrostatiske tryk i et jordlag svarer til en fri væskehøjde, der er højere end afstanden fra laget til terræn på borestedet, benævnes et sådant formationstryk som *artesiske*. Artesiske tryk i et jordlag skyldes normalt, at dette lag har hydraulisk forbindelse til et reservoir (væskefyldt volumen), der er beliggende i et højere niveau end terrænniveau på borestedet, som dette fremgår af **Figur 85**. Artesisk tryk blev først erkendt som et fysisk fænomen, der optræder i engene omkring den franske by Artois – deraf betegnelsen.

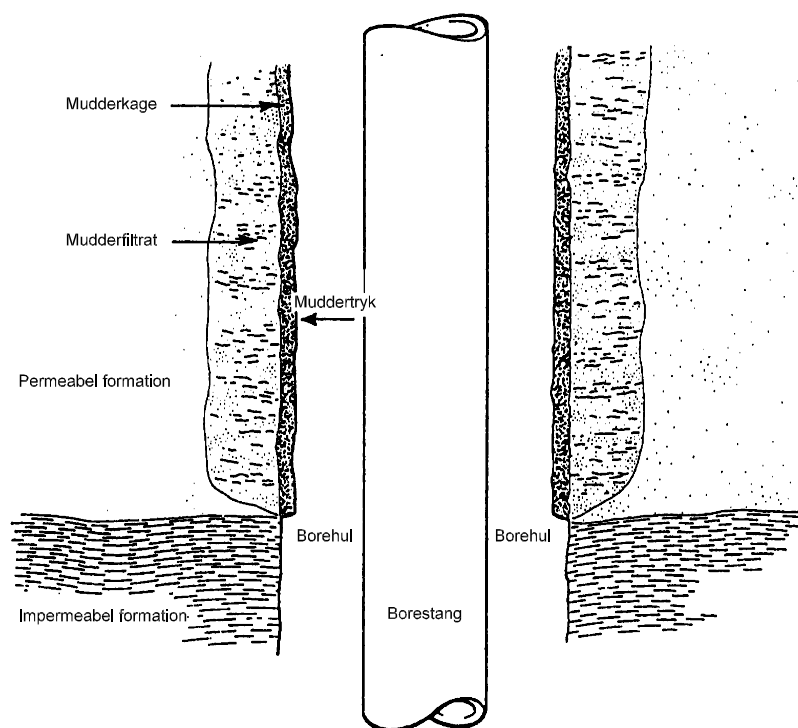
Artesisk tryk

Et forhøjet formationstryk i forhold til det hydrostatiske tryk kan desuden forekomme, hvis det aktuelle lag er helt indesluttet i impermeable lag eller har forbindelse til et lag med et gastryk, som er større end det hydrostatiske.

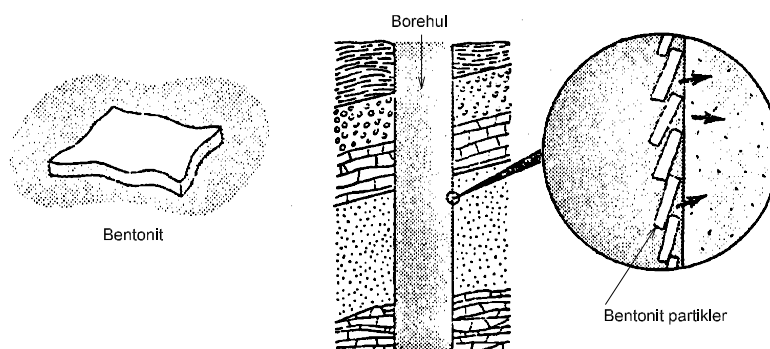
Det artesiske/forhøjede formationstryk kan dog aldrig blive højere end *overlejrings-*

Overleveringstryk

Figur 86
Dannelse af mudderkage
på boringsvæg i perme-
able aflejringer



Figur 87
Effektiv, tynd mudderkage
dannet af bentonitflager



tryk (den samlede vægt af jordpartikler og porevæske i den overliggende formation).

Den mulige tilstedeværelse af de her omtalte trykforhold skal vurderes og indregnes i det nødvendige hydrostatiske modtryk fra boremuddret. Dette tryk kan ligeledes bestemmes af ovenstående formel, hvor

- massefylden fra porevæsken erstattes af massefylden for boremuddret
- og
- dybden D er højdeforskellen mellem det niveau, som modtrykket skal bestemmes for, og det niveau, hvori udløb af boremudder sker fra boringer over, under eller i terrænniveau.

Trykbalance

Det er således ikke tilstrækkeligt, at der er trykbalance mellem formationstryk og boremuddertryk ved boringens slutdybde. Der skal være balance og helst overbalance fra boremuddertrykket i alle dybder under hele boreprocessen, hvorfor der skal tages hensyn til et eventuelt lag med artesisk tryk.

Mens tilsætning af polymer til borevæsken (vand) ikke forøger dennes massefylde mærkbart, vil bentonit og partikler fra de gennemborede lag kunne forøge massefylden indtil en praktisk grænse på ca. 1,3 kg/liter.

Hvis trykforholdene kræver anvendelse af en boremudder med større massefylde, kan en sådan opnås ved tilsætning af *vægtmateriale* som bariumsulfat (baryt, barit) op til en praktisk grænse på ca. 2,0 kg/liter.

Dersom massefylden for boremuddret bliver for høj, kan de resulterende tryk i borehullet blive så store, at svage formationer bryder sammen (*liquefraction, hydraulisk brud*). Der sker så det, at boremudder forsvinder ud i formationen, hvorved væskeøjletrykket reduceres, og dele af, eller hele den cirkulerede boremuddermængde, ikke kommer retur til terræn. Der kan herved opstå lost circulation med muligt sammenfald af borehul omkring borestrengen til følge.

Under borearbejdet består trykket på boringens væg ud over det hydrostatiske tryk fra boremuddret af det nødvendige transporttryk for borevæsken samt tryk forårsaget af borestrengens rotation. Specielt efter cirkulationsstop vil den nødvendige igangsætningskraft, forskydningsspændingen, i en tiksotropisk mudder (gelstyrken) være af betydning for det resulterende tryk på boringens væg.

For at stabilisere borehulsvæggen vil det altid være ønskeligt eller nødvendigt at have en lille trykforskel (2-4 mVS) mellem boremuddersøjlen og formationen.

Ved gennemboring af et permeable lag vil denne trykforskel resultere i, at noget af boremuddret vil trænge ud i formationen. Når dette sker, vil borehulsvæggen fungere som et filter, der i større eller mindre udstrækning tilbageholder cuttings, bentonit og andre bestanddele fra boremuddret, mens væskefasen som et *filtrat* trænger ind i formationens porer.

De tilbageholdte partikler på boringsvæggen opbygger en filterkage (*mudderkage, mud cake*), som, hvis den fungerer korrekt, hurtigt bliver impermeabel og dermed stopper den fortsatte indtrængning af boremudderfiltrat i formationen. Princippet i mudderkagefunktionen fremgår af **Figur 86**.

Ud over at reducere eller helt hindre boremuddertab, der kan forurene eller tilstoppe permeable lag, fra hvilke der senere skal produceres væske, skal mudderkagen fungere som en membran på borevæggen, hvorpå muddertrykket udøver en stabiliserende virkning på borehulsvæggen. Som følge af bentonitpartiklernes pladeform er disse ideelle til membranopbygning, den sker som en art "tækning" jf. **Figur 87**.

Det er vigtigt, at mudderkagen består af materialer, der er lette at fjerne fra boringsvæggen, når der senere skal produceres væske fra de permeable lag.

Anvendes en kombination af bentonit og polymer, opnås en mudderkage, som hurtigt fjernes ved produktion fra formationen.

Dette skyldes, at polymer har en langtrådet molekyleform, som de pladeformede bentonitpartikler grupperer sig omkring og derved danner et gitter på boringsvæggen. Da polymerstrukturen er totalopløselig i vand, vil denne ved produktionsstrømning fra formationen opløses og frigive bentonitpartiklerne til den forbistrømmende væske. Derved sker der en hurtig fjernelse af mudderkagen.

Såfremt mudderkagen ikke opnår at blive impermeabel, vil mudderfiltratet fortsætte med at trænge ind i formationen, samtidig med at filterkagens tykkelse tiltager. Med tiden kan filterkagen blive så tyk, at væskepassage i annulus vil kræve forøgede cirkulationstryk med stærkt forøget filterkagetykkelse som følge (kædereaktion). I slutfasen vil dette kunne forhindre rotation af borestrengen.

Det er derfor vigtigt, at boremuddrets evne til opbygning af en hensigtsmæssig filterkage undersøges. I modsætning til det ovenfor anførte, kan der være tilfælde, hvor en vis indtrængning af boremudder i formationen er ønskelig eller nødvendig

Vægtmaterialer

Hydraulisk brud

Lost circulation

Afsætte en tynd

impermeable filterkage op mod borehulsvæggen

Boremuddertab gennem boringsvæg

Mudderkage

Trykmembran

Fjernelse af mudderkage

Ukontrolleret mudderkageopbygning

Stabilisering af løse formationsmaterialer

for at sammenbinde (stabilisere) løse formationsmaterialer eller for at reducere disses permeabilitet indtil en begrænset afstand bag boringsvæggen

- løse materialer som sand og grus er permeable. Boremuddet kan sammensættes, således at det vil fæstne sig på de enkelte *partikler*, der således *coatede* vil hænge sammen. Herved reduceres partiklernes bevægelsesfrihed, og formationen gøres mere stabil
- en tiksotrop boremudder vil få sin viskositet forøget og danne gel i formationens porer, når strømningshastigheden nedsættes i formationens porekanaler. Den opnåede viskositet/gel kan opnå tilstrækkelig forskydningsspænding til at modstå bevægelsen af de enkelte formationspartikler, hvorved formationen stabiliseres.

Som følge af sand- eller grusformationens gode, naturlige permeabilitetsforhold er en fjernelse af den tiksotrope boremudder fra området omkring borehullet mulig ved at ændre strømningsretningen ind mod boringsvolumnet.

Køle og smøre

Under rotationsboring udvikles en betydelig friktionsvarme som følge af borekronens og borestrengens bevægelser i forhold til formationen. Hvis den producerede varme ikke ledes bort tilstrækkeligt effektivt, vil levetiden for udstyret i borehullet blive stærkt reduceret. Specielt ved anvendelse af diamantbesatte borekroner vil en overophedning betyde en næsten øjeblikkelig nedslidning af diamanterne.

Ud over køling af borekronen skal borestrengens temperatur holdes lav, så borevæskens viskositet ikke forringes væsentligt på grund af temperaturforøgelsen.

Evne til varmeafgivelse

Friktionsvarmen afledes dårligt af selve formationen og må derfor afledes ved hjælp af borevæsken, som ved terræn afgiver varmen til atmosfæren. Varmekapaciteten og varmeafgivelsesevnen for boremuddet er afhængigt af indholdet af de faste partikler, som samtidigt er bestemmende for friktionens størrelse.

Boremuddet skal derfor have så lavt et indhold af ikke aktive, faste partikler som muligt, mens et indhold af *aktivt ler* (bentonit) vil bidrage til etablering af en tynd mudderkage, der reducerer friktionsmodstanden mellem borestreng og formationen.

Boremuddets smørende virkning resulterer i længere levetid for borekrone samt i formindsket krav til drejningsmoment, reduceret pumpetryk og optrækningskraft for borestreng mv.

Begrænse korrosion

Basisk borebudder

I visse tilfælde består formationsvandet af saltholdigt vand eller vand med andre sammensætninger, der gør anvendelse af en saltholdig boremudder hensigtsmæssig. Kloriderne i væsken samt kuldioxyden i luften vil i så fald bidrage stærkt til korrosion på udstyret. Til beskyttelse herimod gøres borevæsken basisk fx ved at tilsætte kaustisk soda, som samtidigt medvirker til den hurtigere *hydrering* (udkvældning) af bentonit.

Reducere belastningen på borekronen

Ved større dybder og ved hårde formationer, der kræver et stort borekronetryk (bit tryk) for at opnå en acceptabel penetrationshastighed, vil vægten af borestrengen (borestænger og vægtstænger) stille store krav til boreudstyrets løftekapacitet.

Opdrift på borestrengen

Da borestrengen påvirkes af en opdrift, som er lig med vægten af den fortrængte boremudder, vil en forøgelse af boremuddets massefylde bevirke en tilsvarende reduktion af den vægt, som boreudstyret skal kunne bære. Da der sjældent anvendes boremudder med massefylde mere end 1,3 kg/liter, og da stål vejer 7,85 kg/liter, er det dog begrænset, hvor stor en reduktion, der kan opnås på denne måde.

1.11.2 Boremuddertyper

Sammensætningen af vandbaseret boremudder vil variere meget under hensyn til de mudderegenskaber, som er nødvendige for den mest hensigtsmæssige gennemførelse af den aktuelle opgave.

Ud over arten af de formationer, som skal gennembøres og holdes stabile, betyder trykforhold, temperatur, forureningslovgivning og økonomi en stor rolle for bormuddrets sammensætning. Det rette valg kan ofte være en sammensætning, som kun tilfredsstiller nogle få af de egenskaber, som ellers generelt ønskes opfyldt. Hvis der fx skal udføres diamantkerneboring i en hård, homogen og usprækket formation, skal boremuddret

- køle og smøre borekrone og borestreng
- transportere cuttings til terræn på en effektiv måde.

I et sådant tilfælde vil rent vand være et fornuftigt valg, men det er ikke givet, at dette valg er det mest hensigtsmæssige med hensyn til formationens struktur. Dette betyder, at man hele tiden under borearbejdet skal være opmærksom på en eventuel effekt fra formationen på mudderkonstruktionen og eventuelt en effekt fra muddret på formationen.

Vandbaseret boremudder inddeles i følgende hovedgrupper:

- vand
- vand med faststof fra boreprocessen
- vand tilsat aktivt ler
- vand med aktivt ler og kemiske tilsætningsmidler
- vand tilsat salt (natriumklorid)

Disse typer vil blive gennemgået i det følgende.

Vand indeholder opløste stoffer i større eller mindre omfang. Disse stoffer, som i hovedsagen består af salte, er en del af vandfasen, som afhængigt af koncentrationen kan karakteriseres som ferskvand, brakvand eller saltvand.

Ferskvand er normalt den foretrukne basisvæske ved gennemboring af formationer, som ikke er følsomme over for udvaskning, eller som ikke kvælder ud som følge af vandoptagelsen.

Den lave massefylde, som vand uden indhold af faste partikler har, giver en høj penetrationshastighed for borekronen, samtidig med at slitagen på denne og på borestrengen er begrænset.

For at holde vandet rent, må borevæsken/boremuddret bortledes, når det når op til terrænniveau igen, efter at det har transporteret cuttings op fra boringens bund.

Anvendelse af vand som eneste komponent i borevæsken har følgende begrænsninger

- reducerede stabiliserende kræfter på borehulsvæggen
- den lave viskositet sammen med den lille massefylde vil kræve høj opadrettet væskehastighed i annulus mellem borestreng og borehulsvæg for at transportere cuttings ud af boringsvolumenet

Herudover kan der i visse tilfælde være problemer med at skaffe de nødvendige vandmængder.

Ved diamantkerneboring er annulusvolumenet meget lille, og den nødvendige transporthastighed for borevæsken er derfor ikke vanskelig at opnå. Ved andre former for rotationsskylleboringer vil annulusvolumenet derimod normalt have en sådan størrelse, at den nødvendige cirkulationshastighed for rent vand er vanskelig at opnå.

For at transportere cuttings fra boringens bund op til terræn med en lavere cirkulationshastighed, er det nødvendigt, at boremuddret har en større viskositet end det rene vand, ligesom en forøgelse af boremuddrets massefylde vil give en positiv effekt.

Valg af boremuddertype er ofte et kompromis

Vand

Ferskvand

Stor cirkulationshastighed

Vand med faststof fra boreprocessen	Såfremt borevæsken bestående af vand ikke ledes bort fra cirkulationssystemet, men returneres gennem pumpe og borestreng til borehullet, vil vandbasen opsamle faststofpartikler fra det løsborede materiale.
Inaktivt faststof	De opsamlede partikler fra den gennemborede aflejring vil forøge boremudders viskositet og massefylde, hvorved cuttings kan transporteres opad i annulus med en reduceret cirkulationsmængde/hastighed. Boremuddet vil dog ikke opnå tiksotropiske egenskaber til at holde cuttings svævende under stop i muddercirkulationen. Indholdet af de optagne faste partikler giver boremuddet en forøget massefylde, som resulterer i et større tryk fra muddersøjlen på borehullets inderside. Til en vis grænse vil dette større tryk være ønskeligt under hensyn til stabiliteten af borehulsvæggen, men det forøgede tryk vil kunne presse borevæskefiltrat ind i permeable lag, som måske netop ønskes beskyttede herfra. De opslemmede faste partikler, der tilbageholdes på boringsvæggen, vil danne en filterkage, men udviklingen af denne er vanskelig at kontrollere, ligesom den er vanskelig at fjerne igen, hvis man ønsker at udnytte de permeable aflejringer.
Tilstopning af permeable formationer ved anvendelse af vand og inaktivt faststof	En forestilling om, at en boremudder, som kun består af vand og opslemmede naturlige faste partikler, skulle sikre de produktive/permeable jordlag mod tilstopning og dermed mod reduceret permeabilitet, er følgelig en misforståelse, som desværre ofte kommer til udtryk ved angivelse af krav til skylleborearbejdets udførelse. Såfremt boringsudførelsen ikke har et væskeproduktionsformål, kan anvendelse af vand med faststof fra de gennemborede lag dog være en økonomisk fordelagtig boremudder.
Fortynding	Når optagelsen af de naturlige partikler har forøget boremudders viskositet i en sådan grad, at der stilles ekstraordinære krav til pumpetryk, må boremuddet fortyndes, eller de faste partikler må filtreres fra. Boremuddet kan fortyndes ved tilsætning af vand, hvor dette er praktisk. Herved formindskes koncentrationen af de faste stoffer, og viskositeten sænkes, da friktionen mellem de faste partikler formindskes. En fortynding kan endvidere frembringes ved tilsætning af kemiske midler, der neutraliserer de elektriske ladninger på lerpartiklerne, hvorved partiklerne frigøres fra hinanden. De faste partikler kan endvidere fjernes mekanisk ved rysteværk, hydrocykloner eller centrifuger.
Vand tilsat aktivt ler	Boremudder, som kun består af vand og opslemmede partikler/faststof fra de gennemborede formationer, har som ovenfor angivet følgende begrænsninger – faststofkoncentrationen skal være høj for at opnå en god viskositet og dermed en høj transportevne for cuttings – boremuddet mangler tiksotropiske egenskaber, som kan bidrage til at undgå, at cuttings bundfældes under cirkulationsstop – boremuddet danner en ukontrollerbar, tyk mudderkage, som kun i begrænset omfang reducerer indpresning af filtrat i permeable lag.
Viskositetsforøgelse med aktivt ler	Hvis boremuddet derimod er sammensat af vand tilsat aktivt ler (bentonit), og denne bentonit har optaget vand (hydreret), vil væsentlige funktionsbegrænsninger være fjernet. Når bentonit ved hydrering er svullet, opdeles bentonitpartiklerne i deres pladestruktur. Ved den opnåede forøgelse af partikelantal og overfladeareal vil væskens viskositet forøges kraftigt, selvom partikelindholdet er vægtmæssigt lavt. Boremudder baseret på vand og bentonit vil derfor opnå en viskositet, som er tilstrækkelig for cuttingstransporten, uden at massefylden bliver så høj, at muddersøjles tryk på boringsvæggen vil resultere i, at store mængder filtrat vil blive presset ind i de permeable lags porer.

Da de svellede bentonitpartikler i pladeform samtidig dækker boringsvæggens porer ved dannelse af en næsten impermeabel mudderkage, som skitseret på **Figur 87**, reduceres indpresning af filtrat i de permeable lag væsentligt. Dette resulterer i, at mudderkagen får en begrænset tykkelse, da kun få faste partikler vil blive "siet" fra.

De elektriske ladninger på bentonitpladerne i væskefasen vil som tidligere beskrevet give boremuddret tiksotropiske egenskaber, som i tilfælde af cirkulationsstop vil kunne holde cuttings svævende i annulus.

Da mudderkagens tykkelse er lille, og der ikke er trængt store mængder partikler eller filtrat ind i de permeable lag, vil væsentlige dele af filterkagen kunne brydes ved etablering af hydrostatisk undertryk i boringsvolumenet i forhold til formationstrykket. En permanent "tilklistring" af boringsvæggen må dog påregnes ud for lag med begrænset permeabilitet, da væskehastigheden her vil være for lille til at bryde filterkagens gelstyrke.

For at forøge en boremudders evne til at opfylde dens funktion anvendes normalt kemiske tilsætningsmidler.

De vigtigste formål hermed er

- at forøge viskositet og gelegenskaber uden tilsætning af faste partikler
- at reducere den skadelige effekt fra filtrattab til permeable formationer ved etablering af en særdeles tæt/impermeabel mudderkage af stærkt begrænset tykkelse
- at etablere en let bortvaskelig mudderkage
- at beskytte cuttings mod ændringer i egenskaber under transporten fra boringens bund til prøveudtagningssted ved terræn.

Det anvendte tilsætningsmiddel vil oftest være en *polymer*. En polymer er en speciel kemisk substans. Den består af en række små kemisk bundne enheder, som er placeret i en kædeformation – 'som perler på en snor'. Kæden kan bestå af flere hundrede led, og når disse kæder slynger sig sammen, kan de danne en stærk film/membran. Boremudder med et indhold af polymer vil derfor have en stærkt forbedret evne til at opfylde så godt som ethvert formål for anvendelse af boremudder.

En superlet boremudder vil kunne fremstilles af vand og polymer alene.

De almindeligt kendte og anvendte polymer-tilsætningsmidler er:

- naturligt eller kemisk fremstillet Polysaccharid (stivelse)
- CMC – *Carboxy Methyl Cellulose*
- PAC – *Poly Anionic Cellulose*
- HEC – *Hydroxy Ethyl Cellulose*
- PAA – *Poly Acryl Amid*.

Anvendelse af stivelse som tilsætning vil normalt indebære en klar risiko for hurtig udvikling af bakteriekolonier, der lever af stivelsen. Noget tilsvarende gælder for CMC. Anvendelse af disse tilsætningsstoffer kræver derfor, at færdige boringer beregnet for vandforsyningsformål må desinficeres og renpumpes gennem længere tid.

Anvendelse af en polymer reducerer som nævnt de skadelige påvirkninger, som den vandbaserede boremudder kan have over for vandfølsomme aflejringer, så som udvaskning eller svelning. Polymer boremudder hører således til de formationsbeskyttende borevæsker/*inhibitive muds*, som også kan fremstilles ved tilsætning af opløselige salte, som er i overensstemmelse med de kemiske forbindelser i jordlagene.

Under borearbejdets forløb er det ikke alene vigtigt at holde kontrol med boremuddrets egenskaber i henseende til viskositet, gel-styrke, massefylde mv. Det er lige så vigtigt at kontrollere, at boremuddermængden i cirkulationssystemet er konstant. Forøges boremuddermængden, skyldes dette, at formationen bevæger sig ind i borehullet, fordi muddertrykket er mindre end formationstrykket. En forøgelse af

Effektiv mudderkage

Vand med aktivt ler og kemiske tilsætningsmidler

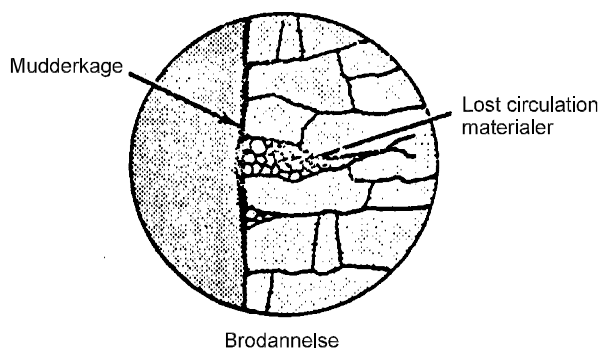
Polymer

Polymer med bakterievækstfremmer

Vandbaseret boremudder med stopeffekt

Kontrol af muddermængden i cirkulationssystemet

Figur 88
Mudderkage som bro over
lost circulation materialer



boremudders massefylde vil da være nødvendig. Det kan ske ved tilsætning af faststof med høj specifik rumvægt, fx bariumsulfat (*baryt*).

Normalt er der tendens til, at der mistes mudder fra cirkulationssystemet ud i formationen. Et sådant tab kan skyldes, at mudderkagen på boringsvæggen ikke er tæt nok til at forhindre, at filtrat presses ind i formationen. Forbedring af mudderkagens egenskaber kan da ske ved tilsætning af bentonit, polymer eller begge dele.

Lost circulation problemer
forekommer ofte

I visse tilfælde forsvinder en u hensigtsmæssig stor del af boremuddet, og dette kan forekomme pludseligt. Man taler da om tabt cirkulation/lost circulation, som ikke er et ualmindeligt problem i forbindelse med rotationsskylleboring. I nogle tilfælde kan boreuddertabet blive så stort, at der ikke kommer noget mudder retur til terrænniveau, og risikoen for, at borestrengen bliver låst fast i borehullet/*stuck pipes*, er overhængende.

Formationer, hvor lost circulation opstår, kan være:

- stærkt permeable lag af groft sand og grus
- porøse formationer eller kaviteter
- opsprækkede formationer.

Lost circulation kan også opstå som følge af, at det hydrostatiske tryk fra muddersøjlen har været så stort, at formationen er blevet opsprækket som følge af hydraulisk frakturering.

Om en formation vil optage mudder fra cirkulationen afhænger af størrelsesforholdet mellem poreåbninger/sprækker i formationen og partikelstørrelsen i boremuddet. Erfaringer har vist, at åbningerne i formationen skal være ca. 3 gange så store som de største partikler i en normalt sammensat boremudder, før boreuddertab kan registreres. Dette betyder, at lost circulation kun opstår i formationen med relativt store åbninger.

Tilsætning af lost
circulation materialer

For at stoppe muddertabet til formationen og genoprette cirkulationen tilsættes stopmaterialer (lost circulation materials) til boremuddet. Disse kan bestå af

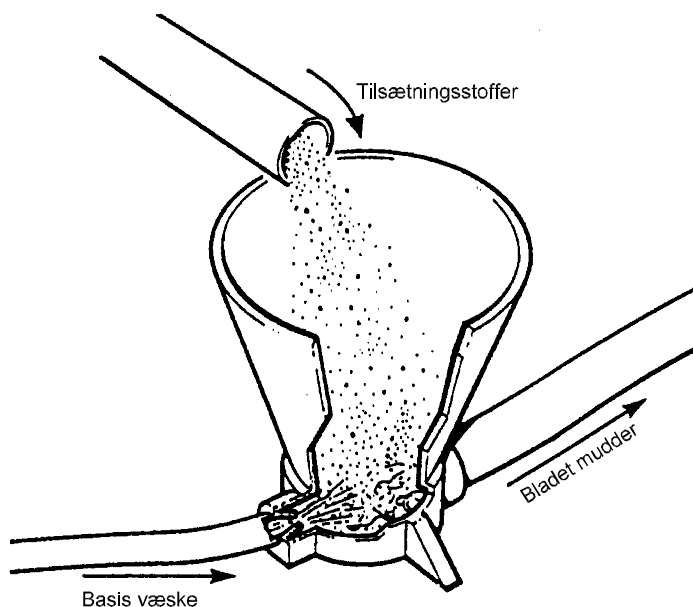
- fibre fra fx træ
- granulater fra knuste nødder/nut shells
- flager af cellofan eller marieglas

Efter tilstopning af formationsåbningerne med lost circulation materialer, dannes igen en normal mudderkage, som dette er skitseret på **Figur 88**.

Undgå lost circulation

Da anvendelse af lost circulation materialer kan resultere i reduceret produktion fra en ellers stærkt permeabel formation, såfremt denne filtersættes, bør lost circulation søges undgået.

I de fleste tilfælde skyldes den opståede situation et for højt hydrostatisk og dyna-



Figur 89
Hopper til blanding af
boremudder

misk tryk i borevæsken. Disse tryk er afgørende for, om lost circulation problemet er begrænset eller udvikler sig ukontrolleret. Det er derfor væsentligt, at boremudders massefylde med cuttings holdes så lav, at det hydrostatiske tryk herfra kun er lidt større (2-4 mVS) end formationstrykket.

I tilfælde, hvor man fra forundersøgelser kan forvente stærkt permeable aflejringer, vil det normalt være en såvel økonomisk som boreteknisk fordel at tilsætte et fintkornet granulat til den cirkulerende boremudder, før den permeable zone anbores.

Boremudder bestående af vand og salt (*brine*) anvendes normalt ved boring gennem saltformationer for at undgå, at formationssaltet opløses i borevæsken med forøgelse af boringsdiameteren som følge.

Boremudder med et højt saltindhold kan desuden med fordel anvendes ved genboring af lerlag med udtalt tendens til svelning, og det anvendes da som *inhibitivt* (beskyttende) mudder.

Saltindholdet bidrager til en forøgelse af såvel massefylden som tyktflydigheden, men en rheologisk effekt (plasticitet) opnås ikke. Som følge af saltkoncentrationen vil tilsætning af bentonit ikke give nogen positiv virkning, hvorfor der bør anvendes en polymer til forøgelse af viskositeten og nedsættelse af filtrationen ind i formationen.

Vand tilsat salt

Saltvand og bentonit en
dårlig kombination

1.11.3 Blanding af boremudder

Som anført i afsnit 1.11.1 består boremudder af væske og fast stof, hvor væsken kan være ferskvand, brakvand eller saltvand, og hvor de faste stoffer kan være aktive lermineraller, polymer samt inaktive stoffer som vægtmaterialer eller lost circulation materialer.

Ved tilsætning af bentonit til væskefasen opnår denne en forøget massefylde og en forøgelse af viskositeten, efterhånden som bentonitten optager vandet og derved sveller. Hastigheden, hvormed bentonitten sveller, er stærkt afhængig af det anvendte vands saltindhold, alkalitet (pH-værdi) og hårdhed (kalkindhold).

I saltvand med saltindhold svarende til havvand vil det ikke være muligt at opnå

Bentonitblanding

svelning af almindelig bentonit, og det er dermed ikke muligt at give boremudderet de ønskede rheologiske egenskaber.

Prehydreng af bentonit

Dette problem kan løses ved at lade bentonitten svulme ud i ferskvand (*prehydrere*) i stor koncentration, hvorefter den hydrerede bentonitopløsning tilsættes saltvand. Det giver som oftest et acceptabelt resultat. Som følge af de elektriske ladninger på de enkelte bentonitpartikler har disse en tendens til at klumpe sig sammen (*flokkulere*). Når bentonitten flokkulerer, reduceres det frie bentonit partikelantal, hvilket betyder en lavere viskositet. Ved en forøgelse af boremudderets alkalitet, således at $\text{pH} > 7$ (basisk reaktion), vil den elektriske tiltrækningskraft mellem partiklerne reduceres, hvorved der pr. rumenhed vil være flere frie partikler. Dette giver den ønskede højere viskositet, uden at bentonitkoncentrationen skal øges. Af hensyn til opretholdelsen af bentonittens tiksotrope egenskaber er der dog en øvre grænse for pH-værdien. pH-værdien for en bentonitbaseret boremudder, der opfylder kravene om viskositet og tiksotropi, bør normalt ligge mellem $\text{pH} = 7$ og $\text{pH} = 9,5$.

Flokkulering

Regulering af pH-værdi

Værdien af pH kan reguleres ved tilsætning af kaustisk soda (natriumhydroxyd), kalciumklorid, kalium eller kalciumhydroxyd. Et kalkindhold i vandet vil virke flokkulerende på bentonitten, men samtidig modvirke, at formationen sveller. Ved svelende lerformationer er det derfor hensigtsmæssigt at tilsætte kalkmel (*lime*) og acceptere en vis flokkulerende virkning på bentonitten. Bentonitten kan evt. erstattes af en polymer for at opnå den ønskede viskositet.

Hopper

Blanding af vand og bentonit vil normalt kræve en kraftig omrøring eller cirkulation. Til blanding bruges derfor ofte en "hopper", hvori bentonitten ved spuleeffekten fra en dysse, der samtidig virker som ejektor, bliver trukket ind i og blandet med vandet. Foretages recirkulering mellem mudderbassin (*mud pit*) og hopper, sker der en forøget findeling af bentonitklumper gennem hopperen og den anvendte cirkulationspumpe. Princippet for en hopper er vist på **Figur 89**.

Polymerblanding

Polymerens viskositetsfremmende egenskaber er ikke betinget af elektriske ladninger, men som nævnt baseret på molekylernes kædeopbygning. Polymerblandingsens tilsyneladende viskositet er derfor ikke i så høj grad som for bentonits vedkommende afhængig af vandets saltindhold, men fremstilles dog i en form, som er særlig velegnet i saltvand.

Saltvand og polymer en god kombination

Polymer leveres som granulat eller i flydende form. Den flydende form er let at opblende i borevæsken ved simpel cirkulation, mens granulatet bør tilsættes gennem en hopper og recirkuleres.

Tilsætning af vægtmaterialer

Vægtmaterialer tilsættes boremudderet, for at dette kan opnå en massefylde, der er større end bentonit- eller polymerblandingsens.

Som vægtmateriale anvendes normalt bariumsulfat (baryt) med en specifik rumvægt på 4,2 kg/liter.

Boremudderet skal kunne bære vægtmaterialerne

Ønskes en højere muddermassefylde uden forøgelse af partikelantal, kan anvendes jernfiller eller blyulfid med specifik rumvægt på 7,0 kg/liter.

Alle frie partikler i boremudderet har indflydelse på muddrets viskositet. Som følge af vægtmaterialernes høje specifikke rumvægt er deres faldhastighed i borevæsken stor. Ved anvendelse af vægtmaterialer må det derfor sikres, at basisboremudderet har sådanne rheologiske egenskaber, at vægtmaterialerne kan bæres oppe og ikke bundfælder i boringen eller i mudderbassinet.

Fortynding

Såfremt en bentonitmudder har opnået en for høj viskositet, bør boremudderet fortyndes, da det ellers vil stille for store krav til pumpekapacitet, eller gør det vanskeligt at udskille cuttings.

Fortynding med vand

Den direkte måde at fortynde på er naturligvis at tilsætte vand. Såfremt den for-

højede viskositet skyldes kraftig flokkuleringskoncentration, kan kemiske midler til-sættes for at undgå en forøgelse af det samlede boremuddervolumen.

Som tidligere nævnt skyldes flokkuleringen af bentonitpartiklerne de elektrostatiske tiltrækningskræfter mellem negativt ladede partikelflader og positivt ladede kanter. Fortyndere er i dette tilfælde kemikalier, der har en negativ overskudsladning, der neutraliserer bentonittens kantladninger. Herved deflokkulerer bentonitten, hvilket reducerer viskositet, flydegrænse og gel-styrke. At fortynderne har negativ over-skudsladning betyder, at de har mere eller mindre syreegenskaber og derfor vil redu-cere pH-værdien. En pH-regulering med fx kaustisk soda vil da være nødvendig for at opnå et godt fortyndingsresultat.

Følgende fortyndere kan anvendes:

- *Fosfater* såsom natrium pyrofosfatsyre, natrium tetrafosfat, natrium heksametafos-fat og tetranatrium pyrofosfat er uorganiske forbindelser, som er meget effektive i ferskvand, mens de er næsten uvirksomme i saltvand
- *Tannina* er et organisk barkekstrakt, der giver god fortyndingseffekt i ferskvands-mudder og specielt ved høje pH-værdier
- *Ligniner* er et organisk restprodukt fra cellulosefremstilling af træmasse. Ligniner er velegnede til fortynding af saltvandsmudder
- *Lignitter* er omdannede plantestoffer; det indeholder derfor humussyre. For at opnå uskadelig fortyndingseffekt må humussyren omdannes til natrium- eller kali-umsalt ved tilsætning af kaustisk soda eller kaliumhydroxyd.

De nødvendige *rheologiske egenskaber* (viskositet, plasticitet) varierer i forhold til boreopgavens art og formål samt formationen, der skal gennembøres.

De mest hensigtsmæssige blandingsforhold vil derfor bero på erfaring om bore-muddrets evne til netop at opfylde de krav om egenskaber, som tilgodeser økonomi og sikker gennemførelse af boreoperationens enkelte faser.

Som et generelt udgangspunkt kan angives følgende blandingsforhold for forskel-lige boremuddersammensætninger. De anførte tilsætningsmidler er målt i kg er pr. m³ ferskvand.

Bentonit alene	40-60 kg
CMC alene	8-20 kg
CMC ved direkte skylning	8-15 kg
CMC ved omvendt skylning	10-20 kg
PAA alene (mod svellende ler)	2-4 kg
Bentonit + CMC	10-30 kg bentonit
	+ 8-15 kg CMC
Bentonit + PAA	20-40 kg bentonit
	+ 1-4 kg PAA
Mudder med vægtstoffer	10-20 kg CMC eller
	2-4 kg PAA
	+ 20-30 kg bentonit
	+ vægtmateriale i beregnet mængde
Mudder m. lost circulation materiale	40-60 kg bentonit
	+ 10-30 kg stopmateriale.

Tilsætning af de faste stoffer til basisvæsken vil hæve såvel dennes viskositet som boremuddrets massefylde og volumen.

Fortyndes en boremudder med en væske, vil viskositeten og massefylden falde, mens volumenet naturligvis vil blive forøget.

Fortynding ved hjælp af kemikalier

Blandingsforhold

Vægt- og volumenberegninger

Figur 90
Udfældning af forurening i
boremudder

Forurening	Forurenende ion	Tilsætning for udfældning eller eliminering
Gips eller anhydrit	Calcium (Ca ⁺⁺)	Natriumkarbonat, hvis pH-værdien er hensigtsmæssig (9-10,5) Fortyndere, hvis pH-værdien er for høj (>11) Natriumbikarbonat, hvis pH-værdien er for høj (>11)
Cement	Calcium (Ca ⁺⁺)	Fortyndere eller natriumbikarbonat
Kalk	Calcium (Ca ⁺⁺) Kalk (Ca ⁺⁺ , OH ⁻)	
Hårdt vand	Magnesium (Mg ⁺⁺) Calcium (Ca ⁺⁺)	Kaustisk soda, indtil pH-værdi 10,5, herefter natriumkarbonat
Karbondioxyd	Karbonat (CO ₃ ⁻)	Gips, hvis pH-værdien er hensigtsmæssig (9-10,5) Kalk, hvis pH-værdien er for lav (<9)
	Bikarbonat (HCO ₃ ⁻)	Lime

Beregningen for vægtregulering kan foretages således

$$M_A = \frac{\rho_A \cdot V \cdot (Y_2 - Y_1)}{\rho_A - Y_2}$$

hvor

M_A : vægt af tilsætningsmiddel, t

ρ_A : specifik rumvægt for tilsætningsmiddel, kg/liter

Y_1 : massefylde for mudder før vægtændring, kg/liter

Y_2 : ønskede massefylde for mudder efter vægtændring, kg/liter

V : muddervolumen, m³

Volumenforøgelse ved tilsætning af fast stof vil tilsvarende være

$$\Delta V = \frac{M_A}{Y_A}$$

hvor

Y_A : massefylde for tilsætningsmiddel, kg/liter

1.11.4 Forurening af boremudder

Ved forurening af boremudder forstås, at kemiske forbindelser kommer i ikke ønsket berøring med boremudderet og ændrer denne til en tilstand, så det ikke kan opfylde sit formål.

Forureningen kan hidrøre fra ikke tilstrækkeligt raffinerede aktive eller ellers neutrale tilsætningsmidler, men normalt hidrører forureningen fra den gennemborede formation og også ofte fra de overfladenære lag.

Forureningskilder

De oftest forekommende forureningskilder involverer følgende kemiske stoffer

- calcium fra gips, anhydrit, cement/kalk, hårdt vand og havvand
- natrium fra salt og saltvandsstrømning (natrium klorid)
- opløselige karbonater, hydrokarbonater, sulfider og hydrogensulfider
- humussyre

Effekten af forureningen er som oftest, at den øger viskositet, flydegrænse og gel styrke, mens filtretabet samtidigt øges, fordi den opbyggede filterkage har for høj permeabilitet.

En calcium eller natriumforurening kan have positive virkninger over for svelling

af lerformationer, hvorfor koncentrationen kan ønskes forøget ved yderligere tilsætning. Karbonater, sulfider og humussyre har kun negative effekter.

Humussyre forekommer normalt i de helt øvre lag og er koncentreret i vækstlaget. Indflydelsen fra tilstedeværende humussyre kan derfor begrænses ved en fornuftigt valgt dybde for boringens standrør samt foring/lining af mudderbassin, hvis dette er etableret ved udgravning fra terræn. Forsøg på membranetablering ved anvendelse af bentonit vil ikke lykkes, hvis der er humussyre til stede, da bentonitten forhindres i svelling på grund af humussyrens tilstedeværelse fra starttidspunktet.

Reaktionen fra humussyren, der består i reduktion af pH-værdi og viskositet, kan fjernes ved tilsætning af kalk/lime efter pH regulering med kaustisk soda.

Da forureningen skader funktionen af bentonitten og de opslemmede lerminerale fra formationen, vil forureningens mest skadelige virkning – stort filtertab til formation som følge af gennemtrængelig og voksende filterkagetykkelse – kunne reduceres ved tilsætning eller anvendelse af en polymer.

Består udgangsboremudderet af en vandbaseret bentonitopløsning, kan den i **Figur 90** angivne kemiske behandling af forurening anbefales.

Er forureningen forårsaget af natriumklorid fra salt eller saltvand i store mængder, er det ikke praktisk muligt at fortsætte borearbejdet baseret på fersk- eller havvandsvæsker. Væskesystemet bør derfor udskiftes med en boremudder, hvori saltet ikke kan opløse sig. En mættet saltvandsvæske med viskositetsforøgelse og filterkagedannende egenskaber baseret på en polymer vil være hensigtsmæssig.

Humussyre i vækstlaget

Kemisk behandling af forurenet boremudder
Saltforurening et stort problem

1.11.5 Rensning af boremudder

Antal og type af faste partikler i en boremudder udøver en betragtelig indflydelse på dennes massefylde, viskositet og gelstyrke. Indholdet har samtidigt stor indflydelse på mudder- og boringsomkostningerne, borehastighed, nødvendige, hydrauliske kræfter fra drivaggregater samt filtertab og i værste fald 'lost circulation'.

En af de mest betydningsfulde mudderkontrolaktiviteter bliver herved kontrol af faststofindholdet i boremudderet og fjernelse af faststofpartikler, der ikke har en ønsket aktiv funktion, men i stedet indebærer en risiko mod en sikker gennemførelse af borearbejdet.

Rensning af boremudder omfatter

- behandling af boremudder med kemikalier og andre additiver/tilsætningsstoffer for at neutralisere indflydelsen af forureningen hidrørende fra de gennemborede formationer. Herunder omdannes let opløselige forureninger til svært opløselige stoffer, som kan transporteres i borevæsken i indkapslet form.
- fjernelse af de i boremudderet opslemmede partikler, som er blevet løsnet under boreprocessen. Det drejer sig om ler, sand, grus, sten, kalk mv., som kan være grove cuttings eller mere finkornede partikelsamlinger/flokkulerede mineraler.

Kontrol af faststofpartikler

Kontrollen med og rensningen af boremudderet for faststof bestående af cuttings og flokkulerede partikler kan udføres ved anvendelse af en eller flere af følgende metoder for separation

- bundfældning
- sigtning
- hydrocyklonering
- centrifugering

Rensemeter

Bortset fra sigtning er de øvrige metoder former for bundfældning i overensstemmelse med de fysiske love.

Såfremt boremuddret er i bevægelse, så de tiksotropiske kræfter og dermed gelstyrken er brudt, vil bundfældningen af partiklerne være bestemt af Stokes lov (jf. afsnit 1.11.1).

Da en af de ønskede mudderegenskaber netop er tiksotropien, der skal virke til at holde cuttings svævende under cirkulationsstop, har man samtidigt gjort muddrets renselsesproces vanskeligere.

Betragtes igen Stokes lov, som givet i afsnit 1.11.1, ses det, at partiklerne bundfældes hurtigere med højere

- partikelmassefylde
- diameter
- og med lavere
- væskeviskositet.

En forøgelse af “bundfældningshastigheden” kan derfor ske ved tilførelse af en større acceleration.

Bundfældningsbassin

Omfanget af faste partikler, som vil kunne bundfældes ved gennemløb i et bundfældningsbassin, vil være afhængigt af parametrene i Stokes lov. Såfremt boremuddret ikke har lav viskositet og gel styrke, vil kun de meget store cuttings have mulighed for at bundfælde sig, mens finere partikler vil holde sig svævende.

Stigning. Statisk sigte

I sin simpleste form kan en *statisk sigte* (et sold) placeret ved udløbet fra boringens standrør opfange partikler, som er større end sigtens maskevidde, mens finere partikler vil fortsætte i systemet sammen med boremuddret. For også at fjerne de fine partikler må boremuddret passere et dynamisk separationsudstyr, som består af en sigte, som vibreres. Vibrering, samtidig med at sigten er skråtstillet, vil få partiklerne til at bevæge sig hen over sigten og ud af cirkulationssystemet, samtidigt med at den filtrerede borevæske kan opsamles i mudderbassinet eller i en tank placeret under sigten. Som følge af vibrationerne brydes kræfterne mellem væskefasen og partiklerne, således at spild af borevæske undgås.

Rysteværk

Den normale betegnelse for en skråtstillet, vibrerende sigte er *rysteværk/shale shaker*, hvis funktionsprincip fremgår af **Figur 91**.

Blokkering af sigtedug

Rysteværket kan forsynes med sigter med maskevidder fra grov til fin. En typisk grov sigtedug vil have en maskevidde, som vil frasortere faste partikler større end ca. $1.500 \text{ micron} = 1,5 \text{ mm}$ ($1 \text{ micron} = 1/1000 \text{ mm}$). De fineste maskevidder tilbageholder partikler større end ca. $175 \text{ } \mu\text{m}$ ($0,175 \text{ mm}$). Anvendelse af en mindre maskevidde er ikke hensigtsmæssig, da sigten i så fald bliver blokkeret, så boremuddret føres ud af systemet.

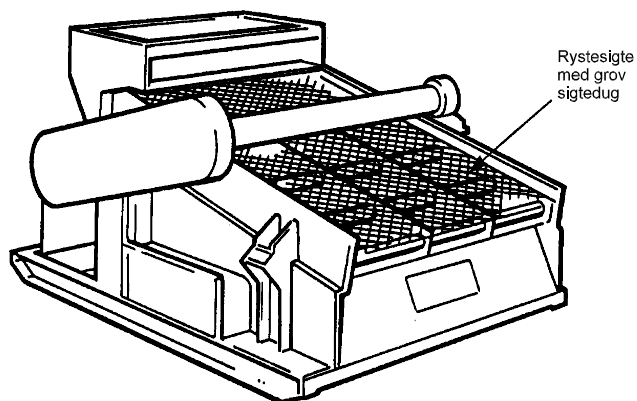
For at undgå blokkering på sigter med meget lille maskevidde kan partikelsepareringen foregå i flere trin, som det fremgår af **Figur 92**.

Effekten af rysteværket kan forøges, såfremt de løsborede partikler kan bevares i eller samles i større cuttingsdele. Dette kan ske ved anvendelse af en muddersammensætning, hvor muddrets aktive dele (bentonit, polymer) lægger en film omkring cuttings og holder disse intakte under transporten fra boringens bund til rysteværket.

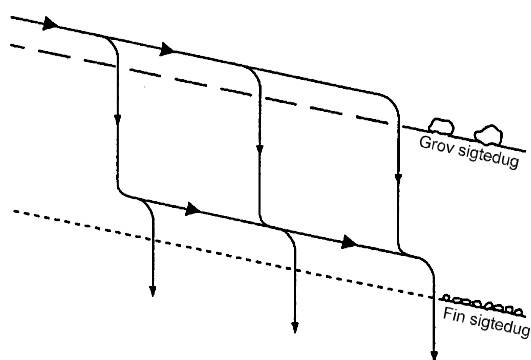
Hydrocykloner

Hvis der i fortsættelse af rysteværket anvendes et sæt hydrocykloner, er der mulighed for at fjerne faste partikler med størrelse mellem $175 \text{ } \mu\text{m}$ og $15 \text{ } \mu\text{m}$ ($0,015 \text{ mm}$) og med normal massefylde.

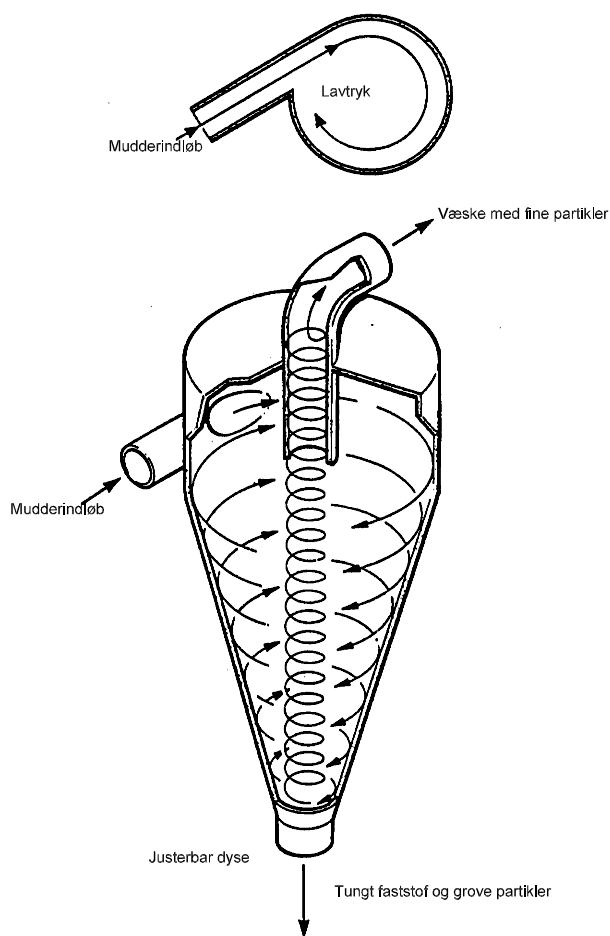
Figur 93 viser en skitse af en hydrocyklon, hvor centrifugalkraften bruges til at “bundfælde” (separere) de tunge og grove partikler fra basisvæsken og de finere partikler, hvilket sker i de retninger pilene angiver. Boremuddret pumpes med en



Figur 91
Rysteværk til separation
af grove cuttings

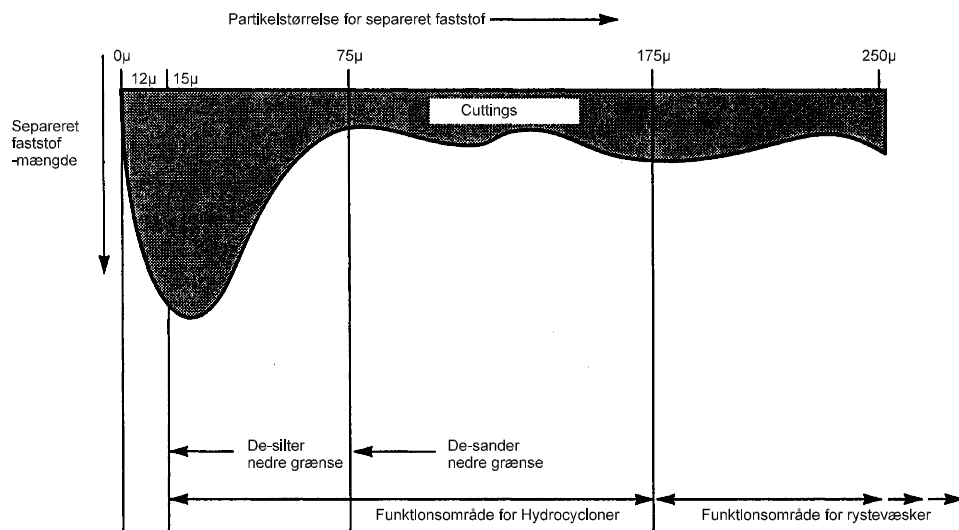


Figur 92
To-trins rysteværk

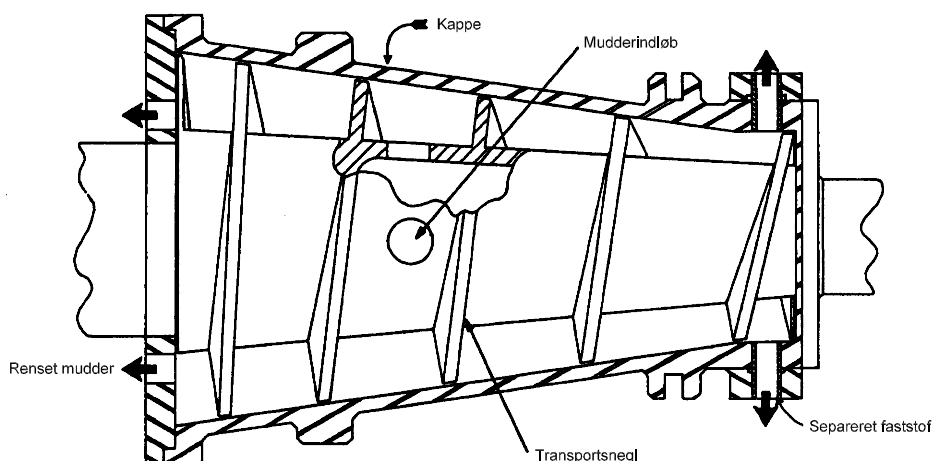


Figur 93
Separationsprincip
i hydrocyclon

Figur 94
Fordeling af faststof
separeret ved anvendelse
af rysteværk og hydro-
cykloner



Figur 95
Princip for faststofsepare-
ring ved centrifugering



centrifugalpumpe gennem et tangentialt placeret indløb, hvorefter den hvirvler rundt indvendigt i den roterende konus, hvor der virker en høj centrifugalkraft (kraftig acceleration).

De tunge eller større faststofpartikler kastes af centrifugalkraften udad mod væggen og nedad mod udløbsdysen. Borevæsken med de finere og lettere partikler søger mod lavtryksområdet i centret af konus og opad, hvor den forlader topudløbet for at blive returneret til cirkulationssystemet eller ledt videre til en efterfølgende cyklon. Effekten af en cyklon er desværre begrænset til 20-30% af faststofindholdet, men ved gennemløb af et cyklonbatteri vil et væsentligt faststofindhold kunne udskilles.

De faste, næsten tørre, partikler, der passerer ud af den indstillelige udløbsdys, bliver således taget ud af cirkulationssystemet.

Med den indstillelige dyse kan kornstørrelsen for separationsmaterialet reguleres indenfor visse grænser. Separationsmaterialets kornstørrelse er ellers bestemt af diameteren i cyklonens konus.

Cykloner med diameter 12" (300 mm) udskiller sand ned til en kornstørrelse på 75 μ og benævnes 'desanders', mens cykloner med diameter 4" (100 mm) udskiller silt ned til kornstørrelse 15 μ og benævnes 'desilters'.

Desander
Desilter

For at udskille finere materiale kan cykloner med 2" (50 mm) diameter anvendes til udskillelse af fx baryt for genanvendelse.

Den fordeling af faststof, der kan fjernes ved henholdsvis rysteværk og cykloner, er skitseret på **Figur 94**.

Princippet for en separationscentrifuge er vist på **Figur 95**.

Centrifugering

Centrifugen består af en hurtigt roterende, konusformet kappe uden om en langsommere roterende transportsnegl. Den store omdrejningshastighed for konuskappen frembringer en centrifugalkraft, som kan være flere hundrede gange større end tyngdekraftens acceleration. De større og tungere partikler, der med boremuddret er ført ind i centrifugen gennem centerkernen af transportsneglen, bliver slynget ud mod konuskappens inderside og bliver herfra skrabet mod centrifugeudløbet af transportsneglen i retningen af konusens mindste diameter. Væskefasen med de allerfineste partikler kan gennem udløb placeret tæt på transportsneglens kernediameter i konuskappens modsatte ende ledes tilbage til cirkulationssystemet.

Som følge af centrifugens effektivitet kan også faststof, som er ønskeligt i den recirkulerede mudder (kemikalier, bentonit, baryt), blive udskilt.

Det er derfor nødvendigt at kontrollere den recirkulerede mudders rheologiske egenskaber, så problemer kan undgås ved tilsætning af erstatningsmaterialer for det tabte, aktive faststof.

Kontrol af mudderegenskaber efter centrifugering

1.11.6 Analyse af boremuddrets egenskaber

I de foregående afsnit er beskrevet, hvilke mudderegenskaber der er væsentlige for en sikker gennemførelse af en rotationsskylleboreopgave og hvorfor.

Disse egenskaber er

- viskositet
- gelstyrke
- massefylde
- filtreringsegenskaber
- faststofindhold
- pH værdi.

I det følgende vil det blive omtalt, hvordan hver enkelt af disse egenskaber måles og kontrolleres.

Til måling af viskositeten af boremuddret på borestedet anvendes normalt en speciel standardtragt, benævnt *March Funnel*. Udstyrskomponenterne er vist på **Figur 96**. Tragten er for oven forsynet med en metalsigte, som dækker halvdelen af tragt-tværsnittet, og som kan opfange partikler, som ikke kan komme ud af tragtens bundudløb, som har en indre diameter på 6 mm.

Viskositet
Marsh tragt

Desuden anvendes et målebæger med indvendige volumeninddelinger, som angiver et standardvolumen på 946 cm³ (1/4 US gallon).

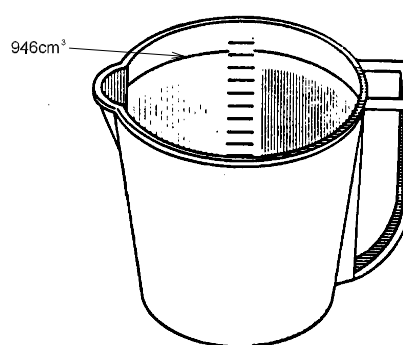
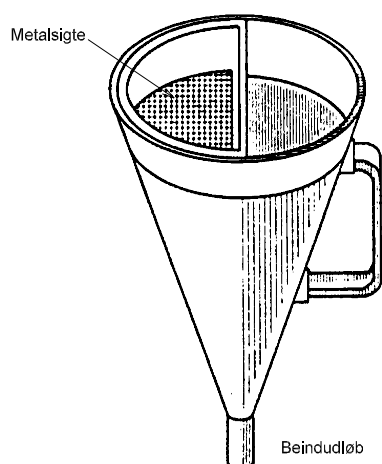
Et fastlagt boremuddervolumen kommes i March-tragten, og udløbstiden målt i sekunder på et stopur for en bestemt udløbsmængde måles. Under boremuddrets udløb fra tragten kan muddret i tragten begynde at gele. Det, der måles, er derfor en kombination af viskositet og gelstyrke. Udløbstiden målt i sekunder benævnes derfor den tilsyneladende viskositet.

Procedure for måling af den tilsyneladende viskositet/*Marsh-viskositeten* er således:

Tilsyneladende viskositet

- March-tragten holdes lodret, og udløbet holdes lukket med en finger
- Mudderprøven, som netop er udtaget fra cirkulationssystemet, hældes i tragten, til

Figur 96
March-tragt til bestem-
melse af tilsyneladende
viskositet



overfladen af muddret netop når undersiden af sigtenettet. Volumen i tragtens er da 1.500 cm^3 .

- Fingeren fjernes fra March-tragten udløbsåbning, således at muddret herfra løber ned i målebægeret
- Udløbstiden for det muddervolumen (946 cm^3), der svarer til standardmarkeringen i målebægeret, måles med stopur i sekunder.
- Udløbstiden i sekunder angiver den tilsyneladende viskositet/March-viskositeten.

Til kalibrering af March-viskositetsudstyret kan anvendes rent vand ved 20°C , hvor udløbstiden for de standardiserede 946 cm^3 skal være 26 sekunder.

Plastisk viskositet

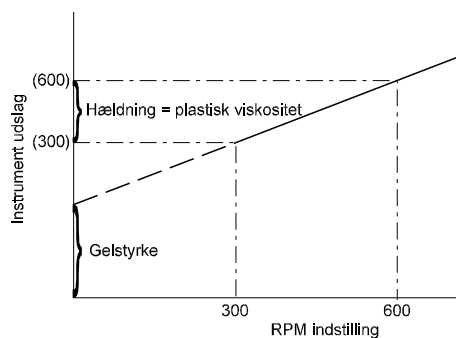
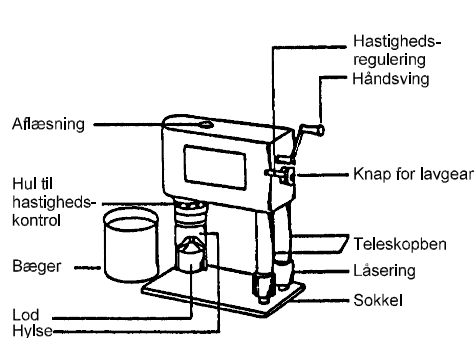
Ønskes den virkelige viskositet/plastisk viskositet målt, sker dette ved hjælp af et rheometer, med hvilket man måler forskydningsspænding og forskydningshastighed samt flydegrænse og gelstyrke. Brugen af et rheometer er illustreret på **Figur 97**.

Rheometer

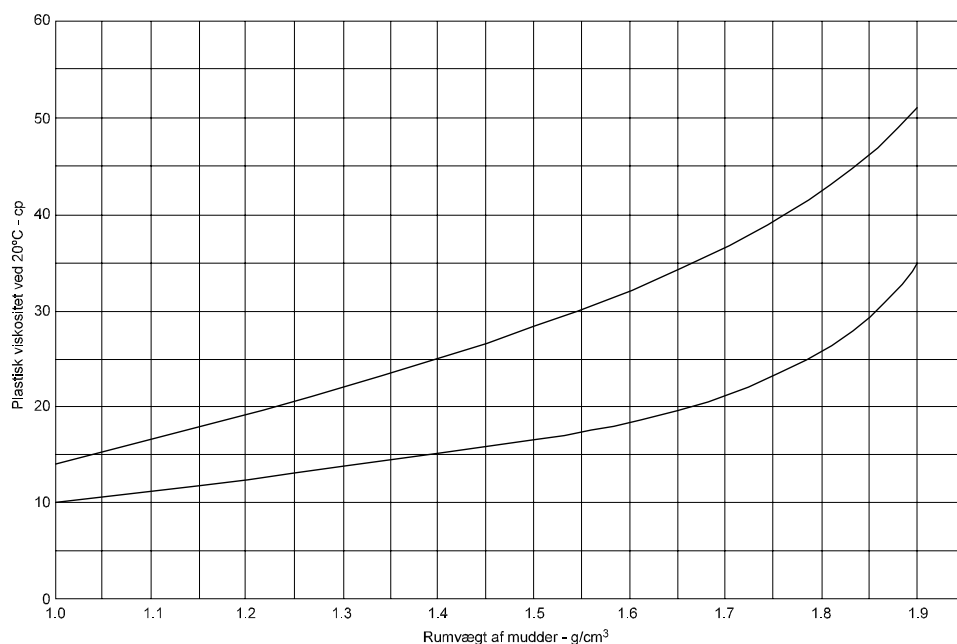
Rheometeret/viskosimetret består af et fjederbelastet lod, som står i forbindelse med en aflæsningsskala. Omkring det hængende lod er placeret en hylse, som kan roteres omkring loddet med varierende hastighed.

Hylse og lod sænkes ned i et bæger med boremudder, og hylsen sættes i rotation med en fastlagt hastighed.

Som følge af hylsens rotation i boremuddret vil det fjederbelastede lod afhængigt af friktionsmodstanden i væsken blive trukket et stykke i rotationsretningen. Ligevægten mellem loddets fjederpåvirkning og friktionskraften ved den anvendte omdrejningshastighed kan registreres som udslaget på aflæsningsskalaen.



Figur 97
Rheometer og typiske
måleresultater



Figur 98
Anbefalet interval for
plastisk viskositet som
funktion af boremudde-
rets massefylde

Friktionskræfterne er afhængige af omdrejningshastighederne og måleudstyrets dimensioner.

Den normale procedure er

- Start af hylsens rotation. Rotation i ca. 15 sek.
- Rotation med 600 omdrejninger pr. minut (RPM) til instrumentudslaget er stabilt.
- Udslaget for 600 RPM aflæses i cp (centipoise)
- Rotation med 300 RPM til stabilt udslag
- Udslaget for 300 RPM aflæses i cp.

Figur 97 viser definitionen på plastisk viskositet og flydespænding.

Plastisk viskositet bestemmes som udslaget for 600 RPM – udslaget for 300 RPM aflæst i cp.

Flydespændinger/Yield Point bestemmes som differensen mellem aflæsningen for 300 RPM og den bestemte plastiske viskositet og angives i lb/100 sq.ft.

Yield point

Sædvanemæssigt regner man med, at den tilsyneladende viskositet/Apparent Viskosity fra viskosimeterforsøget svarer til halvdelen af udslaget ved omdrejningshastigheden 600 RPM.

I **Figur 98** er angivet det anbefalede interval for den plastiske viskositet i forhold til muddrets massefylde.

Gel styrke

Gel styrken måles med rheometeret/viskosimetret i fortsættelse af viskositetsbedømmelsen efter følgende procedure:

- Efter afslutning af viskositetsforsøg med 300 RPM lades udstyret stå i ro i 10 minutter.
- Der drejes forsigtigt og langsomt i lavgear (speciel knap)
- Viserinstrumentets største udslag, før den gelede mudder bryder op mellem hylse og lod, aflæses.

Den aflæste værdi er boremudders gelstyrke målt i lb/100 sq.ft.

Massefylde

Boremudders massefylde kan bestemmes ved direkte måling af rumfang og vægt således

- Et tomt måleglas vejes på en vægt (P_1 gram)
- Boremudder fyldes i glasset, og volumen heraf aflæses på måleglassets skala (V cm³)
- Vægten af måleglas med mudder bestemmes (P_2 gram).

Mudderrumvægten udregnes med ligningen

$$\gamma = \frac{P_2 - P_1}{V} ,$$

med enheden g/cm³, kg/l

Muddervægt

For massefyldebestemmelse på borestedet er der til volumen- og vægtbestemmelse konstrueret en speciel muddervægt/mud balance som vist på **Figur 99**.

Proceduren for måling af boremudders massefylde med muddervægten er

- Fjern målebeholderens låg med ventilationshullet og fyld boremudder i, til beholderen er næsten helt fuld
- Bank lidt på målebeholderen for at frigøre evt. luft, som måtte være fanget i mudderet
- Anbring atter låget og drej det, til det er helt på plads. Det er vigtigt, at lidt boremudder herved bliver klemmt ud af ventilationshullet i låget
- Aftør målebeholder med låg for overskydende mudder. Mudderrumfanget vil herefter være veldefineret
- Placer vægten på vægtniven
- Flyt det forskydelige lod, til der er opnået absolut ligevægt i det indbyggede vaterpas
- Boremudders massefylde kan da aflæses på vægtarmen i den enhed, man ønsker.

Vægten kan kalibreres ved at anvende demineraliseret vand i stedet for mudder. Afslæsningen skal da vise vandets rumvægt 1 g/cm³.

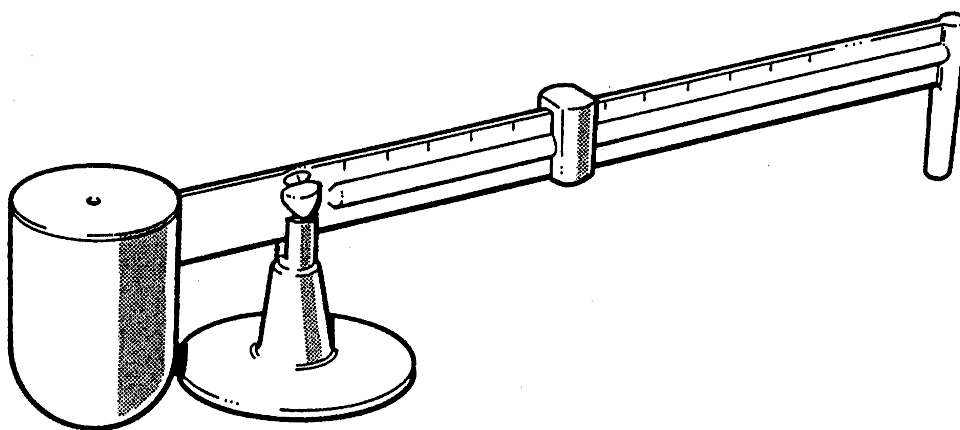
En evt. afvigelse kan korrigeres ved ændring af ballast i vægtarmens fastsiddende lod.

Filteregenskaber

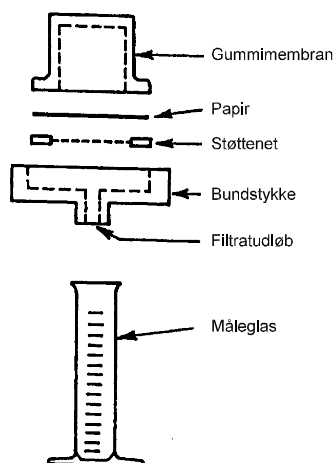
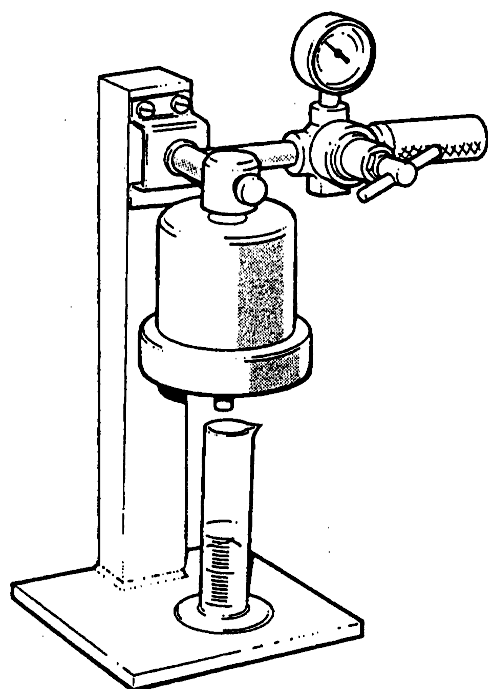
Filteregenskaberne, som er af væsentlig betydning for mudders evne til at danne en velegnet mudderkage/filterkage på boringsvæggen, bestemmes ved hjælp af en standard Filter Presse med et princip som vist på **Figur 100**.

Procedure for bestemmelse af filteregenskaberne er

- Saml filterpressebeholderen i følgende rækkefølge
 - Bundstykke med filterudløb
 - støttenet
 - filterpapir
 - cylinder



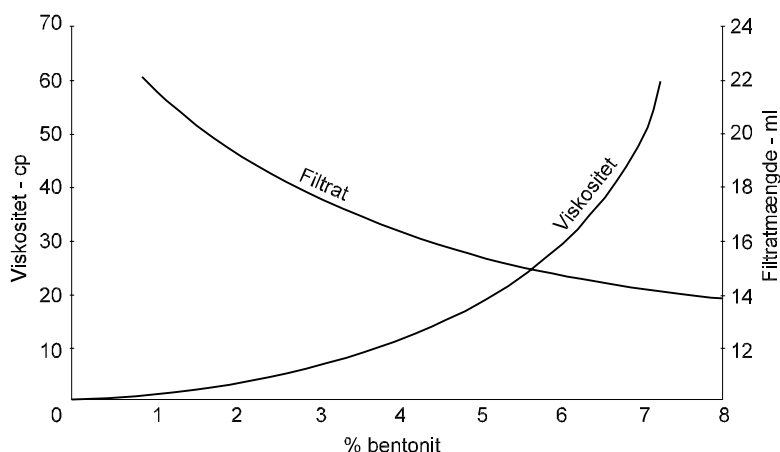
Figur 99
Standard muddervægt



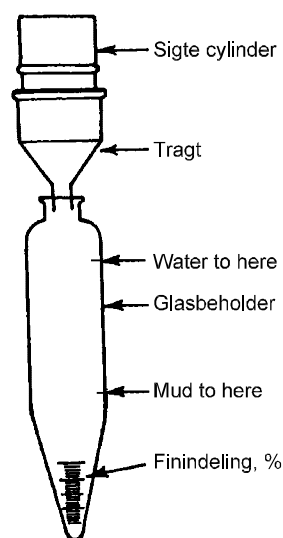
Figur 100
Filterpresse til bestemmelse af boremudders evne til opbygning af filterkage

- Fyld boremudder i cylinderen til ca. 10 mm under cylinderens overkant
- Påsæt låget og anbring den fyldte beholder i fastgørelsesrammen
- Anbring måleglasset under filtrets udløbsåbning
- Forbind filterpressen med trykluft og luk op for denne.
- Når manometret viser 100 PSI (pounds per square inch) efter indstilling på trykregulator, startes stopuret
- Kontroller, at trykket konstant er 100 PSI
- Efter 30 min. lukkes for tryklufte, og filtratmængden i måleglasset aflæses i ml. Tallet, der fremkommer, kaldes filtertallet
- Adskil filterpressen
- Filterpapiret skylles forsigtigt under langsomt rindende vand
- Filterkagens tykkelse måles i 32-dele af en tomme, og filterkagens egenskaber, fx struktur, hårdhed og elasticitet noteres.

Figur 101
Typisk forhold mellem
bentonitkoncentration,
filtartal og viskositet



Figur 102
Udstyr til bestemmelse
af sandindhold i bore-
mudder



Erfaringstal for sammenhængen mellem den plastiske viskositet, filtartal og bore-mudders bentonitkoncentration fremgår af **Figur 101**.

Faststofindhold

Boremudders faststofindhold i vægtprocent kan bestemmes ud fra mudders og væskefasens massefylde. En direkte bestemmelse kan foretages ved vejning af totalprøve og med påfølgende inddampning og vejning af inddampningsrest.

Sand content

En mudderprøves indhold af sandpartikler/*sand content* er en god rettesnor, når det skal vurderes, om rensning af mudderen har været effektiv, og om der kan forventes ekstraordinær slitage på udstyr.

Sandindholdet i volumenprocent kan bestemmes med et udstyr som vist på **Figur 102**. Bestemmelsen foregår således:

- fyld boremudder i glasmålebeholderen til mærket “Mud to here”
- tilsæt derefter demineraliseret vand til mærket “Water to here”
- luk glasmålebeholderens åbning med en finger og ryst prøven grundigt
- hæld denne prøve gennem sigten, der er anbragt i en cylinder. Sigten tilbageholder alle partikler $>74 \mu\text{m}$ ($>0,074 \text{ mm}$), mens finere partikler skylles igennem og ud som affald.

- skyl glasbeholderen gentagne gange med demineraliseret vand og hæld dette gennem sigten, indtil glasbeholderen er helt fri for partikler.
- lad rindende demineraliseret vand skylle gennem sigten, så kun sandpartiklerne bliver tilbage. Omrør evt. forsigtigt med en spatel
- anbring tragten med tragtspidsen opad over cylinderen med sigten
- vend tragt og cylinder langsomt med tragtmundingen ned i glasmålebeholderen
- vask sandpartiklerne ned i glasbeholderen med en fin vandstråle

Når sandpartiklerne er bundfældede, kan sandindholdet i volumenprocent aflæses direkte på glasbeholderens skala.

pH-værdi

pH er defineret som den negative logaritme til hydrogenionkoncentration:

$$\text{pH} = -\log \text{H}^+$$

pH skalaen går fra 0-14. Destilleret vand regnes som neutralt med pH = 7, og

Boremudder med pH < 7 er surt.

Boremudder med pH = 7 er neutralt.

Boremudder med pH > 7 er alkalisk (basisk).

Boremuddets pH-værdi kan måles med pH indikatorpapir eller -strimler, hvor et farveskift angiver pH-værdien.

Indikatorpapir

pH-værdien kan også måles ved anvendelse af et pH-meter. Et pH-meter er et elektronisk udstyr, som måler potentialforskellen mellem to elektroder, en glaselektrode og en mættet kviksølv elektrode. Den direkte aflæselige værdi af pH er mere nøjagtig, end pH værdier bestemt ved indikatorpapir, men indikatorpapirmålingen er normalt fuldt tilstrækkelig for behovet til nøjagtighed i forbindelse med skylleborearbejde.

pH-meter

1.12 Dimensionering af boreenheden

Hovedkravet til en boreoperation er, at etablere et rensset, stabilt borehul med den ønskede slutdimension til den ønskede dybde.

Valg af udstyr og metode

Opfyldelsen af dette krav ved boring gennem en formation med mere eller mindre kendte geologiske og hydrogeologiske forhold danner basis for valget af

- boremetode
- boreenhed i terrænniveau
- udstyr i borehullet
- transportsystem for det løsborede formationsmateriale.

Korrekt dimensionering af den nødvendige kapacitet af boreenheden med udstyr er vigtig for den ansvarlige boreentreprenør. En overbelastning vil resultere i skader på udstyr og i værste tilfælde udsætte boremandskabet for risiko for personskade.

Underdimensionering

Anvendelse af en boreenhed med en kapacitet, som er lidt større, end hvad dimensioneringen kræver, vil normalt resultere i, at boreopgaven gennemføres mere effektivt og dermed mere økonomisk fordelagtigt, end hvis kravet lige netop er opfyldt.

Dimensionering af sikkerhedsmargin

Dette skyldes, at der under borearbejdets udførelse kan opstå situationer eller afvigelser i bundforhold, der gør, at den sikkerhedsmargin, som boreenhedens producent har anvendt ved fastlæggelsen af de for udstyret tilladelige belastninger, bliver overskredet.

Modsatningsvist vil anvendelse af et for boreopgaven meget overdimensioneret udstyr resultere i unødvendige omkostninger som følge af forøget vægt og håndteringsbesvær med enkeltkomponenter samt spildt energiforbrug.

Overdimensionering

Vægt af borestreng
afgørende

Ved valg af det mest hensigtsmæssige udstyr skal opmærksomheden særligt rettes mod

- den vægt, som kan løftes i spilwiren
- den vægt, som kan overføres til boreværktøjet ved boringsbund
- drejningsmoment og omdrejningshastighed for rotationsenheden
- borestrengens træk-, tryk- og torsionsstyrke
- volumen- og trykkapacitet for cirkulationsenheden for evt. skyllesystem
- nødvendigt kraftforbrug til samtidige operationsfunktioner.

For planlægning og valg af udstyrskomponenterne er det derfor vigtigt at vurdere

- spilwirekapacitet og hastighed
- masthøjde og effektiv vandring af rotationsenhed og svirvel
- type af løteklemmer eller topstykke for borestreng
- fodklemmer for fastholdelse af boreværktøj og borestænger
- udstyr til samling og løsning af borestrengsforbindelser
- udstyr til håndtering af borestrengs- og casingelementer i terrænniveau
- mulighed for nedføring af evt. casing under penetration af borestrengen
- mulighed for rotation af borestrengen under samtidig anvendelse af wirespil mv.

1.12.1 Boremast og spilwirekapacitet

Belastningen, som boremasten skal kunne optage, er en kombination af

Boremast. Belastning

- vægten af borestrengen
- dynamiske belastninger under borestrengsoptrækning – chockpåvirkninger
- friktionsmodstande mellem boreværktøj og boringsvæg
- det system, hvorved trækkræfterne over boremasten overføres fra trækspil og hydrauliske cylindre eller motorer.

Udnyttelse af wirespillets
trækkraft

Som oftest vil belastningen på boremasten derfor langt overskride den *statiske vægt* (egenvægten) af borestrengen. Ofte er trækraften, som kan leveres af wirespillet, mindre end den vægt, der skal løftes. Der indbygges derfor blokke med wireskiver for at reducere den nødvendige spiltrækkraft. Dette kaldes *wireskæring*. Alene ved direkte wiretræk over topskive i boremasten vil boremasten skulle bære en lodret last, som er lig med den dobbelte kraft fra wirespillet, som dette fremgår af skitsen i **Figur 103**.

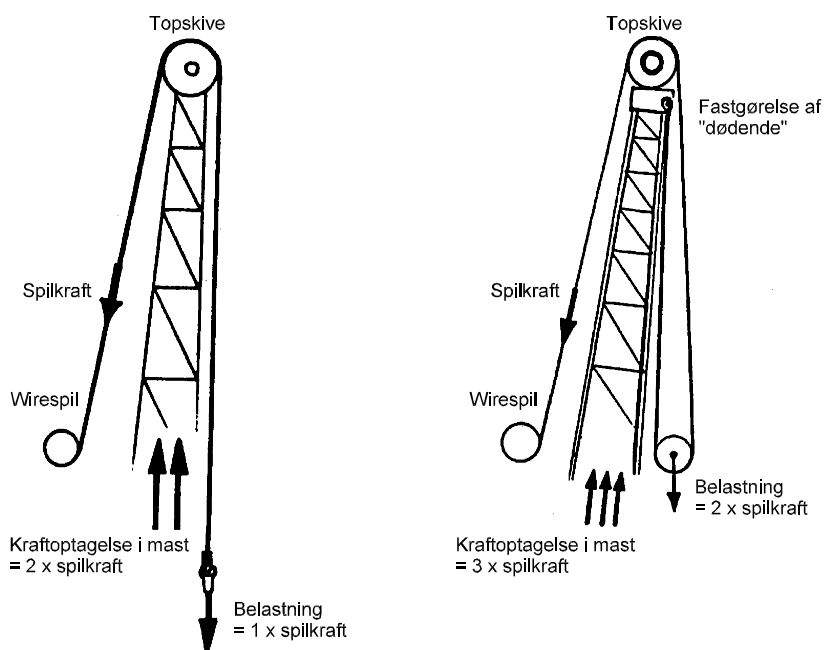
For en enkeltskåret wire vil belastningen på boremastens top forøges til 3 gange trækraften fra wirespillet (jf. **Figur 103**). Belastningen på boremastens top vil være trækraften fra wirespillet multipliceret (ganget) med antallet af wireløb ført til mastetoppen inklusive selve wireløbet til spillet.

Overføres den nødvendige løftekraft for borestrengen fra hydrauliske cylindre eller motorer, vil dette normalt ske via wirer eller kæder ført over skiver fastgjort i boremasten og i forbindelse med rotationsenheden. Et sådant arrangement er permanent, således at producentens angivelser af tilladelig træk- eller trykkraft kan anvendes direkte i dimensioneringen.

Wirespil

Wispillets trækkraft er bestemt af det drejningsmoment, wiretromlen kan yde, og den effektive diameter af det wirelag på tromlen, hvorfra spilwiren udgår. Wispillet vil derfor have sin største trækkraft, hvis spilwiren udgår fra inderste wirelag på tromlen, og den mindste trækkraft, hvis spilwiren udgår fra yderste wirelag på en fyldt tromle.

Det er vigtigt, at der ikke er opviklet mere wire på tromlen end nødvendigt for de



Figur 103
Kraftpåvirkning af bore-
mast ved direkte wiretræk
og enkeltskåret wire.

aktuelle wiretrækoperationer. Alternativt kan wiretromlen være inddelt i to afsnit. Et afsnit til lagring af wire og et afsnit til wiretræk på "bar tromle".

Wirespillet skal være forsynet med en pålidelig bremseanordning, der dels kan fastholde belastningen og dels langsomt 'slække af' for den samme belastning. Afhængigt af wirespilkonstruktionen kan bremsen være mekanisk eller direkte hydraulisk.

Wirehåndteret boreværktøj som fladmejsler, faldhamre, sandspande m.v. skal opereres i enkelt wire. Vægt af udstyr og forbindelseswire skal derfor være mindre end wirespillets trækraft. Samtidigt ønskes en høj wirehastighed for hurtig optrækning af boreværktøjet samt mulighed for frit fald af dette udstyr.

Såfremt boreriggen er forsynet med et excenterslagværk, stempelslagværk eller vippeværk, skal dette kunne løfte den tungeste værktøjsvægt med en hastighed, som er større end 1 m/sek., uden at dette overbelaster det wirespil, som er i samtidig funktion.

Bremse og
slækkemulighed

Wirehastighed

Slagværk

1.12.2 Bit tryk

Boreværktøjets nødvendige tryk på formationen i boringens bund er afhængigt af formationens hårdhed og boreværktøjets skærende areal. Som retningslinje kan anvendes følgende sammenhæng mellem formationshårdhed og nødvendigt bit tryk ved anvendelse af rullemejsler

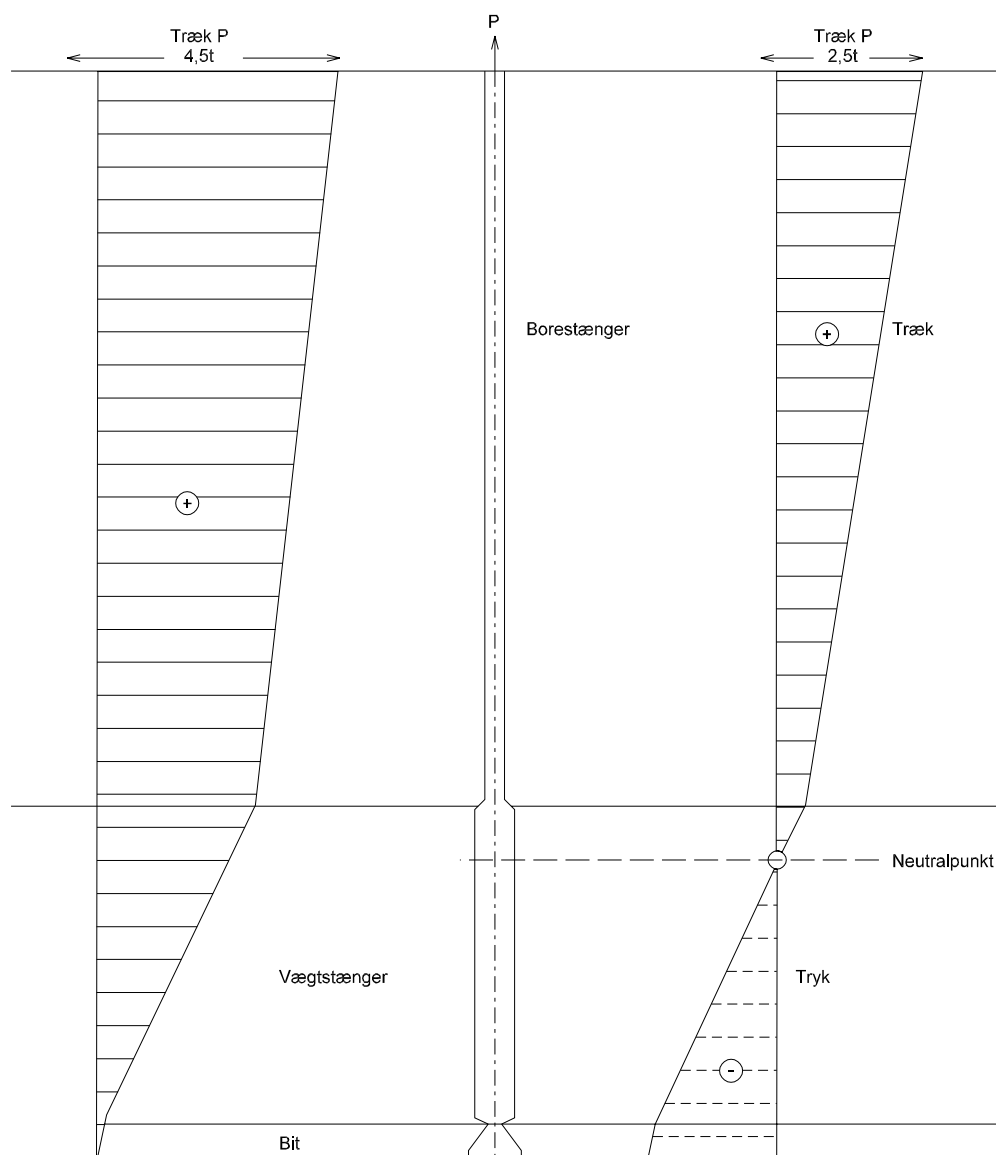
Formation	Bit tryk kg/cm diameter
Blød	200
Middelhård	400
Hård	800

Ved udførelse af rotationsskylleboringer kan det nødvendige tryk etableres ved

- overførsel af en del af borestrengsvægten til boringens bund
- overførsel af trykkraft på borestrengen fra rotationsenheden

Etablering af bittryk

Figur 104
Etablering af bit tryk ved
anvendelse af vægt-
stænger



I begge tilfælde vil en del eller hele borestrengen være trykpåvirket med risiko for udbøjning. Dette kan resultere i retningsændring for borehullet eller brud i borestrengen, såfremt denne ikke er af stor dimension, tykvægget eller stabiliseret ved centreringsanordninger (*centralizers*).

Borestreng i træk

Som anført i afsnit 1.4.1 kan risikoen for udbøjning og retningsændring afhjælpes, såfremt den væsentligste og svageste del af borestrengen – borestængerne – er konstant trækpåvirkede, samtidig med at de tykvæggede vægtstænger er trykpåvirkede. Neutralpunktet mellem træk- og trykpåvirkning bør ligge i vægtstangssektionen som vist på **Figur 104**.

Anvendelse af vægtstænger i borestrengen stiller særlige krav til trækkapaciteten i wirespil og rotationsenhed samt belastningsoptagelse i boremasten.

Vægtstænger til at opnå træk i borestængerne bør altid benyttes ved gennemboring af aflejringer, som ikke kan karakteriseres som meget bløde, eller ved penetrationsdybder større end ca. 20 m, hvis borehullet ikke er afstivet med en casingdimension, som er mindre end ca. tre gange borestangsdimensionen.

1.12.3 Drejningsmoment og rotationshastighed

Det drejningsmoment, der overføres til borestrengen fra rotationsenheden, skal anvendes til overvindelse af de modstande, som opstår mod rotationen af borestreng og boreværktøj i borehullet. Omdrejningsmodstanden er bestemt af

- diameter af boreværktøj (borehulsdiameter)
- rotationshastigheden
- hårdheden af formationen og den måde, hvorpå formationen skal påvirkes ved bit tryk og skæring for løsboring af formationsmateriale
- evt. friktion mellem borestreng og borehulsvæg.

Drejningsmoment

Ved anvendelse af diamanterbore og DTH-hamre og ved meget små boringsdimensioner vil et drejningsmoment på 50-100 kgm ofte være tilstrækkeligt, mens det ved rotationsskylleboringer eller ved anvendelse af boreværktøjer som snegle- eller kopbor vil være nødvendigt med drejningsmomenter i intervallet 500-5.000 kgm afhængigt af borehulsdimensionen.

Kravet til rotationshastigheden afhænger af

- boreværktøjets type og dimension
- det valgte bit tryk for effektiv penetration af boreværktøjet.

Rotationshastighed

Kravet om rotationshastighed kan derfor variere inden for følgende vide grænser

- | | | |
|-----------------|------------------|-----------------|
| – DTH bits | – langsom | (5-60 RPM) |
| – Vingemejsler | – langsom/medium | (10-40 RPM) |
| – Rullemejsler | – medium | (20-140 RPM) |
| – Diamantkroner | – hurtigt | (500-3.000 RPM) |

Rotationshastigheden aftager med voksende diameter af det skærende boreværktøj.

1.12.4 Styrke af borestreng

Ved dimensionering af borestænger indgår bl.a. følgende

- boringsdybden
- nødvendigt bit tryk
- nødvendigt drejningsmoment
- gennemgangsdiameter til sikring mod store tryktab ved gennemstrømning af cirkulationsmedium.

Da den øverst placerede borestang skal bære hele borestrengens vægt samt evt. friktionskræfter under optrækning, skal borestangen have en trækstyrke, som er tilstrækkelig til at overføre såvel den statiske belastning som dynamiske påvirkninger, hvis borestrengen pludselig sætter sig fast i borehullet på grund af nedfald af boringsvæg eller støder på underkant af casing.

Øverste borestang hårdest belastet

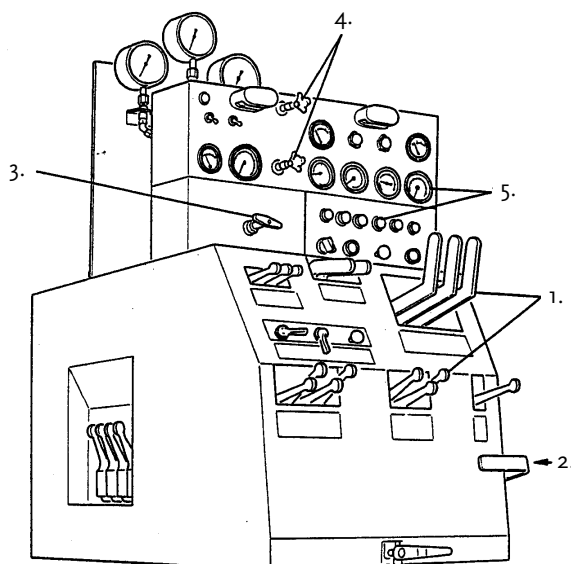
Opmærksomheden skal specielt være rettet mod trækstyrken i borestrengens samlinger.

Borestrengen skal endvidere kunne optage friktionskræfterne fra rotationen samt den nødvendige skærekraft i formationen, ligesom stop i rotationen som følge af blokering af boreværktøjet skal kunne optages, uden at borestrengen bliver permanent vredet eller drejet over i samlingerne.

Blokering

Figur 105
Instrumentpult

1. Ventiler og håndtag
2. Håndtag til trykluft
3. Choker, dieselmotor
4. Trykventiler
5. Instrumenter



1.12.5 Cirkulationsenhedens volumen- og trykkapacitet

Transportbehov

Under rotationsskylleboring er det vigtigt, at skyllesystemet opfylder det basale krav om at bringe løsboret formationsmateriale fra boringens bund op til terræn.

Mulighederne for denne cuttingstransport er betinget af viskositet og den lodrette hastighed af skyllemediet i boringen. Evt. skyllemedium med lille massefylde og lille viskositet skal generelt have større strømningshastighed end en tungere og mere tyktflydende væske.

Disse forhold er behandlet i afsnit 1.11 og en oversigt over nødvendige pumpekapaciteter er givet i **Figur 75**, side 85.

1.12.6 Kraftforsyning

Kapaciteten af de enkelte komponenter, som boreenheden består af, er afhængig af, at den modtager den nødvendige kraftoverførsel fra drivaggregatet.

Kraftoverførsel

Kraftoverførslen kan ske rent mekanisk via aksler, tandhjul, remme, kæder mv., men mest almindeligt sker den gennem et hydraulisk eller trykluftopereret system.

Kraften fra drivaggregatet fordeles på flere komponenter, som kan være i funktion samtidigt som fx wirespil, rotationsenhed og cirkulationsenhed. Det er derfor nødvendigt, at kraftoverførselssystemerne er udført og sammen med drivaggregatet dimensioneret til at kunne opfylde de samtidige funktioners behov. Drivaggregatet kan være drevet elektrisk, ved forbrændingsmotor eller ved trykluft.

1.12.7 Instrumentering

Registrering af
boreparametre

Hele boreprocessen er et handlingsforløb, som planlægges og gennemføres på basis af den valgte boreenheds funktionsmuligheder. Af hensyn til kontrol og dokumentation af, at de aktuelle kræfter og øvrige boreparametre er i overensstemmelse med forudsætningerne, er det hensigtsmæssigt, at kræfter og andre boreparametre kan aflæses direkte på måleinstrumenter placeret ved boreoperatørens kontrolhåndtag.

Et eksempel på en sådan instrumentering er vist på **Figur 105**.

Instrumenteringen kan indeholde angivelse af

- borestrengsvægt
- bit tryk
- tryk- og trækraft fra rotationsenhed
- wiretræk
- tilspændingskraft for klemmer
- rotationsenhedens drejningsmoment
- rotationsenhedens rotationshastighed
- borestrengens sammenspændingsmoment
- cirkulationsenhedens volumenafgivelse
- cirkulationsmediets udgangstryk
- borestrengens nedtrængningshastighed
- drivaggregatets olietryk og temperatur
- timetalsmåler for drivaggregat

I visse tilfælde kan måleinstrumenterne være tilsluttet en *datalogger*, der på en papirstrimmel el. lign. printer boreparametrene i forhold til tiden som dokumentationsmateriale og supplement til borelederens logbog.

Datalogger

1.13 Prøvetagning

Ved udførelse af borer udtages der normalt prøver af de formationer, der gennembores.

Prøvetagninger kan have til formål at:

Formål med prøvetagning

- beskrive de geologiske formationer, der er boret i, samt dokumentere beskrivelsen med prøvemateriale
- danne basis for senere udarbejdelse af en borejournal
- fremskaffe materiale for udførelse af laboratorieforsøg til at bestemme parametre for aflejringens geotekniske og hydrologiske parametre, dvs. aflejringens styrke-, deformations- og gennemstrømningsparametre
- fremskaffe materiale for at undersøge om aflejringen er forurenet.

Hvis vi kun ser på prøver af selve aflejringen (dvs. ikke prøver af formationsvand), er der principielt to prøvetyper:

- *Omrørte prøver*, hvor prøvematerialet i større eller mindre grad er blevet påvirket af boreprocessen. Materialets oprindelige struktur er blevet mere eller mindre nedbrudt, og der kan være sket en varierende grad af udvaskning, sortering eller opblanding.
- *Intakte prøver*, hvor materialets struktur og sammensætning er bevaret bedst muligt ud fra den anvendte metode eller teknik til prøvetagning.

Omrørte prøver

Intakte prøver

Der anvendes ofte betegnelsen “uforstyrrede prøver” for intakte prøver; men alle prøver vil under udtagningen blive forstyrret, og graden afhænger af udstyr samt af jordarten.

For eksempel vil en kerneprøve af meget hårdt fjeld opboret med et diamantkernerør være væsentligt mere uforstyrret end en prøve af blød dynd optaget med et tyndvægget prøverør.

Troværdigheden af den information, der fås fra prøvematerialet, afhænger primært af prøven, og den er et udtryk for, i hvor høj grad prøven har samme struktur

og samme kornfordeling, som den upåvirkede aflejring. Boreentreprenøren bør vælge såvel boremetode, som prøvetagningsmetode, så kvaliteten af prøven lever op til formålet med boringen. Fx bør prøvetagning i en forundersøgelsesboring for fundering af en tung konstruktion udføres med væsentligt højere kvalitetskrav, end hvis prøvetagning udføres for at lokalisere et vandreservoir til vandindvinding.

Vi har i Danmark ikke noget standardiseret klassifikationssystem for kvaliteten af udtagne prøver.

Prøven kan blive forstyrret af to årsager:

- udførelse af borearbejdet, dvs. den anvendte boreteknik
- selve prøvetagningen.

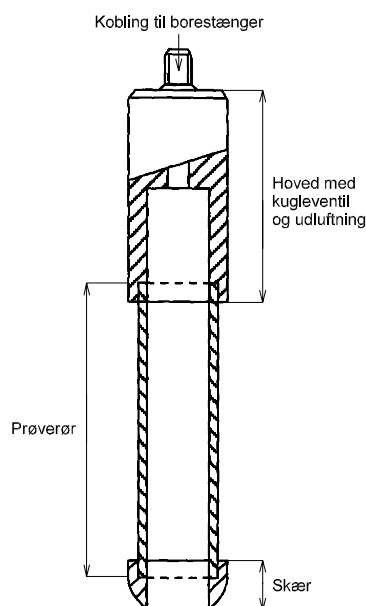
Vi kan illustrere dette ved eksempler:

- Ved boring med mejsler og sandspande vil bunden af borehullet få slag, der forplanter sig ned igennem aflejringerne under boringens bund. Hvis aflejringen er blød eller løs i strukturen, vil denne ændres. Mejslen vil endvidere nedknuse det materiale, der er løsboret, og vil derved ændre kornfordelingen.
 - Hvis boringen er uforet, vil der kunne ske nedfald fra borehullets væg i et højere niveau, og det nedfaldne materiale vil blive opblandet med materiale, der bores løs ved bund af boringen.
 - Ved arbejde med sandspand, giver spandens bevægelse en sortering af materialet. De fineste fraktioner (korn) af materialet bundfældes øverst og de groveste fraktioner nederst i sandspanden.
 - Ved tør rotationsboring løsskærer boreværktøjerne materiale fra bunden af boringen og påvirker dette mekanisk, hvorved det bliver vendt, drejet, rullet og æltet. Påvirkningen forværres tilmed, hvis der er vand i boringen. Så få rotationer som muligt af borestænger og værktøj mellem hvert optræk skal derfor tilstræbes.
 - Hvis der bores uden arbejdsrør, kan der ske nedfald fra højereliggende aflejringer. Det er derfor vigtigt med en god oprensning af boringens bund, før der tages intakte prøver herfra.
 - Hvis der anvendes boreværktøjer, der giver vacuum ved optrækningen, skabes der hydrauliske gradienter ind mod bunden af boringen med mulighed for ændring af aflejringens struktur på netop det sted, hvor prøven skal tages.
 - Hvis der konsekvent arbejdes med et lavere vandtryk i borehullet end i den omkringliggende formation, vil der permanent være en hydraulisk gradient rettet mod bund af boringen; dette kan på samme måde give forstyrrelser af aflejringen.
 - Ved udførelse af skylleboring med boremudder vil prøvematerialet i nogen udstrækning blive nedknust. På grund af dels transporttiden til terræn dels forskellig bevægelseshastighed for forskellige partikelstørrelser vil der endvidere ske en sortering af materialet samt en opblanding med tidligere løsboret materiale på vej op til terræn.
- Jo hurtigere transporten til terræn foregår, jo højere kvalitet vil prøven have.
- Ved udførelse af trykluftboringer vil materiale, der løsbøres, være stærkt nedknust.

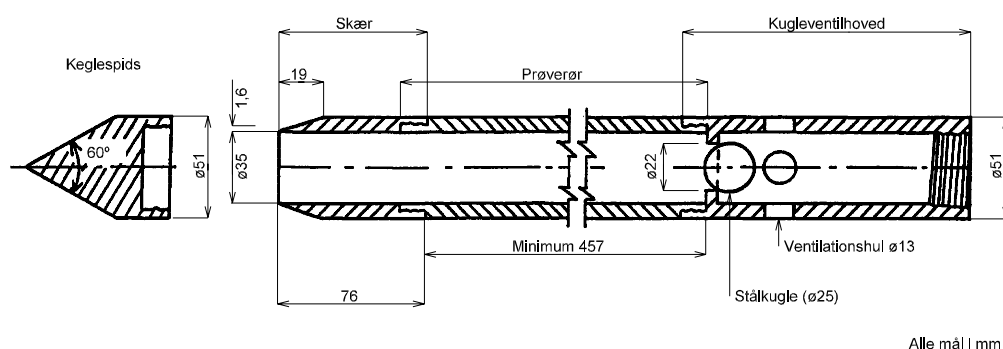
Ved udtagning af en omrørt prøve er kvaliteten af prøven afhængig af proceduren og arbejdsrutinen, som anvendes. Dette vil fremgå af den efterfølgende beskrivelse af metoder til prøvetagning.

Ved udtagning af intakte prøver i prøverør, er der fysiske forhold ved prøverøret, der har indflydelse på prøvekvaliteten.

Prøveoptagere samt prøverør til at optage intakte prøver er fremstillet i mange varianter, hvoraf vi vil se på nogle eksempler.



Figur 106
Prøveoptager



Figur 107
STP-optager
(DGF referenceblad)

En typisk prøveoptager indeholder dele som vist på **Figur 106**.

I toppen af prøveoptagerens hoved sidder en kobling eller overgang til borestænger.

Hovedet på prøveoptageren indeholder en kugleventil, der har til formål dels at lade luft og/eller vand slippe ud af prøverøret, når dette presses ned i formationen, dels at lukke tæt over prøven, når prøverør og optager trækkes op. Det tætte rum over prøven bevirker, at der opstår vacuum over prøven, hvis prøven har tendens til at glide ud af prøverøret, og dette vacuum hjælper med til at holde prøven inde i prøverøret. Prøverøret er skruet på optagerens hoved eller fastgjort med låseskruer. Samlingen skal være tæt, for at ovennævnte vacuum kan etableres.

I bunden af prøverøret er monteret et skær fastgjort til prøverøret ved gevindsamling eller med skruer. Prøveoptager inkl. prøverør og skær er normalt fremstillet af stål. Nogle prøveoptagere er udformet, så der kan monteres et PVC-rør inden i prøverøret. PVC-røret bruges til emballering og forsendelse af den optagne prøve.

Der er to forhold ved prøveoptageren, der er af betydning for prøvekvaliteten:

- Den indvendige diameter på skæret er en lille smule mindre end den indvendige diameter på prøverøret (1% af diameteren). Herved opnås, at friktionen på prøven minimeres, når denne glider op i prøverøret.

Prøveoptagerstandard

- Den mængde materiale, der skal fortrænges af skæret under nedpresningen af prøverøret, skal helst være så lille som muligt. Som mål for dette anvendes en parameter kaldet

$$\text{Arealforholdet (\%)} = \frac{D_{udv}^2 - D_{indv}^2}{D_{indv}^2}$$

hvor D_{udv} = skærets maksimale udvendige diameter, og
 D_{indv} = skærets indvendige diameter.

Det minimale arealforhold opnås, hvis selve prøverøret skærpes og reifes, og et påmonteret skær udelades. Dette kan bringe arealforholdet ned på ca. 10%. Prøveoptagere med så lille et arealforhold kaldes *tyndvæggede optagere*.

Der anvendes generelt tre typer prøveoptagere i Danmark i dag:

- SPT-optagere
- Tyndvægget prøveoptager med kugleventil – B-optager
- Tyndvægget prøveoptager med stempel – A-optager.

SPT-optager

På **Figur 107** er vist en SPT-optager (Standard Penetration Test optager).

Denne prøveoptager er fremstillet efter helt bestemte specifikationer og fungerer dels som en prøveoptager dels som et instrument for måling af jordens styrke in-situ. Prøverøret er delt på langs, så det kan adskilles, og prøven besigtiges på stedet.

Prøveoptageren rammes ned med et lod på 63,5 kg med en faldhøjde på 0,5 m, og antallet af slag pr. 15 cm nedramning registreres i 3 på hinanden følgende intervaller. Baseret på tidligere erfaringer og ud fra den geologiske beskrivelse af prøvematerialet, fås herved et mål for jordens styrke (fasthed). Under nedramningen presses/rammes prøven op i prøverøret, men rammeprocessen påvirker aflejringen/prøvematerialet med stødbølger, så prøvens struktur må forventes at blive væsentligt ændret under prøvetagningen.

Kornfordelingen er repræsentativ for aflejringen. Dvs. prøvematerialet kan anvendes til geologisk beskrivelse af formationen samt til simple klassifikationsforsøg som sigtninger (kornfordeling), kornvægtfylde, vandindhold (kun kohæsive aflejringer) m.m.

B-optager

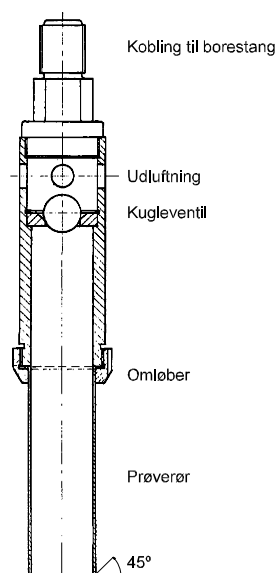
B-optageren anvendes i stor udstrækning til udtagning af intakte prøver i geotekniske undersøgelsesboringer, jf. **Figur 108**.

Prøvediameteren er ca. 42 mm og har en længde på ca. 140 mm. I prøveoptagerens hoved er et hulrum med samme diameter som prøverøret og med en længde på ca. 90 mm. Herved undgås det, at kugleventilen tilstoppes, og at prøvematerialet udsættes for et lodret tryk, hvis prøveoptageren presses længere ned end svarende til prøverørets længde.

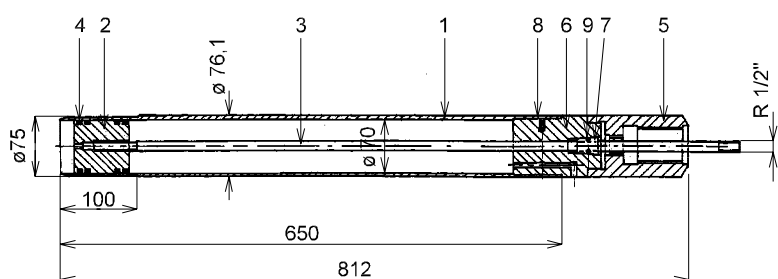
De nye EU-normer for geotekniske feltarbejder Eurocode 7, part 3, foreskriver, at prøverør til intaktprøvetagning skal have en diameter på mindst 50 mm. De B-rør, som anvendes i Danmark, lever ikke op til dette krav.

A-optager

A-optageren er en tyndvægget stempeloptyager. Mål og opbygning fremgår af **Figur 109**. Når prøveoptageren sættes ned til boringens bund, er stemplet anbragt i nederste position og bliver så presset op gennem prøverøret sammen med prøven. Herved undgås, at prøverøret fyldes med opslemmet materiale ved boringens bund under nedsætningen. Ved optrækning af prøverøret, låses stemplestangen og derved stemplet i et konisk kugleleje i optagerens hoved. Stemplet, som er forsynet med O-ringe, etablerer vacuum over prøven og fastholder herved denne i prøverøret.



Figur 108
Prøveoptager, type B



Figur 109
Tyndvægget stempel-
optager, type A

- | | | | |
|---|-----------------|---|---------------|
| 1 | Prøverør | 6 | Hoved |
| 2 | Stempel | 7 | Lås |
| 3 | Stempelstang | 8 | Skrue, unbra. |
| 4 | O-ring | 9 | Kugle |
| 5 | Overgangsstykke | | |

Stemplet vil frembringe et tryk på toppen af prøven. Hvis prøven skal tages i meget bløde aflejringer, arbejdes der med to hold stænger. Stempelstængerne forlænges til terræn, og uden om disse monteres et ekstra sæt stænger, der skrues fast på optagerens hoved. Når optageren er ført ned til top af ønsket prøveniveau, fastholdes stempelstængerne i lodret retning, og optagerens hoved med prøverør presses den ønskede prøvelængde ned. Herved undgås, at stemplet overfører tryk til prøven og derved komprimerer denne, dvs. ændrer prøvens struktur.

En prøves kvalitet afhænger i stor udstrækning af den praktiske udførelse af selve prøvetagningen. Vi vil kort se på nogle eksempler.

Prøvekvalitet

- Ved udførelse af linestødsboring og slagboring samles materialet op med en sandspand. Materialet stammer fra hele den strækning, der er løsboret. Under arbejdet med sandspanden sker der en separation af materialet – fine materialer øverst og grove materialer nederst i sandspanden. Når sandspanden tømmes ved terræn, skal man passe på, at det fine materiale ikke løber væk med det vand, der hældes ud af sandspanden. Dette kan undgås ved, at sandspanden tømmes i en ren beholder. Indholdet får så lov til at stå der, indtil materialet i opslemningen er bund-

fældet. Herefter fjernes vandet forsigtigt, og prøvematerialet blandes grundigt. Nu deles materialet i 4 dele, som man ville dele en lagkage i 4 dele. Den ene fjerdedel blandes igen og deles påny i 4 dele. Sådan fortsættes, indtil en passende prøveportion er nået. Denne emballeres normalt i en kraftig plasticpose og lukkes med en binder (plastic ties).

- Ved udførelse af tør rotationsboring udtages omrørte prøver fra de anvendte boreværktøjer. Boreværktøjet renses godt, før det nedsættes, og der roteres og nedbores kun en strækning, der maksimalt giver et volumen af materiale svarende til volumenet i boreværktøjet. Alternativt nedbores værktøjet til lige under det niveau, hvor prøven ønskes taget, således at prøvematerialet udsættes for mindst mulig mekanisk påvirkning. Når værktøjet derefter er bragt til terræn, skæres eller brækkes prøvematerialet fri fra værktøjet og renses for stærkt omrørte partier og for partier, der er nedbragt fra højere niveauer i boringen.

En passende prøve emballeres i en plastpose, der lukkes med binder. Posen bør lukkes så tæt, at fordampning af vand fra prøven og ud af posen ikke kan foregå, og posen bør trykkes sammen om prøven, så luftvolumenet i posen bliver så lille som muligt.

Ved udtagelse af omrørte prøver ved forureningsundersøgelser anvendes ofte en anden emballage til prøverne, fx Rilsanposer eller glas med tætte låg.

Når der udtages intakte prøver til laboratorieundersøgelser, bør boringen oprenses omhyggeligt, før prøverøret nedsættes. Prøverøret skal presses ned i formationen – ikke rammes ned, da ramning kan ændre prøvematerialets struktur. Der bør holdes et vandstands niveau i borehullet, der er lig med eller højere end formationens naturlige vandspejl for at undgå ødelæggende gradienter i aflejringen lige under boringens bund.

Når prøveoptageren er bragt op til terræn, demonteres prøverøret med prøven og lukkes med tætsluttende låg i begge ender. Prøven sendes til laboratoriet i prøverøret.

- Ved udførelse af såvel direkte som omvendt skylning er der en forsinkelse på transporten af cuttings fra boringens bund til terræn. Den prøve, der udtages, stammer derfor fra et højere niveau end boremejslens dybde på tidspunktet for prøveudtagningen.

Forsinkelsen er mest udtalt ved direkte skylleboring, hvor der til gengæld kan korrigeres for denne. Når diameteren på mejsel/borehul, vægtstænger og borestænger og pumpeydelsen er kendt, kan strømningshastigheden beregnes. Når strømningshastigheden og den aktuelle boreddybde er kendt, kan forsinkelsen beregnes til et antal sekunder. Prøven udtages da først fra boremudderet et tilsvarende antal sekunder efter det tidspunkt, hvor rullemejslen var i niveau med den ønskede prøvedybde.

Prøver udtages fra returstrømmen med cuttings. Hvis der anvendes rysteværk, jf. afsnit 1.10, for at rense boremudderet, kan prøver tages fra det materiale, der efterlades på sigten.

Hvis returmudderet ledes direkte til et bassin for at bundfælde, kan prøven tages med en stor sigte, der holdes ind i det strømmende boremudder og fanger cuttings i sigtens maskenet. De fineste partikler fanges dog ikke.

Alternativt kan der anvendes en container, en spand eller et kar, der holdes ind i det strømmende boremudder, indtil en passende mængde cuttings er opfanget. Container med boremudder stilles til bundfældning, hvorefter boremudderet hældes fra prøvematerialet. Evt. fint materiale vil herved kunne identificeres; men kornfordelingen vil ikke være korrekt.

Prøver emballeres normalt i plastikposer.

- Trykluftboringer er som tidligere anført også en form for skylleboring, hvor cuttings kommer op sammen med luft og evt. formationsvand. Der vil normalt være tale om en kraftig strømning.

Prøvetagning sker som ved rotationsskylleboring ved at fange cuttings i en sigte eller i en beholder, der holdes ind i strømmen med cuttings. Opblæsningen til terræn sker så hurtigt, at prøvematerialet er rimeligt repræsentativt for den aktuelle dybde; men materialet vil altid være stærkt nedknust og opblandet. Prøverne kan kun anvendes for at fastlægge de geologiske forhold.

Ved trykluftboring i helt tørre og faste aflejringer anvendes cykloner til at opfange materialet. Normalt bruges to. Den første cyklon er konstrueret for at frasortere cuttings bortset fra de fineste partikler (støvet). Luften går gennem den første cyklon og videre til den næste, der har indbyggede støvfiltre, så luften renses før udledning til atmosfæren.

Prøvemateriale emballeres normalt i plastikposer.

- Kerneprøver fra diamantkerneboring til prospekteringsformål lægges normalt i kernekasser fremstillet af træ eller plast.

Hvis der arbejdes med dobbelt kernerør, hvor prøverne skal tages ud af inder-røret, sker dette normalt ved at hælde inder-røret og slå let på dette med fx en gummihammer, så prøven 'glider' ud af røret og ned i en form. Prøven indpakkes i plastfolie, der lukkes så tæt som muligt med tape. Prøven lægges herefter i en kernekasse eller et PVC-rør for transport til laboratoriet.

Hvis der bores med en plastliner inden i inder-røret, trækkes plastlinerens prøve ud og afkortes, så længden passer til prøvelængden. Enderne af plastlinerens lukkes tæt med PVC-låg eller lignende, og prøven transporteres til laboratoriet i plastlinerens.

For alle prøver, der skal analyseres i laboratoriet for rumvægt, vandindhold, struktur, styrke- eller deformationsegenskaber mv., er det væsentligt, at prøvehåndteringen, opbevaringen og transporten foregår optimalt. Det vil bl.a. sige, at:

Prøvehåndtering

- prøverne bør indpakkes og opbevares, så der ikke sker udtørring af prøvematerialet. Prøverne bør ikke ligge fremme i solen og bør ikke udsættes for længere tids påvirkning af høje temperaturer
- prøverne ikke bør udsættes for frost, da porevandet i prøven derved kan fryse og ændre prøvens struktur med efterfølgende ændring af prøvens rumvægt og styrkeparametre
- prøverne bør håndteres og transporteres uden rystelser, slag eller anden kraftpåvirkning, der kan ødelægge prøvens struktur, dvs. brække den i stykker eller ryste den løs
- prøverne bør emballeres hurtigst muligt efter udtagelse, så utilsigtet fordampning af porevand undgås.

1.14 Registreringer og dokumentation

Kravet til boreentreprenørens registreringer og dokumentation for udført borearbejde afhænger meget af opgavetype og rekvirenttype.

De lovbestemte krav til registreringer og dokumentation findes i Vandforsyningsloven, Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 4 af 4. januar 1980 om udførelse af boringer efter grundvand og Cirkulære nr. 65 af 28. februar 1980 om udførelse af boringer efter grundvand. Heraf fremgår det, at oplysninger om geologisk lagfølge skal

Lovkrav

fremsendes til Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, GEUS, jf. kapitel 1 i 1. bog og kapitel 2 i 6. bog. Der skal også fremsendes andre oplysninger ud over de rent boretekniske, såsom lokalitet, boringsudbygning samt resultater af renpumpning.

Oplysninger kræves ikke længere opfyldt udelukkende for vandindvindingsboringer, men også i stor udstrækning for boringer udført for afværgeprojekter på forurenede grunde, hydrologiske undersøgelser eller andre projekter, hvor der bores ned i primære grundvandsreservoirer.

Ved permanente arbejder kræves ofte en 'as built' (som udført) dokumentation for boreentreprenørens entrepris med en løbende registrering af data fra arbejdsprocessen.

En del offentlige såvel som private bygherrer kræver desuden kvalitetsstyring af boreentreprenørens produktionsproces dokumenteret ved på forhånd planlagte registreringer under arbejdsudførelsen samt en afsluttende funktionskontrol.

Alle arbejder, som boreentreprenøren udfører i forbindelse med forundersøgelser, bør dokumenteres omhyggeligt, detaljeret og korrekt, idet beslutninger med langt-rækkende konsekvenser, såvel økonomiske som sikkerhedsmæssige, ofte baseres på boreentreprenørens oplysninger. Lad os illustrere dette med et eksempel:

- Der udføres en forundersøgelsesboring for en mindre kælderudgravning. Den øvre laggrænse til et sandlag med højtstående vandspejl fejlregistreres til at ligge 2 m under bund af udgravningen i stedet for korrekt 1 m. Stabiliteten af udgravningens bund vurderes med de fundne jordbundsforhold til at være i orden. Under udgravningen sker der bundbrud med ødelagt funderingsniveau til følge. Som en konsekvens må der etableres et grundvandssænkingsanlæg i byggeperioden, jord må udskiftes, og komprimeret grus må indbygges i stedet.

Der er gennem den seneste tid blevet stillet øgede krav til boreentreprenørens dokumentation for udført arbejde, og kravene vil uden tvivl øges fremover.

Efterfølgende er givet nogle kommentarer og eksempler på registreringer og dokumentation, som boreentreprenøren dels kan udføre til eget brug, dels kan aflevere til sin rekvirent, til myndigheder eller andre.

Lokalitet

Boreentreprenøren har af forretningsmæssige årsager sit eget arkiv med en indgangsnøgle, som er individuel for firmaet. Til dette arkiv vil boreentreprenøren naturligvis registrere:

- Kundens navn, adresse og telefonnummer
- By, postnr. kommune, amt
- Projektets geografiske placering.

Disse oplysninger indgår også i den information, der for mange projekter skal indsendes til GEUS. Af hensyn til administration og arkivering kan det være hensigtsmæssigt at supplere ovennævnte oplysninger med:

Projektnummer

- Entydigt projektnummer eller sagsnummer, der kan anvendes til identifikation af journaler, prøver, forsøg m.v.

Under udførelsen af selve borearbejdet bør der ske en registrering af diverse parametre, der gør det muligt efterfølgende at forstå forløbet af boreprocessen.

Borejournal

Registreringerne bør påføres en borejournal eller en feltjournal – et sæt for hver boring – og ikke kun noteres i kalenderen, eller i den 'lille sorte bog'.

Et eksempel på sådanne borejournaler er vist på **Figur 110** og **Figur 111**.

Registreringen

Boreentreprenøren bør under arbejdet registrere følgende parametre:

- Dato(er) og klokkeslet
- Dybder af arbejdsrør/foringsrør
- Dybder for udtagne prøver og typen af prøver (omrørte/intakte)
- Dybder til laggrænser

Figur 111
Borejournal b

JOURNAL FOR KERNEBORING						Sag :		Stamme		Skyllevand				Krone				
Boremaskine :						Boring nr. :		Udført af :		NED		OP						
Pumpe :						Påbegyndt :		Afsluttet :										
Dybder målt fra (kote :)						Dybde (dm. og dybde)												
Dybde m.	Kerne no.	Kerne (cm) længde	Kerne Kvalitet	Jordarts-Beskrivelse	Lab nr.	Noter vedrørende borearbejdet (nedsætning af foring nedfald m.v.) evt. yderligere noter på bagsiden		Foring	Tryk	Hastighed	Mængde (m³/h)	Tryk (at)	Mængde (m³/h)	Farve	Iblanding	Dimension	Type	No.
1					-1													
2					-2													
3					-3													
4					-4													
5					-5													
6					-6													
7					-7													
8					-8													
9					-9													
1					-1													
2					-2													
3					-3													
4					-4													
5					-5													
6					-6													
7					-7													
8					-8													
9					-9													
1					-1													
2					-2													
3					-3													
4					-4													
5					-5													
6					-6													
7					-7													
8					-8													
9					-9													
1					-1													
2					-2													
3					-3													
4					-4													
5					-5													
6					-6													
7					-7													
8					-8													
9					-9													
1					-1													
2					-2													
3					-3													
4					-4													
5					-5													
6					-6													
7					-7													
8					-8													
9					-9													

Prøvenummerering

Der vil individuelt for boremetoden være andre parametre, som fx:

Skylleboring

- Boremudders viskositet
- Boremudders rumvægt
- Pumpetryk
- Pumpevolumen
- Rotationshastighed
- Vægten på boremejslen

Boreentreprenørens navn	
Projekt:	Sag nr.:
	Boring nr.:
Prøve nr.:	Dybde:

Figur 112
Eksempel på prøvemærkat

Boreentreprenørens navn	
Projekt:	Sag nr.:
	Boring nr.:
Kerneløb nr.:	Dybde: fra m til m

Figur 113
Mærkning af kerneprøver

- | | |
|--------------------|---|
| Trykluftboring | <ul style="list-style-type: none"> – Arbejdstryk, dvs. lufttrykket ved hammerens indgang – Rotationshastighed – Trykket på borekronen – Nedboringshastigheden – Cirkuleret luftmængde – Drejningsmomentet – Skumtilsætning |
| Diamantkerneboring | <ul style="list-style-type: none"> – Dybde til top og bund af kerneløb – Længden af opboret kerne – Tryk på borekrone – Rotationshastighed – Pumpetryk – Pumpevolumen – ned og op – Borekronetype |

Optagne prøver fra en boring gives normalt et fortløbende nummer, således at den første prøve får nr. 1, den næste prøve nr. 2 osv. På den enkelte prøve sættes en mærkat - en label - så prøven er identificeret. En mærkat for omrørte og intakte prøver kan fx se ud som vist på **Figur 112**.

Kerneløb nummereres også fortløbende i den enkelte boring og numrene påføres kerneprøverne. Et eksempel på mærkning er vist på **Figur 113**.

Selve kernen mærkes desuden med “Top” og “Bund”, så orienteringen er fastlagt.

Borearbejde foregår ofte i et vådt miljø, og al mærkning af prøver bør derfor udføres med vandfaste penne.

De registrerede oplysninger fra borearbejdet og de tilhørende feltjournaler udgør boreentreprenørens basisdokumentation.

En del af oplysningerne skal indføres i den meddelelse, der for nogle boringers vedkommende skal indsendes til GEUS.

Ud fra basisdokumentationen udarbejder boreentreprenøren den dokumentation i form af tabeller, boreprofiler, grafiske afbildninger e.a., som han er forpligtet til at aflevere, eller som han ønsker at dokumentere sit arbejde med.

2. Boringens konstruktion

2.1 Indledning

Boringens konstruktion omfatter de arbejder/installationer, der skal udføres, efter at boringens slutdybde er nået. Desuden gennemgås de mest almindeligt forekommende borkonstruktioner.

Boringens konstruktion omfatter indbygning af filter og forerør, samt de dertil hørende valg af materialer og samlinger. Desuden dimensionering af gruskastning og filterets slidser, samt indbygning af lerspærre og opfyldning mellem disse.

Dertil kommer boringens overbygning med forerørsafslutningen, samt indretning af råvandsstationen eller boringens overbygning.

Der er her angivet en række definitioner, som er anvendt i "Norm for almene vandforsyningsanlæg DS442" og "Norm for mindre ikke-almene vandforsyningsanlæg DS441" samt "Bekendtgørelsen nr. 4 af 4. januar 1980 om udførelse af borkinger efter grundvand".

Normer og
bekendtgørelse

Definitioner:

Definitioner

Borerør: Arbejdsrør, der anvendes i forbindelse med borearbejdet, og som kan bibeholdes som forerør (se **Figur 1** I, II, IV) eller erstattes af forerør (se **Figur 1** III). Borerør er som oftest stålrør, der svejdes sammen eller samles med gevind. Når borerøret bliver siddende som forerør, anvendes normalt et stålrør st. 37, som er svejset sammen, mens borerør, som genanvendes, ofte er stålrør af stærkere legeringer og med gevindsamlinger.

Bundprop: Afslutning af boringens filter eller slamboks. Udføres normalt som træprop eller PVC prop. I borkinger med løse filtre (se **Figur 1** I, II) indbygges der ofte en fangkrog i bundproppen, så filteret kan tages op og renoveres.

Filterrør: Er rør med huller eller slidser, der tjener til indtagning (dræning) af vand fra et vandførende lag og samtidig sikrer, at der ikke siver materiale fra det vandførende lag med vandet. Filterrør er som regel udført i PVC eller PEH, men kan også være udført af mange andre materialer, og gennem tiden er der typisk blevet anvendt kobber belagt med forfinnet kobbervæv, rustfrit stål, egetømmer og stålrør m.m.

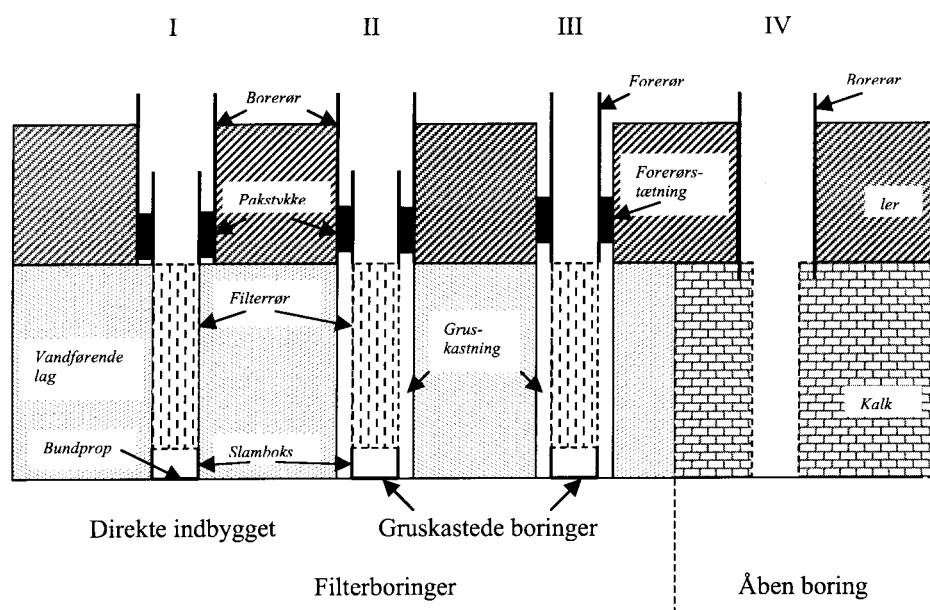
Forerør: Rør, som forbinder toppen af boringens filter med boringens overbygning ved terræn. Røret udgør en udforing af selve borehullet, deraf navnet. Uden forerør eller borerør ville borkingen forholdsvis hurtigt kolapse/falde sammen. Forerør er normalt udført som limede PVC-rør, men kan dog også være gevindsamlede PVC eller PE-rør eller svejste stålrør.

Forerørsforsegling: Tæt lukning af boringens forerør omkring pumperør i boringens overbygning (se under boringens overbygning).

Forerørstætning: Tæt lukning af mellemrummet mellem boringens forerør og selve borevæggen (se **Figur 1** III).

Gruskastning: Opfyldning eller kappe af sorteret kvartssand eller grus mellem filterrør og borevæggen. Gruskastningens formål er at tilbageholde materiale fra det vandførende lag. (se **Figur 1** II, III).

Pakstykke: Pakning mellem boringens filterrør og borerør (se **Figur 1** I, II). En borkings pakstykke kan bestå af en strækning, hvor der ingen gruskastning er. Er denne



Figur 1
De almindeligste former
for udbygning af boringer.

tilstrækkelig lang, vil der ikke kunne trænge sand ind i boringen denne vej. Ellers blev den i ældre tid udført af bly eller pakgarn og oksetalg. Oksetalgen optager noget vand og udvider sig derved og danner en tæt fleksibel tætning. I dag benyttes som regel ekspanderende gummi- eller bentonite-fugebånd. Disse fugebånd har dog den ulempe, at det er vanskeligt at trække filteret op igen.

Overbygning: Pumpebrønd eller råvandsstation som er anbragt over boringen, og giver frosthfri beskyttelse for diverse tekniske installationer og giver adgang til boringen.

2.2 Boringens udbygning og filtersætning

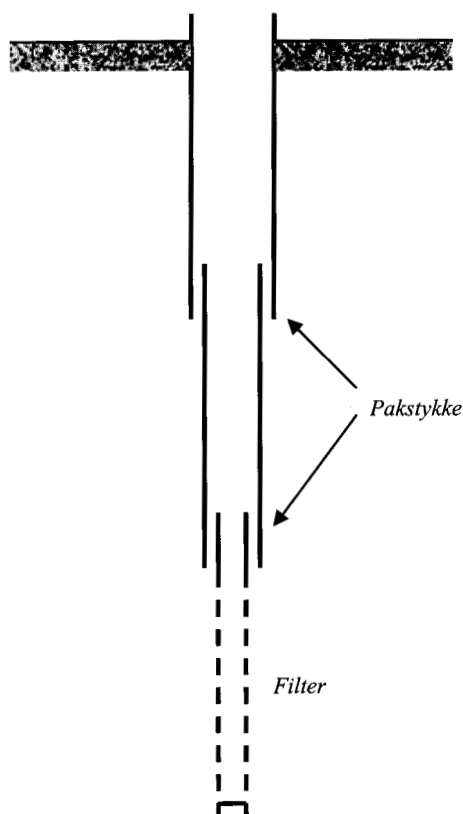
Filtersatte boringer findes i mange varianter, i **Figur 1** er vist de almindeligste borkonstruktioner. At der findes mange varianter, hænger sammen med, at selve boreprocessen og geologien kan begrænse valgmulighederne og afgøre boringens konstruktion. Fx vælges det, at lade kalken stå åben, da det ikke giver nogen unødige virkningsgrads tab, og muligheden for at foretage en tryksyring af boringen senere bevares. Men er der et sandlag over kalken, og er kalken meget opsprækket, risikeres det, at sandet trænger ind i boringen via sprækkerne i kalken, og boringen begynder at give sand. Måske vælges det alligevel, at lade den stå åben, da man normalt senere vil kunne indbygge et filter svarende til **Figur 1** I eller II.

Det er ikke ualmindeligt, at ældre dybere boringer, udført med sandspand og borerør, er udført med flere rørgange (**figur 2**). Det er fordi, rørene er gået fast, og man har derfor været nødt til at bore indeni, med borerør i en mindre dimension. Har man ladet borerørene sidde som forerør og skåret dem over, således at boringen har flere pakstykker, kan dette give nogle overraskelser, når man fx skal indbygge en større dykpumpe.

Der findes således mange varianter af disse "typiske" konstruktioner, og de skal da også kun betragtes som nogle enkeltstående muligheder. Det er en del af håndværket at designe boringen, så den udnytter de fundne grundvandsressourcer, med den bedst mulige virkningsgrad og med den størst mulige beskyttelse af grundvandsmagasinet.

Konstruktionstyper

Figur 2
Boring med flere
pakstykker.



Figur 3
Filterkonstruktionens
funktionskrav.

1. Boringen skal kunne levere sandfrit vand.
2. Boringen skal være modstandsdygtig mod inkrustationer (belægninger/aflejringer)
3. Den skal være korrosionsbestandig.
4. Boringen skal have mekanisk styrke.
5. Boringens filterkonstruktion skal have lille filtermodstand.

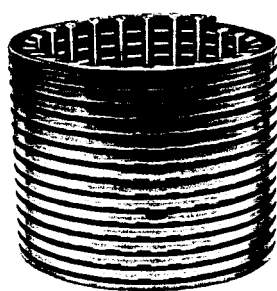
Det medfører, at man bør tænke på boringens livscyklus, når man konstruerer en udbygning af en boring. Dvs. det er ikke kun den aktuelle driftssituation, som er bestemmende for boringens udformning. Senere, når boringen skal vedligeholdes og eventuelt oparbejdes, skal den være konstrueret sådan, at den kan holde til det. Hvis boringen en dag skal tages ud af drift og dermed sløjfes, skal den være udført sådan, at dette kan ske betryggende, uden risiko for grundvandsforurening.

Det er derfor vigtigt at lave en præcis beskrivelse af, hvordan boringen er udført. De normale indberetningsskemaer til GEUS giver ikke altid tilstrækkelig detaljerede oplysninger om borerne. Specielt ikke med hensyn til placering af forerørstætninger og dimensioner på filtre og forerør.

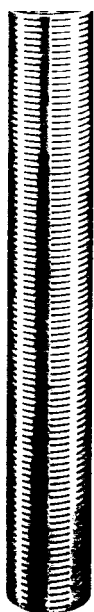
Specielt, hvis der er anvendt flere forskellige rørdimensioner, er der ikke tilstrækkelig med felter i indberetningsskemaet til at give en præcis beskrivelse af boringens konstruktion. Man bør derfor lave en skitse af boringen, som man vedhæfter indberetningsskemaet, så denne indgår i GEUS's arkiv som et bilag til indberetningsskemaet.

Filterets funktionskrav

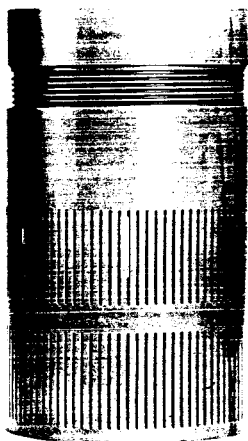
Det er en naturlig ting, at boringen skal kunne vedligeholdes, og at den senere skal kunne sløjfes på betryggende vis, men den færdige boring har også en række andre funktionskrav, som den skal leve op til, jf. **Figur 3**.



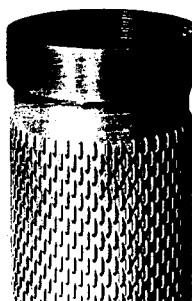
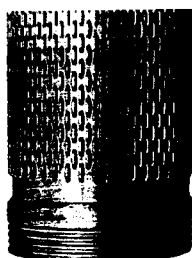
1.



2.



3.



4.

Figur 4
Forskellige typer filtre:

1. Rustfri stålfilter.
2. PVC filter m. vandret slidsning.
3. PVC filter m. lodret slidsning.
4. Stål filter m. standsede slidsning.

Funktionskravene er her nævnt i prioriteret rækkefølge, og det skal bemærkes, at funktionskrav nr. 1 er det primære krav, mens de resterende funktionskrav er underordnede krav, som skal tilgodeses i det omfang, funktionskrav nr. 1 er opfyldt. Det skal her bemærkes, at det er almindelig retspraksis, at giver en boring sand, er brøndboreren ikke berettiget til betaling for sit arbejde. Derimod er brøndboreren ikke ansvarlig for boringens virkningsgrad!

Man skal derfor være omhyggelig med sin dimensionering af filterkonstruktionen og nøje vurdere den lagserie, man ønsker at filtersætte.

2.2.1 Dimensionering af gruskastning og filter

Funktionskrav 1 (**Figur 3**) er således særdeles vigtig. Næst efter at lave et veltilrettelagt og gennemført borearbejde, er det brøndborerens primære opgave at udforme filterkonstruktionen, således at boringen giver sandfrit vand.

Figur 5
Sigteanalyse med gennemfaldskurve.

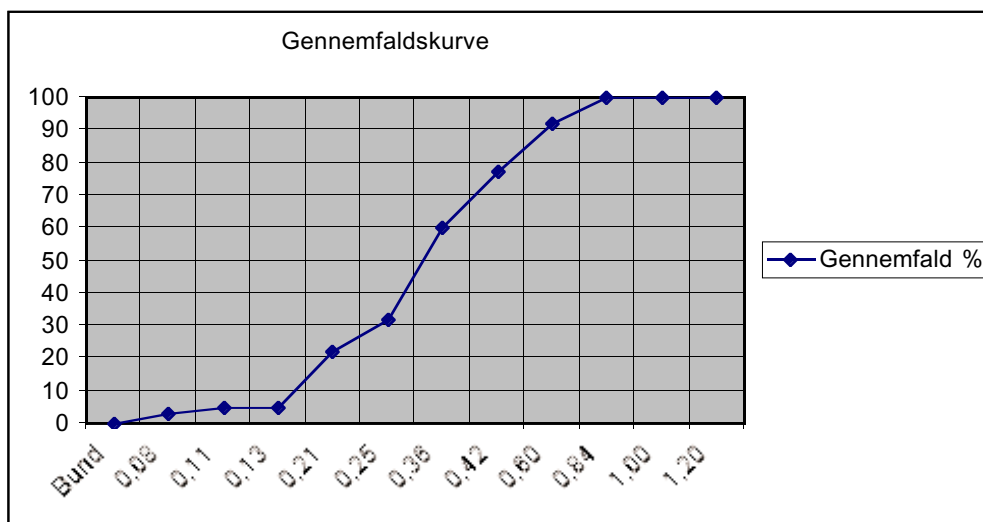
FIRMANAVN
Gade
By
Tlf.

Sigteanalyse.

Vedr.: Xkøbing Vandværk
Boring: B11, DGU nr. 133.333
Dato: 24/12 1996

Sigte mm	Afvejet g	Tilbageholdt g	%	Gennemfald g	Gennemfald % %
1,20		0	0	813	100
1,00	0	0	0,0	813	100,0
0,84	0	0	0,0	813	100,0
0,60	63	63	7,7	750	92,3
0,42	120	183	22,5	630	77,5
0,36	143	326	40,1	487	59,9
0,25	228	554	68,1	259	31,9
0,21	79	633	77,9	180	22,1
0,13	138	771	94,8	42	5,2
0,11	2	773	95,1	40	4,9
0,08	15	788	96,9	25	3,1
Bund	25	813	100,0	0	0
Sum	813				

Ilagt øverste sigte: 850 g



"Sandfri" filterkonstruktion

Sædvanligvis består et filter af et rør (ofte PVC), som er forsynet med slidser eller lignende åbninger.

Uden om filteret kastes selve gruskastningen. Det er således et samspil mellem slidsernes spaltebredde og gruskastningen, som skal tilbageholde de finkornede aflejringer.

Udformningen af filterkonstruktionen udføres på baggrund af en sigteanalyse, ud-

ført på en eller flere repræsentative prøver af det opborede sand. Her skal man være specielt opmærksom på mere finkornede strækninger af det vandførende lag.

I henhold til de to vandforsyningsnormer "Norm for almen vandforsyning DS442" og "Norm for mindre ikke almen vandforsyning DS441" udføres filterdimensioneringer i Danmark efter d60. Dvs. man bruger 60 % gennemfald som udgangspunkt for dimensioneringen.

2.2.1.1 Sigteanalyse og filterdimensionering

I forbindelse med borearbejdet udtages der jordprøver fra det sandlag, der ønskes filtersat. Som tidligere nævnt skal man være opmærksom på de mere finkornede partier af lagserien, således at disse indgår i dimensioneringen af filteret og gruskastningen.

Jordprøven tørres i ovn eller mikrobølgeovn ved svag varme (60°C). Derefter knuses eventuelle lerklumper, og jordprøven hældes i øverste sigte. Sigterne rystes nu i et passende tidsrum. Vær opmærksom på, at det tager nogen tid, inden de finkornede partikler har arbejdet sig igennem alle sigterne og ned til de nederste sigter, så ryst hellere 10 minutter for længe.

Herefter vejes det aflejrede sand på hver enkelt sigte, og resultatet noteres i et skema som vist i **Figur 5**. Den tilbageholdte mængde beregnes som en opsummering af det, der lå på de enkelte sigter.

Gennemfaldsmængden er naturligvis den mængde, som ikke er blevet tilbageholdt, og beregnes ved at trække den tilbageholdte mængde fra den samlede sum af sigtet jord, her i **Figur 5** er det således 813 g. For at gøre sigteanalysen uafhængig af jordprøvens størrelse omregnes gennemfaldsmængden til % af hele jordprøven.

Gennemfaldsprocenten plottes derefter som funktion af sigternes maskevidde. På denne måde kan gennemfaldskurven for den sigtede jordprøve konstrueres.

Som nævnt tidligere angiver normens vejledning, at man skal bruge d60 som dimensioneringsgrundlag for sin filterkonstruktion. På **Figur 6** er det vist, hvordan d60 og d10 aflæses på gennemfaldskurve.

For at d60 kan bruges som dimensioneringsgrundlag er det en betingelse, at gennemfaldskurven ikke er for stejl eller for flad. Det er således en betingelse, at kurvens uensformighedstal C_u skal være større end 1,5 og mindre end 3,0. En gennemfaldskurves uensformighedstal er defineret ved følgende:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

I **Figur 6**, hvor d10 og d60 henholdsvis kan aflæses til $d_{10} = 0,19$ mm og $d_{60} = 0,39$ mm. Uensformighedstallet kan da beregnes:

$$C_u = \frac{0,39}{0,19} = 2,05 \Leftrightarrow 1,5 \leq C_u \leq 3,0$$

Gennemfaldskurven i **Figur 5** overholder således betingelserne for at bruge d60 som dimensioneringsgrundlag, selvom kurven ser noget flad ud. En flad kurve betyder, at jordprøven er meget uens sammensat. Er uensformighedstallet lille og kurven stejl, er jordprøven meget ensartet og velsorteret, og man skal være påpasselig med sin dimensionering.

Figur 7 viser kornkurver med henholdsvis $C_u = 1,5$ og $C_u = 3,0$, der således angiver, hvilket område ens gennemfaldskurve skal ligge indenfor, for at d60 kan bruges som dimensioneringsgrundlag.

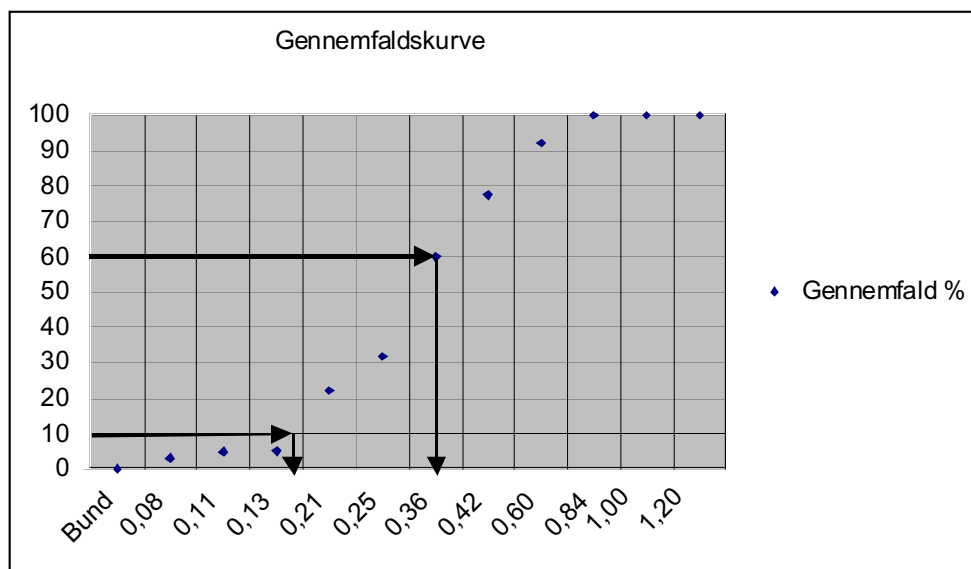
Sigteanalyse

Gennemfaldsprocent

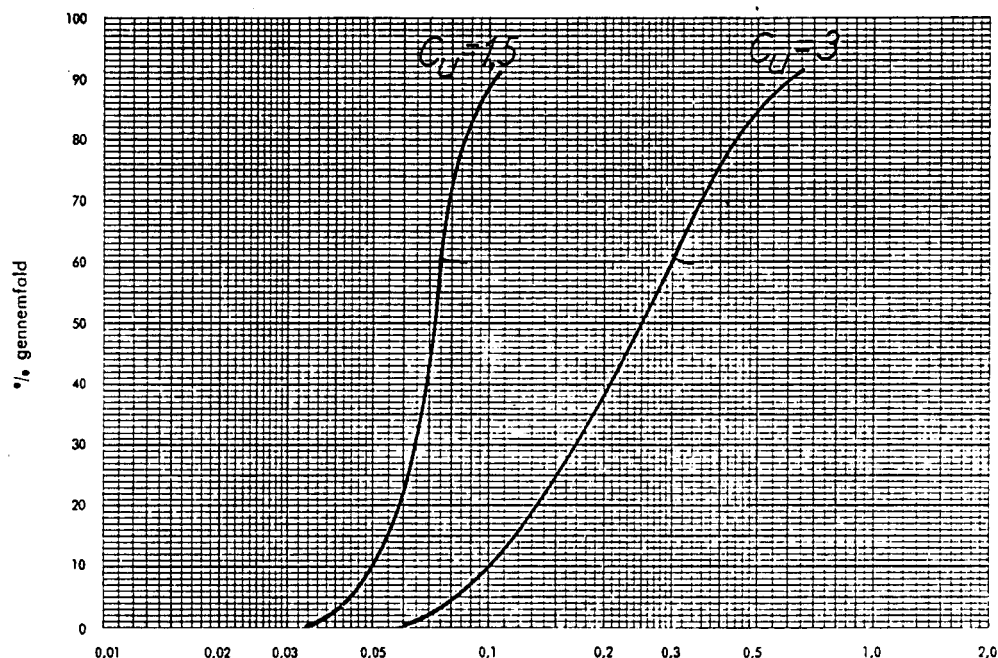
d60

Uensformighedstal

Figur 6
Gennemfaldskurve med
 aflæsning af d_{60} og d_{10} .



Figur 7
Eksempel på kornkurver
for $C_u = 1,5$ og $C_u = 3,0$.



Efter at have konstateret, at C_u overholder betingelserne for en dimensionering via d_{60} , benyttes tabellen **Figur 8**, der sammenfattende angiver de mest gængse typer filterkonstruktioners afhængighed af d_{60} .

Grusorteringer

I **Figur 8** er gruskastningen angivet efter Lund Grusgravs standard. Denne er stadig almindelig brugt, men er ikke efter nogen international standard. Det bliver derfor mere almindeligt, at man angiver sorteringsgrænserne for filtergruset i stedet for hvilket nummer, sorteringen har.

Sorteringsgrænserne for Lund Grusgrav er angivet i tabellen **Figur 9**.

Eksempel

På sigteanalysen i **Figur 5** er $d_{60} = 0,39$ mm. Denne d_{60} bruges som 'indgang' til tabellen **Figur 8**. Af tabellen **Figur 8** ses, at der kan bruges et filter med en slidsning med en spaltebredde på 0,8 mm, og der kan gruskastes med sand nr. 4 svarende til sortering 1,2 - 1,8 mm med en middeldorndiameter på 1,50 mm.

Kornstørrelse d ₆₀ mm	Gruskastning nr. efter Lund	Gruspakning nr. efter Lund	Spaltebredde S mm
0,08 - 0,12	00	3	0,6 (0,5)
0,12 - 0,16	0	4	0,8
0,16 - 0,24	1	Ingen	0,3
0,24 - 0,28	2	Ingen	0,5
0,28 - 0,36	3	Ingen	0,6 (0,5)
0,36 - 0,44	4	Ingen	0,8
0,44 - 0,56	5	Ingen	1,0 (0,8)

Figur 8
Gruskastning og spaltebredde som funktion af d₆₀.

Sand nr. efter Lund Grusgrav	Sorteringsgrænser mm	Middelkorndiameter mm
00	0,2-0,4	0,30
0	0,3-0,6	0,45
1	0,4-0,8	0,60
2	0,7-1,2	0,95
3	0,9-1,4	1,15
4	1,2-1,8	1,50
5	1,5-2,2	1,85
6	2,0-3,0	2,50
7	3,0-5,0	4,00

Figur 9
Grussorteringer efter Lund Grusgravs standard.

2.2.1.2 Filterteori

På ovennævnte forholdsvis enkle måde sikres det, at boringer yder sandfrit vand, men for at være rustet til at kunne takle grænsetilfældene skal vi se lidt nærmere på teorien bag tabellerne. Den her nævnte måde at anskue teorien på, stammer fra Leo Glensvigs artikel i VANDTEKNIK, samt ældre kursusmateriale ligeledes udfærdiget af Leo Glensvig, da hans artikler har dannet skole for den måde, man dimensionerer filtre og gruskastninger på i Danmark.

Man kan, ad teoretisk vej, søge at klarlægge gruskastningens virkemåde, ved at foretage den idealiserede antagelse, at gruset betragtes som en masse kugler, og dernæst undersøge på hvilken måde, disse kugler kan være lejret blandt hinanden.

Hvis kuglerne skal være lejret tættest muligt, må de indtage en position i forhold til hinanden som vist på **Figur 10**.

I henhold til **Figur 10** gælder:

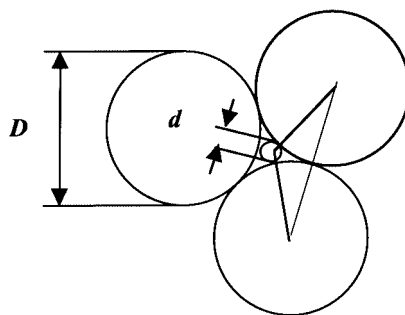
$$\left[\frac{D}{2} + \frac{d}{2} \right] \cos \frac{\pi}{6} = \frac{D}{2}$$

$$d = \frac{2 \sqrt{3} - 3}{3} \cdot D$$

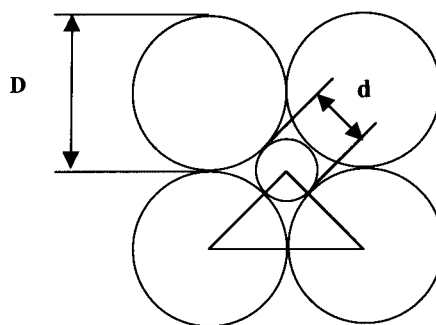
$$d = \frac{D}{6,4641}$$

Det vil sige, at den største kugle, der kan ligge mellem de store kugler, har en diameter, som er 1/6,46 gange mindre end de store kuglers diameter.

Figur 10
Tæt aflejningsform.



Figur 11
Løs aflejningsform.



Er kuglerne derimod lejret med den størst mulige afstand mellem de enkelte kugler, vil man få en lejringsform som vist i **Figur 11**.

Da gælder følgende:

$$\frac{D}{2} + \frac{d}{2} = D \cdot \cos \frac{\pi}{4}$$

$$d = (\sqrt{2} - 1) \cdot D$$

$$d = \frac{D}{2,4142}$$

De fremgår således af **Figur 11**, at den største kugle, som kan ligge mellem de store kugler, har en diameter, som er 1/2,41 gange de store kuglers diameter.

Det antages, at kuglerne ikke vil lejre sig på så idealiserede måder som angivet i de to grænsetilfælde. Da gruskastningens lejringsform naturligt er temmelig åben, vil det være rimeligt at antage, at diameteren af den kugle, der kan ligge i åbningen mellem de store kugler, er ca. 1/4 gange diameteren af de store kugler.

Der vælges derfor en lejringsform, der ligger imellem de ovenfor anførte grænsetilfælde.

2.2.1.3 Sigteanalysen

Som vist under afsnit 2.2.1.1 Sigteanalyse og filterdimensionering er sigteanalysen grundlaget for dimensioneringen af gruskastning og derefter filterets slidsning.

På grundlag af kornkurven eller også kaldet gennemfaldskurven er det muligt at bestemme det opborede sands d60 og d10, som betegner korndiameterne ved henholdsvis 60% gennemfald og 10% gennemfald.

Uensformighedstallets
betydning

Ved hjælp af d60 og d10 kan man bestemme sandets uensformighedstal C_u , der er defineret ved:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

Uensformighedstallet C_u er et udtryk for, hvor ensartede og velsorteret sandet er. Er sandet sammensat af korn, der er meget ensartet i størrelse, vil kornkurven blive meget stejl, og dermed vil C_u blive meget lille. Modsvarende vil en sandprøve, der består af mange forskellige kornstørrelser, vise sig som en flad kornkurve med en stor C_u værdi.

Ved $C_u < 1,5$, dvs. et meget velsorteret sandlag med en stejl kornkurve (se **Figur 7**) er der grund til at være meget omhyggelig og forsigtig med sin dimensionering af gruskastning og spaltebredde. Får man lavet en for åben gruskastning, vil den være meget vanskelig at få sandfri, uanset hvor længe og hvor meget der renpumpes.

Uensformighedstallet C_u og korndiameteren svarende til 60% gennemfald (d_{60}) er således tilstrækkeligt til at vurdere sandlaget og bestemme gruskastningen og slidningen af filteret.

I Danmark har man tradition for at anvende d_{60} som filterkriterie. Ses på, hvordan tyskerne dimensionerer filter og gruskastningen, gøres det meget mere gradueret og væsentligt tættere på grænsen for sandgennembrud. De tyske filterkriterier ses i **Figur 12**.

Vi lægger således væsentlig mere vægt på sikkerheden, for at boringen giver sandfrit vand, end tyskerne gør. Tyskernes mere åbne gruskastning vil ofte medføre meget langvarige renpumpninger, idet der skal fjernes betydelige mængder finkornet materiale, inden boringen bliver sandfri.

2.2.1.4 Bestemmelse af gruskastning

Ud fra betragtningen med kuglerne fandt vi ud af, at den kugle, som kan ligge mellem de store kugler, er ca. 1/4 gange diameteren af de store kugler. Det er ikke praktisk muligt at købe sand, hvor kornene er helt kugleformede og ikke varierer i størrelse, men man indvinder miocænt kvartssand, som sigtes i en række sorteringer som angivet i **Figur 9** og klassificeret efter Lund grusgravs standard.

Dette kvartssand har en kornform og ensartethed, som kommer meget tæt på kugleformen. De viste sorteringsgrænser i **Figur 9** er således et udtryk for, at den pågældende sandtype inden for visse tolerancer ligger indenfor det angivne interval og med den angivne middeldiameter.

Kvalitetssikring af
filtergrus

Det kan ikke undgås, at der vil være en lille smule sand, der ligger henholdsvis over og under de angivne sorteringsgrænser. Man skal her være opmærksom på, at den finkornede del vil give dårlige spalteforhold, fx sætte sig fast i spalterne og blokere dem, mens den grove fraktion primært vil påvirke middeldiameteren og dermed i værste fald kunne forårsage sandgennemgang, da d_{60} ikke vil kunne tilbageholdes. Det er derfor vigtigt, at være opmærksom på den kvalitetssikring og dokumentation, som ens leverandør af filtergrus udøver.

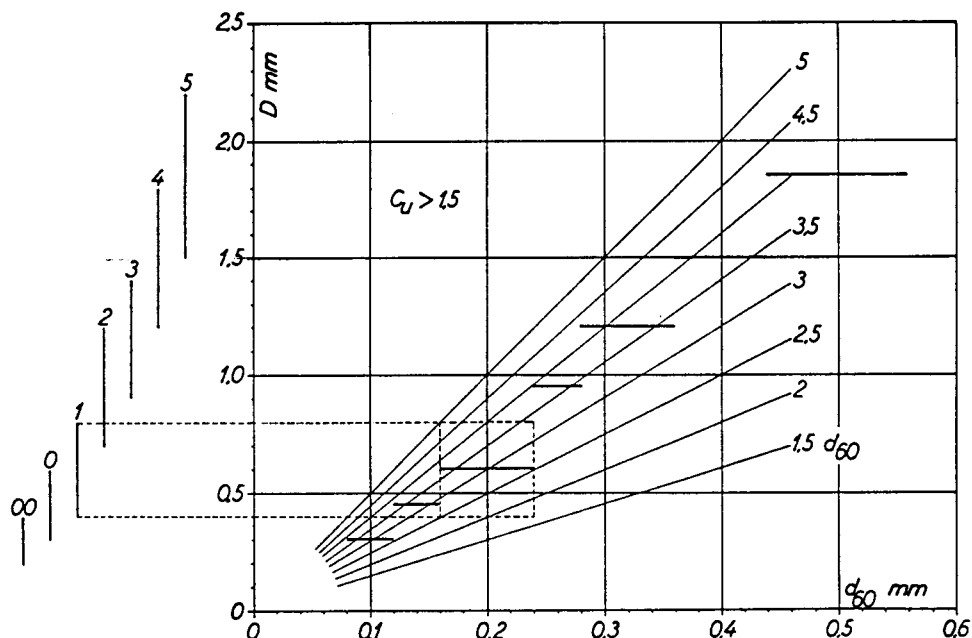
Et andet forhold, som kan forårsage sandgennemgang ved en boring, er den vandsortering, der fremkommer, når der gruskastes. De store tunge korn vil synke hurtigst ned.

Bilag 1 samt **Figur 13** er et diagram efter Leo Glensvigs artikel, hvor der for forskellige d_{60} (x-aksen) er afsat de intervaller, som de forskellige grussorteringer dækker

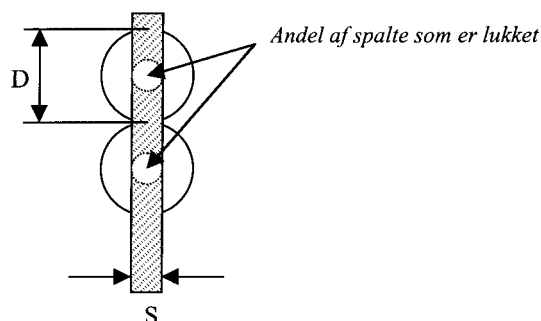
Figur 12
Filterkriterier i Tyskland.

$0 < C_u < 3$	$d_{75} - d_{85}$
$3 < C_u < 5$	$d_{90} - d_{95}$
$5 < C_u$	ny kornkurve som reduceres for de grovkornede partier, indtil der fås en kornkurve, hvor $C_u < 5$.

Figur 13
Grusorteringer i afhængighed af d_{60} efter Leo Glensvig. (se også Bilag 1)



Figur 14
Ens sandkorn lejret foran spalte i filter.s



(y-aksen). Der er indlagt et antal rette linier med forskellige hældninger, som angiver fra $1,5 \cdot d_{60}$ til $5 \cdot d_{60}$.

Under hensyntagen til de nævnte variationer i sorteringerne, samt hensyntagen til vandsorteringen, er det ikke tilrådeligt, at sorteringens angivne største kornstørrelse overskrider $5 \cdot d_{60}$.

Ser man på sand nr. 1, fremgår det af diagrammet, at denne sortering kan anvendes fra $d_{60} = 0,16$ idet $5 \cdot d_{60} < 0,80$, som er den største kornstørrelse i sand nr. 1, svarende til $0,80/5 = 0,16$.

Grusorteringens
betydning

Det forhold, at minimumskornstørrelsen er 0,4, bevirker, at mindstekornene kun er $2,5 \cdot d_{60}$ svarende til $2,5 \cdot 0,16 = 0,4$. Det er her væsentlig at bemærke, at det er den øvre grænse på $5 \cdot d_{60}$ der sikrer mod sandgennembrud.

Overlappningen mellem de forskellige sorteringer ses af diagrammet. Den laveste

d₆₀, hvor sand nr. 2 må anvendes, er ved d₆₀ = 0,24 idet 5 • 0,24 = 1,2 svarende til sand nr. 2's største kornstørrelse. Det medfører, at man er nødt til at bruge sand nr. 1 i intervallet 0,16 < d₆₀ < 0,24 hvor det for d₆₀ = 0,25 gælder at sand nr. 1's største korn svarer til 3,3 • d₆₀, mens mindste kornstørrelse svarer til 1,7 • d₆₀. Sand nr. 1 er således en forholdsvis tæt gruskastning for et sandlag med en d₆₀ = 0,24, men da grussorteringerne ligger i disse størrelser, må dette accepteres.

I diagrammet **Bilag 1** og **Figur 13** repræsenterer de vandrette linier middeldkornstørrelsen for den enkelte sortering. Ved at gå ind i diagrammet med sin aktuelle d₆₀, vil man således kunne aflæse den valgte gruskastnings forhold med d₆₀ ved at interpolere mellem de skrå forholds linier og den vandrette linie for den valgte grussortering.

Derefter ses, om den valgte gruskastning er tæt på grænserne for sandgennembrud, og dermed bør korrigeres, hvis man fx skal filtersætte et sandlag med en meget stejl kornkurve og dermed et enskornet lag med en lav Cu værdi. Har man derimod et lag med en mere flad kornkurve, vil man ligeledes her kunne vurdere, om man i grænseområdet tør gå op i en mere åben gruskastning.

Det er dog vigtigt at bemærke, at de to vandforsyningssnormer DS 441 og DS 442 DS441/DS442 begge angiver ovennævnte filterkriterier i deres vejledning. Dette medfører, at går man ud over disse filterkriterier, er det på eget ansvar. Dvs. går det galt, og boringen alligevel ikke kan blive sandfri, står man meget dårligt i tilfælde af en retssag om betalingen for arbejdet. Er man i sådan et grænsetilfælde, er det derfor vigtigt at inddrage sin bygherre og dennes rådgiver inden filtersætningen, således at det er bygherres/rådgivers valg, såfremt man afviger fra filterkriterierne i normerne.

2.2.1.5 Spalteteori

For forholdene ved filterets slidser/spalter kan man forudsætte, at man har et antal ens kugler, som er lejret over en spalte (**Figur 14**).

$$\text{Indstrømningsarealet (1): } A = S \cdot D \cdot \frac{\pi}{4} \cdot S^2$$

Det er således interessant at vide, hvilken spaltebredde man skal vælge for at opnå maksimalt frit indstrømningsareal, når gruskastningens (kuglernes) størrelse er fastlagt.

Maksimal spaltestørrelse

Ved en matematisk behandling af problemet, kan man vise, at man får maksimalt frit indstrømningsareal, når forholdet mellem kuglediameter og spaltebredde er 1,57. Dvs.

$$(2) \quad \frac{D}{S} = 1,57 \Leftrightarrow D = 1,57 \cdot S$$

Eller sagt på en anden måde er det ideelle forhold mellem grussorteringens middeldkornstørrelse og spaltebredden:

$$(3) \quad \frac{S}{D} = 0,64 \Leftrightarrow S = 0,64 \cdot D$$

Man bestemmer først gruskastningens sammensætning og derefter slidsningen ud fra denne.

Under forudsætning af at ovennævnte forhold er gældende, kan det maksimale frie indstrømningsareal bestemmes som:

$$(4) \quad A_{\max} = \frac{D^2}{3,14}$$

Spaltebredden er nu lagt fast på grundlag af middeldkornstørrelsen for den valgte gruskastning, skal man bemærke, hvad der sker, når gruskastningen udenfor slidserne/spalterne varierer indenfor sorteringsgrænserne:

Spaltestørrelsens betydning

$$1) \quad D > 1,57 \cdot S$$

Her fås et større frit indstrømningsareal jf. formel (1), idet det fri indstrømningsareal er proportionalt med kornstørrelsen. Kornstørrelsen kan dog ikke øges til mere end 4 til 5 gange d60 for det vandførende sandlag.

$$2) \quad D < 1,57 \cdot S$$

Er kornstørrelsen mindre end $1,57 \cdot S$ fås et mindre indstrømningsareal. Vær opmærksom på at jo tættere middeldorndiameteren D er på spaltevidden S , jo større tendens vil der være til, at sandkorn kitter sig fast i spalterne og dermed stoppe disse til. Det bevirker, at det kan være vanskeligt at oparbejde boringens filter igen.

Bliver $D < S$, vil gruskornene gå gennem spalterne og ind i boringen.

Af ovenstående fremgår det således, at man bør vælge sin spaltebredde så tæt på det ideelle forhold (2) som muligt og helst ikke under.

Filterkriterier efter DS442

Som vejledende værdier i normen angives følgende forudsætninger for forholdet mellem gruskastning og spaltevidde:

Teoretisk værdi:

$$D_g = 1,6 \cdot S$$

Grænseværdi for grussorteringen:

$$1,5 \cdot S < D_g < 3,0 \cdot S$$

Filterkriterie:

$$1,5 \cdot d_{60} < D_g < 5,0 \cdot d_{60}$$

(Efter DS442 tabel V 4.4.1. filterkriterier)

Minimumsgruskastning

Samtidig angiver normen en minimumstykkelse for gruskastningen på 35 mm.

I tabellen **Figur 15** er forholdet D/S udregnet for de forskellige sorteringer og spaltebredder.

I **Figur 15** er de områder, hvor man kan komme i konflikt med normernes vejledning, markeret med gråt. For at sikre gruskastningens tykkelse og sikre boringens filter er centreret i boringen, bør der monteres styr for hver 3 m på filteret. Til støtte for forerøret kan man ligeledes montere styr på dette fx for hver 6 m.

2.2.1.6 Dobbelt gruskastning

Som det ses af **Figur 15**, er det specielt i forbindelse med anvendelse af de finkornede grussorteringer, at man kommer i konflikt med normens vejledning, samt filterkriterierne. Det skal bemærkes, at anvendelsen af sand nr. 00 og nr. 0 normalt kun sker i forbindelse med en dobbelt gruskastning, hvor man har en grovere gruspakning ind mod slidserne.

Gruspakning

Dvs. når man skal filtersætte sandlag med en $d_{60} < 0,16$ mm, er det nødvendigt enten at vælge dobbelt gruskastning eller vævbelagte filtre. Dvs. filtre som er belagt med et finmasket væv. Disse fås som forfinnet kobbervæv eller rustfri stålvæv med maskevide fra 0,125 mm og nedefter.

Af disse alternativer vælges det normalt at udføre filtersætningen med en dobbelt gruskastning (**figur 18**). Dette kan gøres enten ved at binde en pose med grovere filtersand omkring filteret eller ved at anvende et filter med pålimet gruskastning (**figur 19**).

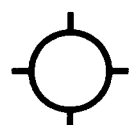
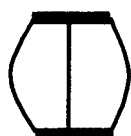
Ved at anvende så stor kastning i sin pakning som muligt, svarende til 4 til 5 gange gruskastningens middeldorndiameter, vil man tilsvarende opnå en mere åben gruskastning og mulighed for at vælge en større spaltebredde i sit filter.

Ovennævnte beregninger og overvejelser med hensyn til gruskastningens sammensætning og spaltebredder er samlet i diagrammet **Figur 8**, som er et stykke anvendeligt værktøj, der under de givne forudsætninger giver en sikker filtersætning.

Sand nr.	Sorteringsgrænser mm	Spaltebredden S i mm	Mindste grænse for D/S	Største grænse for D/S
00	0,2 - 0,4	0,3	0,67	1,33
0	0,3 - 0,6	0,3	1,00	2,00
1	0,4 - 0,8	0,3	1,33	2,67
1	0,4 - 0,8	0,4	1,00	2,00
2	0,7 - 1,2	0,3	2,33	4,00
2	0,7 - 1,2	0,4	1,75	3,00
2	0,7 - 1,2	0,5	1,40	2,40
2	0,7 - 1,2	0,6	1,17	2,00
3	0,9 - 1,4	0,4	2,48	3,50
3	0,9 - 1,4	0,5	1,80	2,80
3	0,9 - 1,4	0,6	1,50	2,34
3	0,9 - 1,4	0,7	1,29	2,00
4	1,2 - 1,8	0,5	2,40	3,60
4	1,2 - 1,8	0,6	2,00	3,00
4	1,2 - 1,8	0,7	1,71	2,57
4	1,2 - 1,8	0,8	1,50	2,25
4	1,2 - 1,8	0,9	1,33	2,00
5	1,5 - 2,2	0,5	3,00	4,40
5	1,5 - 2,2	0,6	2,50	3,67
5	1,5 - 2,2	0,7	2,14	3,14
5	1,5 - 2,2	0,8	1,88	2,75
5	1,5 - 2,2	0,9	1,67	2,44
5	1,5 - 2,2	1,0	1,5	2,20

Figur 15
Forholdet D/S for grus-
sorteringer nr. 00 – 5.
(Efter Leo Glensvig)

Hvor forholdet D/S ikke opfylder vejledningen i DS441 og DS442



Tyskerstyr



Vingestyr

Figur 16

2.2.1.7 Direkte indbygning af filtre i vandførende sandlag

I forbindelse med udførelse af filtersatte boringer bør man også overveje direkte filtersætning/indbygning af filtre uden gruskastning jf. **Figur 1, I**.

Denne form for filtersætning var mere udbredt tidligere, men der kan opstå situationer fx under reparation af en kalkboring, som er begyndt at give sand, hvor det af hensyn til bevarelsen af boringens dimension er nødvendigt at foretage en direkte indbygning af filteret, uden at etablere en gruskastning omkring boringens filter.

Figur 17
Gruspakningens dimension i forhold til primær gruskastning.

Sand nr.	Sorteringsgrænser mm	x 4 mm	x 5 mm	Sand nr.	Sorteringsgrænser mm
00	0,2 - 0,4	0,8 - 1,6	1,0 - 2,0	3	0,9 - 1,4
0	0,3 - 0,6	1,2 - 2,4	1,5 - 3,0	4	1,2 - 1,8
1	0,4 - 0,8	1,6 - 3,2	2,0 - 4,0	6	2,0 - 3,0

Figur 18
Boring med dobbelt gruskastning.

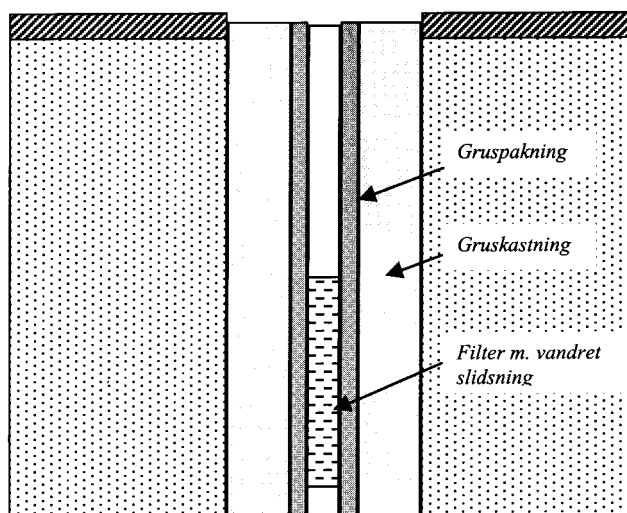
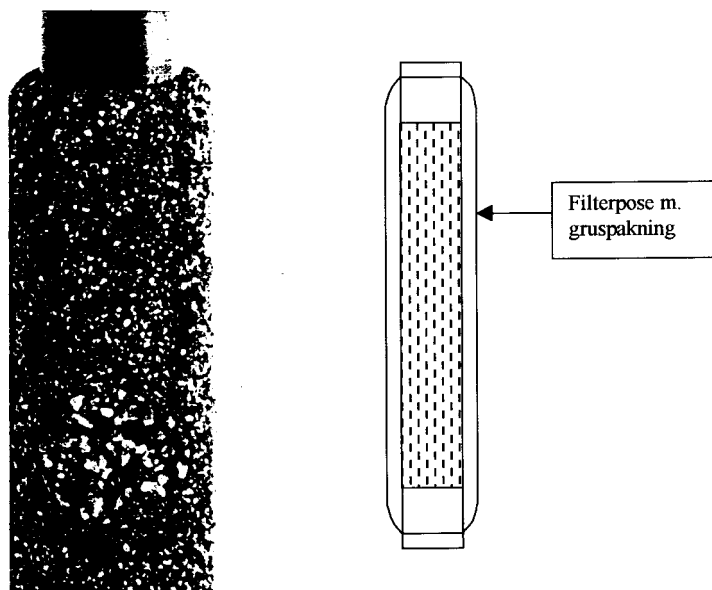


Fig. 8.17 Boring med dobbelt gruskastning.

Figur 19
Filter med pålimet gruskastning, samt filter med posepakning.

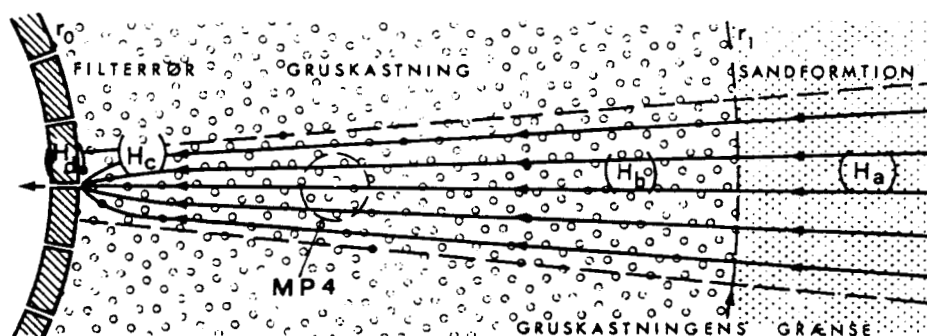


Det vælges her at udbygge boringen med en filterdimension, der passer til bore-diameteren og lade formationssandet "sætte sig" omkring filteret.

Det er kun spaltebredden og den "naturlige gruskastning", der tilbageholder de finkornede dele af det filtersatte sandlag.

Normerne DS441 og DS442 angiver følgende filterkriterium for direkte indbygning:

Filterkriterier efter
DS441/DS442



Figur 20
Principtegning for
strømmingen til en enkel
slidse i filteret (efter
Jesper Magtengaard).

Direkte indbygning: $d_{40} < S < d_{60}$

(Uddrag af tabel V 4.4.1 DS442 Norm for almene vandforsyningsanlæg.)

Da den mindste slidsbredde, man kan få skåret sine filtre med p.t. er 0,3 mm, vil det normalt primært være meget grovkornede sandmagasiner med $d_{60} > 0,3$, som man er interesseret i at filtersætte direkte. Jesper Magtengaard angiver i sin artikel, at C_u bør være større end 2,5 - 3, og at sandlaget ikke må være for finkornet.

En direkte filtersætning vil ofte medføre en længerevarende renpumpning, idet man af denne vej er nødt til at fjerne de mere finkornede partikler i sandlaget omkring boringens filter. Det skal bemærkes, at det kan være betragtelige mængder sand, der skal pumpes op, før boringen bliver helt sandfri.

Når boringen er blevet sandfri, har der dannet sig en naturlig gruskastning omkring boringens filter. Denne er tilpasset det aktuelle sandlag og den aktuelle indvindingsmængde. Dette medfører, at det her er specielt vigtigt at renpumpe med en væsentlig større pumpekapacitet end boringens fremtidige driftsydelse.

Som tidligere nævnt findes der meget finkornede vævtyper, som man kan belægge sine filtre med og dermed gå ind i direkte indbygning af filtre i meget finkornede sandlag, men man skal være meget opmærksom på sin kornkurves udformning.

Ser man på den opborede sandprøve og ønsker at vurdere, om den valgte filtersætning er problematisk, skal man gøre sig følgende klart:

- 1) Sandfraktioner $< 1/4 \cdot$ maskevidden: Vil blive tilbageholdt af den naturlige gruskastning efter renpumpningen.
- 2) $1/4 \cdot$ maskevidden $<$ Sandfraktioner $<$ maskevidden: Vil trænge ind i boringen, og skal således fjernes under renpumpningen.
- 3) Maskevidden $<$ Sandfraktionen $< 1,5 \cdot d_{60}$: Vil have en tendens til at sætte sig i maskerne og dermed kunne lukke vævfilteret og give anledning til stor hydraulisk modstand gennem filteret.

Renpumpning af direkte
indbyggede filtre

Filtervæv

Er sandlaget sammensat, så det indeholder en stor andel sand med en kornstørrelse, der ligger i interval 3, bør man være forsigtig. Udgør sandfraktionen af sand i interval 2 et større volumen, kan renpumpningen tage meget lang tid og være bekostelig i pumpeslitage.

2.2.2 Gruskastningen og filterets betydning for boringens afsækning

Som det fremgår, af afsnit 2.2.1, er det primære formål med filtersætningen at sikre, at boringen giver sandfrit vand. Samtidig søger man at tilstræbe så åben en filtersætning som mulig, ligesom forholdet mellem gruskastning og spaltebredde tilstræbes at

være så gunstigt som mulig for at undgå unødige tryktab gennem boringens filterkonstruktion.

Den forholdsvis tætte danske filtersætnings indflydelse på boringens virkningsgrad har ofte været diskuteret i fagkredse. Jesper Magtengaard udførte, under sit licentiatstudie af tryktab i filterkonstruktioner, en række forsøg netop for at belyse disse forhold. Forsøgene viste, at gruskastningens bidrag til boringens afsenkning under normale forhold er uden betydning. Forsøgene viste også, at kun ved filtersætning i meget grovkornede og velsorterede samt tynde sandlag, vil gruskastningens bidrag til tryktabet i boringen, og dermed afsenkningen, blive nævneværdig.

Årsagen til dette er, at de sandmaterialer, man anvender til at lave sin gruskastning med, er meget velsorteret og har en meget lav C_u . Dette forhold, at sandet er meget ensartet specielt set i forhold til det sandlag, som der filtersættes, og det forhold, at sands porøsitet varierer meget lidt med kornstørrelsen, bevirker, at gruskastningens hydrauliske ledningsevne, uanset hvor finkornet den er, alt andet lige vil være væsentlig bedre end det filtersatte sandlags hydrauliske ledningsevne. Dvs. at gruskastningens bidrag pga. sin begrænsede tykkelse normalt vil være uden betydning og ifølge Jesper Magtengaard under normale forhold bidrage med mindre end 1% af den samlede sænkning.

Jesper Magtengaards forsøg viste også, at forholdet mellem spaltebredde og grusstørrelse heller ikke har nogen væsentlig betydning for den totale afsenkning i boringen.

Ved at variere filterets spaltebredde i forhold til gruskastningens middeldkornstørrelse (fra 37% - 83%) viser Jesper Magtengaard gennem sin forsøgsrække, at spalteåbningens bredde ikke har væsentlig betydning for tryktabet. Derimod har strømningens indsnævring foran spalteåbningerne vist som H_c på **Figur 20** nogen betydning.

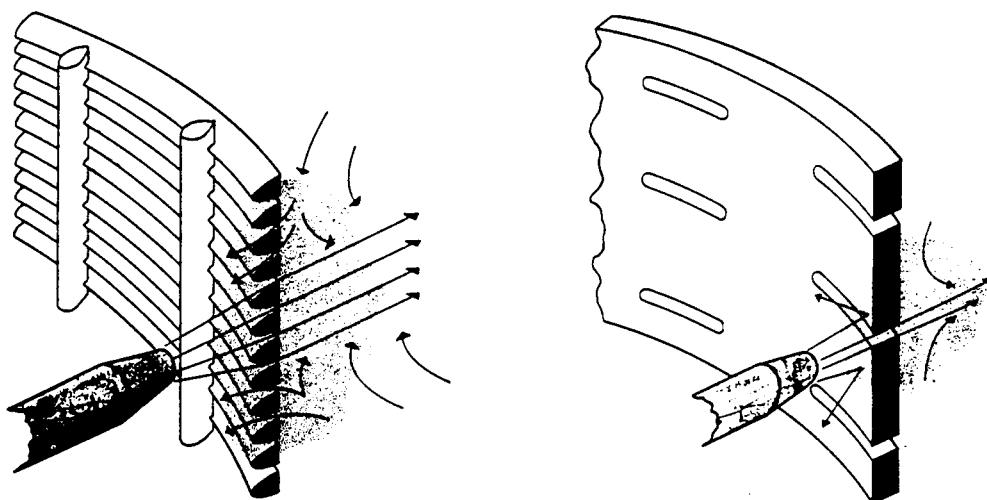
Jesper Magtengaard konkluderer således, at valg og sammensætningen af filterkonstruktionen ikke har nogen væsentlig indflydelse på boringens afsenkning. Filterkonstruktionens samlede indflydelse på boringens afsenkning vil sjældent udgøre mere end 5 - 7 % af boringens totale afsenkning, og ofte vil der være mindre end 0,50 mVS. Magtengaard konkluderer også, at selv ved et optimal valg af slidsning og gruskastning til dette "tab" kun kunne reduceres med nogle få procent.

2.2.3 Gruskastningen og filterets betydning for boringens vedligeholdelse

Ifølge Jesper Magtengaards forsøg er der således ikke de store gevinster at hente ved at optimere gruskastning og slidsning, men det er sandsynligt, at man ved at optimere gruskastningen og filteret kan forlænge boringens driftscyklus, forstået på den måde, at tidsintervallet mellem, at boringen skal oparbejdes, bliver så langt som muligt.

Ofte vil de større enkelttryktab i filterkonstruktionen senere opstå omkring grænsen mellem formationen og gruskastningen (borevæggen) og omkring spalterne i selve filteret. Tryktabene fremkommer enten ved udfældninger af jern og mangan eller/og som opsamling af finere ler/silt/sandpartikler, som afhængig af filterkonstruktionens åbenhed vil blive tilbageholdt. I kapitel 3 er forskellige oparbejdningsmetoder beskrevet nærmere.

Der vil være nogle typer af filterkonstruktioner, som er nemmere at vedligeholde end andre. Fx har filterfabrikken Johnson argumenteret for, at deres filtre, opbygget med trekantet rustfri ståltråd, med den smalle spalteåbning ud mod formationen, er nemmere at oparbejde ved højtryksspuling end fx et slidset PVC-filter (se **Figur 21**).



Figur 21
Højtryksspuling af
Johnson filter samt slidset
filterrør.

Er det et væv belagt filter eller et filter med pålimet gruskastning, kan det ligeledes skabe forhold, som gør det vanskeligere at foretage en effektiv mekanisk oparbejdning og skylning af boringens gruskastning ved fx højtryksspuling og blæsning med luft.

Årsagen til, at der sker udfældninger i boringerne, er en følge af ændringer i de grundvandskemiske forhold. Disse kan ske som følge af trykændringer, eller som følge af hastighedsændringer. Hvis der fx opstår turbulent strømning i dele af filterkonstruktionen, vil man normalt forvente, at dette vil medføre en øget tendens til udfældninger.

Ændringer i grundvandets redox-potentiale som følge af ændrede iltningsforhold eller mikrobiologiske aktiviteter i boringens filterkonstruktion er ligeledes en mulig årsag til, at der sker udfældninger i boringens filterkonstruktion.

Der vil i forbindelse med pumpe start/stop kunne ske en vis iltning af vandet i boringen. En defekt bundventil i dykpumpen eller hul på pumpens stigrør kan bevirke, at der løber vand retur i boringen fra naboboringer, som muligvis har en anden kemisk sammensætning, hvilket også kan give anledning til udfældninger.

Nogle af ovennævnte forhold kan man tilstræbe at tilgodese under udformningen af boringens filterkonstruktion, men andre er vanskelige at gøre noget ved.

Man kan afpasse filterets længde og boringens diameter med den ønskede pumpeydelse, således at det så vidt mulig undgås, at der opstår turbulent strømning i filterkonstruktionen.

Forsøg tyder, på at overgangen mellem laminar og turbulent strømning sker ved filterhastigheder 0,3 - 0,4 m/s i en gruskastning med en kornstørrelse på 3 mm. Ser man på Darcy's udtryk for vandhastigheden (Figur 22).

Darcy: filterhastigheden $v = k \cdot \frac{h_1 - h}{L} k \cdot i$

Hvor:

k : lagets permeabilitet [m/s]

i : trykgradienten ‰

Filterhastigheden kan således og skrives som:

Filterhastigheden $v = \frac{Q}{A}$

Hvor:

Q : vandmængden (m³/s)

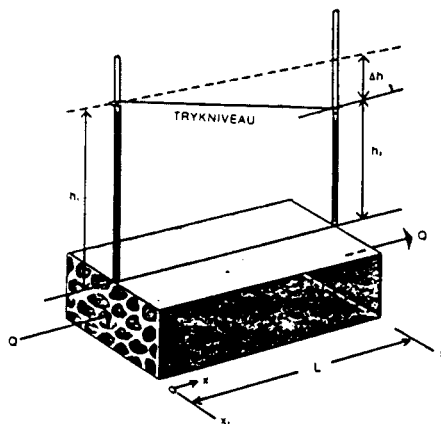
A : Arealet, som vandmængden Q gennemstrømmer

Udfældninger/aflejringer i
filterkonstruktionen

Turbulens i
filterkonstruktionen

Filterhastighed

Figur 22
Darcy's lov.



Ovennævnte hastighed er en filterhastighed, dvs. at der ikke er taget højde for sandets tilstedeværelse. Darcy's filterhastighed er dog velegnet, hvis man overordnet skal regne på, hvor lang tid en partikel tager om at bevæge sig fra et sted til et andet med grundvandsstrømmen.

Skal det derimod vurderes, om der opstår turbulens i gruskastningen og formationen, skal vi bruge den sande vandhastighed og er således nød til at korrigere tværsnitsarealet med sandlagets porøsitet.

Den sande vandhastighed kan således skrives som:

$$\text{Sand vandhastighed} \quad V = \frac{v}{n}$$

hvor

n: lagets porøsitet

Af ovennævnte ses at den sande vandhastigheden er direkte proportional med sandlagets permeabilitet og omvendt proportional med sandlagets porøsitet.

Jesper Magtengaard viste, at den hydrauliske permeabilitet for gruskastningen normalt vil være væsentlig større end for selve grundvandsmagasinet, men da der er tale om en radiær strømning igennem et cylindrisk tværsnit, vil hastigheden stige/falde proportionalt med radius. Dvs. har vi fx en meget lille borings diameter og en forholdsvis stor pumpeydelse, vil hastigheden i overgangszonen mellem gruskastningen og formationen være forholdsvis stor.

Borehullets diameter

Øges derimod borediameteren, øges arealet af borevæggen proportionalt med radius, og vi opnår tilsvarende lavere hastighed i overgangen mellem formation og gruskastning. Det vil sige, skal man lave filtersætninger i meget finkornede aflejringer, vil det normalt være en fordel at få så lave hastigheder i formationen som muligt. Dette kan opnås ved at øge borehulsdiameteren.

Filterets diameter

Øges filterdimensionen øges, det fri spalteareal tilsvarende med radiusen, og vi vil således kunne opnå lavere hastighed i de to flaskehalse ved at variere på henholdsvis filterdimension og boringsdiameter.

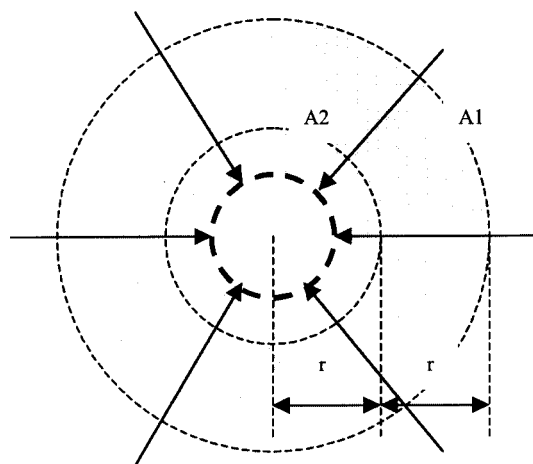
Beregnes tværsnitsarealet A1 og arealet A2, der er et tværsnit i den dobbelte afstand, pr. meter i **Figur 23** fås:

$$A1 = 2\pi r$$

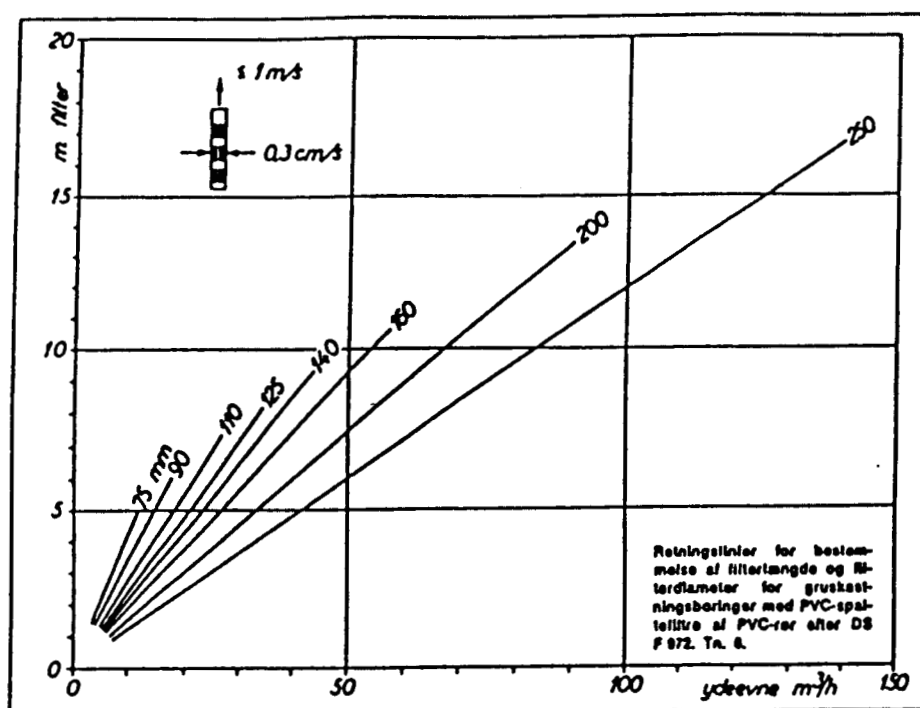
$$A2 = 2\pi r(2r) = 4\pi r$$

$$\Leftrightarrow$$

$$(1) \quad A2 = 2 \cdot A1$$



Figur 23
Radiær strømning til en boring.



Figur 24
Filterlængde og diameter som funktion af belastningen (efter Leo Glensvig)

Vandets sande hastighed i et tværsnit kan som tidligere nævnt beskrives ved:

$$(2) \quad V = \frac{Q}{A \cdot n}$$

Hvor:

Q er ydelsen gennem tværsnittet målt i m³/s

n er lagets porøsitet i %

A er tværsnittets areal

Af (1) og (2) ses, at fordobles radius, reduceres hastigheden til det halve.

I praksis oplever man ofte, at boringens filter er markant mere tilstoppet i den øverste del af boringen, hvilket tyder på, at der her er specielt dårligere forhold.

Figur 24 viser filterlængder og filterdiameter som funktion af belastningen, idet kriterierne er, at den lodrette hastighed i boringens foringsrør ønskes at være mindre

end 1 m/s, og at den vandrette hastighed gennem filterets slidser ikke ønskes større end 0,3 m/s.

Diagrammet i **Figur 24** kan bruges som en vejledning. Har man således fra bygherren et ønske om en pumpeydelse på fx 100 m³/t, bør filterets længde være minimum 12 m og ø 250 mm i diameter. Ved man fra tidligere boringer, at der er tale om en geologi med meget finkornede aflejringer, kan man øge boringsdiameteren til fx 0,5 m, idet man da vil være sikret, at hastigheden vil være 0,3 m/s selv ved en porøsitet på det halve af gruskastningens porøsitet jf. (2).

Tidligere normkrav

I en tidligere udgave af DS442 var det et normkrav, at den nominelle indløbshastighed i filterrøret ikke måtte overstige 10 m/t. Ved den nominelle filterhastighed forstås pumpeanlæggets største pumpeydelse målt i m³/t divideret med filterets udvendige areal i m².

Dette krav er dog blevet fjernet i den nye norm, formentlig fordi man har vurderet, at det i mange tilfælde var vanskeligt at opfylde dette krav. Man anså det for den enkelte vandforsynings opgave at vurdere, hvorvidt det var ønskeligt, at have få boringer, men større omkostninger til renoveringer. Ovennævnte forhold bør dog betragtes som et minimumskrav, og bør derfor tilstræbes som udgangspunkt.

DS442

DS442 Norm for almene vandforsyningsanlæg stiller ligeledes krav om, at et filter i en boring til vandindvinding som minimum bør have en indvendig diameter på 150 mm og en længde på 3 m, dersom det vandførende lags tykkelse tillader dette.

Filterrøret skal nederst være forsynet med et 0,5 m langt blindrør (slamboks). Det skal bemærkes, at slamboksen er nødvendig, hvis man fx ønsker at oparbejde den nederste del af boringens filter. Gruskastningen skal minimum have en tykkelse på 35 mm og føres 1 m op over øverste spalte i filteret.

Materialevalg til filtre

I afsnit 2.4 er forskellige typer materialer, som kan bruges til valg af foringsrør og filterrør nærmere beskrevet. Filtre bør være i korrosionsbestandige materialer eller korrosionsfrie materialer, som fx PVC og PE.

I forbindelse med reparation af ældre boringer skal man være påpasselig med ikke at anvende materialer, der kan give anledning til galvanisk tæring, eller som erfaringsmæssigt modarbejder hinanden.

Der er således en del ældre boringer, der er udført som stålørboringer filtersat med kobberfiltre, beviklet med fortinnet kobbervæv, hvor der erfaringsmæssigt kan opstå tæringsproblemer i overgangen mellem kobberfilteret og stålørret. Vær opmærksom på, at kombinationen af rustfri stål i tæt kontakt med sort jern ligeledes er uheldig. Igen har råvandskvaliteten indflydelse, idet grundvandstyper, der fx indeholder aggressiv kulsyre, kan være hårde ved de fleste typer metaller.

Sammenfattende er der således meget der tyder på, at man i sin udformning af boringens filterkonstruktion kan medvirke til at reducere boringens vedligeholdelsesomkostninger og forlænge dens levetid, ved at vælge borediameter, under hensyntagen til geologien, hvis denne er kendt. Foretage en korrekt dimensionering af filterdimension og længde i relation til den ønskede ydelse, såfremt dette er muligt på forhånd.

2.3 Forerøret

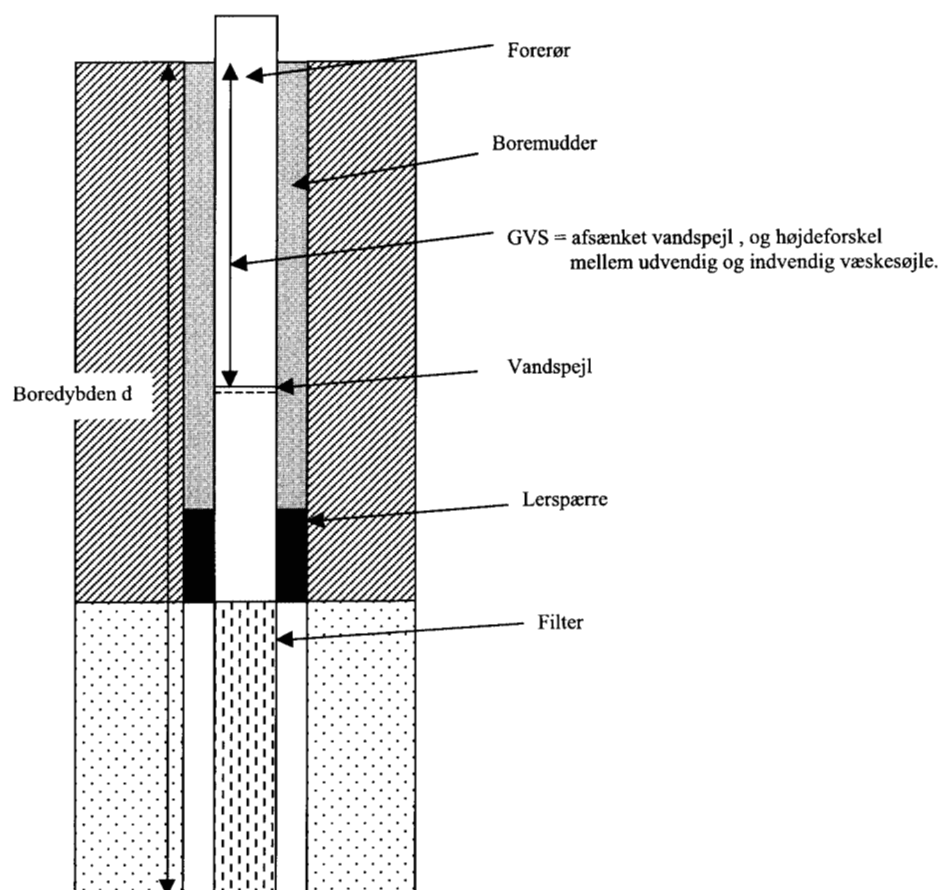
Funktionskrav til forerøret

Funktionskravene til en borings foringsrør er følgende:

Have en tilstrækkelig dimension til at den ønskede pumpeydelse kan opnås.

Have tilstrækkelig styrke til at modstå jordtrykket og de belastninger, der kan opstå under drift og vedligeholdelse af boringen.

Være tæt for vakuum og tryk.



Figur 25
Belastningssituation
under opstarten af en
renpumpning.

Trykklasse	PN 6	PN 8	PN 10
Maks. udvendigt overtryk i mVS	17	38	75

Figur 26
Maksimal udvendig
belastning på PVC
rør efter DS972.

Ifølge DS442 skal forerørets diameter minimum være 20 mm større end den indbyggede pumpes største tværmål. Her skal man dog være opmærksom på pumpefabrikantens krav til indbygning og montering af pumpeinstallationen. For almene vandforsyningsanlæg er der ligeledes et krav om en indvendig diameter på minimum 150 mm.

Den udvendige belastning på en borings forerør udgøres af et aktuelt jordtryk og et hydrostatisk tryk fra porevandet. På grund af boringens cirkulære udformning er bidraget fra jordtrykket beskedent.

Modsvarende er der et vandspejl inde i boringen, som giver et udadrettet tryk på boringens foring.

Leo Glensvig angiver følgende empiriske formel for den indadrettede belastning på boringens foringsrør.

$$q = \frac{d}{10}$$

Hvor:

q = det hydrostatiske tryk på boringens foringsrør (kp/cm²)

d = dybden (m)

Udvendigt overtryk

Som nævnt vil vandet inden i boringen give anledning til et udadrettet tryk og i en vis grad udligne den udvendige belastning på foringsrøret.

Det er således der, hvor der er et lavt primært grundvandspejl og et højtstående sekundært vandspejl eller, hvor man udfører boringer med meget store afsænkninger af vandspejlet inden i boringen, at belastningen på foringsrøret kan blive kritisk.

Figur 25 angiver en situation i forbindelse med opstart af renpumpningen af en ny boring, hvor der kan opstå kritiske belastninger på boringens foringsrør.

Man har placeret sit filter og indbygget gruskastningen og den første lerspærre/forerørstætning og ønsker at starte renpumpningen af boringens filter, for at kontrollere lerspærrens tæthed.

Er boringen udført som skylleboring, vil der således være boremudder i hullet, når man starter sin pumpe. Boremudderet udvendigt på forerøret står helt op til terræn og vil blive stående under renpumpningen, mens der indvendigt i boringen vil ske en afsækning af vandspejlet og en udskiftning af boremudderet med rent vand. Specielt under opstarten af renpumpningen, hvor borevæggen og filteret er mættet med boremudder, kan der opstå store afsænkninger i boringen.

Resulterende tryk

I niveau med GVS og nedefter, kan den resulterende udvendige belastning på forerøret beregnes som:

$$q_{res.} = \frac{d - (d - GVS)}{10} \quad (\text{kp/cm}^2)$$

Hvor:

GVS er afsænket vandspejl under terræn målt i mVS.

Det vil sige, at antager man, at der altid står et vandspejl i terræn, er det udvendige resulterende tryk i boringens foringsrør lig med afstanden fra terræn til boringens vandspejl målt i mVS. Man skal dog være opmærksom på, at vægtfylden på bore-mudderet ofte ligger på 1,1 - 1,2, svarende til, at den er 10 - 20% større end formationsvandet, og man bør derfor tillægge en sikkerhed på minimum 20%.

Ovennævnte belastning er således udvendigt overtryk på foringsrøret. Rørfabrikkanterne angiver ikke trykspecifikationer for udvendige overtryk, men derimod kun for indvendige overtryk.

Når man anvender et PN 8 foringsrør, er det ikke et rør, der kan holde til en udvendig trykbelastning på 80 mVS, men et rør som kan holde til et indvendigt overtryk på 80 mVS.

Tabellen **Figur 26**. angiver maksimale udvendige resulterende tryk for PVC rør i forskellige tryktrin.

PVC-rørets godstykkelse

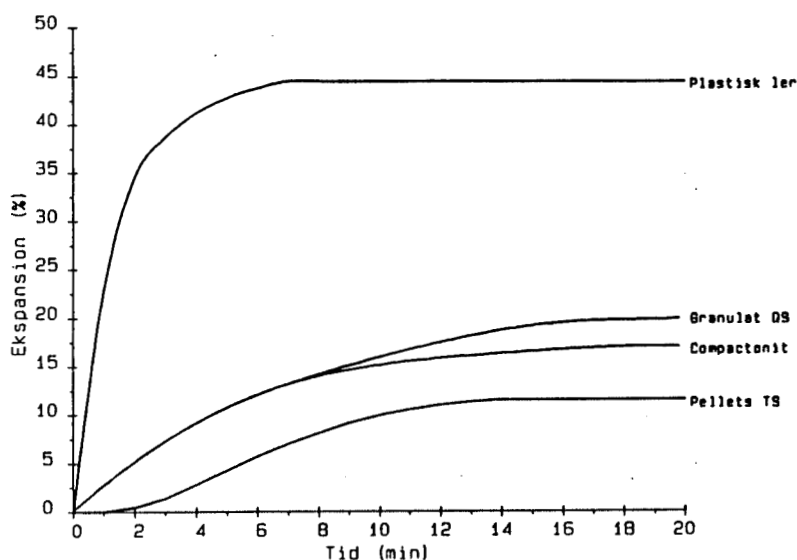
Det skal her bemærkes, at det er væsentligt, at rørene er produceret efter DS972 eller efter den nordiske standard Sigma 100 (S100), idet dette angiver et bestemt forhold mellem rørenes diameter og godstykkelse, mens rør produceret efter Sigma 125 (S125), som fx bruges i den resterende del af Europa, tillader en væsentlig mindre godstykkelse.

Det er ikke rørets trykklasse, der er afgørende for, hvor meget det kan holde til, men derimod godstykkelsen, idet det er rørets ringstivhed, som er afgørende.

Sammenligner man fx et PN 10 rør produceret efter DS972 med et PN 10 rør produceret efter DS/R2138 fås, at et DS/R2138 rør kun kan klare det halve udvendige tryk, af hvad et DS972 rør kan tåle. Svarende til et PN 8 rør jf. **Figur 26**.

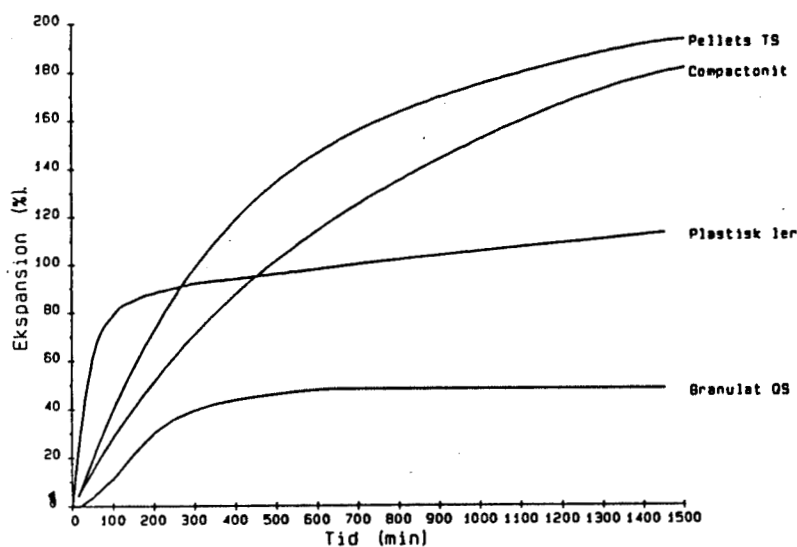
DS442

Normen angiver, at der minimum skal benyttes PN 8 rør ned til 40 m og der- under minimum PN 10 rør.



Figur 27
Ekspansionsforløb
for forskellige typer ler-
forseglingsmaterialer.

Figur 2



2.3.1 Opfyldning langs forerøret

Afhængig af valg af borings konstruktion jf. **Figur 1** vil der være et hulrum mellem forerøret og selve borevæggen, som skal reableres.

Normen (DS442) angiver, at hulrummet skal opfyldes med grus, og ud for hvert gennemboret, vandstandsende lerlag skal etableres mindst én tætning med vandtæt materiale. Denne tætning skal være minimum 1 m lang målt i forerørets længderetning.

Vejledningen i normen angiver, at dette kan gøres ved kastning af bentonite granulat, lergranulat eller lerkugler. Alternativt kan tilførslen ske med ovennævnte materialer i opslemmet tilstand via rør eller slange til det ønskede niveau.

Miljøstyrelsens bekendtgørelse nr. 4 af 4. januar 1980 om udførelse af borerer efter grundvand angiver, at hulrummet mellem forerøret og borevæggen skal opfyldes med materialer af en sådan beskaffenhed, at grundvandsreservoiret ikke forure-

nes ved nedsivning langs forerøret, og således at uønsket hydraulisk kontakt mellem forskellige reservoirer ikke finder sted.

Afhængig af den gennemborede lagserie er der således flere muligheder for opfyldning af hulrummet udenfor forerøret. Specielt når man ser på valg af ekspanderende lermaterialer, så er udbudet stort og dokumentationen ringe. Dette medførte, at to ingeniørstuderende ved Horsens Teknikum valgte at teste en række materialer og sammenholde deres egenskaber med den måde, de blev anvendt på.

På forhånd kan det være vanskeligt at definere hvilke egenskaber ved fyldmaterialet, som har størst betydning for etableringen af en tæt og holdbar lerspærre.

Indbygning af lerspærre

Normalt indbygges lerspærren omkring forerøret på samme måde som gruskastningen omkring filteret. Dvs. den hældes i tør form som pellets, kugler eller granulat ned i hulrummet mellem borevæggen og forerøret, hvorefter leren synker ned og lægger sig ovenpå gruset.

Lermaterialerne er normalt forskellige former for bentonite eller syntetisk bentonite, som alle har ekspanderende egenskaber. Dvs. i det øjeblik at forseglingsmaterialet kommer i kontakt med boremudderet, vil det begynde at optage vand og ekspandere.

Efterhånden som bentoniten ekspanderer, bliver dens vægtfylde mindre, og dens nedsynkningshastighed mindskes. Hvis den ekspanderer for meget for hurtigt, vil den have en tendens til at hænge fast på styr og danne hængende propper undervejs ned i boringen, specielt hvis man har for travlt og hælder forseglingsmaterialet i for hurtigt.

Det sikreste ville være et materiale, der bevarede sin form eller kun har begrænset ekspansion inden for den første time, hvorefter materialet gerne må ekspandere og derved udfylde sprækker i borevæggen og danne en tæt overflade med forerøret.

Bentonite typer

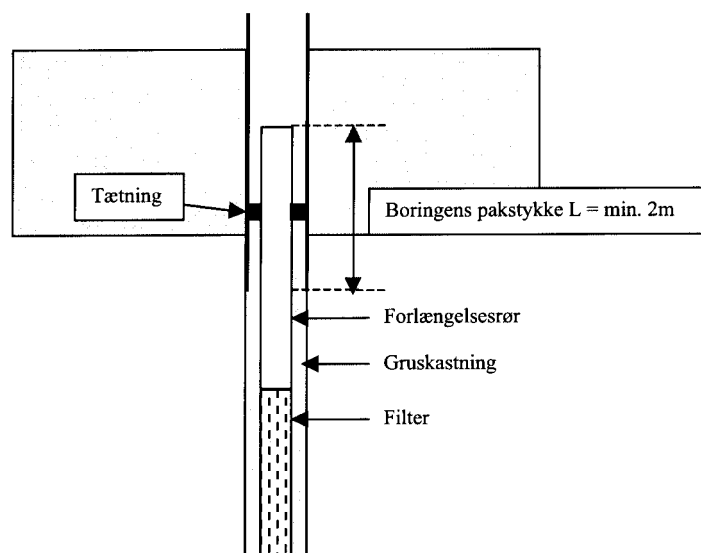
Ses på forsøgsresultaterne fra Horsens Teknikum **Figur 27** bemærkes, at den plastiske ler ekspanderer voldsomt og hurtigt, mens de tre mest anvendte typer Granulat QS, Compactonit og Pellets TS har et nogenlunde ensartet forløb de første 20 minutter. Derefter ekspanderer Pellets TS og Compactoniten hurtigt, og efter 4-8 timer har de overhalet den plastiske ler, mens granulaten ikke ekspanderer så hurtigt og voldsomt. Umiddelbart vil man vurdere, at den plastiske ler ikke er så anvendelig som lerforsegling under vandspejlet, mens de mest anvendte typer alle tre bør kunne bruges som lerforseglingsmateriale inden for de øverste 100 m. Som lerforseglingsmateriale til dybere boringer bør granulaten have en fordel i sit mere rolige ekspansionsforløb.

Pumpebentonite

Alternativet til en kastet lerforsegling er, at man udrører bentoniten til en grød eller tynd mørtel og derefter pumpe det ned i boringen. Da bentoniten således er flydende form, når den pumpes ned i boringen, er den vanskelig at lokalisere i boringen i modsætningen til den kastede lerforsegling, hvor overfladen vil kunne pejles under hele forløbet. Nedpumpning af flydende bentonite kræver derfor et nøje regnskab med den nedpumpede mængde, ligesom injektionen bør ske fra bunden af lerforseglingen for at sikre, at bentoniten ikke bliver fortyndet af boremudderet.

I forbindelse med etablering af airspargingsboringer og luftinjektionsboringer til ventilering af forurenede grundvand og jord har man brugt cementstabiliseret bentonite til etablering af forerørsforseglinger i den umættede zone.

Dette er for at udnytte bentoniten og cementens gode egenskaber i forening, idet en ren bentonite vil svinde ind tilsvarende, når den tørrer ud, mens en betonprop vil give en bedre tæthed, når det er over grundvandsspejlet. Er der den mindste smule jordfugt, vil bentoniten ekspandere og lukke små eventuelle sprækker og revner. Her kan en lerspærre etableret af fx granulat være uegnet, idet man kan risikere, at der ikke er vand nok til, at den ekspanderer.



Figur 28
Filterets pakstykke,
definitioner.

I forbindelse med opstarten af AP Møllers bentoniteindvinding ved Rødby forventes det, at der kommer en række veldokumenterede og mere specialiserede produkter på markedet.

Der er som nævnt mange forskellige måder at udføre lerforseglinger på. Det man dog skal være opmærksom på, er kvalitetssikringen af sin lerspærre. Det er vanskeligt at afprøve alle de etablerede lerspærre i en boring, men den første lerspærre over filteret kan man afprøve, inden man fylder mere materiale ovenpå denne.

Normalt er det en god ide af hensyn til boringens virkningsgrad at få påbegyndt sin renpumpning så hurtigt som muligt. Man kan starte renpumpningen, når bentoniten i de første lerspærre er kvældet ud, jf. **Figur 2**. Det bevirker, at man får en trykprøvning af lerspærren med trykforskellen mellem den udvendige og den indvendige væskesøjle, og derved kan kontrollere, om forerørsforseglingen er tæt. Er lerspærren ikke tæt, har man stadig en mulighed for at udbedre den og ilægge supplerende forseglingsmateriale. Et andet forhold, der er vigtigt ved denne afprøvning, er, at man kun tæthedsprøver lerforseglingen og ikke det dækkende lerlags tæthed, idet borevæggen stadig er stabiliseret og tætnet med bentonite under afprøvningen.

De øverste lerspærre i en boring har man således ikke mulighed for at tæthedsprøve, uden at der etableres separate pejlemuligheder fx i form af pietzometre (små pejlefiltere) mellem de enkelte lerspærre. Selvom man gør dette, kan det være vanskeligt at se, om en lækagepåvirkning sker via den etablerede lerspærre, eller om det er en lækage igennem fx en moræne.

Som fyldmateriale mellem lerspærre bør anvendes rent usortet grus, man skal være omhyggelig med opfyldningen, idet for hurtig opfyldning kan medføre lunker, som ikke bliver ordentligt opfyldt og dermed kan give anledning til sætninger og i værste fald forskydninger i placeringen af forerørsforseglingerne.

Kontrol af lerspærre

Fyldmaterialer

2.3.2 Pakstykket

Pakstykket er som vist i **Figur 1** overgangsstykket mellem filteret og forerøret. Specielt mange ældre borer er udført med en større dimension forerør, idet det er selve borerørene, der er blevet siddende som forerør. Når man har monteret filteret, er borerørene trukket tilbage.

Normen DS442 angiver, at ved anvendelse af denne metode skal filterets forlængelsesrør og boringens forerør overlappe med mindst 2 m (**figur 28**). Pakningen derimod kan udføres som gruspakning, hvilket er det mest almindelige. Dvs. man lader sin gruskastning fra filteret fortsætte ca. 1 m op mellem forerøret og filterets forlængelsesrør.

En anden metode er at lave en oksetalgspakning, bestående af pakgarn mættet med smeltet oksetalg. Dette vikles om filterets forlængelsesrør til en tæt, hård og kompakt masse. Når oksetalgen kommer i vand, vil den suge vand til sig og ekspandere lidt og dermed skabe en tæt pakning. Ligeledes kan der i dag fås ekspanderende fugebånd og gummi-bentonitebånd, som ekspanderer i vand.

Fordelen ved grus- og talgpakningen er, at man har mulighed for at trække filteret op og renovere gruskastning og filter, hvilket kan være vanskeligt ved anvendelse af ekspanderende fugebånd.

2.4 Valg af materialer til forerør og filter

I afsnit 2.2 og 2.3 er opstillet en række funktionskrav til filteret og forerøret, ligesom der er opstillet nogle metoder til at beregne de belastninger, som filter og forerør udsættes for. Disse forhold skal der tages hensyn til ved valg af materialer. Boringens formål har også indflydelse på materialevalget, idet der ikke bruges samme type foringsrør til fx etablering af midlertidige korte grundvandssænkingsboringer, som til udførelse af overvågningsboringer til fx den landsdækkende grundvandsmonitoring (GRUMO, nu NOVA 2000). Der er skærpede krav til materialevalget, der så vidt mulig skal bestå af inerte materialer dvs. materialer, som ikke påvirker de parametre, som man ønsker at overvåge.

Materialevalget har dels noget med økonomi at gøre, men også noget med at vælge den materialekombination, som giver en boring, der kan opfylde bygherrens forventninger til holdbarhed, drift og vedligeholdelse. Det er således ikke sikkert, at det dyreste materialevalg er det bedste.

Under afsnit 2.3 er der regnet nogle eksempler på de belastningssituationer, som man kan blive udsat for. Tabellen – **Figur 26** – angiver eksempler på nogle maksimale udvendige belastninger for PVC forerør.

Af **Figur 26** fremgår det, at hvis man skal udføre en boring, hvor man ønsker at kunne sænke vandspejlet mere end 75 meter under den udvendige væskehøjde, så har de gængse PN 10 PVC-rør ikke en tilstrækkelig styrke til at klare denne belastning. Der skal derfor tages stilling til, om det kritiske belastningskrav kan undgås, ellers er man nødt til at vælge fx et stålforingsrør med en tilstrækkelig styrke.

I Danmark begyndte man at bruge PVC rør som forerør og filterrør i begyndelsen af tresserne, og langt de fleste boringer bliver i dag udført med PVC foringsrør og filterrør. PVC har således som materiale trådt sine barmesko og vist sig særdeles anvendelig i langt de fleste gængse boringskonstruktioner. PVC er et korrosionsfrit materiale, hvilket adskiller materialet fra tidligere anvendte kobber og rustfri stålfilter. Man skal tilbage til egetræsfilter for at finde et tidligere anvendt materialer, som er korrosionsfrit. Fx anvender man en del steder i Østeuropa perforerede stålrør, beviklet med stålvæv som filtre, og typisk har man under forholdsvis moderate grundvandstyper maksimale levetider på 8 - 15 år, inden der er sket gennemtæring, og boringen begynder at give sand. Til gengæld er stålforingsrørene forholdsvis robuste som foringsrør med typiske levetider på 30 - 50 år afhængig af grundvandstypen og de geologiske forhold.

Styrkekrav

Selv om grundvandstypen ikke er aggressiv, bør man stadig prioritere rørmaterialets modstandsdygtighed overfor korrosion højt, idet man senere jf. Kap. 3, må påregne at skulle renovere/oparbejde sin borings filtre med syre.

Korrosionsforhold

Arbejder man med stålørboringer, bør man være opmærksom på metallernes spændingsrække, således at eventuel galvanisk korrosion på u hensigtsmæssige steder undgås.

Spændingsrækken

Metallernes spændingsrække:

(positiv ende, ædle metaller)

Rustfri stål (oxyderet)

Nikkel (oxyderet)

Bronze

Kobber

Messing (kobber-zink)

Bly-Tin

Stål

Aluminium

Zink

(negativ ende, uædle metaller)

Spændingsrækken er opstillet således, at hvis to metaller er i kontakt med hinanden, vil det nederste i rækken korroderes.

PVC er velegnet, men har dog nogle styrkemæssige begrænsninger, som vi normalt ikke har problemer med i forbindelse med vandindvindingsboringer i Danmark.

Plastmaterialer

Inden for miljøboringerne hvor kravet om inerte materialer har gjort, at man har nedprioriteret PVC pga. risiko, for at man kunne spore de organiske hærdemidler fra PVCen. Man vælger derfor ofte at udføre disse i ufarvede PE-materialer.

For at kunne anvende forskellige plastmaterialer bør man kende deres egenskaber, og bedst er det, hvis man kan få oplyst kritiske styrkeegenskaber, samt deres robusthed overfor forskellige ydre fx kemiske påvirkninger. Det skal her nævnes, at fx PE materialer er meget åbne over for diffusion af benzin og oliekomponenter, hvilket kunne være et argument for ikke at bruge PE materialer i nærheden af eller ved forurenede grunde.

Ses på plastmaterialernes styrkeegenskaber kan disse beregnes efter følgende formler:

Formlen for beregning af et plastmateriales kritiske tryk er følgende:

$$P'k = \frac{2 \cdot E}{(1 - (1/m)^2)(2S - 1)^3}$$

Hvor:

P'k = plastmaterialets kritiske tryk

E = Materialets elasticitetsmodul (for PVC 30.000 kp/cm²)

m = Poissons tal (for PVC = 2,5)

S = Sigma værdi for rørets DS972 S=100, DS/R2138 S=125

Det ses af formelen, at materialernes kritiske styrke er direkte proportional med materialets elasticitetsmodul, mens rørets Sigmapværdi indgår i nævneren. Dvs. større S-værdi mindre styrke. Sigma værdien beregnes efter følgende formel:

$$S = \frac{(D/e - 1)}{2}$$

Hvor:

S = Sigmapværdi, D = Rørets udvendige diameter og e = Rørets godstykkelse

Figur 29

Materiale	E-modul *103 kp/cm ²
Stål	2.100.000
Støbejern	1.000.000
Eternit	300.000
Beton	300.000
PVC	30.000
PEH	10.000
PEL	2.000
Nylon	20.000

Figur 30

Tekniske specifikationer
for Wavin PVC og PE rør.

Tekniske data for PE- og PVC-rør:				Typiske værdier	
Betegnelse:	PE80 data:	PE100 data:	PVC data:	Enhed	Prøvemethode:
Massefylde:	943	951	1410	kg/m ³	ISO 1183
E-modul (1 mm/min.)	700	1200	3000	MPa	ISO 527
Smelteindeks	0,9	0,5		g/10 min.	ISO 1133 cond. 18
Lineær varme- udvidelseskoefficient	1,8x10 ⁻⁴	1,3x10 ⁻⁴	0,7x10 ⁻⁴	°K ⁻¹	VDE 0304
Varmefylde	1,9	1,9	1,0	J/g°K	Kalorimetrisk v. 23°C
Varmedningstal	0,36	0,38	0,15	W/m°K	DIN 52612 v. 23°C
Min. bøjningsradius	25 x dy*	25 x dy*	300 x dy*		ved 20°C
Miljøtekniske egenskaber	Wavins trykrør og formstykker er afprøvet og godkendt i henhold til Miljøstyrelsens krav og fundet velegnet til anvendelse for transport af drikkevand i vandforsyningssystemer				
Kemisk bestandighed	SE "Plastmaterialers kemikaliebestandighed" og DS/ISO DATA 8. "Rør og formstykker af polyethylen med høj densitet. Kemisk modstandsevne over for væsker" (jf. side 46)				

dy* = plastrørets udvendige diameter

Figur 31

Godkendelser og
produktionsstandarder for
WAVIN PVC rør.

Godkendelser: PVC-trykrør PN 6 og PN 10	
Danmark	Rørene produceres efter: DS 972
	Licensnr.: 326A
	Identitetsnr.: 364
Norge	Rørene produceres efter: NS 3621
	Licensnr.: 14
	Identitetsnr.: 14
Sverige	Rørene produceres efter: SS 1776
	Licensnr.: 2724
	Identitetsnr.: 379

S-værdien er således en geometrisk størrelse, mens E-værdien (elasticitetsmodulet) er en materialekonstant.

E-værdien siger noget om materialets plastiske egenskaber, og jo hårdere og mere stift et materiale er, desto større E-værdi har materialet.

Figur 30 er et eksempel på tekniske specifikationer for en leverandørs PVC og PE materialer. **Figur 31** er samme leverandørs godkendelser og produktionsstandarder.

Ses fx på PE materialernes E-modul, er disse væsentlig lavere end E-modulet for

E-modulet

Kemisk bestandighed for plastmaterialer

De anførte værdier er retningsgivende og faktorer som fyldstoffer, temperaturer, koncentrationer, belastninger, belastningstider o.l. kan grundlæggende ændre værdierne. Vi kan derfor ikke give nogen garanti for de angivne værdier. Værdierne er angivet ved stuetemperatur (20°C) samt hvor andet ikke er angivet - ved stærkere koncentrationer.

Symbolforklaring:

- +** : Bestandig: Ingen eller kun ringe vægt- og masseforandring (<0,5%). Ingen væsentlige ændringer i de mekaniske egenskaber.
 - =** : Betinget bestandig: Efter nogen tid nævneværdige vægt- og masseforandringer (0,5-5,0%). Mulig bleg-nelse samt mindskelse af styrke og sejhed. Betinget anvendeligt, dog kun hvor der er tale om simple materialekrav.
 - : Ubestandig: Indenfor kort tid stærke angreb, kraftige vægt- og masseforandringer (> 5%) samt kraftig mindskelse af styrke og sejhed. Anvendelse kan ikke anbefales.
 - O** : Oploseligt: Mediet virker som opløsningsmiddel på materialet. Bør absolut ikke anvendes.
- Hvor der ikke er angivet nogen værdi, foreligger der ingen prøveresultater fra vore leverandører.

Figur 32
Kemisk bestandighed
for plastmaterialer.

Kemisk bestandighed for plastmaterialer																	
Plastmateriale	Koncentra-tion (%)	PC	PVC hård	PA 6 PA 66	PA 11	POM C	POM H	PTFE	PETP	PMMA	PE	PP	PPO	PVDF	PUR	ABS	PSU
Medie																	
Acetaldehyd	40	—	—	±	±	+	±	+	+	—	+	+	—	+	—	—	—
Aceton	100	—	—	+	+	±	+	+	+	—	+	+	—	+	O	—	—
Allylalkohol	100	—	±	±	±	±	±	+	+	O	+	+	+			+	±
Allylol, se Allylalkohol	100																
Aluminiumklorid	10	+	+	±	+	±	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ammoniak, vandig	10	—	+	+	+	+	—	+	+	+	+	+	+	+	—	+	+
Ammoniumklorid		+	+	+	+	+	±	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Anilin	100	—	—	±	±	±	±	+	+	O	+	+	—	+	O	—	—
Benzin, blyfri		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	±	—	+	+	—	±
Benzin, super		±	—	+	+	+	+	+	+	+	+	±	—	+	+	—	±
Benzol	100	—	±	+	+	+	±	+	+	O	±	—	—	+	±	O	—
Benzylalkohol	100	—	+	±	±	+	+	+	+	—	±	±	—	+	±	O	±
Blegelud, 0,1% fri klor		—	+	—	—	—	—	+	+		±	+	+	±		+	—
Blyacetat			+	±	+	+	+	+			+	+		+	+	+	+
Borsyre	10	+	+	±	+	+	±	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Brintoverilte	0,5	±	+	+	+	+	+	+	+	±	+	+		+		+	+
Brintoverilte	1	±	+	+	±	+	+	+	+	±	+	+		+		+	+
Brintoverilte	3	±	+	±	±	+	—	+	+	±	+	+		+		+	+
Brintoverilte	10	—	+	—	—	+	—	+	+	—	+	+		+			+
Brintoverilte	30	—	+	—	—	±	—	+	+	—	+	+		+			+

PVC, hvilket medfører, at disse rør tilsvarende har en væsentlig ringere ringstivhed ved samme godstykkelser. PE-rørene har dog generelt større godstykkelser, men man skal bemærke, at E-modulet for den enkelte PE-type kan variere meget, mens den stort set er konstant for PVC.

Umiddelbart vil man her få en reduktion i den kritiske spænding på henholdsvis 60% og 76% i forhold til et PVC-rør med samme geometriske udformning.

Figur 32 (fortsat)
Kemisk bestandighed for
plastmaterialer.

Kemisk bestandighed for plastmateriale

Plastmateriale	Koncentra- tion (%)	PC	PVC hård	PA 6 PA 66	PA 11	POM C	POM H	PTFE	PETP	PMMA	PE	PP	PPO	PVDF	PUR	ABS	PS
Brintperoxid, se brintoverilte																	
Bromsyre	50	+	+	—	—	—		+			+	+		+	—		
Butan, flydende		+	+	+	+	+	+	+	+	—	+	±	+		±		±
Butanol	100	+	+	+	+	+	+	±	±	—	+	±	+		±		±
Butylacetat	100		—	+	+	+	+	+	+	0	+	—	—	+	—	0	—
Butylalkohol, se butanol													*				
—																	
Calciumcarbonat		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+		
Calciumhydroxid		+	+	+	+	+	+	±	±		+	+		+	±		
Calciumklorid, vandig	10	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	±	+	+
Calciumklorid, alkohol-holdig	20	+	+	0	±	+	+	+	+		+	+	+	+		+	±
Celluloseacetat		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			+		
Citronsyre	10	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
—																	
Diselolie	100	+	+	+	+	+	+	+	+		+	±	±	+		±	+
Diklorethan	100	0	—	+	+	+	+	±	—	0	—	+	0	+	—	0	—
Dikloriddiflour- methan, se Freon 12																	
Diklorflourmethan, se Freon 21																	
Diklortetraflour- methan, se Freon 114																	
Dioxan	100	0	—	+	+	±	±	+	+	—	+	±		—	—	0	—
—																	
Eddikesyre	10	—	+	—	—	+	±	+	+	0	+	+	+	+	—	+	+
Eddikesyre	80	—	±	—	—	—	—	+	—	0	+	+	+	+	±	+	+
Ethanol	96	+	+	+	+	+	+	+	+	—	+	+	+	+	+	+	+
Ethylalkohol, se Ethanol																	
Ethylacetat	100	—	—	+	+	±	±	±	+	—	+	+	—	+	—	0	—
Ethylenchlorid, se Diklorethan																	
Ethylether	100	—	—	+	+	+	±	+	—	±	±	—			+	0	—
Fedt, se spiseolie																	

Dette forhold kan have betydning ved specielt dybe borer. Andre aktuelle E-moduler er anført i tabellen, **Figur 29**.

Kemisk bestandighed

På **Figur 32** er anført en oversigt over plastmaterialers kemiske bestandighed over for forskellige kemiske stoffer, som her er angivet ved deres handelsnavne.

2.5 Samlingsmetoder

Stålrør

Ser vi først på stålrørsboringerne, er disse ofte svejset sammen eller samlet med gevindsamlinger. Svejsesamlingerne udføres ikke altid under ideelle forhold og stiller således store krav til svejserens håndværksmæssige kunnen, mens gevindsamlingerne ikke medfører problemer.

PVC-rør

Er forerør og filterrør i PVC, har der været tradition for at samle disse med lim.

Lim-samlinger

Man anvender en PVC lim, idet man smører spidsenden og muffen, bruger limen som glidemiddel og låser rørene med selvskærende skruer. Disse afpasses i længde,

Kemisk bestandighed for plastmaterialer



Plastmateriale																	
Medie	Koncentra- tion (%)	PC	PVC hård	PA 6 PA 66	PA 11	POM C	POM H	PTFE	PETP	PMMA	PE	PP	PPO	PVDF	PUR	ABS	PSU
Fenol, smeltet	100	0	±	0	0	—	—	+	—	0	+	+	—	+	±	±	—
Fenol, vandig	10	—	±	—	—	—	—	+	—	0	+	+	—	+	±	±	—
Flussyre	40	—	+	0	—	—	—	+	—	—	+	+	+	+	—	+	—
Flour, tør			±	—	—	—	—	+			—	—		+			
Flourtriklormethan, se Freon 11																	
Formaldehyd, vandig	20	±	+	±	±	+	+	+	+	+	+	+	+	+	±	+	—
Formalin, se Formaldehyd																	
Fosforsyre	10	+	+	—	+	±	—	+	+	—	+	+	+	+		+	+
Fosforsyre, koncentreret	80	—	+	—	+	—	—	+		—	+	+	+	+		+	+
Freon 11 ^a		±	+	+	+	+	±	+	+		±	—		+			
Freon 12 ^a		±	—	+	+			+	+	+	±	—		+			
Freon 22 ^a		±	+	+				+	+		±	—					
Freon 113 ^a		±	+	+				+	±		±	—					
Glycerin	90	±	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	±	+	+
Heptan	100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	±	+
Hexan	100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	±	+
Isopropanol	90	±	+	+	+	+	+	+	+	±	+	+	+	+	±	+	±
Isopropylalkohol, se Isopropanol																	
Jern-III-klorid		±	+	—	±	±	±	+		±	+	+	+	+	±	+	+
Jod/jod-kalium- opløsning	3	+	—	—	±			+	+		±	+	+	+			—
Kaliid, vandig	10	—	+	+	+	+	±	+	—	+	+	+	+	+	—	+	+
Kaliid, vandig	50	—	+	+	+	+	—	+	—	+	+	+	+	—	—	+	+
Kalisalpeter	10	+	+	+	+	±	±	+	+	+	+	+	+	+		+	+
Kaliumbikromat	5	+	+	±	±			+	+	±	+	+	+	+	±	+	+
Kaliumnitrat, se Kalisalpeter																	
Kaliumpermanganat	1	+	+	—	—	+	±	+	+	+	+	+	+	+		+	+
Klorbenzol	100	0	—	+	+	+	±	+	+	—	±	+	—	+	0	—	0
Klordinfloumethan se Freon 22																	



Figur 32 (fortsat)
Kemisk bestandighed for
plastmaterialer.

således at de ikke er gennemgående, ligesom skruerne naturligvis bør være i rustfri stål.

Ser man på limfabrikantens anvisninger, vil man ofte bemærke, at der stilles krav, til at rørene er tørre og rene, ligesom der ikke bør være frostgrader. Disse forhold kan ikke altid overholdes, hvilket i den senere tid har medført en del diskussion om anvendelsen af limede samlinger i borer. I praksis har det dog vist sig at være forholdsvis sjældent, at der er problemer med utætte limede samlinger.

Man ser dog, at der bliver brugt flere og flere PVC og PE forerør og filtre med gevindsamlinger. Der er i dag ikke nogen dansk standard på udformningen af gevindsamlinger til forerør og filtre, så hver producent har udviklet sine egne gevindtyper.

Gevindsamlinger

Der er udviklet nogle koniske gevindtyper og gevindtyper med O-ring tætninger, således at man undgår at skulle pakke samlingerne med teflontape. Umiddelbart har der været flere uheld med gevindsamlingerne, end man ville forvente, så omhyggelig

Figur 32 (fortsat)
Kemisk bestandighed for
plastmaterialer.

Kemisk bestandighed for plastmaterialer



Plastmateriale																	
Medie	Koncentra- tion (%)	PC	PVC hård	PA 6 PA 66	PA 11	POM C	POM H	PTFE	PETP	PMMA	PE	PP	PPO	PVDF	PUR	ABS	PS
Klorgas	100	=	+	—	—	—	—	+	—	—	—	—	—	+	0	—	—
Kloroform	100	0	—	—	—	—	—	+	—	0	—	±	0	+	0	0	0
Klorvand		=	±	—	+	—	—	—	—		±	±	+	+		=	+
Kobberklorid		+	+			+	±	+			+	+		+	+		
Kobbersulfat		+		±	+	+	+	+			+	+	+	+		+	+
Kogsalt, se natriumklorid																	
Kridt, se calciumcarbonat																	
Kromsyre	10	+	+	—	±	—	—	+	±		+	+	+	+		=	—
Kuldioksid		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
Kviksølv	100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Kviksølvklorid, vandig	5	+	+	—	±	+	+	+			+	+	+	+		+	+
Kuldisulfid, se svovlulstof																	
Magnesiumklorid, vandig	10	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	=	+	+
Mangansulfat	10	+		+	+	+	+	+	+		+	+	+	+		+	+
Methanol	98	—	+	+	+	+	+	±	±	—	+	+	+	+	±	—	±
Methylalkohol, se Methanol																	
Methylbenzol, se Toluol																	
Metylacetat	100	—	—	+	+	+	±	+	+	—	+	+	—	+		—	—
Metylethylketon	100	—	—	+	+	±	±	+	+	0	+	+	±	±	—	0	—
Metylenklorid	100	0	—	±	±	—	—	+	—	0	±	±	0	+	0	0	0
Mineralolie	100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Mælkesyre	10	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+
Natriumbisulfid	10	+	+	+	+	—	—	+	+		+	+	+	+		+	+
Natriumhydrogen- sulfid, se Natrium- bisulfid																	
Natriumhydroxyd, se Natronlud																	
Natriumkarbonat	10	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—	+	+
Natriumklorid	10	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	=	+	+
Natriumsulfat	10	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+		+	+
Natronlud, vandig	50	—	+	±	+	+	—	+	—	±	+	+	+	±	—	+	+
Natronlud, vandig	10	—	+	+	+	+	±	+	—	+	+	+	+	+	=	+	—
Nitrobenzol	100	0	—	±	±	±	±	+	—	0	+	+	—	+	0	—	—

kontrol med samlingerne kan tilrådes. Vær opmærksom på, at specielt PVC rør kan revne, hvis de pakkes for hårdt eller skrues for hårdt sammen.

Status i dag er således, at der ikke er nogen entydig anbefalelsesværdig måde at samle sine rør på, så valget må i vid udstrækning bero på, hvad man selv mener, er den rigtigste måde at samle rørene på.

Utætte forerørssamlinger har i nogle situationer vist sig at være årsagen til, at dybe boringer er blevet pesticidforurenede, idet der har været utætte terrænnære samlinger, hvor vand fra øvre sekundære sandlag har kunnet sive ind i boringen.

Disse forhold kan man tildels sikre ved at fylde op med ekspanderende bentonite eller cementstabiliseret bentonite langs hele forerøret også gennem evt. sandlag. Dette er dog forholdsvis bekosteligt, og det er et spørgsmål, om den enkelte vand-forsyning/bygherre vil betale denne merpris.

Kemisk bestandighed for plastmaterialer



Plastmateriale	Koncentra- tion (%)	PC	PVC hård	PA 6 PA 66	PA 11	POM C	POM H	PTFE	PETP	PMMA	PE	PP	PPO	PVDF	PUR	ABS	PSU
Oliesyre, koncentreret	40	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	±	+	+	+	+	+
Oxalsyre	10	+	+	±	+	—	—	+	+	+	+	±	±	+	+	+	+
Ozon		+	+	—	—	—	—	+	—	+	±	±	+	+	+	+	+
Petroleum	100	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—	+	+	±	+
Phenol, se Fenol																	
Salpetersyre, koncentreret	65	—	—	—	—	—	—	+	—	—	±	—	—	+	—	±	—
Salpetersyre	10	±	+	—	±	—	—	+	±	—	+	+	+	+	—	+	+
Saltsyre	10	+	+	—	±	—	—	+	±	+	+	+	+	+	—	+	+
Saltsyre	2	+	+	—	+	—	—	+	+	+	+	+	+	+	—	+	+
Silikonolie		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			
Soda, se Natriumkarbonat																	
Sodalud, se Natronlud																	
Spiseolie		+	+	+	+	+	+	+	+	+	±	+	+	+	+	+	—
Spiritus		+	+	+	+	+	+	+	+	—	+	+	+	+	+	+	—
Styren	100	—	+	+	+	+	+	—	—	±	±	—	—	—	—	+	+
Svovlbrinte, vandig	2	+	+	+	—	—	—	—	—	+	+	+	+	+	—	+	+
Svovldioxid		±	+	—	±	—	—	+	±	+	+	+	+	+	—		
Svovlkulstof	100	—	±	+	+	+	+	+	+	—	±	+	+	+		0	—
Svovlsurt natron, se Natriumsulfat																	
Svovlsyre	98	—	+	0	—	—	—	+	—	—	—	—	+	+	0	+	—
Svovlsyre	10	+	+	—	+	±	—	+	+	+	+	+	+	+	—	+	+
Svovlsyre, rygende		—	±	—	—	—	—	+	—	±	—	—	—	—	—	—	—
Sæbeopløsning	1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Søvand	100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Tetraklorkulstof	100	—	—	+	±	±	±	±	+	0	—	—	—	+	0	0	—
Tetralin	100	—	—	+	+	±	±	+	+	0	+	±	—	+	0	0	+
Thionylklorid	100	—	—	0	—	±	±	±	+	—	—	—	—	+	—	0	—
Toluol	100	—	—	+	+	±	±	+	+	0	±	±	—	+	—	0	—
Trifluortriklorethan, se Freon 113																	
Triklorethylen	100	—	—	±	±	±	±	+	—	0	—	±	0	+	0	0	0
Triklormethan, se Kloroform																	
Vand, koldt		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Vin		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Voks, smeltet		+		+	+	+	+	+	+		+	+	+	+		+	+
Ætsnatron, se Natronlud																	



Figur 32 (fortsat)
Kemisk bestandighed for
plastmaterialer.

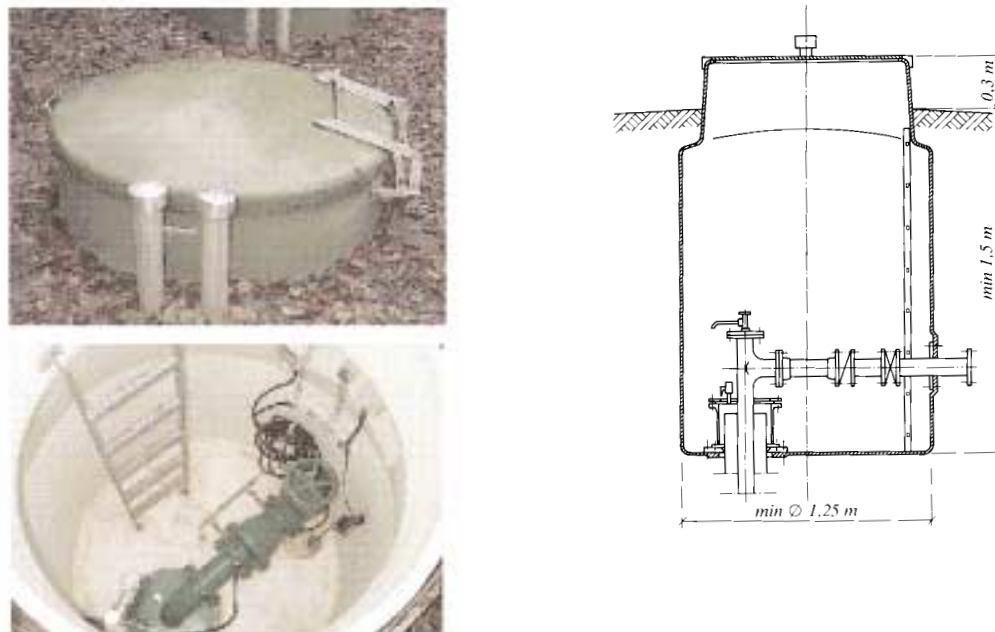
2.6 Boringens overbygning

I henhold til Miljøstyrelsens bekendtgørelse vedrørende udførelser af boringer efter grundvand, skal boringen afsluttes med en “forerørsforsegling”. For at undgå forviklinger med normernes definitioner vil vi her kalde det en “forerørsafslutning”.

Den skal være tæt og yde sikkerhed mod indsvivning af forurening, fx hvis der løber overfladevand ind i råvandsstationen. Den skal være udført med en afproppet pejlestuds, som kan åbnes i tilfælde af, at boringen skal pejles. Pejlestudsen skal minimum have en indvendig diameter på 15 mm. Derudover skal forerørsafslutningen være udført således, at der kan ske sætninger af overbygningen, uden at dette beskadiger boringen. Er der udluftning på forerørsafslutningen, skal denne føres minimum 0,5 m over gulvet i råvandsstationen. Åbningen skal vende nedad og være forsynet med insektnet. Altså en hel række lovkrav til indretning af boringens afslutning.

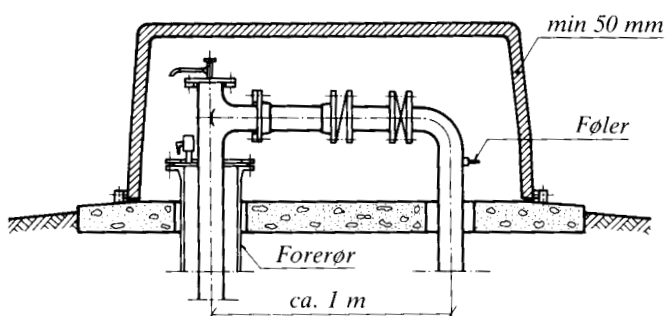
Forerørsafslutninger

Figur 33
Installationsbrønden.

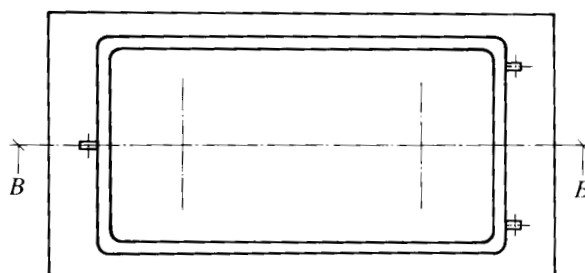


Figur 34
Den terrænliggende
råvandsstation.

Snit B-B



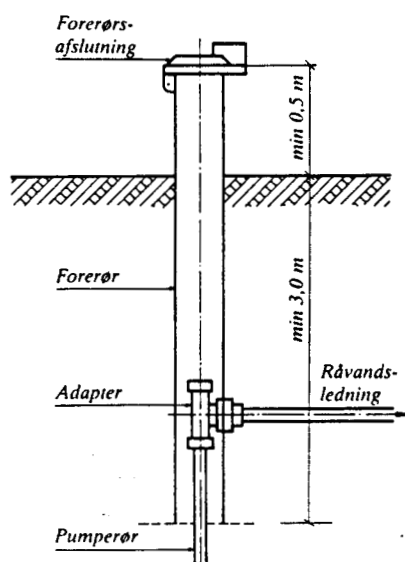
Råvandsstationer set
fra oven



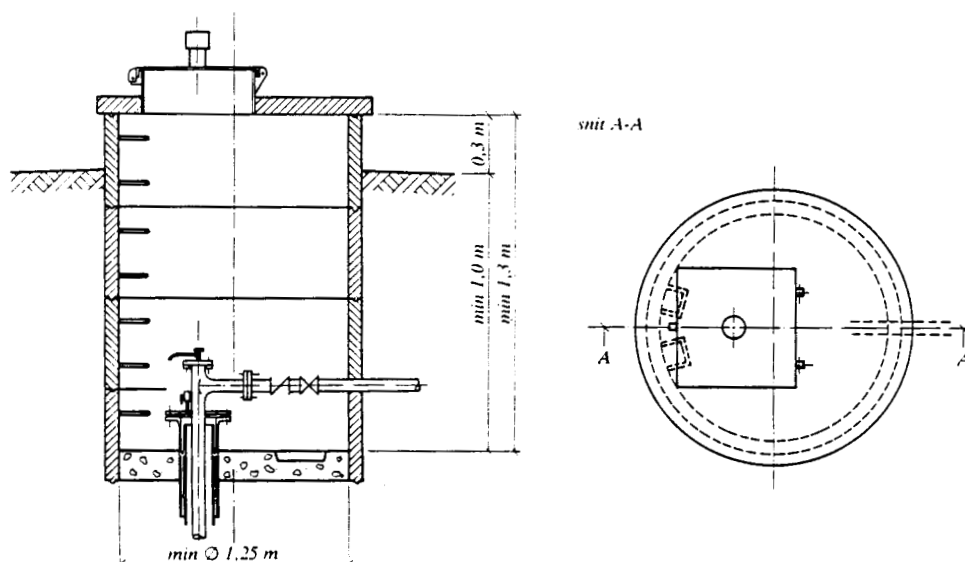
Overbygningen

Tilsvarende er der stillet krav til råvandsstationernes udformning, idet der omkring boringen skal indrettes en fritliggende og let tilgængelig overbygning. Overbygningen må ikke tjene andre formål end beskyttelse af boringen og tilhørende tekniske installationer.

Hvis overbygningen laves som en betonbrønd, bør den minimum være 125 cm i diameter og minimum 1,3 m høj. Det skal her bemærkes, at det ikke er nemt at arbejde nede i en brønd, der kun er 1,3 m dyb, og i det hele taget må man stille spørgsmål ved, om disse pumpebrønde er let tilgængelige og hygiejniske.



Figur 35
Adapter efter DS 441



Figur 36
Installationsbrønd i beton
brøndringe ifølge DS441.

DS442 nævner ikke beton pumpebrønden som en mulighed, men anbefaler i sin vejledning, at disse udføres som præfabrikerede råvandsstationer, enten som en terrænliggende råvandsstation eller en installationsbrønd jf. **Figur 33** og **Figur 34**.

DS442

Som det ses af **Figur 33**, er installationsbrønden en forbedret udgave af den gamle pumpebrønd. Den kan således være lidt snæver at komme ned i, specielt i miniumsudgaven. Den fås dog i flere versioner, og vælger man en af de lidt større modeller, fås en god løsning.

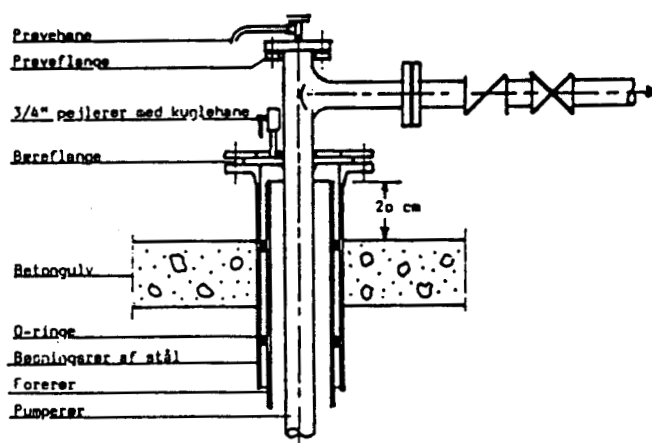
Installationsbrønden

Den terrænliggende råvandsstation er derimod meget tilgængelig. Den er desværre ikke frostfri og skal derfor sikres fx med en lille 240V termostatstyret elradiator eller et termobånd. Ligeledes kan man frostsikre den ved at starte pumpen kortvarigt, fx når rørtemperaturen når -2°C .

Bemærk forerørsafslutningen på billedet, idet det er en topflange med strømtee med prøvehane og pejlestuds. Topflangen er monteret på boringens forerør direkte med en trækfast flange. Afslutningen er hævet over terræn og er således sikret mod

Trykafslætning

Figur 37
Forerørsafslutning med
aflastningsrør for pumpe.



indsivende overfladevand eller anden forurening. Det er således en tæt løsning, som er nem at adskille og servicere. Dog bør man være opmærksom på, at ved tungere pumpeinstallationer bør man aflaste boringen, således at pumpeinstallationens vægt ikke hviler direkte på boringens forerør, jf. **Figur 37**.

I normen for mindre ikke-almene vandforsyningsanlæg DS441 tillades installationsbrønden udført i beton brøndringe jf. **Figur 36**, samt det svenske adapter system, jf. **Figur 35**.

2.7 Litteratur

Dimensionering af gruskastningsboringer. Af civ.ing. Leo Glensvig

Norm for mindre ikke-almene vandforsyningsanlæg DS441

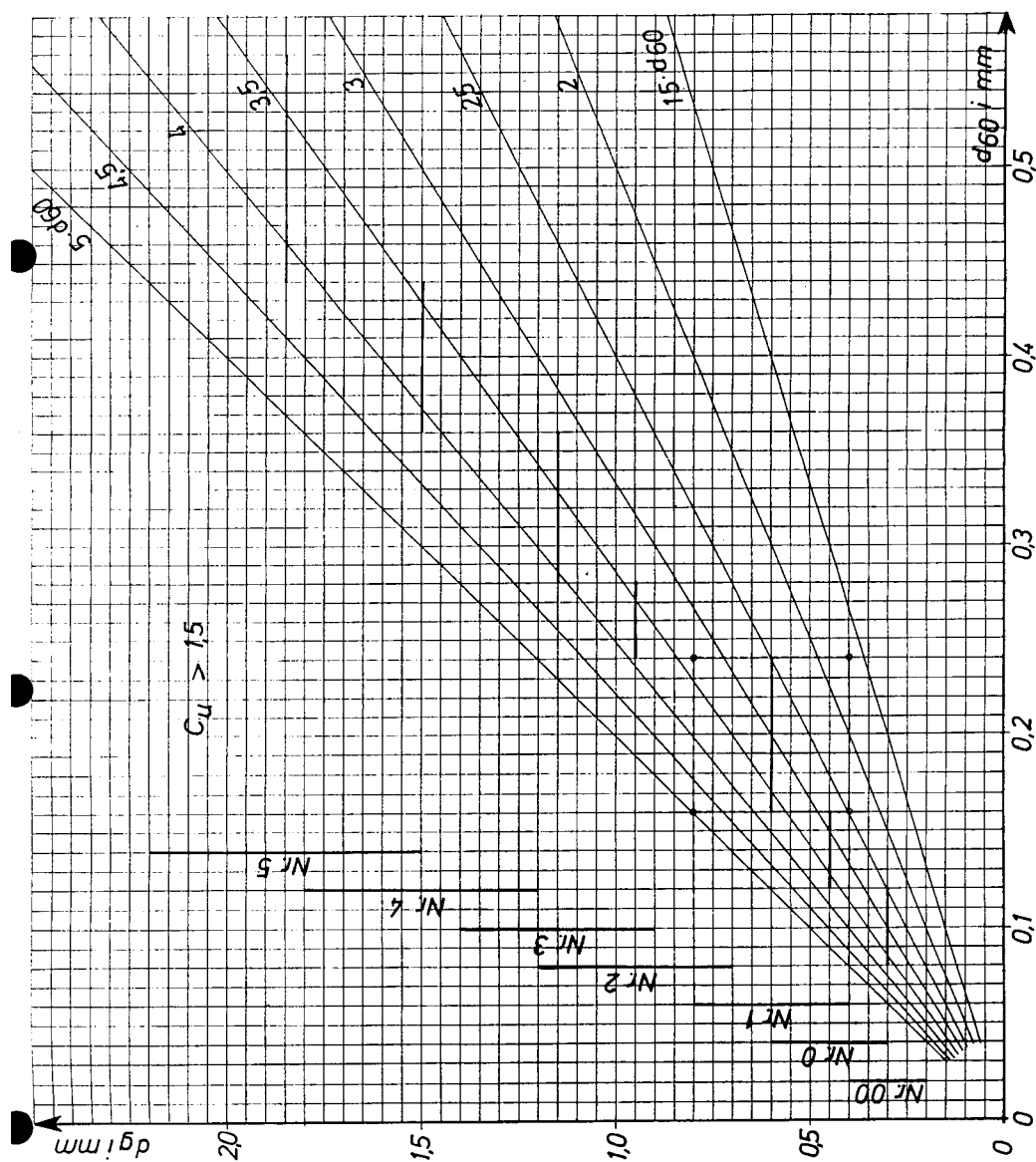
Norm for almene vandforsyningsanlæg DS442

Bekendtgørelse om udførelse af boringer efter grundvand, Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 4 af 4. januar 1980.

Tryktab i filterkonstruktioner. Af civ. ing. Jesper R. Magtengaard, Vandteknik

Fejlmuligheder ved brug af PVC-forerør. Af Henning Espersen Nordisk Wavin A/S, Brøndboreren nr. 3 1991.

Undersøgelse af forseglingsmaterialer. Af Dorte Friis-Nielsen og Hanne Nielsen, Laboratoriet for Geoteknik – Horsens Teknikum.



3 Renovering og vedligeholdelse af boringer

3.1 Indledning

I dette kapitel er det primært vedligeholdelse og reparation af eksisterende boringer, det drejer sig om.

Boringens livscyklus

En boring vil normalt passe sig selv i en årrække. I de første par år kan man opleve, at boringens *specifikke ydeevne* bliver bedre, idet der sker en yderligere renpumpning af boringens filterkonstruktion, samt af den filtersatte lagserie i umiddelbar nærhed af boringen. Derefter vil dens specifikke ydelse som regel begynde at aftage, fordi der sker udfældninger af jern og mangan i boringens filterkonstruktion (**figur 1**).

Hvor hurtigt en boring aftager i ydeevne afhænger i høj grad af den aktuelle grundvandskvalitet, men kan også være betinget af boringens konstruktion og de aktuelle geologiske forhold. Normalt vil den primære faktor dog være grundvandskvaliteten.

Det kan ske, at ældre boringer begynder at give sand pga. gennemtæringer af forerør eller filter. En ny boring kan begynde at give sand, hvis den er blevet beskadiget, fx hvis der er tabt en pumpe i boringen, eller man har undervurderet den filtersatte lagserie og fået udført en for åben filterkonstruktion.

Er situationen sådan, at en udbedring, reparation, renovering eller lignende ønskes, skal en række forhold vurderes.

Boringens data

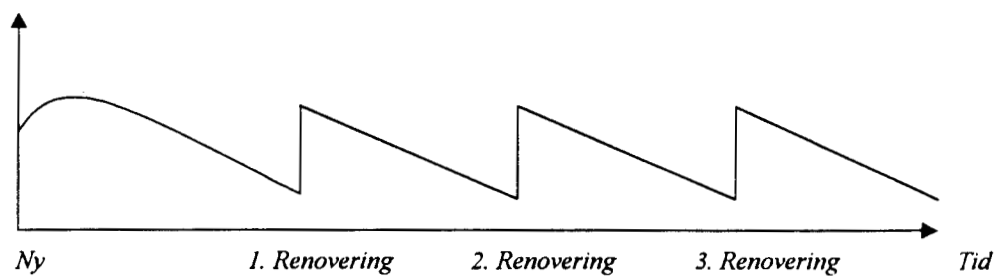
Afhængigt af boringens alder og konstruktion vil der være forskellige problemer, der skal tages stilling til. Hvis en boring fx er udført efter 1963, er boringens filter oftest udført af PVC. Er boringen fra før 1962, kan filteret være udført i kobber, egetræ eller rustfrit stål. Boringens konstruktion vil være afhængig af den boremetode, som er benyttet ved boringens udførelse.

Det er derfor vigtigt, at man inden en reparation eller oparbejdning af en boring indsamler så mange data om boringen som muligt og få disse dokumenteret ved at foretage en opmåling af boringens dybde og dimension(er). Specielt på ældre boringer kan det være vigtigt at få præciseret, at borejournalen rent faktisk tilhører den boring, der skal renoveres. I nogle tilfælde kan det være nødvendigt med en TV-inspektion for at konstatere, om ens opmåling og borejournal stemmer overens med de faktiske forhold.

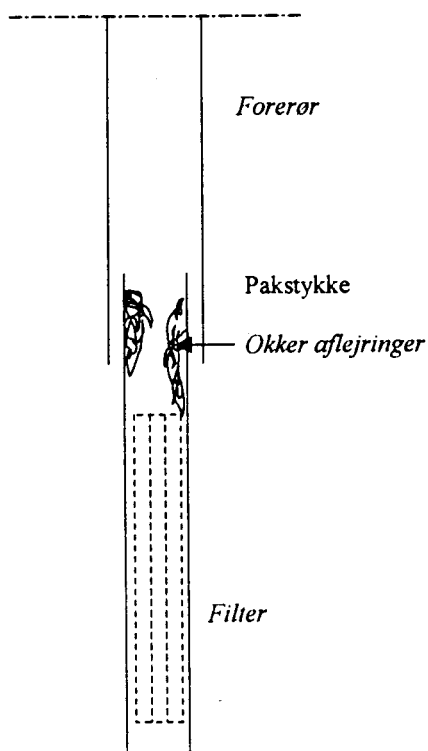
For nogle år siden, da en ældre boring skulle oparbejdes, var situationen den, at boringen, ud fra borejournalen, var en ældre 12" stålørborings udbygget med et 8" Johnson rustfrit stålørfilter.

I forbindelse med oprensningen af boringen var det kun muligt at få en sandsuger ned til overkanten af *boringens pakstykke*, selv en lille sandsuger, der ellers kan gå indeni et 2" filter, kunne ikke komme ned i boringens filter. Den efterfølgende TV inspektion af boringen viste, at der havde dannet sig en massiv okkerkage i den øverste del af boringens filter og pakstykke. På TV optagelserne kunne ses, at der kun var et meget lille hul ned til selve filteret. TV kameraet, der havde en udvendig diameter på 50 mm, kunne således ikke komme igennem hullet, men det var muligt at få bekræftet, at boringens pakstykke og forerør var intakte og i overensstemmelse med borejournalen. Okker-kagen blev derefter boret/raspet bort, og boringens filter kunne derefter oparbejdes (**figur 2**).

Specifik ydelse



Figur 1
En borings livscyklus.



Figur 2
Eksempel på udfældninger
i overgangen mellem filter
og forerør.

3.2 Opgaveformulering

Der vil således være en række typiske arbejdsopgaver i forbindelse med vedligeholdelse og reparation af borer. I det følgende gennemgås en række mulige måder, at udføre disse arbejdsopgaver på.

Opgaverne kan fx være følgende:

1. En borings afsenkning er tiltaget under driften.
 - dykpumpen er begyndt at tage luft
 - pumpens energiforbrug pr. m³ oppumpet vand er tiltaget,
 - boringens ydelse er aftaget.

De tre nævnte forhold er symptomer på 'samme årsag'.

Boringen skal oparbejdes.

2. Virkningsgraden på en ny boring ønskes forbedret (fx tilstoppet m. boremudder).
3. En boring er begyndt at give sand. Boringen ønskes bevaret – en reparation af boringen er nødvendig.

Renovering- og
vedligeholdelsesopgaver

4. En pumpe eller et pumperør er tabt i boringen, og skal fiskes op.
5. Dele af en boring er brudt sammen. For at undgå lækager fra dårligere magasiner, ønskes boringen rensset op og sløjfet ved indbygning af lerspærre, ud for de adskillende lerlag i formationen.
6. En boring er taget ud af drift og ønskes sløjfet.

Det er således naturligt at opdele renovering af boringer i *oparbejdninger af boringer* (pkt. 1, 2), *reparationer* (pkt. 3, 4) og sløjfning af boringer (pkt. 5, 6).

Ofte er det ikke muligt at få en præcis beskrivelse af, hvad der er galt, og selv om man får en præcis beskrivelse, skal man for sin egen skyld *altid* starte med en prøvepumpning af boringen.

Afprøvning af boringen

Start derfor med at koble boringen fra råvandsledningen og start pumpen op med en slange på, som er ført op i en måletønde/kar. Pumpens ydelse kan måles præcist med et stopur. Eventuelt sand kan opsamles, og der kan udtages en prøve af sandet. Derudover kan det måles, hvor meget sand boringen fx har givet pr. m³ vand.

Når pumpens præcise ydelse kendes, og vandspejlets afsenkning i boringen er pejlet, kan pumpens ydeevne kontrolleres ved at gå ind i pumpediagrammet for den pågældende pumpe og se, hvor den faktisk ligger placeret i forhold til pumpefabrikantens specifikationer for pumpetypen.

Samtidig kan boringens specifikke ydelse udregnes og sammenlignes med, hvad boringen tidligere har ydet. Fx ved at se boringens borejournal eller lignende. Det er derfor vigtigt at gemme prøvepumpningsresultater og oplysninger om boringens konstruktion og karakteristika, fordi disse oplysninger giver et bedre grundlag for at arbejde korrekt med boringen. Det kan nu afgøres, om det er pumpen, der er 'problemet', eller om boringen skal renoveres.

Hvis det er første gang, der skal arbejdes med boringen, kan borejournalens oplysninger kontrolleres, mens prøvepumpningen foretages. Det skal sikres, at det er den rigtige borejournal, og undersøges om borejournalen indeholder oplysninger, der kan bruges til renoverings- og vedligeholdelsesarbejdet (Fx dybde, *forerørets diameter*).

Prøvepumpningen skal fortsætte, indtil det står klart, hvordan der skal arbejdes med boringen. Normalt bør der prøvepumpes minimum en times tid og foretages pejlinger, svarende til en prøvepumpning af en ny boring.

Resultatet af prøvepumpningen giver mulighed for at foretage en beregning af *boringens virkningsgrad*. Stigningen og sænkningen indenfor de første minutter indikerer, om der kan opnås væsentlige forbedringer af boringens virkningsgrad, ved en renovering af boringen. En boring med en lav virkningsgrad kan godt have en særdeles høj ydeevne ved en meget beskeden afsenkning.

En dårlig virkningsgrad kan også være geologisk betinget, fx hvis boringen er blevet placeret et dårligt sted i et ellers ydedygtigt magasin.

Sænkningen/stigningen indenfor de første minutter (1-2 minutter) efter pumpestart/stop vil normalt repræsentere de hydrauliske forhold lige omkring boringens filterkonstruktion. Er denne forholdsvis stor, sammenlignet med sænkning/stigning de efterfølgende 10-20 minutter, tyder dette på, at der kan opnås en forbedring. Vær opmærksom på, at sækningsforløbet er logaritmisk, hvilket altid betyder en sæknings-/stigningsandel, i de første minutter, der ikke kan reduceres.

Den indledende prøvepumpning er vigtig, idet det ud fra denne skal besluttes, hvordan renoveringen skal gribes an.

Renoveringen af en boring afsluttes med, at der igen foretages en prøvepumpning. Dermed kan man overfor kunden redegøre for årsagen til fx en reduceret pumpeydelse og dokumentere effekten af arbejdet.

Samtidig etableres et datagrundlag, som kan anvendes ved eventuelle fremtidige

renoveringer af boringen. Vær derfor omhyggelig med at notere oplysninger om renoveringen.

3.3 Oparbejdning af boringer

Når der er indsamlet oplysninger om boringen og foretaget en indledende prøve-pumpning, er arbejdsgrundlaget på plads.

Pumpeinstallationen

Pumpen skal herefter tages op, og samtidig efterses pumpen og pumpens stigrør for tæring og belægninger, og det kontrolleres, om boringens *forerørsafslutning* er tæt.

Herefter bør bunden af boringen pejles for at konstatere, om der er bundfældet noget i *boringens slamboks* eller bund. Hvis det er tilfældet, renses boringen op med en let *sandsuger* (sandspand).

Som nævnt tidligere har en oparbejdning af en boring to formål:

1. Reducere afsænkningen for en given prøveydelse, så pumpens løftehøjde bliver så lille som muligt, og pumpens drift dermed bliver optimal, med et lavt strømforbrug.
2. Bidrage til en vedligeholdelse af boringen, så en total lukning af boringens filterkonstruktion undgås, og boringens ydeevne bevares.

De metoder, som i dag bruges til oparbejdning af boringer, kan deles i to hovedgrupper.

1. *De mekanisk/fysiske metoder består af:*

- a) Højtryksspuling med luft og vand.
- b) Blæsning med luft
- c) Spuling med vand.

Mekanisk oparbejdning

2. *De kemiske behandlingsmetoder:*

- a) Udsyring/tryksyring/flowsyring med saltsyre.
- b) Oparbejdning med specialkemikalier, fx Herli-Rapid.
- c) Oparbejdning med Hexametafosfat.
- d) Desinfektion/kloring.

Kemisk oparbejdning

I praksis kombineres de mekaniske oparbejdningsmetoder ofte med en kemisk forbehandling, idet man starter med at injicere kemikalier i boringen. Herefter henstår boringen en passende reaktionsperiode, hvorefter der udføres en kombineret mekanisk oparbejdning og renpumpning.

Hvilke metodevalg og kombinationer, der vil virke bedst, kan variere fra filterboring til filterboring. Der er dog nogle generelle forhold, man skal være opmærksom på. Ved de mekaniske oparbejdningsmetoder sætter boringens konstruktion ofte begrænsninger. Hvis der fx er anvendt 6 bar forerør, eller boringen er udbygget med kobber eller træfilter, tåler boringen ikke så hård en mekanisk oparbejdning som en nyere boring udført i 10 bar rør. Vær opmærksom på risikoen for udvikling af klor-gasser ved anvendelse af saltsyre. Klorgasser kan give anledning til nogle særdeles sundhedsfarlige situationer og stiller derfor krav om korrekt personbeskyttelse under arbejdets udførelse.

3.3.1 Oparbejdning af kalkboringer

Kalken og skrivekridten er tætte bjergarter med meget lav permeabilitet. Når kalken alligevel er vandførende, skyldes det, at kalken ofte er opsprækket og revnet. Disse

revner kan fx være opstået under istiden, hvor isen har bearbejdet den øverste del af kalken, hvor den i dag ligger lige under moræne og smeltevandsaflejringer. Denne del af kalken bliver benævnt knoldekalk.

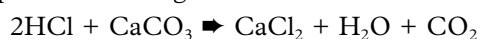
Andre steder kan det være forskydninger og forkastninger i undergrunden, der har forårsaget revner og sprækker.

Er en boring blevet placeret i et område med meget få sprækker og revner, er boringens ydeevne tilsvarende lav. Under borearbejdet kan en del af sprækkerne blive tilstoppet, og dermed forringe boringens virkningsgrad. Den første renpumpning af boringen vil fjerne noget af det materiale, som under borearbejdet har stoppet sprækkerne, men stadig vil der kunne forekomme store variationer i boringernes ydeevne, selv inden for samme kildefelt.

Det har derfor været nødvendigt at udvikle nogle metoder til at "udvide" og forbedre disse sprækker. En af disse metoder er at forsøge at pumpe syre ud i sprækkerne under højt tryk.

Saltsyrens reaktion med kalken

Fra gammel tid har der været tradition for at anvende saltsyre, fordi saltsyre har en god opløsningssevne på iltede jernforbindelser. Saltsyrens reaktion med kalken kan opstilles efter følgende formel:



Når saltsyren kommer i kontakt med kalken, forløber denne proces meget hurtigt. Ved traditionel nedhældning af syre må man regne med, at syren er forbrugt i løbet af ca. 1 minut.

Ved almindelig nedhældning af syren vil saltsyren således være brugt på selve kalkvæggen i boringen og næppe nå ret langt ud i sprækkerne. Saltsyren vil være med til at åbne sprækkerne i borevæggen i selve borehullet. Man opnår således en rensning af borevæggen, men størsteparten af syren vil blive brugt på at øge boringens diameter og ikke nå særlig langt ud i sprækkerne. Denne metode benævnes flowsyring.

Tryksyring

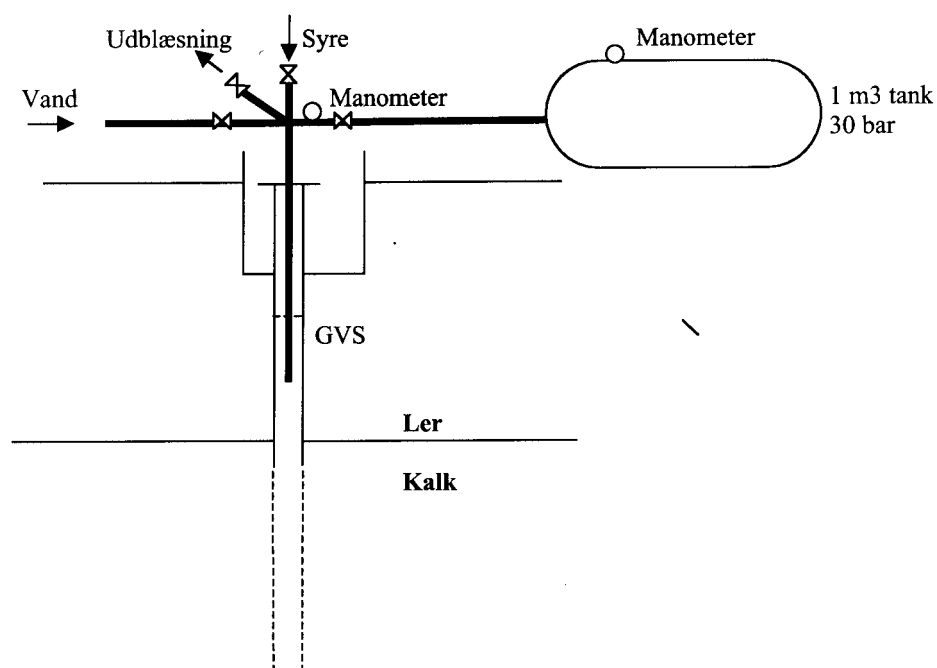
Hvis saltsyren reagerer under tryk, vil en del af den frigjorte CO_2 gå i opløsning i vandet og nedsætte reaktionshastigheden. Ved 30 atm vil det således tage op til 8 – 10 gange så lang tid at forbruge 75% af en given syremængde. Denne tidsmæssige gevinst bruges til at presse syren ud i kalkens spalter, hvor den, i stedet for at reagere med borehullets væg, vil reagere med sprækkevæggen og dermed øge spaltevidden.

Oparbejdning af kalkboringer udføres derfor normalt som tryksyring, hvor det er muligt: *Flowsyring* er et alternativ, hvis boringens konstruktion ikke kan holde til trykket ved en tryksyring.

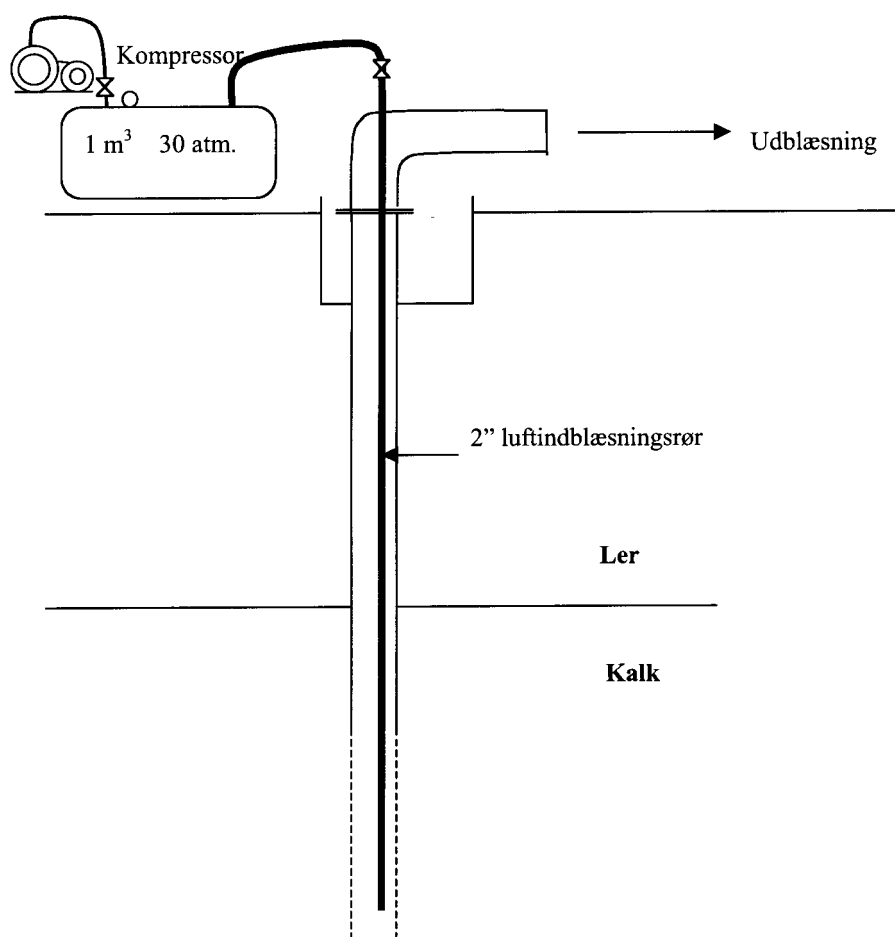
På grund af den forlængede reaktionstid og den dermed bedre udnyttelse af syren opnås den bedste effekt i kalkboringer som regel med en tryksyring. Normalt opnås forbedringer af virkningsgraden ved hver tryksyring, og faktisk kan man forbedre grundvandsmagasinets hydrauliske egenskaber lokalt omkring boringen. Det er en af årsagerne til, at tryksyrede boringer kan opnå virkningsgrader, der ligger over 100%.

Metoden kræver dog, at boringen skal være konstrueret til at kunne klare de voldsomme tryk, og den del af lagserien som ligger over kalken, skal kunne optage trykket. Samtidig skal lagserien over kalken kendes, idet der skal være et tilstrækkeligt tykt lerlag over kalken for at sikre at syren bliver i kalken og presses ud i den. Alternativt risikeres utilsigtet lækage gennem tynde lerlag op til overliggende sandlag, hvor syren ingen effekt har.

Tryksyringen foretages ved at tilsætte syre og vand i boringen samtidig. Herefter presses syreblandingen ud i sprækkerne med trykluft. Der anvendes trykluft (tryk op



Figur 3
Tryksyring



Figur 4
Renblæsning efter
tryksyring.

til 30 atm). Der skal doseres og tilføres luft med omtanke, så det undgås, at syren trænger op til terræn, bag om forerørene. Når trykket tages af, løber vandet tilbage i boringen, hvilket er med til rense sprækkerne. Processen gentages, ind til den ønskede syremængde er doseret, hvilket normalt svarer til 30-50 liter 10%-saltsyre pr. meter gennemboret kalk.

Efter at tryksyringen er foretaget, skal boringen renpumpes/blæses. Dette gøres efter Mammutpumpe-princippet, hvor tryktanken fyldes med luft under højt tryk (30 atm.) og tømmes i bunden af boringen. Da luften udvider sig under vejen op gennem boringen, bevirker det, at luften, som et stempel, skubber al vandet oven ud af boringen. Det sker meget hurtigt og giver en slags chok-virkning ud i sprækkerne, som kan løsne porøse kalkstykker, samt trække løsnet kalk ud af sprækkerne.

Flow-syringen udføres ikke under tryk. Syren tilføres derimod sammen med vand i samme tempo, som boringen kan dræne syren. Det er således hovedsagelig en kemisk oparbejdning, som kan bruges på boringer, hvor geologien eller boringens konstruktion ikke tillader en så kraftig fysisk/mekanisk bearbejdning, som det er tilfældet under en tryksyring. Den efterfølgende renpumpning udføres ved hjælp af en almindelig dykpumpe og giver dermed ikke voldsomme chok ud i kalkens sprækker.

3.3.2 Oparbejdning af filtersatte boringer

Med filtersatte boringer menes boringer, som har et slidsefilter indbygget i det vandførende lag, og laget ikke er faste bjergarter som kalk, men løse jordarter som fx smeltevandssand.

Der forekommer dog boringer, hvor kalken er filtersat. Fx hvis laget ovenpå kalken er et forholdsvis grovkornet smeltevandssandlag, og der er risiko for, at dette sand kan trækkes ind i boringen via kalkens sprækker. Kalken kan være så opsprækket og porøs, at den ikke kan stå som åbent hul uden foring.

Ved filtersatte boringer er det således ikke en udvidelse af lagets hydrauliske egenskaber, der er målet. Derimod er målet vedligeholdelse af lagets porøsitet og permeabilitet, da der med tiden sker udfældninger af jern og mangan i boringens filterkonstruktion og lokalt i jordlaget omkring boringens filter.

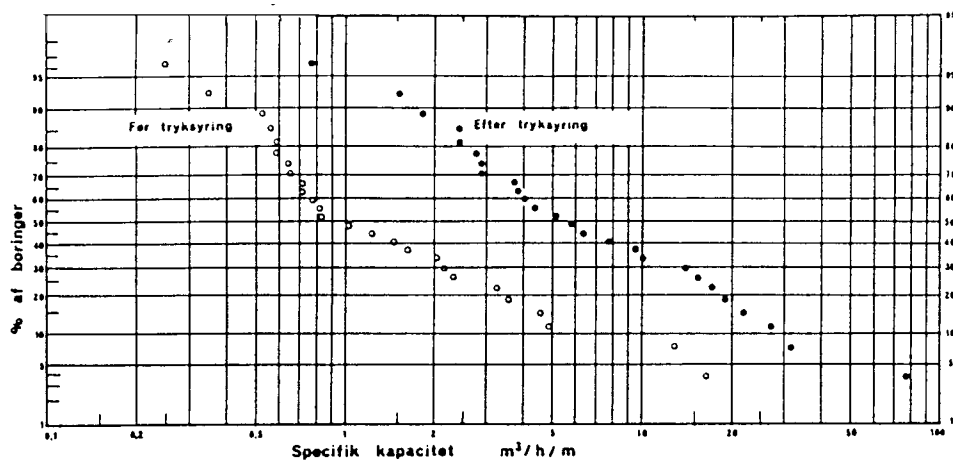
På grund af vandindvindingen opstår der trykforskel i reservoiret. Lokalt kan der, på grund af vandets strømning, opstå turbulens. Begge forhold kan være tilstrækkelige til, at den jern og mangan, der findes opløst i grundvandet, bliver ustabil og udfælder i boringen. Endnu værre kan det gå, hvis vandet i boringen bliver tilført iltet vand eller bliver iltet, fx hvis vand løber tilbage i boringen pga. en defekt bundventil eller stigrør.

Som regel er det ældre boringer, som renoveres. Man kan dog komme ud for, at en ny boring ikke yder det, som den burde kunne - fx hvis man under borearbejdet har fået tilstoppet sandlaget med sin boremudder. Vær opmærksom på at jo dybere grundvandsmagasinet vandspejl står, desto større trykforskel er der mellem trykket i grundvandsmagasinet og boremudderet i boringen, og jo større indtrængningsdybde risikerer man at få.

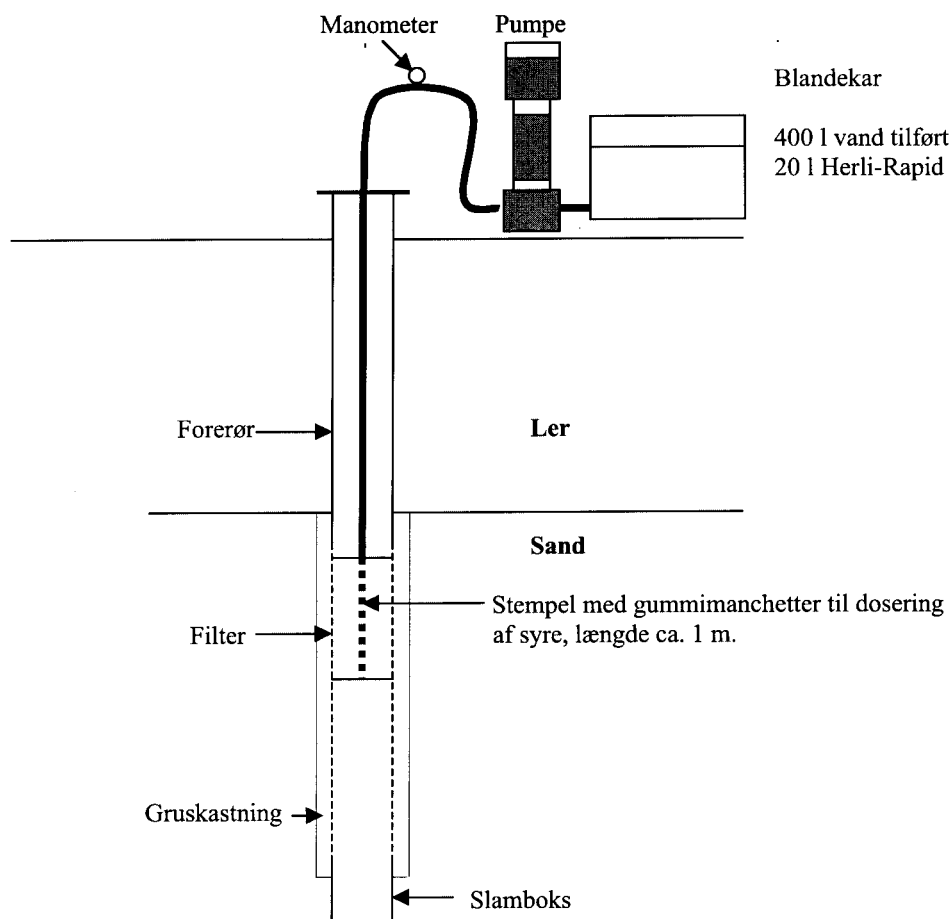
Det bør derfor tilstræbes, at tidsrummet fra man borer igennem grundvandsmagasinet, til boringen er filtersat og renpumpningen opstartet, er så kort som mulig.

Teknikken i oparbejdningen af nye filtersatte boringer og ældre boringer er i princippet ens. Forskellen ligger i, hvilke kemikalier der bruges.

Som nævnt tidligere er hovedårsagen til, at ældre boringer aftager i ydeevne som regel en tilstopning af boringens filterkonstruktion pga. udfældninger af jern og mangan. Det medfører den i **Figur 1** viste livscyklus, hvor det, hvis en borings yde-



Figur 5
Fordeling af specifik
kapacitet på kalkboringer
før og efter tryksyring
(Brøker og Sørensen,
Vandteknik nr. 3 1977)



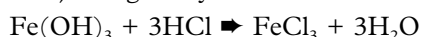
Figur 6
Indpumpning af syre

dygtighed skal bevares, er nødvendigt at foretage en passende vedligeholdelse af boringen.

Saltsyres reaktion med
jern

Jern og mangan aflejringer er som regel opstået, ved at der enten er sket en iltning eller opstået en trykforskel, så de kemiske ligevægtsbetingelser er blevet forstyrret. For at opløse disse udfældninger anvendes et kraftigt iltningmiddel, som kan fjerne ilten i jern og manganforbindelserne og dermed opløse disse igen og gøre dem mobile. Før i tiden, har man udelukkende brugt saltsyre til at opløse jern og mangan. Saltsyren har den ulempe, at klore i saltsyren kan danne giftige klorforbindelser ved kontakt med fx galvaniserede stålrør. Samtidig er saltsyren ikke altid god nok til at opløse manganforbindelser – manganforbindelser 'kræver' et kraftigere iltningmiddel for at blive opløst.

For jern og saltsyre kan de kemiske reaktioner beskrives, som følger:



Der er efterhånden kommet en del produkter på markedet, som er specielt udviklede til oparbejdning af boringer. Et produkt som Herli-Rapid TWB har været anvendt en del år til oparbejdning af boringer og rengøring på vandværker. Produktet er almindeligt anvendt i Danmark.

Herli-Rapid

Herli-Rapid består af en række organiske syrer, som tilsættes C-vitaminer. C-vitamin er et meget kraftigt iltningmiddel, som er med til at opløse de udfældninger, der er i boringen. Samtidig udvikler Herli-Rapid ikke klogasser og er meget mere arbejdsmiljøvenlig.

Hexametafosfat

Til nye boringer, hvor det ofte er bentonite-boremudder eller ler fra den overliggende gennemborede lagserie, der skal fjernes, kan man anvende Hexametafosfat. Dette er et afspændingsmiddel, som er i stand til at opløse de elektriske bindinger, der får lerminerallerne til at hænge sammen i deres gitterstruktur. Med andre ord bliver leren flydende og mister sin evne til at klæbe og kan dermed mekanisk bearbejdes og pumpes.

Hvilke kemikalier og hvor meget, man vil anvende i den enkelte situation, er et spørgsmål om, hvor godt man kender boringen. Ved man fx. at boringen er gammel og er aftaget meget i specifik ydelse i forhold til sin oprindelige ydeevne, kan man være sikker på, at boringens filterkonstruktion er tilstoppet og kræver en grundig kemisk og mekanisk oparbejdning. Det er ofte en god ide at foretage endnu en oparbejdning af boringen inden for de næste par år.

Er det derimod en boring, der jævnlige – fx hvert 8-10 år – er blevet vedligeholdt, så har man noget erfaringsmateriale fra de tidligere oparbejdninger og ved dermed bedre, hvordan boringen skal 'behandles'.

Som tidligere nævnt skal boringen først prøvepumpes, og boringens mål kontrolleres. Der kan være belægninger indvendigt i filteret, som skal fjernes mekanisk, inden kemikalierne doseres i boringen. En god måde at dosere syren på er, at nedpumpe den gennem et stempel med to stempelplader med en indbyrdes afstand på ca. 1 m. Værktøjet flyttes, under nedpumpningen, gennem hele filterets udstrækning. Så sikres det at syren kommer ud gennem boringens filter og i hele filterets længde. Vær opmærksom på at syrens vægtfylde er lidt større end vandets, og at syren derfor vil have en tendens til at trænge ned mod filterets bund og ud i filterkonstruktionen, mens det ofte er den øverste del af boringens filter der er mest tilstoppet.

Under nedpumpningen af syren, skal man holde øje med modtrykket på pumpens manometer, idet modtrykket er størst, hvor filteret er mest tilstoppet – der hvor man bør være ekstra omhyggelig i den efterfølgende mekaniske oparbejdning af boringen.

Volumen af syre, der pumpes ud gennem boringens filter, afhænger af hvor langt ud i filterkonstruktionen, at man ønsker, syren skal virke.

Her er således regnet med, at der udpumpes i alt 440 l pr meter filter. Er boringen en ø 225 mm PVC boring, bruges de første ca. 40 l til at fortrænge det vand, som stod i selve boringens filter. De efterfølgende 400 l fortrænger således det vand, som er i porevolumenet i gruskastningen og i det filtersatte sandlag.

Ved en porøsitet på 48% kan udtrængningsdybden beregnes som følgende:

Fortrængt volumen $V = 40 \text{ l} + 400/48\% = 873 \text{ l} \Rightarrow 0,873 \text{ m}^3$

Udtrængningsdybden bliver da:

$$R = 1/2 \cdot \sqrt{\frac{0,873 \cdot 4}{\pi}} = 0,53 \text{ m}$$

Det skal således vurderes, i den enkelte situation, om en udtrængningsdybde som her på ca. 0,5 m er tilstrækkelig. Derudover skal der korrigeres for boringens dimension, idet udtrængningsdybden vil aftage med større filterdimension.

Efter at have foretaget nedpumpningen af syren skal den have en reaktionstid, hvis størrelse er afhængig af, hvilket kemikalie der er anvendt. Fx bør Herli-Rapid minimum henstå et døgn, mens effekten af Hexametafosfat aftager efter ca. 1 døgn.

Efter at boringen har henstået en reaktionstid, således at kemikalierne har haft en passende tid at virke i, påbegyndes en mekanisk bearbejdning og renpumpning af boringens filter. Dette kan gøres på mange forskellige måder, det kan vælges at blæse filteret meter for meter ved at bruge stemplet – vist **Figur 6** – efter samme princip som under renblæsning af kalkboringer, dog med lavere tryk, idet trykket skal afpasses boringens konstruktion. Nyere boringer, som er udført med PN10 foringsrør, skal kunne klare 10 atm. tryk. Vær dog opmærksom på, at PN10 rør er specificeret for et indvendigt overtryk på 10 atm., men ikke et udvendigt tryk på 10 atm. I praksis vil et PN10 rør således kolapse ved et udvendigt overtryk på ca. 75 mVS og et tilsvarende PN8 rør ved ca. 35 mVS.

Det giver nogle begrænsninger for, hvor kraftigt man kan tillade sig at blæse selv nyere boringer. En indblæsning af luft gennem stemplet bevirker, at luften tvinges ud gennem filterets slidser og ud i gruskastningen. Da luften søger den nemmeste vej op, vil den trænge ind i boringen over stemplet og i lighed med en lufts skylning af et vandværksfilter, vil luften skabe turbulens i gruskastningen og trække det opløste slam og syrerester ind i boringen og dermed ud af gruskastningen.

Mekanisk bearbejdning kan også udføres som en kombination af højtryksspuling/vaskning kombineret med renpumpningen ved anvendelse af fx en spulepumpe, som vist i **Figur 7**.

Her er der vist en dykpumpe fx en Grundfos type SP 8A-18, som yder ca. 4 m³/t ved et driftstryk på 9 atm. Ved at montere et spulehoved med 3 - 4 dyser over pumpen, samt en afspærringsventil på pumpens afgangsrør ved terræn, er det muligt ovenfra at bestemme, om pumpen henholdsvis skal spule eller renpumpe boringen.

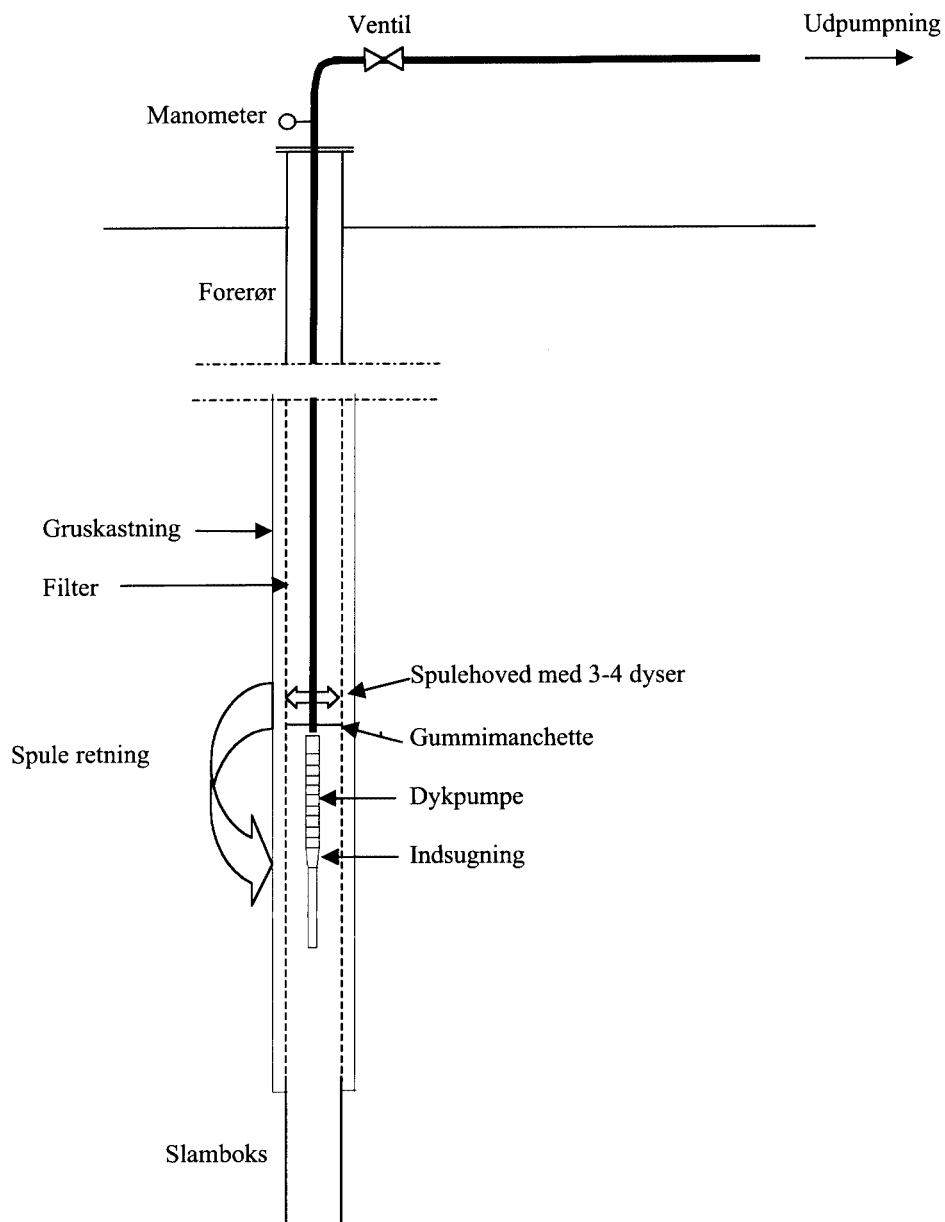
Efter grundigt at have spulet og renpumpet boringens filterkonstruktion meter for meter, demonteres spulepumpen, og pumpeinstallationen indbygges i boringen igen. Herefter afsluttes oparbejdningen med en prøvepumpning, hvor resultatet af oparbejdningen måles, og boringens syretal (pH-værdi) kontrolleres, inden boringen igen tilsluttes vandværkets råvandsforsyning.

Nedenstående eksempel viser prøvepumpningsresultaterne før og efter en oparbejdning af en vandforsyningsboring.

Syrens
indtrængningsdybde

Renpumpning

Figur 7
Oparbejdning ved
spuling kombineret med
renpumpning



3.3.2.1 Eksempel

Boringen er etableret i 1984 og er filtersat over 2 strækninger fra 63-69 m og fra 78-93 m i lag af formentlig samme geologiske oprindelse men adskilt af et mørkt lerlag med kul.

Den er blevet oparbejdet med luft i december 1993, men allerede 1½ år senere var den igen aftaget markant i specifik ydelse.

Den første oparbejdning var således en ren mekanisk oparbejdning, hvor man med ved hjælp af trykluft skaber nogen turbulens i filterets gruskastning og i borevæggen omkring gruskastningen.

Umiddelbart var effekten meget positiv, idet man fik forbedret boringens specifikke ydelse fra 5,9 m³/t x mVS til 11,8 m³/t x mVS. Effekten aftog dog forholdsvis hurtigt, og allerede i midten af 1994 var den specifikke ydelse faldet til 5,1 m³/t x mVS. Årsagen kunne være, at den mekaniske oparbejdning ikke havde fået fjernet

Tid efter stop (min.)	Meter under målepunkt (før udsyring)	Meter under målepunkt (4 mdr. efter udsyring)
0,0	15,90	12,20
0,5	8,60	6,50
1,0	6,88	6,00
1,5	6,30	5,87
2,0	6,18	5,80
2,5	6,12	5,74
3,0	6,08	5,70
3,5	6,04	5,67
4,0	6,02	5,64
4,5	5,99	5,61
5,0	5,96	5,59
6,0	5,91	5,56
7,0	5,88	5,53
8,0	5,85	5,50
9,0	5,84	5,47
10,0	5,79	5,46
12,0	5,74	5,42
14,0	5,71	5,40
16,0	5,65	5,38
18,0	5,61	5,36
20,0	5,59	5,34
22,0	5,54	5,32
24,0	5,53	5,30
26,0	5,52	5,28
28,0	5,50	5,26
30,0	5,48	5,23
32,0	5,46	5,20
34,0	5,44	5,17
36,0	5,42	5,13
38,0	5,41	5,10
40,0	5,41	5,10
Pumpeydelse		
Før stop	53 m³/t	80,0 m³/t

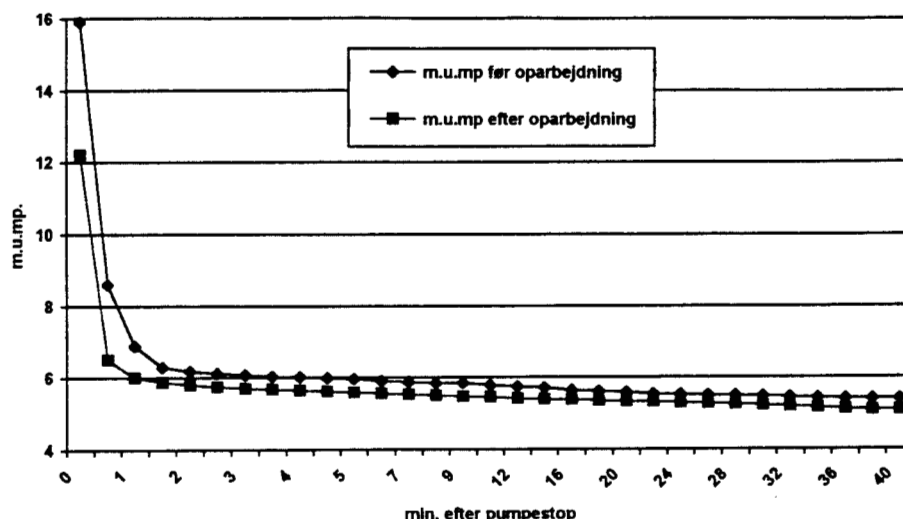
Figur 8

tilstrækkeligt med aflejringer, men kun havde rensset en del af filterstrækningen, og at der stadig resterede en del aflejringer i boringens filterkonstruktion, som den mekaniske oparbejdning ikke havde kunnet fjerne.

Det skal her bemærkes, at årsagen til, at man første gang valgte en ren mekanisk oparbejdning, var, at man havde mistanke om, at årsagen til boringens nedgang i ydelse muligvis kunne skyldes resterende boremudder i filter og formation fra boringens udførelse. Man forventede derfor ikke nogen særlig effekt af en kemisk oparbejdning.

Til vurdering af boringen blev der udført en kortidsprøvepumpning. Pejledata m.m. er vist på **Figur 8**, hvor pejlingerne fra en prøvepumpning, udført knap et halvt år efter boringen blev oparbejdet, også er anført. De anførte data er fra stigningsforsøgene udført efter stop af pumpe.

Figur 9
Plot af pejledata
fra Figur 8



Pumpeforsøget viste, at ud af en samlet sænkning på i alt 10,49 m inden for de 40 minutter, man pejlede boringen, kom de 9,72 m inden for de første 2 minutter. Det vil sige, at en meget stor del af afsænkningen sker inden for en meget kort periode og indenfor det tidsrum, som forventes at repræsentere de hydrauliske forhold tæt på boringen. Ved et sådant forløb skulle der være gode muligheder for at forbedre boringen. Resultatet af prøvepumpningen før oparbejdningen gav en specifik ydelse på $5,05 \text{ m}^3/\text{t} \times \text{mVS}$, hvor den ved renpumpningen af boringen efter oparbejdningen blev målt til $11,46 \text{ m}^3/\text{t} \times \text{mVS}$.

Kolonnen til højre i **Figur 8** viser en prøvepumpning af den samme boring udført 4 måneder efter oparbejdningen. Det ses her, at sænkingsbidraget nu er 6,4 m inden for de første 2 minutter, men ved en pumpeydelse der er 51% større end ved prøvepumpningen før renoveringen. Det skal bemærkes, at boringens specifikke ydelse er målt til $11,26 \text{ m}^3/\text{t} \times \text{mVS}$ – stadig er væsentlig bedre end før oparbejdningen. Læg mærke til at det også i praksis viser sig at være sænkningbidraget inden for de første minutter, der reduceres, mens de efterfølgende sænkninger ikke reduceres.

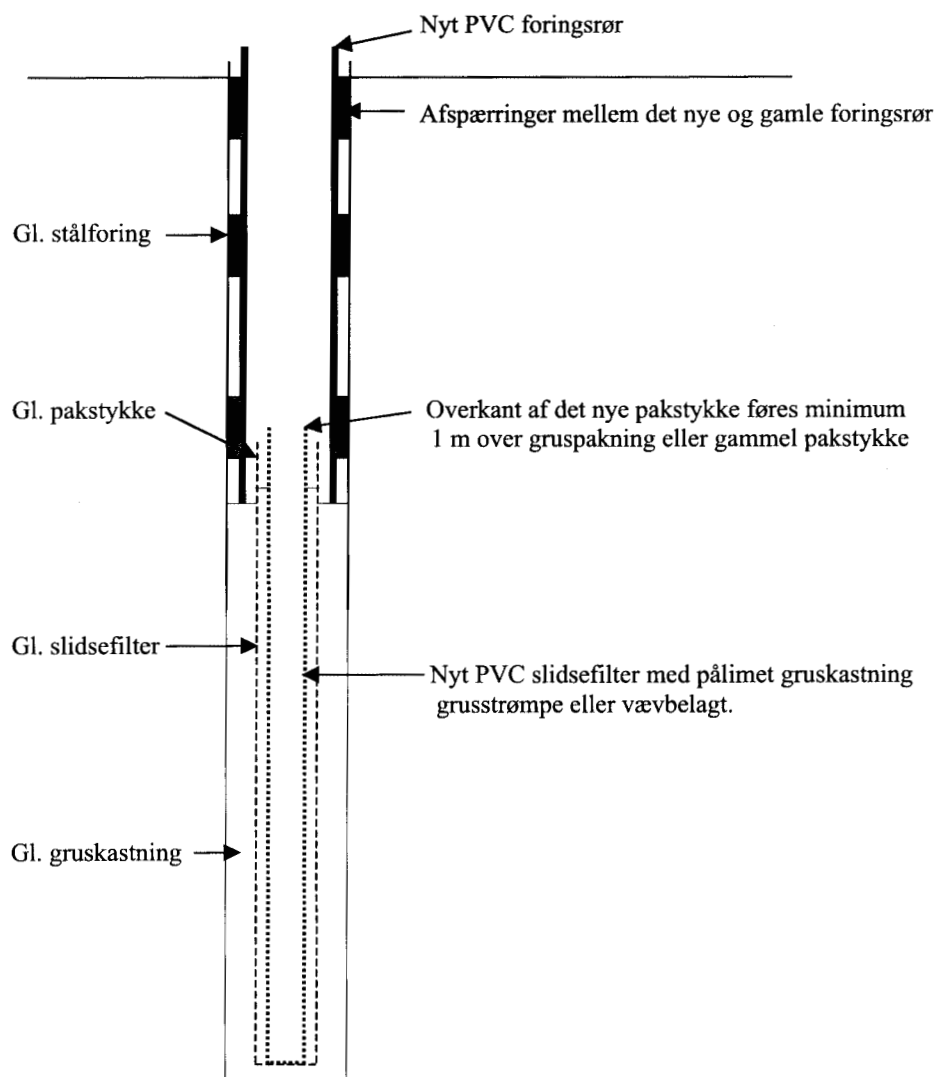
3.4 Reparation af boringer

Udføring af gamle
boringer

Som nævnt i indledningen kan der være forskellige årsager til, at en boring begynder at give sand. For ældre boringer er det typisk gennemtæring af boringens stålforingsrør eller filterrør, som kan være årsagen. Afhængigt af boringens udførelse, kan det være muligt at udbedre skaderne. Ofte er ældre boringer dog udført i så lille en dimension, at det er vanskeligt at foretage en ordentlig udførelse, men er boringen udført i en fornuftig dimension, vil man ofte kunne udbedre skaderne med installation af supplerende PVC foringsrør og/eller filterrør.

Som udgangspunkt kræves det, at man er i stand til at rense boringen op og kan konstatere, hvor skaden er sket. Det er således væsentlig at vide, om der er hul på boringens foringsrør eller filter.

Er der hul på boringens foringsrør, er det muligt at fore dette ud med et PVC rør i en mindre dimension. Det kræver, at man måler boringens dimensioner præcist op, således at man kender forerørets dimension, filterrørets dimension og pakstykkets placering. Normalt vil filteret være minimum 2" mindre end foringsrøret, hvilket giver mulighed for at afsætte et nyt foringsrør på pakstykket og ved hjælp af ekspanderende gummifugebånd, at tætte mellem pakstykket og det nye foringsrør.



Figur 10
Reparation af boringens
foringsrør og filter.

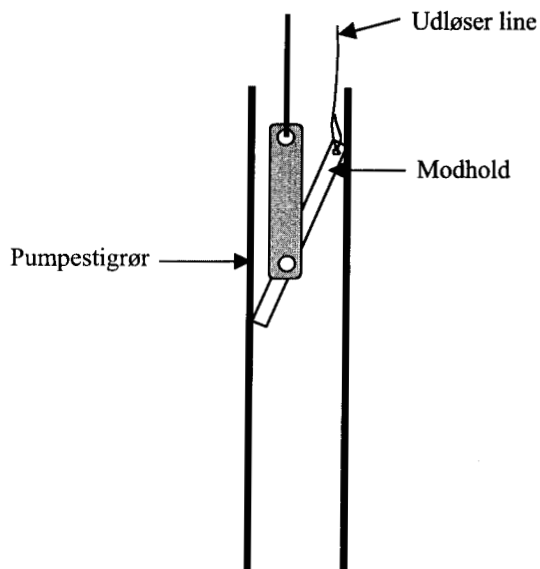
Gummifugebånd anvendes til at lukke af i de niveauer, hvor man ifølge borejournalen har gennemboret lerlag. Gummifugebåndene limes på foringsrøret og vikles om dette i passende intervaller, således at der skabes tætte afspærringer mellem de enkelte lag. Er udgangsdimensionen så stor, at det er muligt at kaste en langsomt ekspanderende bentonitgranulat, fyldes hulrummet op med dette, eller der kan injiceres med en cementstabiliseret bentonit.

Foringsrørene er som regel PVC gevindrør med trapezgevind i glat udførelse uden muffer, da de fylder mindst.

Nogle af de firmaer, som foretager No-Dig relining af forsyningsrør, eksperimenterer med udførelse af boringer efter samme princip, som anvendes ved renovering af kloakledninger. Der udføres med en PVC-strømpe, som afhærdnes ud mod det gamle stålforingsrør, hvorefter der skæres hul i bunden til boringens filter.

Til udførelsen kan anvendes tyndvæggede rustfri stålforingsrør. Disse har den fordel, at de fylder meget lidt, men til gengæld skal det bemærkes, at rustfrit stål ikke er et korrosionsfrit materiale. Sammensvejsningen af rørene foregår under vanskelige forhold. Kombinationen af de gamle stålforingsrør i tæt kontakt med rustfri stålør kan give korrosionsproblemer.

Figur 11
Fangstredskab (eksempel)



Figur 12
Konisk gevindnippel til
at fiske dykpumpe eller
stigrør/borestænger med.



Som filterrør kan anvendes PVC slidsefiltre med pålimet gruskastning eller strømpe med gruskastning eller vævbelagt slidsefilter.

Sidstnævnte har den fordel, at filteret ikke fylder ret meget og derfor ikke vil reducere filterets dimension, i samme udstrækning som en pålimet gruskastning. Desværre er væv, som består af fortinnet kobbervæv eller rustfristålvæv ikke korrosionsfrit. Så tillader boringens filterdimension, at der udføres med et PVC-filter med gruskastning, enten som en strømpe eller som pålimet gruskastning, er dette at foretrække. Det skal dog bemærkes, at der kan udføres med filtervæv af neoprem, og at dette materiale er korrosionsfrit.

Fangstgrej

Under reparation af borerer hører også opfiskning af tabt pumpegrej og lignende. Her er det dog vanskeligt at give nogle faste retningslinier: Det skal bemærkes, at en god portion tålmodighed som regel lønner sig i kombination med systematisk afklaring af de muligheder, som man har at anhugge i.

Er der således tale om en tabt dykpumpe, der står med en gevindmuffe opad, er der gode muligheder for at fange den med et stykke konisk gevindnippel, som cen-

treres og skrues i toppen af pumpen. Er der derimod tale om et flangestigrør eller et knækket pumpestigrør, kan det være vanskeligere at få fat i det. Muligvis kan man få lirket en sandspand ned over rørenden og bruge bundklappen som modhold. Alternativ kan man være nødt til at fremstille specielt udstyr til den pågældende 'fiskesituation'.

3.5 Sløjfning af boringer og brønde

Sløjfning af boringer og brønde er et af de få områder, indenfor brøndborevirksomhed, der i dag er lovgivet om. Sløjfning af boringer og brønde skal således udføres i henhold til Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 4 af 4. januar 1980 vedrørende "Bekendtgørelse om udførelse af boringer efter grundvand" kapitel 5, §15, som omhandler sløjfning af boringer og brønde.

I paragraffens stk. 1 står der: Sløjfning af boringer og brønde skal foretages således, at der ikke gennem anlægget kan ske forurening af grundvandet, og således at der ikke fra boringen eller brønden kan indvindes vand.

Sløjfning af boringer

For boringers vedkommende er der angivet, at boringen, indtil 3 m under terræn, skal opfyldes med materiale af sådan en beskaffenhed, at uønsket vandudveksling mellem forskellige reservoirer ikke kan finde sted. Det vil sige, at man skal indbygge lerspærre ud for gennemborede lerlag, og i det omfang, der ikke findes boreoplysninger på boringen, bør man opfylde boringen med bentonite ind til 3 m under terræn, hvorfra der fyldes op med beton ind til 1 m under terræn.

For brøndes vedkommende er det paragraffens stk. 3, der gælder. Den lyder således:

Sløjfning af brønde

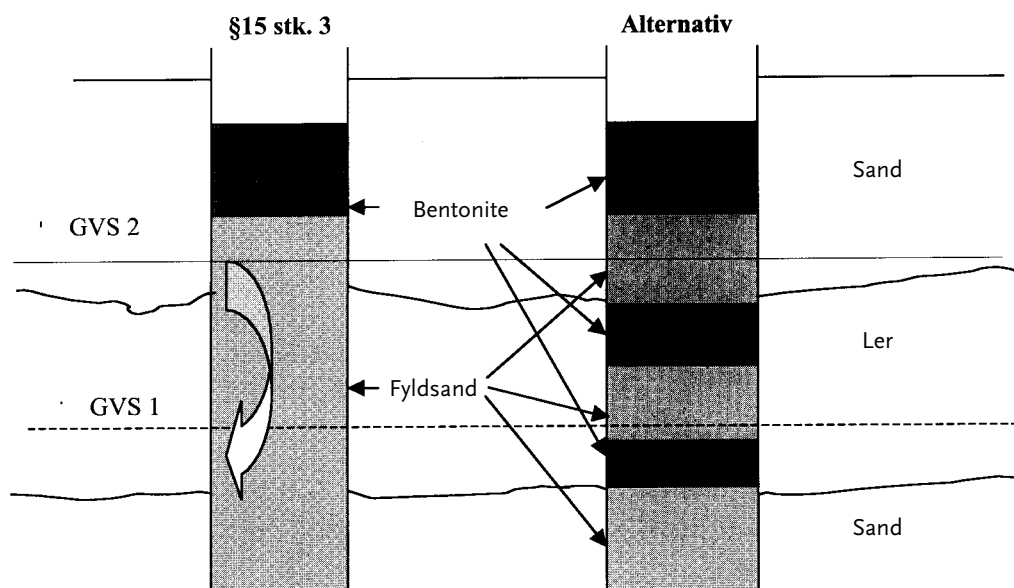
"Brønde skal fyldes op med rent, fint sand til 2 m under terræn, og der skal derefter forsegles med mindst 1 m tykt lag af beton eller ler, der udlægges i tynde lag, som stemples omhyggeligt. Brøndvæggen skal fjernes til en dybde af mindst 1 m under terræn".

Denne beskrivelse er således meget mere præcis, og her bør man være opmærksom på, at denne beskrivelse kun sikrer rimeligt ved meget korte brønde med højtstående grundvandsstand. Er der derimod tale om dybe brønde fx til det primære kalkmagasin, er den anviste sløjfningsmodel helt utilstrækkelig, idet man vil kunne risikere, at der er kortslutning mellem sekundære og primære grundvandsmagasiner. Hvor indvindingen fra brønden før var med til at begrænse en eventuel forureningsspredning, er der nu direkte lækage jævnfør **Figur 13**.

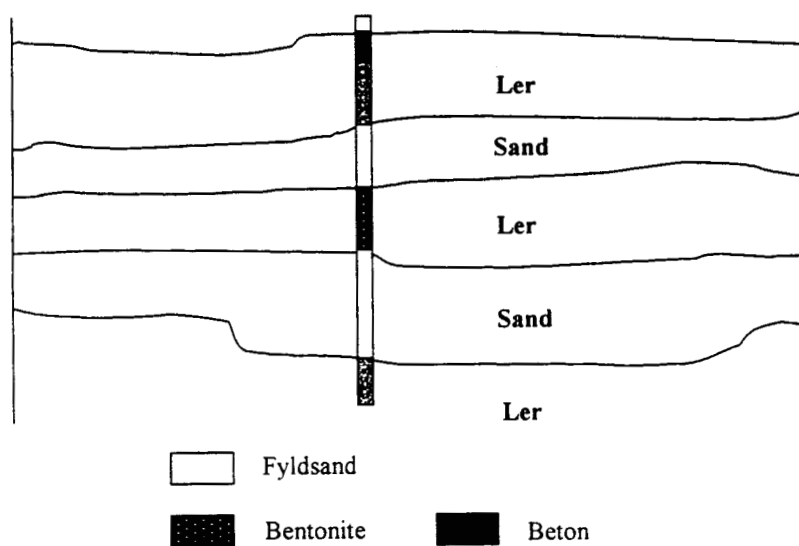
Det er således vigtigt, at man vurderer den enkelte brønd i forhold til de geologiske oplysninger, man har, samt kendskabet til grundvandsspejlets placering, og ud fra dette opbygger en lukning af brønden i overensstemmelse med intentionerne i §15 stk. 1.

For de fleste boringers vedkommende har man en borejournal og har således opskriften på, hvor de forskellige lerspærre skal indbygges. Det skal dog bemærkes, at det først igennem de sidste 10 år er blevet almindeligt at angive placeringen af lerspærre i borejournalen. Hvis boringen har gennemboret flere lerlag, kan det være vanskelig at gætte, hvor eventuelle lerspærre er indbygget. Disse kan som regel lokaliseres ved hjælp af en gammalog, men dette er bekosteligt, og ofte er det lige så sikkert at indbygge en bentonitespærre i hele det gennemborede lagseries tykkelse.

Figur 13
Sløjfning af brønde



Figur 14
Sløjfning af boring



3.6 Ordliste

Boringens specifik ydelse

- Er boringens ydelse i m^3 pr. meter afsænket vandspejl. $S_y/s_{60} = \text{m}^3/\text{mVS}$

Boringens forerør

- rørstykket fra overkanten af boringens filter til terræn.

Boringens virkningsgrad

- forholdet mellem den målte specifikke ydelse, samt en teoretiske beregnet specifik ydelse.

Boringens slamboks

- Blindrør under boringens filter, hvor eventuelt finkornet materiale og okkerslam kan bundfældes uden at stoppe dele af boringens filter.

Sandsuger

- er en let sandspand, som bruges til at rense boringen op med.

Boringens forerørsafslutning

- tæt forsegling af boringens top ved terræn.

Boringens pakstykke

- overgang mellem boringens filter og forerør i boringer som er udført med adskilt forerør og filter (typisk ældre boringer).

Boringens slidsefilter

- Er et stykke rør som er opslidset med et stort antal smalle korte slidser, således at boringen kan dræne grundvandsmagasinet

3.7 Litteratur

Henrik Brøker og Tage Sørensen, Kalkboringers kapacitet, Vandteknik nr. 3, 1977.

Henrik Brøker, Udsyring og renovering af boringer, Vandteknisk kursus 1987

Leo Glensvig, Driftskontrol og regenerering af boringer ved opskylning, udsyring mv., Vandteknik

Tage Selchau, Vedligeholdelse af boringer, Vandteknik nr. 5, 1983

Miljøministeriet, Bekendtgørelse nr. 4 af 4. januar 1980 Bekendtgørelse om udførelse af boringer efter grundvand.



Boringer

Denne bog er en håndbog og et undervisningsmateriale. Den er en håndbog for alle der udfører boringer på land: geologer, ingeniører, brøndborere m.fl. Bogen er også undervisningsmateriale til Brøndboreruddannelsen – en uddannelse for alle der foretager boringer på land.

I serien om udførelse af boringer på land findes i alt seks bøger. Denne bog er den anden i rækken og indeholder afsnit om boreteknik, boringens konstruktion, renovering og vedligeholdelse af boringen.

Serien om udførelse af boringer på land består af disse seks håndbøger:

Grundlæggende geologi og grundvand

Boringer

Kort, nivellering og arbejdsmiljø

Maskinteknik

Udvidet geologi og grundvand

Vandforsyningsteknik og regler

Udgivelsen er støttet af Vandfonden

ISBN 87-7944-821-6

Pris (inkl. moms): 185 kr.

Ved køb af alle 6 publikationer: 420 kr.

Kan købes i

Miljøbutikken

Læderstræde 1-3

1201 København K

Tlf.: 33 95 40 00

butik@mem.dk

www.mem.dk

Miljøstyrelsen
Miljøministeriet

Strandgade 29 . 1401 København K . Telefon 3266 0100 . www.mst.dk