



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Best practice- Forsegling af miljø- og geotekniske boringer samt sonderinger

Miljøprojekt nr. 2206

*Teknologiprogram for
jord- og grundvands-
forurening*

Juni 2022

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Christian Buck, COWI,

Maria Heisterberg, NIRAS

Mads Møller, WSP (nu Region Hovedstaden)

Jens Baumann, GEO,

ISBN: 978-87-7038-423-0

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse

Indhold

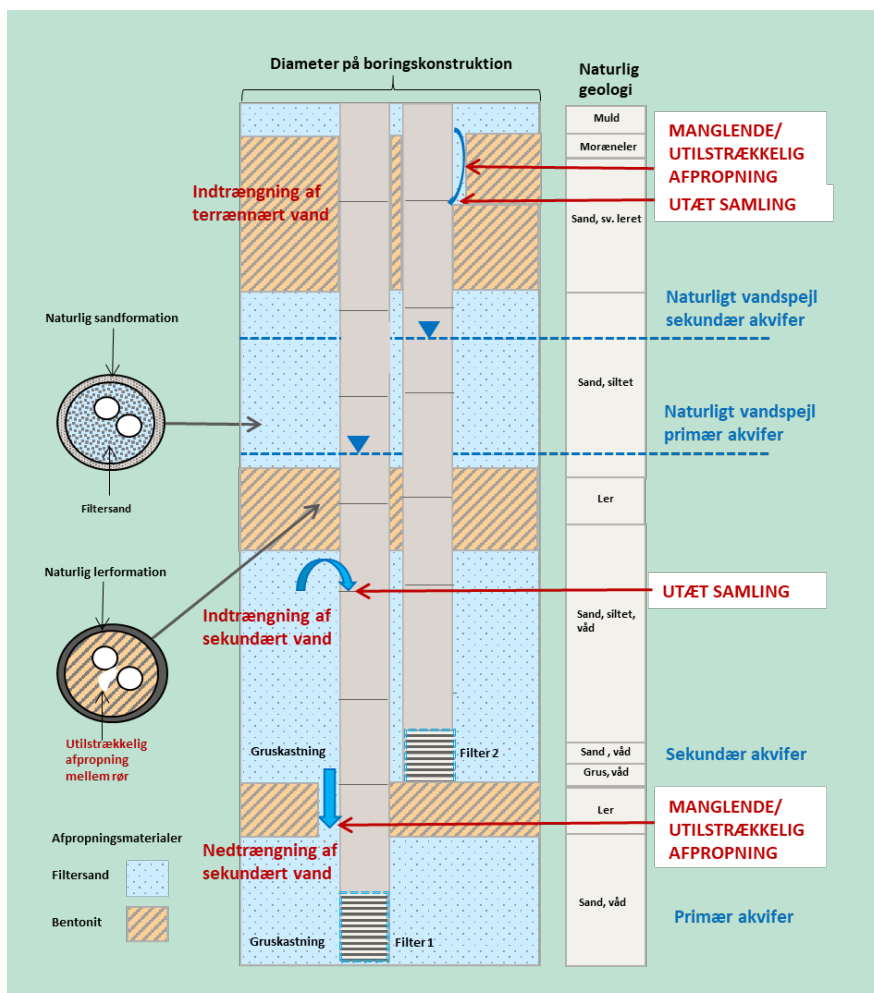
1.	Indledning og formål	5
1.1	Forudsætninger for godt borearbejde	6
1.2	Best Practice for miljø- og geotekniske boringer samt sonderinger	7
1.3	Projekt og finansiering	8
2.	Boringskonstruktion	9
2.1	Borings- og rørdimensioner, filtre og anvendelse af styr	9
2.1.1	Stabilisering af borehullet med borerør eller borevæske	9
2.1.2	Sikring af horisontal/vertikal forsegling fra forerør til borevæg	9
2.1.3	Anvendelse af udstyr ved etablering af forerør og filtre – fordele og ulemper	11
2.1.4	Filter- og forerørsmaterialer	12
2.1.5	Fordele og ulemper ved forskellige materialer til filter- og forerør	12
2.1.6	Fordele og ulemper ved multikanalfiltre	12
2.1.7	Påvirkning af forerørsmaterialer fra en omkringliggende forurening	13
2.1.8	Forerørssamlinger	14
2.1.9	Anvend så få samlinger som muligt	14
2.1.10	Anvend profiltætningsring ("O-ring") i gevindsamling	16
3.	Forseglingsmaterialer	17
4.	Forsegling med bentonitpellets	19
4.1	Forskellige typer bentonit	19
4.2	Anvendelse af bentonitpellets	19
4.3	Egenskaber af bentonitpellets	20
4.3.1	Hydraulisk ledningsevne og homogenitet af en pelletsforsegling	20
4.3.2	Procedure for anvendelse af pellets i forskellige aflejringer	20
4.3.3	Pelletsforsegling i forskellige vandtyper	21
5.	Forsegling med grout	22
5.1	Eksempler på forskellige typer af grout	22
5.2	Anvendelse af grout	22
5.3	Egenskaber af grout	24
5.3.1	Hydraulisk ledningsevne	24
5.3.2	Blanding og pumpning	24
5.3.3	Overgange mellem grout, pellets og filtersand	25
5.3.4	Spredning af grout til omkringliggende formation	25
5.3.5	Pejling af groutoverflade	25
5.3.6	Vedhæftning grout til PVC og PEH	26
5.3.7	Varmeudvikling i grout	26
6.	Valg af forseglingsmaterialer ift. Boringstyper og geologi	27
6.1	Skylleboringer	27
6.2	Tørboringer med borerør	27
6.3	Skitser med eksempler på forsegling i tørboringer	28
7.	Sløjfning af boringer og sonderinger	33

7.1	Sløjfning af filtersatte boringer	33
7.2	Sløjfning af ikke filtersatte boringer	34
7.3	Sløjfning af sonderinger	34
7.4	Overboring og udstøbning	35
8.	Tilsyn og dokumentation	36
8.1	Tilsyn	36
8.2	Borejournal	36
8.3	Filtersætningsjournal	36
8.4	Støbejournal	37
8.5	Sløjfningsjournal	37
9.	Referenceliste	38
10.	Ordliste	39
	Bilag 1. Eksempel på borejournal og støbejournal	41
	Bilag 2. Undersøgelser for utætheder	44
	Bilag 3. Best Practice - Feltmanual	47
	Bilag 4. Rapport fase 2 – Laboratorieforsøg	69

1. Indledning og formål

Der bliver i Danmark etableret et stort antal boringer og sonderinger i forbindelse med bl.a. forureningsundersøgelser, geotekniske undersøgelser og vandindvinding. Mange af boringerne udføres til stor dybde og særligt i sammenhæng med forureningsundersøgelser, bliver boringerne ofte etableret i eller tæt på områder med kraftig forurening. Det er derfor af stor betydning, at boringerne er tætte og ikke fører til en boringsbetinget forureningsspredning.

Ved en utæt boringskonstruktion som følge af f.eks. utilstrækkelig forsegling i kombination med utætte samlinger på forerør, kan det risikeres, at boringer står som åbne vertikale transportveje, som giver mulighed for, at en forurening i et øvre jordlag let og hurtigt transporteres mange meter ned igennem forskellige jordlag til dybereliggende grundvandsmagasiner. På denne måde kan der foregå en boringsbetinget transport af forurening direkte gennem naturligt forekomne dæklag af ler, som ellers ville have forhindret spredningen af forureningen. I figur 1 er vist eksempler på, hvor der typisk kan være utætheder i en boring.



FIGUR 1. Konceptuel figur af boringsbetinget forureningsspredning, som kan forårsages af utætte samlinger og/eller manglende/utilstrækkelig forseglingsmateriale (dårlig hæftning til forerør eller sprækker forårsaget af utilstrækkelig opkvældning af forseglingsmateriale). Boringen er ikke etableret optimalt i forhold til bl.a. for stort antal af samlinger og manglende omfang af forsegling.

Der er i de seneste år konstateret utætheder i en del eksisterende filtersatte borer, hvorfor det vurderes, at der er et behov for, at der kommer et større fokus på, hvordan der fremadrettet kan etableres tætte boringskonstruktioner.

Formålet med nærværende Best Practice vejledning er at give konkrete anvisninger til, hvorledes der fremadrettet bedst muligt kan sikres mod boringsbetinget transport af vand og forurening mellem forskellige geologiske lag og grundvandsmagasiner ved etablering og sløjfning af borer og sonderinger.

I vejledningen er der givet konkrete anbefalinger til forseglingsprocedurer og materialevalg under forskellige forhold vist med illustrative figurer samt kortfattede beskrivelser. Vejledningen er udført med baggrund i et forudgående litteraturstudie /4/, en erfaringsopsamling med bidrag fra forskellige aktører /5/ samt et omfattende forsøgsprogram bestående af laboratorie- og feltundersøgelser med test af forskellige borings- og forseglingsmaterialer /6/.

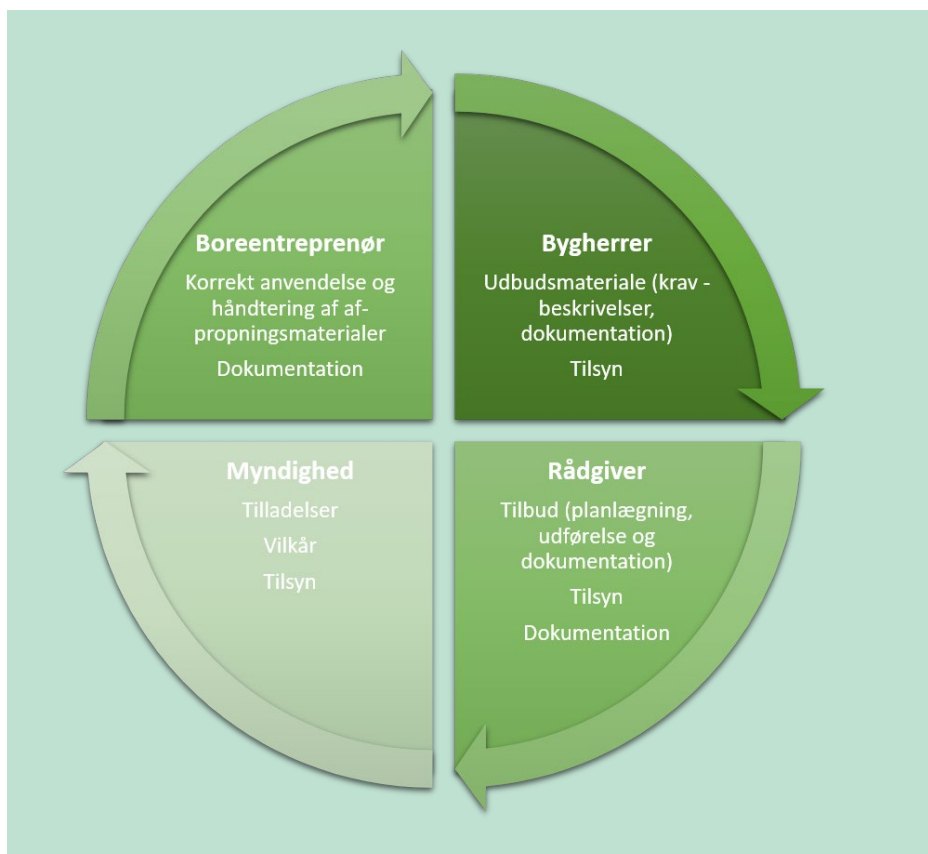
Projektet er udarbejdet i et samarbejde mellem Geo, Cowi, NIRAS og WSP og er finansieret af Miljøstyrelsen, de 5 regioner, Forsvaret, Videncenter for Miljø og Ressourcer, ATV Jord og Grundvand, Via Horsens, Dantonit, Rotek og følgende kommuner Gladsaxe, Frederiksberg, Glostrup, København, Helsingør, Rudersdal, Brøndby, Hvidovre, Stevns, Lyngby-Taarbæk, Slagelse, Roskilde, Herlev, Egedal, Ballerup, Ishøj og Bornholms Regionskommune.

1.1 Forudsætninger for godt borearbejde

Borearbejde skal altid udføres efter gældende dansk lovgivning:

- Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 1260 af 28/10/2013. Bekendtgørelse om udførelse og sløjfning af borer og brønde på land - Miljø- og Fødevareministeriet (Boringsbekendtgørelsen) /1/.
- Miljøministeriets Bekendtgørelse nr. 915 af 27/06/2016 om uddannelse af personer, der udfører borer og brønde på land /2/. Borearbejdet skal udføres af uddannede borefolk (B-certifikat).

Godt borearbejde er et fælles ansvar, hvor alle parter i borearbejdet kan bidrage på forskellig vis som vist i figur 2, hvor der er angivet mulige virkemidler for hhv. myndigheder, rådgivere og boreentreprenører.



FIGUR 2. Forskellige aktørers virkemidler og muligheder

Et godt borearbejde kan sikres ved, at der i forbindelse med udbud og tilbud stilles krav til kvaliteten af borearbejdet. Borearbejdet skal planlægges og den ønskede kvalitet af borearbejdet skal beskrives entydigt, så borearbejdet kan udføres, så det lever op til den ønskede kvalitet. For at opnå den bedste kvalitet i borearbejdet kan det ofte være en god ide at have en dialog med borefolk og evt. producent af materialer allerede i planlægningsfasen, så deres viden og erfaringer trækkes ind i så tidligt som muligt i processen. Som en del af borearbejdet skal der udføres en dokumentation af det udførte arbejde, hvor det tydeligt fremgår hvorledes boringen er etableret eller sløjfet, idet valg og anvendelse af rørmaterialer og forseglingsmaterialer beskrives.

1.2 Best Practice for miljø- og geotekniske boringer samt sonderinger

Best Practice vejledningen er primært tænkt anvendt i forbindelse med etablering af geotekniske og miljøtekniske boringer til en typisk maksimal dybde på 40 – 50 m. Disse boringer udføres normalt som tørrotationsboringer med anvendelse af midlertidige borerør. Der kan derfor være tilfælde, med særlige typer af boringer eller sonderinger, hvor denne vejledning ikke er fuldt dækkende. Dette gælder bl.a. for etablering af varmeindvindingsboringer, understyrede boringer, boringer med specifikke krav til opbygning grundet ønske om specifikke egenskaber samt til en vis grad vandforsyningsboringer, som kan have særlige krav og lovgivning, der skal efterkommes. Vejledningen er således primært rettet mod borearbejde, som udføres i forbindelse med etablering af miljøtekniske boringer, geotekniske boringer samt sonderinger.

Nærværende dokument er ikke en facitliste, men er en Best Practice, der kan anvendes som guideline i forbindelse med planlægning og udførelse af et borearbejde med fokus på at etablere tætte filtersatte boringer eller tætte sløjfninger af boringer eller sonderinger. I vejledningen er der primært fokus på optimal anvendelse af forseglingsmaterialer samt forerør- og filtermaterialer. Ønskes information om bl.a. valg af boremetoder, etablering af boringsafslutninger

mv. så kan der findes god hjælp i "Vejledning om boringer på land", Vejledning 2013, udarbejdet for Miljøministeriet, Naturstyrelsen. Denne vejledning er således et godt supplement til nærværende Best Practice.

Udover nærværende Best Practice er der udarbejdet en mindre omfattende version, som kan anvendes i felten – "Best Practice Feltmanual".

1.3 Projekt og finansiering

Arbejdet med udformning af denne Best Practice er gennemført af en projektgruppe fra COWI, NIRAS, WSP og GEO bestående af:

- Christian Buck, COWI
- Maria Heisterberg, NIRAS
- Mads Møller, WSP (nu Region Hovedstaden)
- Jens Baumann, GEO

Forsøgene med pellets og grout som ligger til grund for Best Practice er udført hos GEO, mens forsøgene med samlinger af forerør og test af tætningsringe er udført hos NIRAS.

Denne del af det samlede projekt er blevet finansieret af:

- Miljøstyrelsen
- Region Hovedstaden
- Region Sjælland
- Region Midtjylland
- Region Syddanmark
- Region Nordjylland
- Dantonit
- Rotek
- Geo
- NIRAS
- Cowi
- WSP
- Gladsaxe Kommune
- Frederiksberg Kommune
- Glostrup Kommune
- Københavns Kommune
- Helsingør Kommune
- Rudersdal Kommune
- Brøndby Kommune
- Hvidovre Kommune
- Stevns Kommune
- Lyngby-Taarbæk Kommune
- Slagelse Kommune
- Roskilde Kommune
- Herlev Kommune
- Egedal Kommune
- Ballerup Kommune
- Ishøj Kommune
- Bornholms Regionskommune

Herudover har Rotek og Dantonit venligst stillet materialer til rådighed

Blandt bidragyderne til projektets fase 1 var desuden:

- Videncenter for miljø og ressourcer
- Forsvaret Bygningstjeneste
- ATV Jord og Grundvand
- VIA, Horsens

2. Boringskonstruktion

I forbindelse med forsegling af boringer er det nødvendigt at skelne mellem hvilken boremetode der benyttes. Skylleboringer, hvor der oftest anvendes boremudder til stabilisering af boringen og som typisk anvendes ved vandindvindingsboringer er langt simplere at forsegle end tørboringer, se afsnit 3.2.

Ved geotekniske boringer og miljøboringer, hvor der typisk anvendes tørboringsteknik med borerør er forseglingsprocessen meget mere kompliceret, primært på grund af risiko for at forseglingsmateriale lejres i borerørene med risiko for utætte forseglinger til følge, se afsnit 4.3.

2.1 Borings- og rørdimensioner, filtre og anvendelse af styr

I forbindelse med etablering af boringer skal man ved valg og anvendelse af forskellige boringsdimensioner, rørdimensioner samt anvendelse af styr være særligt opmærksom på følgende:

- Stabilisering af borehullet med borerør eller borevæske
- Sikring af en god horisontal/vertikal forsegling fra forerør til borevæg
- Anvendelse af styr ved etablering af forerør og filtre – fordele og ulemper

2.1.1 Stabilisering af borehullet med borerør eller borevæske

For at kunne etablere en kontrolleret filtersætning med en god tæt forsegling anbefales der altid foretaget en stabilisering af borehullet ved anvendelse af borerør eller boremudder under etableringen af filtersatte boringer. Boringer i en usprækket eller lettere opsprækket bjergart kræver dog ikke stabilisering med borerør.

Ved anvendelse af borerør skal det sikres, at borerørene bringes ned efterhånden i boreprocessen, så der ikke skabes for stor afstand mellem boreredskab og borerør. Sker det, vil der være risiko for, at der kan dannes kaviteter (hulrum) på ydersiden af boringen, og der vil være forøget risiko for kortslutning af flere magasiner og krydskontaminering ved nedfald af blandede lag.

Tilsættes der vand for at stabilisere borehullets bund, skal det sikres, at der altid anvendes rent vand, som tilføres boringen, således at vandspejlet i boringen står højere end vandspejlet i formationen. I stedet for borerør kan der anvendes boremudder til at stabiliserer borehullet. Boremudder er vand tilsat et eller flere stoffer (bentonit og/eller polymer), som øger væskens densitet og viskositet, samt muliggør, at der etableres en filterkage, der skal hindre sammenstyrtning af borehullets væg. Når der benyttes boremudder, skal det sikres, at der altid er overtryk i boringen i forhold til omgivelserne. Det vil sige, at der til enhver tid skal være et væske-tryk i boringen, som er større end vandtrykket fra eventuelle vandførende lag. Hvis der anvendes kemikalier ved borearbejdet, er det vigtigt, at de anvendte stoffer ikke kan udgøre en miljø- eller sundhedsmæssig risiko for anvendelsen af boringen, hvis boringen for eksempel skal anvendes til drikkevandsforsyning.

2.1.2 Sikring af horisontal/vertikal forsegling fra forerør til borevæg

For at sikre en god horisontal/vertikal forsegling i mellemrummet fra forerør til borevæg anbefales følgende:

Sikring af en god horisontal/vertikal forsegling

- **Etabler kun ét filter/forerør i en boring**
 - **Anvend så tætte forseglingsmaterialer som muligt**
-

-
- **Foretag altid en forsegling i hele forerørsstrækningen (både i ler- og sandlag)**
 - **Anvend så lange forerør (få rørsamlinger) som muligt**
 - **Anvend så tætte samlinger som muligt (helst RSC samlinger).**
 - **Placer om muligt rørsamlinger i lerlag og ikke i sandlag, da det optimerer forholdene for at etablere en tæt forsegling ved rørsamlinger, så der ikke siver vand ind i forerøret ved utætte samlinger**
 - **Anvend en tæt prop i forerøret – eksempelvis en ekspanderende prop (kaffeprop)**
 - **Annulus (hulrum mellem borerør og forerør) anbefales som minimum at være 35 mm**
-

Hvis der er behov for flere filtre i et dybt magasin eller filtre i flere magasiner, så anvend kun ét filter i hver boring, og placer de øvrige i separate boringer. Etabler kun ét filter/forerør i en boring. Det grundlæggende princip ved tætning af boringer er, at tætningen langs forerøret skal være mere tæt end de jordlag, som findes uden for denne. Men samtidig skal forseglingen være så tæt, at den hindrer indtrængen af vand gennem eventuelt utætte samlinger. Herved sikres det, at boringen ikke kommer til at fungere som vertikal transportvej for en eventuel forurening. Tætningsmateriale og længde af tætning er afgørende for om dette opfyldes. Dette princip er dog ikke altid tilstrækkeligt, da der kan være risiko for, at der sker en indtrængning af vand ind gennem forseglingsmaterialet fra borevæg til forerør og her videre ned gennem boringen gennem en eventuel utæt samling, hvorved der er risiko for udveksling af vand mellem forskellige grundvandsmagasiner. Med baggrund heri anbefales der som udgangspunkt altid at anvende et forseglingsmateriale, der har en så god tætningssevne som muligt. Det anbefales, at der foretages en forsegling i hele forerørsstrækningen (både i ler- og sandlag) på nær 0,2-1,5 m over filteret (afhængig af dybde og formål med boring) samt den øverste meter (fra terræn til 1 m u.t.). For at sikre mod dannelse af propper af forseglingsmateriale imellem forerør og borerøret kan der udelukkende anvendes grout i mættede sandlag. Hvis der anvendes pellets, og der – ved et uheld – er dannet en prop af forseglingsmateriale imellem forerør og borerør, skal der spules et hul i proppen, hvorefter der skal anvendes grout til den følgende afpropning. Er det ikke muligt at spule proppen ud, kan det være nødvendigt at overbore boringen, og etablere en ny boring.

Der findes erfaringer for hvor store dimensioner af filter-/forerør og boringsdiameter (borerør), der passer sammen for at sikre en optimal filtersætning og forerørstætning. Lufthæve-/skylleboringer anbefales boret minimum 150 – 200 mm større end det blivende forerør for at undgå propper med forseglingsmateriale under tilbagefyldning med bentonitpellets. Annulus (hulrum mellem borerør og forerør) anbefales som minimum at være 35 mm i alle boringer for at sikre plads til forseglingsmaterialerne. I tabel 2.1 er vist en oversigt med de mest anvendte boredimensioner, og hvilken filterdimension, der maksimalt anbefales anvendt ved etablering af et filter i boringen med anvendelse af forskellige samlinger i form af glatskuet gevind- og muffesamlinger. Eftersom der kan være forskel på både udvendig og indre diameter i de forskellige tommer borerør, skal mulig filtersætning vurderes i forhold til den aktuelle diameter på de anvendte borerør.

TABEL 1. Eksempler på anbefalede maximale filterdimensioner, hvis det skal sikres, at der er rigeligt plads til forseglingsmaterialer. Den aktuelle dimension af borerør kan variere og filter-sætningen skal derfor altid vurderes i forhold til den aktuelle diameter på de anvendte borerør, således af annulus bliver mindst 35 mm.

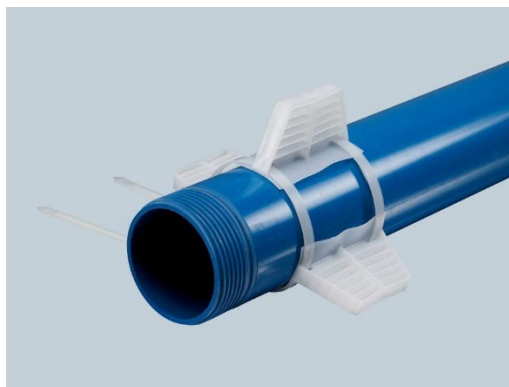
Borerør		Filterdimensioner	
Tommer	mm	mm	mm
4	97	27	-
6	148	75	63
8	200	125	113
10	248	165	165
12	299	225	195

Ved dybe borer og særligt ved lange filterstækninger skal man være opmærksom på at gruskastningen kan sætte sig (erfaringsmæssigt op til 10 %). Der kan eventuelt foretages pumping i filteret under gruskastningen for at give filtergruset en tættere lejring, og dermed mindske risikoen for sætninger.

2.1.3 Anvendelse af udstyr ved etablering af forerør og filtre – fordele og ulemper

Anvendelse af centreringsstyr på forerør kan ofte være en fordel, men kan også være en u hensigtsmæssig foranstaltning. Hvis forseglingen udføres med bentonitpellets er der en risiko for, at disse hænger fast i styrene og danner en prop et andet sted, end det var hensigten. Herved risikeres det, at forseglingen af forerøret bliver ufuldstændig, og der således skabes huller i forseglingen, med risiko for indtrængning af vand langs forerøret samt udveksling af vand mellem forskellige magasiner. Denne risiko kan mindskes ved, at der anvendes en forsegling af grout.

Det anbefales at anvende styr, når der skal etableres borer med en dybde på over 5-10 m afhængigt af dimension og stivhed af rør. Filterrør og forerør centrerer i borehullet ved at anvende styr med en maksimal afstand på 5 meter mellem styrene. Styrene skal sikre, at der er den ønskede afstand mellem forerør og borevæg.



Eksempler på filterstyr
Foto: Rotek

Opsummeret så anbefales følgende mht. anvendelse af styr i boringer:

Anbefaling

- **Anvend styr, når der skal etableres boringer med en dybde på over 5–10 m u.t**
 - **Placer styr for hver 5 – 6 m filter og forerør**
-

2.1.4 Filter- og forerørsmaterialer

Til filterrør anvendes normalt PVC- eller PEH-rør. Der anbefales anvendt forerør i minimum trykklasse PN8 i boringer med en dybde på max 40 meter. PN er udtryk for rørets tilladelige driftstryk ved 20 grader celsius for en minimumslevetid på 50 år. Tallet angiver driftstryk i bar). For dybere foringer anbefales der anvendt forerør i minimum trykklasse PN10 eller derover. Materialer der er i kontakt med vandet, skal være produceret til dette formål, og må ikke medføre en forringelse af vandkvaliteten. Der må udelukkende anvendt nye, ubeskadigede materialer ved etablering af filtersatte boringer. Ved vandforsyning kan der være yderligere krav, der skal opfyldes jf. specifikke krav fra den pågældende forsyning.

I forbindelse med valg og anvendelse af filter- og forerørsmaterialer skal der være særligt opmærksom på følgende, som er beskrevet mere uddybende i de følgende afsnit:

- Fordele og ulemper ved forskellige materialer til filter- og forerør
- Fordele og ulemper ved CMT filtre
- Påvirkning af forerørsmaterialer fra en omkringliggende forurening

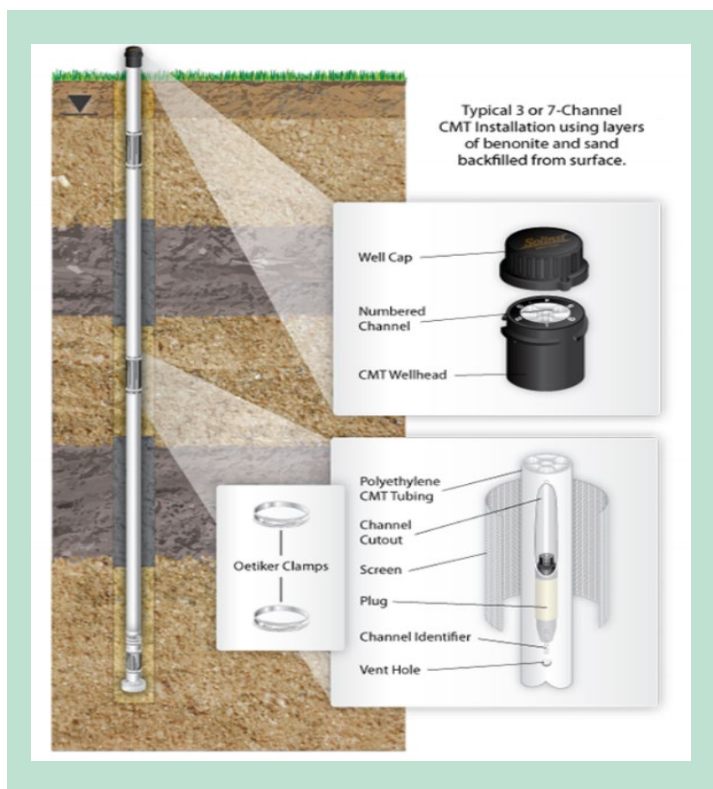
2.1.5 Fordele og ulemper ved forskellige materialer til filter- og forerør

Til filterrør anvendes normalt PVC- eller PEH-rør. Kvaliteten og sammensætningen af de anvendte materialer skal kunne dokumenteres. Ved introduktion af nye materialer skal de miljømæssige aspekter altid vurderes.

Filterrør i form af slidsede rør med pålimet grus kan være et alternativ til gruskastede filterrør, men bør kun anvendes, hvor det kan dokumenteres at limens indhold af miljøfremmede stoffer kan accepteres. Det er vigtigt at være opmærksom på, at limede filtre normalt afgiver opløsningsmidler, f.eks. toluen, og derfor ikke bør anvendes, hvor der er krav til vandkvaliteten, og hvor vandkvaliteten skal undersøges, for eksempel ved forureningsundersøgelser.

2.1.6 Fordele og ulemper ved multikanalfiltre

Ved ønske om etablering af flere filtre i samme boring kan der anvendes multikanalfiltre (f.eks. CMT filtre), da disse filtre kan etableres uden samlinger. De enkelte filtre er fremført i selvstændige kamre i et samlet rør, således at der ikke skal etableres flere forerør i samme boring. I forhold til at kunne fortage en god forsegling er valget af disse filtre således god. I forbindelse med prøvetagning og vandspejlspejling samt specielt ved sløjfning kan der dog være udfordringer ved anvendelse af disse filtre, da de har en meget lille dimension. Disse forhold kan dog evt. løses, såfremt der udvikles en ny type filtre i større rør og med færre kamre, således at dimensionen på de enkelte kamre øges i forhold til de nuværende typer på markedet. Alternativt skal multikanalfiltre sløjfes ved overboring. Multikanalfiltre anbefales altid etableret med styr, så det sikres af røret centreret i borehullet, hvilket ellers kan være en udfordring, eftersom rørene naturligt krummer, grundet at de har været rullet op på ruller før de installeres.



FIGUR 3. Princip for etablering af multikanalfiltre

2.1.7 Påvirkning af forerørsmaterialer fra en omkringliggende forurening

Der er flere eksempler på, at der kan forekomme en interaktion mellem filter- og forerørsmaterialer og det omkringliggende grundvand samt den forurening, som rørene installeres i. Interaktionen består dels i at forureningskomponenterne i grundvandet kan ændre strukturen af eller helt ødelægge de materialer, som anvendes som filter- og forerør med deraf følgende risiko for lækage og krydskontaminering. Interaktionen kan også bestå i, at der sker en desorption eller sorption imellem forureningskomponenterne og de materialer, der anvendes som filter- og forerør.

Plastikmaterialer, som anvendes i borkonstruktioner kan nedbrydes oxidativt, mekanisk, mikrobielt og kemisk, mens metalmaterialer kan påvirkes ved korrosion eller ætsning.

Organiske syrer, svovlsyre og svovlholdige væsker kan føre til korrosion af stålinstallationer i borker.

Forekomsten af fri fase opløsningsmidler samt koncentrationer af opløsningsmidler, som nærmer sig fri fase kan medføre opløsning af filter- og forerør lavet af PVC og PEH.

Kraftig benzinforurening og rent produkt benzen, toluen og xylen kan få PVC materialer til at svulme og kan helt nedbryde PVC. Metylenchlorid (diklormetan) kan blødgøre PVC. Hvis flere forskellige organiske stoffer er tilstede, kan blandingen have en kumulativ virkning. Opsvulmning kan eksempelvis medføre mere eller mindre lukkede slidser i filterrør, med deraf følgende reduceret specifik ydelse (m^3/t per meter sænkning).

PEH materialer som typisk anvendes som filter- og forerørsmaterialer i danske miljøtekniske borker er ikke diffusionstætte i forhold til høje koncentrationer af chlorerede opløsningsmidler og høje koncentrationer af flygtige oliekomponenter. Dette gælder både i mættet og umættet zone.

Der findes i undervisningsmaterialet fra boreuddannelsen "Boringer 2" tabeller med angivelse af kemisk bestandighed for forskellige plastmaterialer /3/. Som beskrevet tidligere så kan cement og cement-blandinger også påvirke filter- og forerørsmaterialer. Cement og cementblandinger medfører en varmeudvikling under hærdningsprocessen, og denne varmeudvikling kan svække rørene. Maksimalte temperaturer måles normalt 8-10 timer efter, at vandet tilføres til cementen. Temperaturen stiger jo større volumen-af cement, som anvendes – større annulus (f.eks. ved kaviteter i jordlagene omkring forerøret).

Forerør- og filtermaterialer skal altid vælges, så materialerne påvirkes mindst muligt i forhold til en eventuel omkringliggende forurening, eller så de ikke påvirkes af en eventuel varmeudvikling under filtersætningen.

2.1.8 Forerørssamlinger

Forerør er normalt udført i PVC (typisk drikkevandsboringer) eller PEH (typisk miljøboringer) og fås normalt i længder på maksimalt 6 m. Samlingerne kan udføres med limmuffer eller gevindmuffer. PVC rør har normalt udvidede muffer, hvor gevindet er skåret i. Der er i Danmark udviklet en speciel RSC forerørssamling som også beskrives i det følgende.

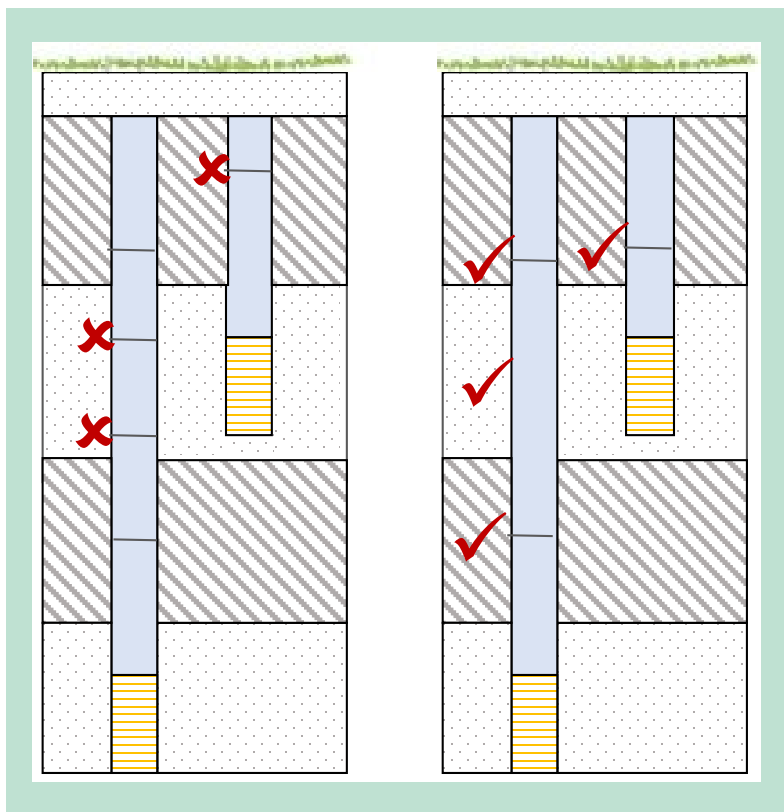
Ved valg og anvendelse af forerørssamlinger skal der være særlig opmærksomhed på følgende:

Vær opmærksom på

- **Anvend så få samlinger som muligt (Anvend så lange forerør som muligt)**
 - **Det anbefales at anvende RSC samlinger i stedet for traditionelle gevind- eller muffesamlinger**
 - **Anvend profiltætningsring ("O-ring") i gevindsamlinger**
 - **Anvend ikke skruer i samlinger**
 - **Anvend ikke lim i samlinger i miljøboringer**
 - **Anvend en tæt prop i forerøret – eksempelvis en ekspanderende prop "kafeprop"**
-

2.1.9 Anvend så få samlinger som muligt

Som udgangspunkt anbefales der anvendt så få forerørssamlinger som muligt i en boring, da samlingerne udgør en risiko i forhold til potentielle utætheder. Gennem samlingerne kan der ske en indtrængning af vand til forerøret, hvor det let kan spredes i vertikal retning inde i forerøret. Det anbefales således, at der altid anvendes så lange forerør som muligt. Ved korte boringer under 5-6 meter kan der helt undgås samlinger, da den første samling vil være ved overgangen til filteret. Ved boringer med 10-12 meter forerør kan der nøjes med en samling før filteret og så fremdeles. På filterstrækningen er der ikke nogen krav til samlinger, andet end at de skal have styrke nok til at filtersætningen ikke falder sammen.

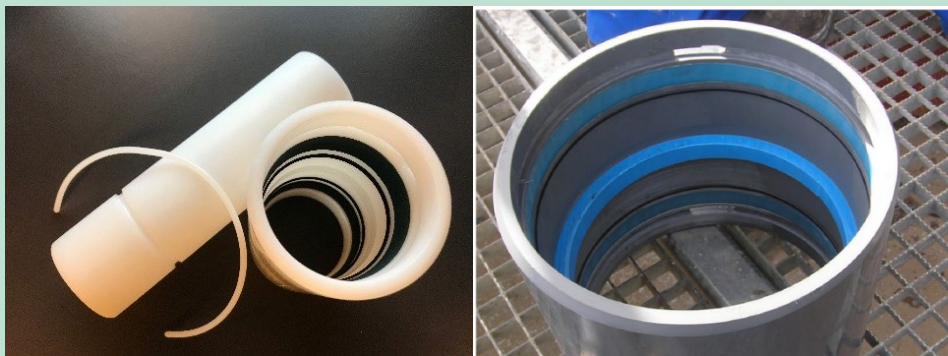


FIGUR 4. Eksempel på optimal placering af samlinger i forhold til geologi – til højre optimal løsning. Figureerne illustrerer ét filter i én boring

Er det muligt anbefales samlinger i vekslede geologi placeret midt i lerlag, da der i lerlagene kan foretages en bedre tætning end i sandlag. Det skyldes, at vandtransporten er langsommere i lerlagene og at risikoen for horisontal indtrængning af vand og evt. forurening er lavere i lerformationerne. Ved at placere samlinger i lerlagene reduceres risikoen dermed for indtrængning af vand og forurening i forerørsstrækningen. Det skal tilstræbes at der ikke etableres samlinger i den øverste 1,5 meter, da der her er større risiko for indtrængning af overfladevand, og da den terrænnære forsegling er mindre omfattende eller helt mangler grundet etablering af boringsafslutningen.

RSC-samlingen er udført med centerstop, limflade, udfræsning med O-ring, kvældende tætningsbånd og låsering. Samlingen har således tre tætningselementer indbygget (profilring, limflade og et hydrotite bånd, sidstnævnte kvælder op ved vandmætning). Denne samlingstype anvendes i dag til samling af PVC-rør i hovedparten af nye vandforsyningsboringer i Danmark. Disse samlinger er VA-godkendte hos Teknologisk Institut. Samlingerne fås pt. som VA-godkendte i rørdimensionerne fra 90 til 280 mm. RSC samlinger til øvrige dimensioner fås på bestilling.

Producenten af RSC samlinger har også udviklet en prototype af RSC samlingen i Ø63 mm, som kan anvendes til PEH rør. Denne samling er dog ikke sat i kommerciel produktion på nuværende tidspunkt, da der ikke har været nogen efterspørgsel, men generelt anbefales RSC samlinger anvendt i alle boringer.



FIGUR 5. Eksempler på RSC samlinger

2.1.10 Anvend profiltætningsring ("O-ring") i gevindsamling

PEH rør har typisk glatskruet trapezgevind, som altid anbefales samlet ved anvendelse af en profiltætnings-ring (O-ring), for at opnå en så tæt samling som muligt.



FIGUR 6. Eksempel på gevingsamling med o-ring

Det kan være et problem, at nogle forerør ikke har et "spor" til profiltætningsringen, hvilket kan give udfordringer i forhold til at få denne til at sidde korrekt. Det anbefales derfor, at der anvendes forerør med spor til O-ringen i slutningen af han-gevindet, og en konisk skrå anlægsflade i starten af hun-gevindet, således at kontakten er optimal, når gevindet er korrekt og helt sammenskruet.

Den typiske O-ring er udført i sort NBR-gummi (nitril), og forsøg med ringenes kemikalieresistens i forhold til trichlorethylen (TCE) pågår på tidspunktet for udarbejdelsen af foreliggende Best Practice. Der udføres laboratorieforsøg med både direkte forureningseksposering af O-ringene, og med O-ringe placeret i rørsamlinger. Ud over O-ringe af NBR-gummi, testes også materialet Viton, en fluorelastomer som bør være mere kemikalieresistent end nitrilgummi. Foreløbig tyder forsøgene på, at begge type O-ring ved kontakt med fri fase TCE og høje koncentrationer af TCE påvirkes på dimension og elasticitet. Det er ikke undersøgt om forandringerne af O-ringene har en effekt i forhold til rørsamlingers tæthed.

3. Forseglingsmaterialer

Afpropning eller forsegling af en boring udføres for at hindre eller reducere en lodret strømning af vand ind til forerøret eller langs en borings forerør; enten fra overfladen ved boringsafslutningen eller mellem for-skellige grundvandsmagasiner. Forseglingen udføres ved at opfylde og dermed forsegle hulrummet (annulus) mellem forerør og boringsvæg med et lavpermeabelt materiale.

Der er basalt beskrevet 2 hovedtyper af forseglingsmaterialer

- bentonit- (ler-) baserede
- cementbaserede

De bentonit-baserede materialer findes i mange udformninger som pellets, granulat, grout, stænger og andre udformninger af formpresset ler, der kan opfylde og dermed forsegle hulrummet mellem forerør og boringsvæg. Bentonit er en plastisk ler, der er fremkommet ved om-dannelse og forvitring af vulkanaske og bentonit har et højt indhold af lerminerale fra smectit-gruppen, hvilket giver leret evnen til at kvælde ved tilsætning af vand. Denne evne skyldes ler-mineralernes krystalstruktur, der har en lagvis opbygning og som kan binde vand mellem disse lag. Bentonit er kendetegnet ved, at der dannes en thixotropisk gel ved tilsætning af vand, hvilket betyder, at det er flydende under omrøring eller pumpning, mens det overgår til en gel-lig-nende tilstand, når opblandingen får lov at stå i ro.

Cementbaserede materialer anvendes som grout enten af ren cement eller med iblanding af bentonit eller sand.

En af de vigtigste parametre ved et forseglingsmateriale er den hydrauliske ledningsevne, som beskriver gennemtrængeligheden af et materiale. Materialer med lav hydraulisk ledningsevne er meget tætte, mens materialer med en højere hydraulisk ledningsevne er mindre tætte. Den hydrauliske ledningsevne for forseglingsmaterialer afhænger dels af forseglingsmaterialets iboende egenskaber, men i høj grad også af kvaliteten af den færdige "prop" som installeres i den enkelte boring. Ved sammenligning af hydrauliske ledningsevner, som er rapporteret i literataturen, er det derfor væsentligt at skelne mellem, om den hydrauliske ledningsevne er op-lyst af producenten, er målt ved laboratorieforsøg eller målt i felten samt hvordan måleproce-duren er. For at give et indtryk af størrelsesordenen af hydraulisk ledningsevne er der neden-for i 3.1 angivet typiske niveauer for den hydraulisk ledningsevne for forskellige danske jordar-ter.

TABEL 2. Typiske niveauer for den hydraulisk ledningsevne for almindeligt forekommende danske jordarter.

Jordart	Hydraulisk ledningsevne
Grus	$5 \cdot 10^{-3}$ m/s
Groft sand	10^{-3} m/s
Mellemkornet sand	$5 \cdot 10^{-4}$ m/s
Ret fint sand	10^{-4} m/s
Fint sand	$5 \cdot 10^{-5}$ m/s
Finsand	$2 \cdot 10^{-5}$ m/s
Grovsilt	10^{-5} m/s
Silt	10^{-6} m/s
Moræneler	10^{-5} m/s til 10^{-7} m/s
Kalk	10^{-3} m/s til 10^{-5} m/s

Det er vigtigt at sikre, at emballagen til de forskellige forseglingsmaterialer er forsynet med éntydig mærkning af navn, type, blanding, batch-nummer fremstillingsdato etc. for at undgå forveksling og sammenblanding af materialer. Producenten skal endvidere udforme instruktive data- og sikkerhedsblade, som angiver sammensætning, fysiske og kemiske data samt resultater af forsøg, som beskriver produktets egenskaber i relation til forsegling og evt. krav til håndtering. Det skal desuden angives hvor ofte produktets egenskaber og sammensætning kontrolleres. Dette er specielt vigtigt for produkter som indeholder bentonit, da kvaliteten af råstofferne hertil kan være afhængig af hvor i råstofgraven disse stammer fra.

4. Forsegling med bentonitpellets

Alle efterfølgende anvisninger og råd om forsegling er knyttet til boringer udført som tørborring med borerør. Skylleboringer, hvor der anvendes boremudder er beskrevet i afsnit 6.1, og direct-push sonderinger er beskrevet i afsnit 7.3.

4.1 Forskellige typer bentonit

Der findes forskellige bentonitprodukter som kan anvendes til forsegling i boringer, herunder pellets og granulat. Pellets ekstruderes af smectitrigt (svellende) ler under højt tryk. De har typisk en diameter på 6-10 mm og et vandindhold på 10-25 %. Granulat er irregulære kantede partikler af tørret, smectitrigt ler med en størrelse på 0-6 mm. I forbindelse med forsegling i boringer er det næsten udelukkende pellets, som anvendes i Danmark, hvorfor denne del af Best Practice kun omhandler pellets.

4.2 Anvendelse af bentonitpellets

Det anbefales at benytte bentonitpellets af kvalitet med følgende egenskaber i den etablerede forsegling:

Egenskaber for anbefalede pellets

Egenskaber ved pellets inden opkvældning:

- **Synkehastighed i vand** > 20 m/minut
- **Start af svelleproces** > 15 minutter
- **Diameter af pellets** 6 – 10 mm
- **Indhold af finstof (< 5 mm)** < 0,5 %

Egenskaber ved etableret forsegling med pellets:

- **Hydraulisk ledningsevne** < 1 x 10⁻¹⁰ m/s
- **Svelletryk** > 75 kN/m²
- **Vingestyrke** > 25 kN/m²

Pellets kan anvendes:

- **såvel over som under grundvandsspejlet (trykniveauet) i ler og andre stabile aflejringer, som ikke falder sammen, når borerøret trækkes**
- **i både hårdt og blødt vand samt i boremudder**
- **i umættet sand, men det kan være noget omstændeligt at anvende korrekt**
- **når de hældes langsomt i boringen (3 min. pr. 25 kg)**
- **når der tilsættes vand, hvis boringen er tør**

Pellets kan ikke anvendes:

- **i sand (eller andre ustabile aflejringer) under grundvandsspejlet**
 - **saltholdigt grundvand**
 - **i meget kraftige forurenings hot spots med fri fase af chlorerede opløsningsmidler**
-

Eksempler på typer af pellets der lever op til ovenstående kvalitetskrav er eksempelvis to af de undersøgte typer Dantoplug Super og Mikolit B.

I det følgende er der kort beskrevet hvorledes bentonit pellet kan karakteriseres ved forskellige egenskaber og parametre, og efterfølgende er der foretaget en beskrivelse af anbefalede procedure for anvendelse og håndtering af bentonitpellets i forskellige aflejringer og vandtyper.

4.3 Egenskaber af bentonitpellets

Den vigtigste egenskab ved pellets er, at en forseglings opnår en lav hydraulisk ledningsevne (kan måles ved konsolideringsforsøg). En forudsætning herfor er deres evne til at svulle op og dermed lukke porevoluminet mellem de enkelte pellets. Dernæst skal pellets have en restsvellekapacitet (målt som forseglings svullevækst) således, at forseglingen er selvhelende og kan genlukke porer og hulrum, som måtte opstå over tid f.eks. som følge af eventuel udtørring. Endelig er det en fordel, at forseglingen opnår en god styrke og stabilitet (målt ved vingestyrken). Et højt indhold af smectit (svellende lerarter) er afgørende for at opnå disse egenskaber. Desværre findes der ikke en entydig metode for bestemmelse af smectitindholdet, så det er ikke muligt at angive et minimumindhold.

Det anbefales, at bentonit pellets karakteriseres ved:

- Hydraulisk ledningsevne målt ved konsolideringsforsøg
- Svelletryk målt i konsolideringscelle
- Vingestyrke målt med laboratorievæge
- Densitet
- Vandindhold

Disse parametre måles på en prøve af forseglingen fremstillet som følger:

Et 0,5 m langt Ø 165 mm pvc filterrør (slidsebredde 0,3 mm) med bundprop fyldes med pellets (skal ikke komprimeres). Herefter monteres topprop, så der ikke er hulrum mellem pellets og prop. Røret neddykkes opretstående i almindeligt ledningsvand og holdes vanddækket i 2 måneder. Røret deles i to stykker på 0,25 m, og fra midten udtages delprøver til ovennævnte forsøg.

Herudover karakteriseres pellets ved:

- Vandindhold i pellets før opkvældning
- Synkehastighed i vand
- Start af svelleproces efter vandmætning
- Indhold af støv i sække
- Størrelse af pellets

4.3.1 Hydraulisk ledningsevne og homogenitet af en pelletsforsegling

Den hydrauliske ledningsevne af en forseglings med pellets, som er fremstillet og testet som beskrevet i afsnit 4.3 bør ikke overstige 1×10^{-10} m/s. Det er dog vigtigere, at forseglingen er homogen, end at der er en ekstrem lav hydraulisk ledningsevne i selve materialet.

4.3.2 Procedure for anvendelse af pellets i forskellige aflejringer

Stabile aflejringer er karakteriseret ved, at man kan trække borerøret op, uden at der sker indfald af materiale fra boringens sider, hvorfor boringen bliver stående åben. Her kan pellets anvendes som forseglings såvel under som over grundvandsspejlet (over trykniveauet). Ved etablering af pelletsforsegling over grundvandsspejlet skal der tilføres vand til boringen, så der er vand til rådighed for opkvældningen.

Når pellets anvendes til forseglings under vandspejlet, er det vigtigt, at forseglingen udføres i etaper, hvor borerøret indledningsvist trækkes et stykke op. Herefter fyldes den fritlagte strækning i boringen med pellets og således fortsættes til forseglingen er udført. Det er således et krav for anvendelsen af pellets, at boringens sider bliver stående så længe, at pellets kan

komme på plads i den fritlagte nederste strækning af boringen. Hvis pellets kommer for højt op og lejrer sig inden i borerøret, er der risiko for at pellets blokerer mellemrummet mellem borerør og det installerede forerør, hvorefter det risikeres at forerøret trækkes med op, når borerøret trækkes. Hvis aflejringen ikke er stabil, som f.eks. sand under grundvandsspejlet, vil boringens sider falde ind i boringen, når borerøret trækkes op, og forseglingsen kan ikke udføres. Pelletsforsegling kan således ikke anvendes i ikke stabile aflejringer (f.eks. sand under grundvandspejlet).

Umættet sand (over grundvandsspejlet) er påvirket af kappilarkræfter og er i de fleste tilfælde stabilt (i hvert fald kortvarigt) selvom borerøret trækkes et stykke op. Under disse forhold er det muligt at anvende pelletsforsegling, idet borerøret trækkes f.eks. en meter op, der fyldes pellets i den åbne strækning op til underkant af boreret og så fremdeles. Under etableringen af pellets tilføres vand, som i første omgang vil fugte pellets, idet hovedparten vil strømme gennem pellets og ud i formationen eller ned i filterkastningen. Denne proces fortsættes etapevis til hele forseglingsen er etableret, og under stadig tilførsel af vand (ca. 200 liter/time) i 15-20 min. Dagen efter installeringen af det første lag pellets, er disse kvældet op og har forseglet mellemrummet mellem forerør og boringsvæg. Det er således en noget tidskrævende proces at anvende pellets i umættet sand. En opkvældet forseglings med pellets i umættet sand vil ikke efterfølgende tørre ud selv ved længere tids tørke, idet fugtigheden i sandet vil forhindre forseglingsen i at udtørre.

4.3.3 Pelletsforsegling i forskellige vandtyper

Forsøg med pelletsforsegling i forskellige vandtyper viser, at der sker en god opkvældning af pellets i både blødt vand (H4), hårdt vand (H24) og i boremudder. Pellets af en kvalitet som bl.a. Dantoplug Super og Mikolit B giver en homogen og ensartet forseglings, mens en forseglings med pellets af en kvalitet som Mikolit 300 virker mindre homogen. Forsøg med de tre produkter viste derimod, at ingen af de afprøvede pelletstyper gav en tilfredsstillende forseglings i saltvand (salinitet 1,2 g/l svarende til havvand i indre danske farvande). Forseglingserne i saltvand blev væsentligt mindre homogene og porefyldte, og de opnåede kun meget lave vingesstyrker. I stedet anvendes en cementrig grout.

Selvom det ikke indgik i ovennævnte forsøg, skal det nævnes, at flere forureningstyper (specielt høje koncentrationer/fri fase af chlorerede opløsningsmidler) kan påvirke bentonitpellets evne til at danne en tæt og homogen forseglings. I stedet anvendes en cementrig grout.

5. Forsegling med grout

Grout til forsegling af boringer er basalt opslæmninger af cement og vand som kan være tilsat et varierende indhold af bentonit og/eller sand. Cementtypen er ikke afgørende. Det kan være almindelig Portland cement eller rapidcement. Bentonittypen har derimod stor betydning for blandingsforholdet og egenskaberne af grouten. En bentonit med stort indhold af svellende ler (smectit) kræver mere vand, hvilket betyder, at man får en grout med en lavere densitet ved samme procentvise indhold af bentonit.

5.1 Eksempler på forskellige typer af grout

I det følgende er der givet nogle konkrete eksempler på forskellige blandingsforhold af bentonit, cement, sand og vand, som er testet og har de egenskaber som ønskes for en grout.

Groutblandingerne G1 til G5 samt H1 er baseret på Dantonits produkter, som anvendes til deres færdigblandede groutprodukter. Groutblandingerne BC1 og BC2 er Roteks standardblandinger for grout.

TABEL 3. Forskellige groutblandinger. Opskrifterne giver 100 liter grout

Nr	Navn	Bentonit	Cement	Sand	Vand
		kg	kg	kg	kg
G1	Ren cement	0,0	122,0	0,0	61,0
G2	Ren cement og sand	0,0	97,0	48,5	48,5
G3	75% cement, 25% bentonit	15,5	46,6	0,0	80,9
G4	50% cement, 50% bentonit	24,2	24,2	0,0	82,6
G5	20% cement, 80% bentonit	23,2	6,1	0,0	88,8
BC1	39% cement, 61% bentonit	58,4		0,0	78,6
BC2	83% Cement, 17% bentonit	100,0		0,0	60,0
H1	99% cement, 1% bentonit	1,1	115,5	0,0	58,3

Eftersom forskellige typer af særligt bentonit giver grouten forskellige egenskaber, så kan der ikke angives universelle opskrifter på grout. I afsnit 5.2 er beskrevet hvilke egenskaber, der skal opnås og testes ved opblanding af grout.

5.2 Anvendelse af grout

Grout skal tilberedes så tyktflydende som muligt, idet grouten stadig skal være pumpbar, og kunne flyde sammen til en sammenhængende masse nede i boringen, der spredes i hele det volumen, der skal forsegles. Grouten skal ikke blive så tyk, at den lægger sig som pølser, dette skal testes før grouten pumpes ned. Grouten skal pumpes ned i boringen gennem et rør eller en slange, som hele tiden holdes dykket under groutoverfladen. Pumpetype kan være stempelpumpe, excenter snækkepumpe eller membranpumpe. Som kontrol af at grouten er blandet korrekt (ikke er for tynd eller tyk), skal der ved etablering af en boring tjekkes, at den

anvendte mængde grout passer med det volumen, der er blevet forseglet. Ved en for tynd groutblanding er der risiko for groutblandingen siver ud i den omkringliggende formation, hvorved groutforbruget bliver større end beregnet ud fra annulusvolumen. De testede groutblandinger, jf. tabel 5-1 vil ikke give betydelige tab af materiale til den omkringliggende formation.

Anvendelse af Grout

- **Grout kan anvendes i alle typer borer og alle jordlag, dog kan forekomme tab af grout i stærkt sprækket kalk**
 - **Brug færdigblandede produkter, med veldokumenterede materialer. Brug hele sække ved anvendelse af færdigblandede produkter**
 - **Bland så tyktflydende som muligt, dog skal grouten kunne flyde sammen i hele det udstøbte volumen**
 - **Anvend pumpe af typen snekkepumpe, stempelpumpe, membranpumpe eller lignende**
 - **Støb gennem tremierør, som hele tiden er dykket under overfladen**
 - **Støb maksimalt 25 m ad gangen inden afhærdning**
 - **Kontroller den anvendte mængde i forhold til det teoretiske volumen**
 - **Registrer overfladen med ledningsevnesonde eller hæld en lille portion pellets i boringen**
 - **Placer en pakke med 0,5 m fint filtersand og 0,2 m pellets over en filterkastning inden udstøbning med grout**
 - **Der kan støbes direkte oven på pelletsforsegling umiddelbart efter etablering af denne**
 - **Blandeudstyret har ikke stor betydning, når blot der blandes grundigt**
 - **Vedhæftningen til PVC er bedre end til PEH**
 - **Der sker en betydelig varmeudvikling i cementrige grouts. Pas derfor på ved annulus > 10 cm og forsegling over grundvandsspejlet**
-

Der er ikke særlige krav til blandemetoden, idet det er testet, at det er muligt at foretage en god opblanding af grout ved forskellige blandemetoder fra håndholdt mørtelblander til professionelle groutblandere. Det skal dog for alle metoder sikres, at blandemetoden kan håndtere og foretage en god mixning af det valgte groutvolumen.

Kvaliteten (indholdet af smectit) af den tilsatte bentonit har stor betydning for hvor meget vand, der skal tilsættes grouten samt for hvor høj en styrke forseglingen udvikler. Med en bentonit-type som den der er indgået i forsøgene med Dantonits DantoCon Seal N vil et bentonitindhold på under 50 til 60 % være at foretrække, da et højere indhold af bentonit kan resultere i en uensigtsmæssig tyk (viskøs) blanding, som ikke flyder godt ud og rundt om forerør og styrmv. Det skal bemærkes at Roteks færdigblanding BC1 med 61 % bentonit opnår en højere densitet og styrke end blandingen med kun 50 % bentonit med materialer fra Dantonit. Det skyldes, at bentonitten i BC1 har en anden kvalitet end DantoCon Seal N. Det betyder dog intet for kvaliteten af forseglingen, blot at iblandingen af vand skal være en anden. Bortset fra grouten med 80 % bentonit, som kan være vanskelig at anvende i praksis, er der ingen af de øvrige groutblandinger som kan fremhæves frem for andre. Hvis der er krav om en høj densitet (f.eks. i forbindelse med skylleboringer eller artesiske forhold) skal der vælges en grout med højt cementindhold.

Grout, som er blandet i henhold til ovenstående beskrivelse kan udstøbes direkte oven på en filterkastning, men det anbefales, at der etableres et lag med fint filtersand på 0,5 m over filterkastningen og herover 0,2 forsegling med pellets for en sikkerheds skyld. Denne konstruktion vil reducere påvirkningen af vandet i filteret fra de meget basiske forseglingsmaterialer (specielt cement).

Der kan maksimalt støbes over en vertikal strækning på ca. 25 m, hvorefter støbningen må gives tid til at sætte sig (12-15 timer), før der støbes videre. Ved støbning af længere stræk opstår der et højt tryk i bunden af støbningen, som bevirker en udpresning af vand fra støbemassen og dannelse af vandfyldte hulrum i støbningen samt ufuldstændigt hærdede strækninger. Herudover vil der naturligvis også være et højt, ydre tryk på forerøret. Hvis der anvendes færdige blandinger, bør der anvendes hele sække for at imødegå risikoen for, at der er sket afblanding af produktet under transporten. Alternativt kan man selv blande de enkelte bestanddele.

Grout som de undersøgte typer i afsnit 5.1 forventes af have en hydraulisk ledningsevne af samme størrelse som en pelletsforsegling med Dantoplug Super og Mikolit B. Vedhæftningen af grout til forerør er bedst til forerør af PVC i forhold til PEH. Der er for de testede grouttyper ikke tegn på svindrevner i grouten eller revner mellem grout og forerør.

Under udstøbning skal groutoverfladen pejles, idet der hermed kan føres kontrol med anvendte mængder mv. Pejlingen kan udføres med en ledningsevnesonde monteret på et målebånd. Alternativt kan der hældes en mindre portion pellets oven i støbningen, og overfladen af denne kan registreres med et almindeligt bundpejl.

Ved anvendelse af grout skal man være opmærksom på, at der kan være en betydelig varmeudvikling under hærdeningen, Varmeudviklingen under hærdeningen af grout er større jo højere cementindholdet er og jo tykkere afpropningen (annulus) er. Specielt skal man være forsigtig ved tykke forseglinger (annulus >10 cm) over grundvandsspejlet. Varmeudviklingen kan være så stor, at den kan påvirke stabiliteten i filterrør, hvorfor der skal vælges filterrør, der kan tåle varme (såsom stålrør), hvis der skal afpropes med grout i umættet zone med stor annulus.

5.3 Egenskaber af grout

I det følgende er der uddybende beskrevet forskellige egenskaber og parametre for grout, samt en beskrivelse af den anbefalede procedure for anvendelse og håndtering af grout i forskellige aflejringer og vandtyper. Beskrivelserne tager udgangspunkt i de forsøg der er udført i forbindelse med dette projekt.

5.3.1 Hydraulisk ledningsevne

Den hydrauliske ledningsevne af grout af ren cement samt cement og sand er målt ved gennemstrømnings-forsøg til 1-10 x 10-12, og er hermed af samme størrelse som en pelletsforsegling med Dantoplug Super eller Mikolit B. Forsøg med gennemstrømning af vand har vist, at den hydrauliske ledningsevne af de bentonitholdige grouts er stigende med indholdet af bentonit. Dette er overraskende, da et af formålene med tilsætning af bentonit er at reducere den hydrauliske ledningsevne. Årsagen skal formentlig søges i at cement og bentonit konkurrerer om vandet, så bentonitten ikke sveller op, og cementen ikke hærder korrekt. Dette kunne formentlig have været undgået, såfremt prøvelegemerne havde været vandlagret under afhærdeningen. De bentonitholdige cement-grouts har formentlig en hydraulisk ledningsevne af samme størrelse som ren cement.

5.3.2 Blanding og pumpning

Der er udført forsøg med 3 forskellige blandemetoder: håndholdt mørtelblander, STA 250 grout mixer og Häny IC310 groutanlæg. Fremgangsmåden har været at opnå de forudbestemte indhold af cement, bentonit og sand, og derefter justere vandmængden, så grouten er tykkest mulig, men stadig med en egnet bland og pumpbarhed. Der er ikke i forbindelse med blandeforsøgene registreret afgørende forskel på grouten blandet ved de 3 forskellige blandemetoder.

Der er således ikke noget krav til en særlig blandemetode ved opblanding af grout. Det skal dog for alle metoder sikres, at blandemetoden kan håndtere og foretage en god mixning af det valgte groutvolumen.

5.3.3 Overgange mellem grout, pellets og filtersand

Der er udført en række forsøg, med test af overgange mellem filtersand, grout og pellets, for at afklare i hvilket omfang disse materialer blandes, når der arbejdes videre umiddelbart (eller kort tid) efter installeringen af det foregående produkt. Forsøgene har omfattet udstøbning af grouttyperne G1 –G5 (se afsnit 5.1) direkte over filtersand bestående af henholdsvis sand00 (mellemkornet sand), sand2 (groft sand) og sand7 (grus). For sand00 og sand2 blev ikke observeret nedtrængning i sandet for de 5 grouttyper. For sand 7 blev der observeret en nedtrængning på 10 cm henholdsvis 5 cm af grout G2 (cement og sand) henholdsvis G3 (25%bentonit, 75% cement). For en serie af forsøgene blev der lagt ca. 25 cm pellets mellem filtersandet og grouten, og her var der ingen nedtrængning af grout i hverken pellets eller sand.

I 10 forsøg er der lagt pelletsforsegling direkte oven på grouten umiddelbart efter udstøbning af grouten. I 7 af de 10 forsøg var der igen nedsynkning af pellets i grouten, mens der i 3 forsøg var fra 5 til 25 cm ned-synkning af pellets i grouten. Da begge materialer anvendes til forsegling er denne nedsynkning uden betydning for tætheden af forseglingen. Metoden med anvendelse af lidt pellet oven på grouten kan anvendes til pejling af overfladen af groutudstøbningen, som ellers kan være svær at lokalisere med pejlelod. Forsøgene viser, at der i princippet kan bygges en pelletsforsegling op direkte oven på en groutstøbning uden at vente på afhærdning af grouten. I praksis er det dog nødvendigt, at vente til der er sket en afhærdning af grouten, da der kan ske et tab af grout til formationen i de første timer efter udstøbning, hvorved groutover-fladen vil sætte sig.

I 5 forsøg, hvor der er lagt pellets direkte på grouten, er der lagt filtersand oven på pellets uden at materialerne er blandet. Her er der dog ventet 10-15 min inden sandet er lagt oven på pelletsforseglingen, således at opkvældningen af pellets er startet. Med denne procedure undgås det, at der kommer "sandårer" i pelletsforseglingen. Med iagttagelse af dette forhold anbefales det at vente 10-15 min., før der lægges filter-sand over en pelletsforsegling.

I 5 forsøg er der lagt sand2 (groft sand) direkte oven på de 5 grouttyper umiddelbart efter udstøbningen af disse. I ingen af tilfældene er der sket sammenblanding af sand og grout. I andre 5 forsøg blev lagt sand8 (grus) direkte oven på grouten. Her sås op til 50 cm nedsynkning af grus i 3 af prøverne. Hvis der derfor skal etableres en filterkastning oven på en forsegling med grout, er det nødvendigt at afvente at grouten sætter sig (12-15 timer) eller slutte forseglingen af med et par meter forsegling med pellets, hvis dette er muligt.

5.3.4 Spredning af grout til omkringliggende formation

Forsøgene, som er beskrevet i afsnit 5.3.3 viser, at der kan forventes ingen eller kun meget begrænset spredning af grout til sand- og grusformationer, såfremt blandingsforholdene overholdes. Det skal dog nævnes, at testsøjlerne kun var ca. 2,5 m høje, og at trykket i bunden af en 10-15 m lang forsegling med grout vil være meget højere. Derfor vil risikoen for tab af grout til omgivelserne øges jo længere forseglingen er.

5.3.5 Pejling af groutoverflade

Overfladen af grout i en boring er vanskelig at pejle med et almindeligt bundpejl under etableringen af en støbning. Forsøg har vist, at en ledningsevnesonde reagerer med et markant udslag, så snart den når groutoverfladen, og monteret på et målebånd vil den udgøre et fint måleinstrument til registrering af groutoverfladen. En anden metode er at hælde en sjat pellets ned oven i grouten. Pellets lægger sig på overfladen og udgør et målbart niveau for et normalt

bundpejl. Pejlingsforsøg er ligeledes udført med en pH-sonde. Forsøget viste at pH-målinger ikke er anvendelige ved pejling af groutoverflade.

5.3.6 Vedhæftning grout til PVC og PEH

Der er udført test af vedhæftningen af forskellige typer grout til forerør af henholdsvis PVC og PEH. Forsøgene viser, at vedhæftningen til PVC er væsentligt større end til PEH. Der er ingen entydig forskel på de forskellige grouttyper, udover at den stærkt bentonitholdige grout G5 har lav vedhæftning til såvel PVC som PEH. Dette er formentlig i højere grad et udtryk for styrken af grouten, end for friktionen mellem forerør og grout. Der er i ingen tilfælde set revnedannelse mellem forerør og grout og heller ikke (svind-) revner i selve grouten. For god ordens skyld skal det nævnes, at vedhæftningen af pellets til forerør ikke er undersøgt, da virkemåden af pellets er en anden end virkemåden af grout. Grout gennemgår en hærdeproces, og her er det relevant at tale om vedhæftning til forerørene, mens kvalitetspellets har en restsvellekapacitet, der vil udøve et konstant tryk på forerørene og tætnes langs disse.

5.3.7 Varmeudvikling i grout

Det er kendt, at cementholdige grouts udvikler varme under afhærdningen. Der er udført forsøg med 5 grouttyper (G1-G5), hvor varmeviklingen er fulgt i dels en 35 mm tyk forseglingsdels en 60 mm tyk forseglingsdels. Forsøgene viser, at ren cement i en tyk forseglingsdels udvikler højst temperatur (op til 76 grader °C), mens temperaturstigningen er mindre i den tynde forseglingsdels og aftagende med aftagende cementindhold. Temperaturstigningen er klinget af efter ca. 1 døgn. Forsøgene er indbyrdes sammenlignelige, men er ikke repræsentative for forholdene i en boring, hvor der som regel er vand i forerøret og jord udvendigt, hvilket i begge tilfældemedvirker til at lede varmen bort fra forseglingsdels. Man skal være forsigtig med tykke forseglingsdels af cement over grundvandsspejlet, da der er ved anvendelse af højt cementindhold sammen med store annulus er risiko for, at temperaturen kan stige så meget, at det kan skade plastrørene, se rapport om laboratorieforsøg, afsnit 2.7.

6. Valg af forseglingsmaterialer ift. Boringstyper og geologi

6.1 Skylleboringer

Forsegling af forerør i skylleboringer – typisk lufthæveboringer, hvor stabiliteten af borehullet sikres med boremudder, kan teknisk udføres med både pellets og med grout. Opmærksomheden henledes på, at der i litteraturen peges på, at pellets ikke bør kastes gennem mere end 50 m rent vand (også selvom de er præpareret til en forsinket opkvældning). Hvorvidt dette gælder i boremudder er uvist, idet boremudder muligvis har en yderligere forsinkende effekt på opkvældningen af pellets.

Tabel 4 angiver under hvilke omstændigheder de forskellige forseglingsmaterialer kan anvendes i forbindelse med skylleboringer.

TABEL 4. Forskellige forseglingsmaterialer anvendelse i forskellig geologi i forbindelse med skylleboringer med anvendelse af boremudder.

Jordart	Pellets	Grout
SAND, umættet	X	X
SAND, mættet	X	X
LER, over trykniveau	X	X
LER, under trykniveau	X	X
KALK	X	X

6.2 Tørboringer med borerør

Forsegling af forerør i tørboringer er langt mere kompliceret, da pellets kun kan anvendes, hvor der findes jordarter, der er stabile, mens forseglingen udføres. For at undgå at få pellets ind i bunden af borerøret, er det nødvendigt at trække borerørene et stykke op over bunden af boringen, mens forseglingen udføres, da materialerne ellers vil danne prop i bunden af borerørene. Hvis dette gøres i ikke stabile jordlag, men f.eks. i vandmættet sand vil sandet klappe sammen om forerøret, inden der kommer forseglingsmateriale omkring dette. For at etablere en sikker forsegling i vandmættede aflejringer af sand er det derfor nødvendigt at anvende grout. Grout kan tillades at stige op i borerørene, uden at der dannes en prop i bunden af disse, og dermed sikres det, at forseglingsmaterialet kommer på plads, uden at sandet flyder ind omkring forerøret.

Tabel 5 angiver under hvilke omstændigheder de forskellige forseglingsmaterialer kan anvendes i forbindelse med tørboringer.

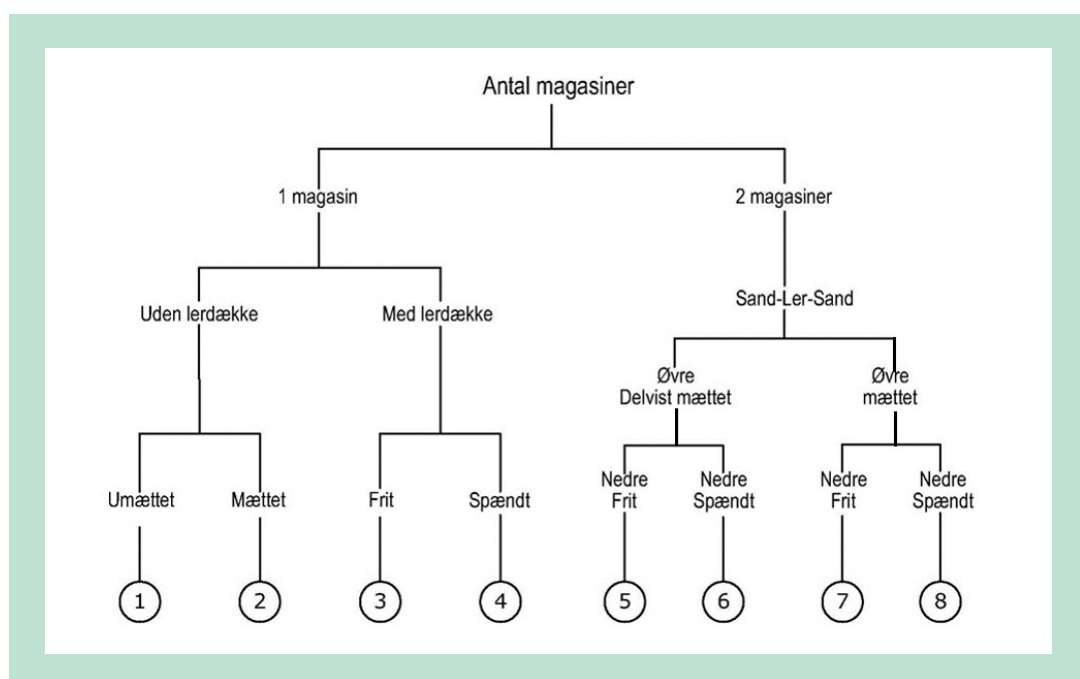
TABEL 5. Forskellige forseglingsmaterialer anvendelse i forskellig geologi i forbindelse med tørboringer. X angiver at materialet kan anvendes.

Jordart	Pellets	Grout
SAND, umættet	X ¹⁾	X
SAND, mættet		X
LER, over trykniveau	X	X
LER, under trykniveau	X	X
KALK	X	X

¹⁾ Kræver omhyggelig procedure ved udførelsen

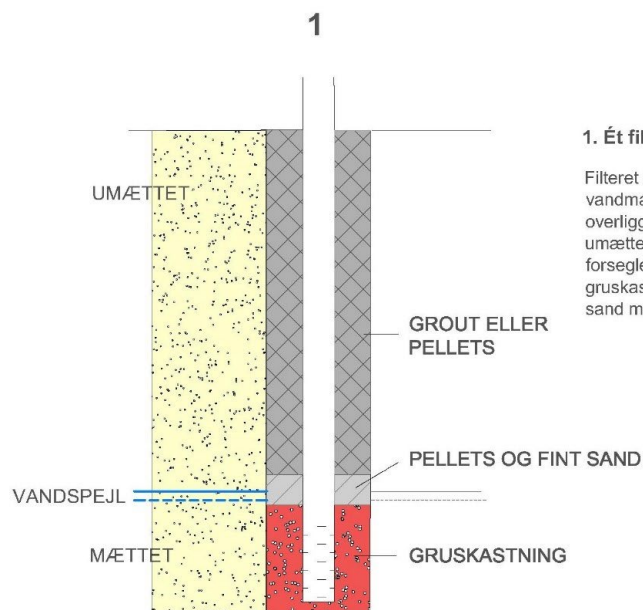
6.3 Skitser med eksempler på forsegling i tørboringer

I det følgende er der givet en række eksempler på mulige forseglinger i forbindelse med tørboringer i forskellige situationer med forskellig geologi og hydrogeologi, eksempel 1-8. Umiddelbart kan eksemplerne virke komplekse, men det skyldes, at der i mange situationer kan vælges mellem forsegling med grout eller med pellets. Kun i vandmættet sand SKAL der anvendes grout, der i øvrigt kan anvendes i alle situationer.



FIGUR 7. Matrix der med baggrund i forskellige parametre kan anvendes til at udvælge et konkret eksempel til valg af forseglingsmetode.

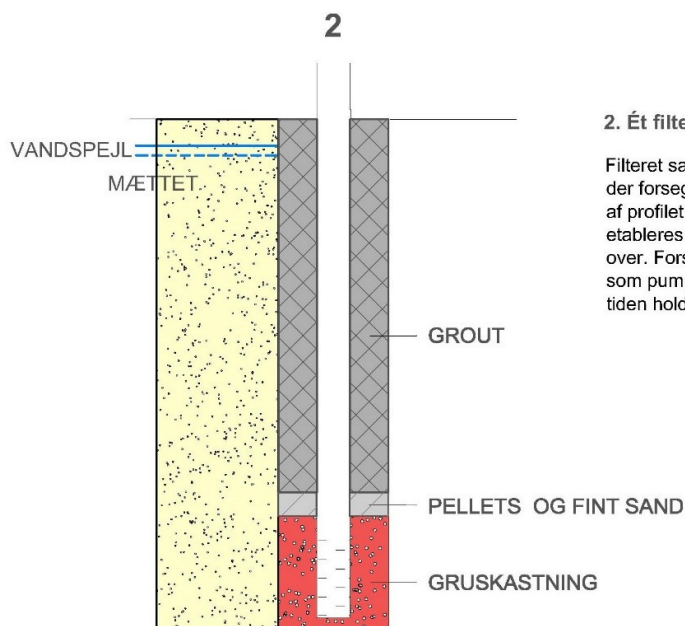
For alle boringsafslutninger gælder det, at der i forbindelse med boringsafslutningen, i de øverste ca. 1 meter skal afsluttes med sand, så overfladevand ikke opstaves i boringsafslutningen, men derimod kan løbe af til den omkringliggende jord. Dette er ikke vist på de følgende skitser, men gælder for dem alle.



1. Ét filter, ét magasin, SAND, umættet

Filteret sættes i den øverste del af det vandmættede magasin, og der forsegles i den overliggende umættede del af profilet. Den umættede del af profilet over filterkastningen forsegles med grout eller pellets. Mellem gruskastning og forsegling etableres 0,5 m fint sand med 0,2 m pellets over

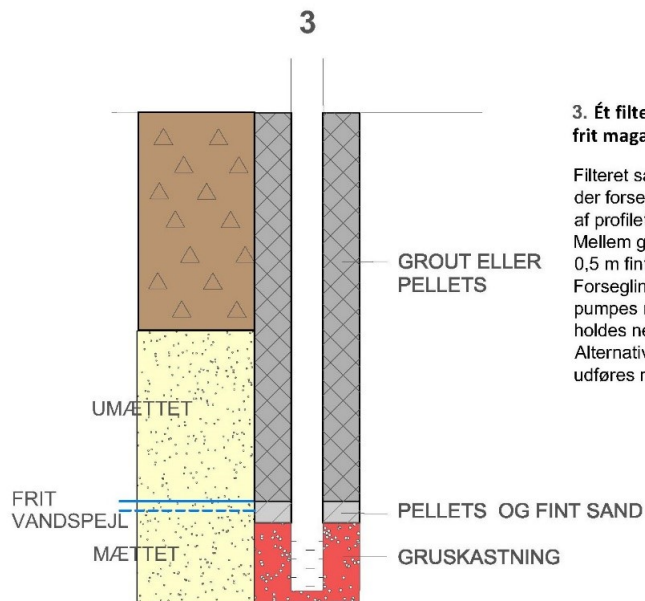
Ét filter, ét magasin, SAND, umættet



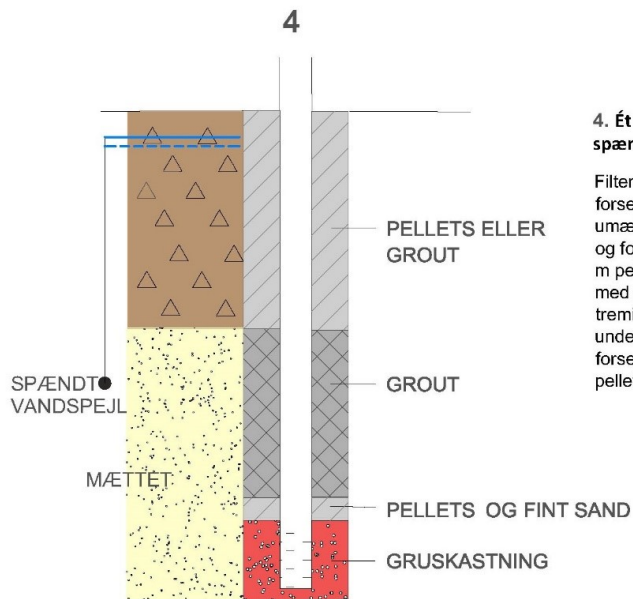
2. Ét filter, ét magasin, SAND, mættet

Filteret sættes i det vandmættede magasin, og der forsegles i den overliggende mættede del af profilet. Mellem gruskastning og forsegling etableres 0,5 m fint sand med 0,2 m pellets over. Forseglingen herover udføres med grout, som pumpes ned gennem tremierør, som hele tiden holdes neddykket under groutoverfladen.

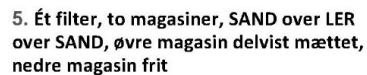
Ét filter, ét magasin, SAND mættet



Ét filter, ét magasin, LER over SAND frit magasin



Ét filter, ét magasin, Ler over SAND spændt magasin



Filteret sættes i det nedre frie magasin, og der forsegles i de overliggende mættede og umættede dele af profilet. Mellem gruskastning og forsegling etableres 0,5 m find sand med 0,2 m pellets over. Forseglingen herover udføres med grout, som pumpes ned gennem tremierør, som hele tiden holdes neddykket under groutoverfladen. Alternativt kan forseglingen op til oversiden af lerlaget, samt den umættede del af det øvre magasin udføres med pellets.

6. Et tætningslag

Diagram illustrating a cross-section of a foundation with various layers and water levels.

Layers (from top to bottom):

- PELLETS ELLER GROUT
- GROUT
- PELLETS ELLER GROUT
- GROUT
- PELLETS og FINT SAND
- GRUSKASTNING

Water levels:

- VANDSPEJL (Water Table)
- SPÆNDT VANDSPEJL (Pressurized Water Table)

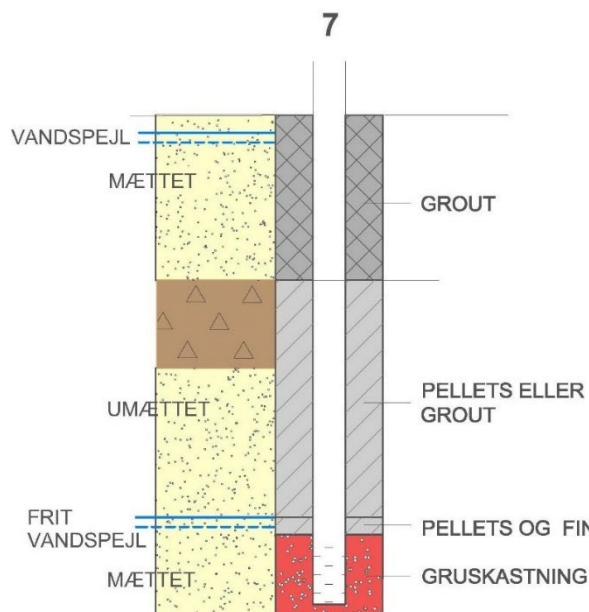
Soil conditions:

- UMÆTTET (Unsaturated)
- MÆTTET (Saturated)

6. Ét filter, to magasiner, SAND over LER over SAND, øvre magasin delvist mættet, nedre magasin spændt

Filteret sættes i det nedre spændte magasin, og der forsegles i de overliggende mættede og umættede dele af profilet. Mellem gruskastning og forsegling etableres 0,5 m fint sand med 0,2 m pellets over. Forseglingen herover udføres med grout, som pumpes ned gennem tremierør, som hele tiden holdes neddykket under groutoverfladen. Alternativt kan forseglingen ud for lertaget, samt den umættede del af det øvre magasin udføres med pellets.

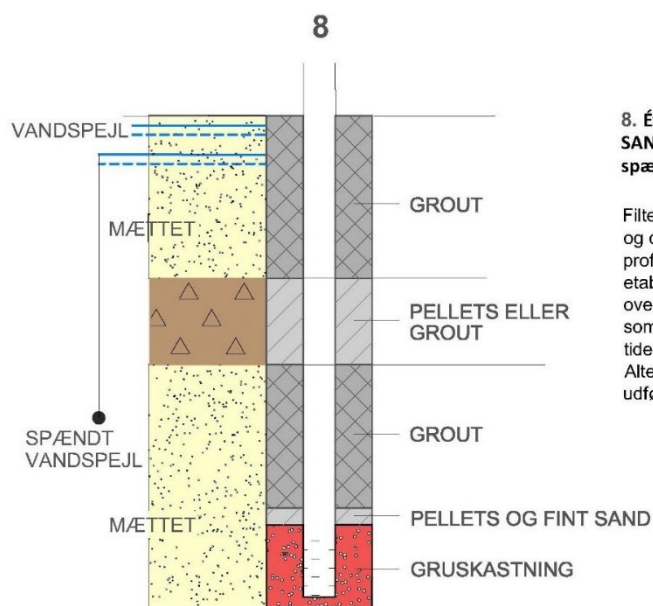
Miljøstyrelsen / Best practice- Forsegling af miljø- og geotekniske boringer samt sonderinger 31



7. Ét filter, to magasiner, SAND over LER over SAND, øvre magasin mættet, nedre magasin frit

Filteret sættes i det nedre frie magasin, og der forsegles i de overliggende mættede og umættede dele af profilet. Mellem gruskastning og forsegling etableres 0,5 m fint sand med 0,2 m pellets over. Forseglingen herover udføres med grout, som pumpes ned gennem tremierør, som hele tiden holdes neddykket under groutoverfladen. Alternativt kan forseglingen op til oversiden af lerlaget udføres med pellets.

Ét filter, to magasiner, SAND over LER over SAND, øvre magasin mættet, nedre magasin frit



8. Ét filter, to magasiner, SAND over LER over SAND, øvre magasin mættet, nedre magasin spændt

Filteret sættes i det nedre spændte magasin, og der forsegles i den overliggende del af profilet. Mellem gruskastning og forsegling etableres 0,5 m fint sand med 0,2 m pellets over. Forseglingen herover udføres med grout, som pumpes ned gennem tremierør, som hele tiden holdes neddykket under groutoverfladen. Alternativt kan forseglingen ud for lerlaget udføres med pellets.

Ét filter, to magasiner, SAND over LER over SAND, øvre magasin mættet, nedre magasin spændt

7. Sløjfning af boringer og sonderinger

Sløjfning af filtersatte boringer udføres oftest ved at udstøbe filter og forerør med grout eller pellets og derefter afskære forerøret i 1 m under terræn. Denne metode giver dog kun mening såfremt boringen er udført korrekt, dvs. med en tæt forsegling mellem forerør og boringsvæg. Hvis dette ikke er tilfældet vil det være nødvendigt at overbore filter og forerør, fjerne disse og derefter sløjfe boringen. Alternativt skal annulus mellem forerør og boringsvæg forsegles på anden måde.

I Bekendtgørelse nr. 1260 af 28/10-2013 om udførelse og sløjfning af boringer og brønde på land er der angivet nogle overordnede funktionskrav i forhold til sløjfning af boringer og brønde /1/. I det følgende er der angivet konkrete anbefalinger til sløjfning af filtersatte boringer samt sløjfning af sonderinger og ikke filtersatte boringer.

7.1 Sløjfning af filtersatte boringer

Ved filtersatte boringer hvor den udvendige forsegling af boringen vurderes at være tæt, anbefales sløjfningen af boringen foretaget som beskrevet i det følgende:

Sløjfning filtersatte boringer

- **Afpropningen med forseglingsmateriale skal foretages i hele forerørets dybde.**
 - **For at sikre en så god afpropning af de sløjfede boringer som muligt, anbefales filterinterval og forerør altid afproppet med grout eller pellets. Grout tilføres til boringen via rør fra bunden og op. Grouten skal være så tyktflydende, at det sikres, at grouten forbliver i filteret og ikke siver ud i formationen. Pellets skal tilføres et overskud af vand under arbejdet.**
 - **Forerøret afkortes 1 meter under terræn, idet der i den øverste 1 meter opfyldes med rene materialer svarende til de tilstødende materialer i form af sand, grus eller råjord, samt evt. retablering af belægning.**
 - **Der skal foretages en dokumentation af sløjfningen, og sløjfningen skal anmeldes til hhv. kommune og GEUS (Jupiter databasen). Kravene til indberetning af sløjfning af boringer og brønde til GEUS fremgår af teksten i Boringsbekendtgørelsen /1/.**
-

Er den udvendige forsegling af boringen utæt eller ikke forseglet korrekt, kan boringen ikke sløjfes med den beskrevne metode. I dette tilfælde kræves det, at der foretages en overboring og udstøbning af boringen som beskrevet i 7.4. Multifiltre med meget små kanaler kan ikke sløjfes ved udstøbning, men må ligeledes overbores, jf. afsnit 7.4.

7.2 Sløjfning af ikke filtersatte boringer

Ved sløjfning af ikke filtersatte boringer, anbefales sløjfningen af boringen foretaget som beskrevet i det følgende:

Sløjfning af ikke filtersatte boringer

- **Forsegling foretages i hele boringens dybde, idet der i den øverste 0,5-1 meter opfyldes med rene materialer svarende til de tilstødende materialer i form af sand, grus eller råjord, samt evt. retablering af belægning.**
 - **Som forseglingsmateriale kan anvendes grout eller pellets. Grout fyldes i hullet via rør fra bunden og op. Grouten skal have en viskositet, hvor det sikres, at grouten forbliver i borehullet og ikke siver ud i formationen. Pellets skal tilføres et overskud af vand under arbejdet.**
 - **Der skal foretages en dokumentation af sløjfningen, og sløjfningen skal anmeldes til hhv. kommune og GEUS (Jupiter databasen). Kravene til indberetning af sløjfning af boringer og brønde til GEUS fremgår af teksten i Boringsbekendtgørelsen /1/.**
-

Er boringen indberettet til GEUS, og har den således fået et DGU nr., så er der krav til, at der skal foretages en indberetning af sløjfningen som beskrevet i Boringsbekendtgørelsen. Det er altid god kutyme, at dokumentere afpropningen som beskrevet i boringsbekendtgørelsen og videregive disse oplysninger til ejer af sondering/boring, også når det ikke er et lovmæssigt krav.

7.3 Sløjfning af sonderinger

Ved sløjfning af sonderinger anbefales sløjfningen foretaget som beskrevet i det følgende:

Sløjfning af sonderinger

- **Forsegling skal foretages i hele sonderingens dybde, idet der i den øverste 0,5-1 meter opfyldes med rene materialer svarende til de tilstødende materialer i form af sand, grus eller råjord, samt evt. retablering af belægning.**
 - **Som forseglingsmateriale anbefales altid anvendt grout, som fyldes i hullet via rør fra bunden og op. Grouten skal have en viskositet, hvor det sikres, at grouten forbliver i borehullet og ikke siver ud i formationen.**
 - **Der skal foretages en dokumentation af sløjfningen, og sløjfningen skal anmeldes til hhv. kommune og GEUS (Jupiter databasen).**
-

Sonderinger anbefales ikke udført i formationer, hvor er på forhånd vurderes at være stor risiko for, at der ikke kan foretages en sikker forsegling, eller hvor der som følge af sonderingen er en stor risiko for at ske en forureningsspredning i forbindelse med udførelse af sonderingen (herunder tænkes særligt på kildeområder med kraftig forurening og eventuel fri fase). Som følge af en normalt lille diameter anbefales sonderinger altid afproppet med grout. Om muligt foretages afpropningen efterhånden som undersøgelsessonden trækkes retur (foretrukne metode med den mest sikre afpropning, da der er stor sikkerhed for at hullet afproppes). Alternativt foretages afpropningen, når sonderingen er udført, ved efterfølgende at føre sonden eller rør ned til bunden af hullet for sonderingen for herefter at tilføre forseglingsmaterialet (grout) nedefra op i takt med at sonde/rør trækkes tilbage. Denne metode er ikke så sikker som første metode, da hullet kan kollapse eller sondering/rør kan trykkes ud af det oprindelige sonderingshul.

Er sonderingen indberettet til GEUS, og har den således fået et DGU nr., så er der krav til, at der skal foretages en indberetning af sløjfningen som beskrevet i Boringsbekendtgørelsen. Det

er altid god kutyme, at dokumentere afpropningen som beskrevet i boringsbekendtgørelsen og videregive disse oplysninger til ejer af sondering/boring, også når det ikke er et lovmæssigt krav.

7.4 Overboring og udstøbning

Er den udvendige forsegling af boringen utæt eller er der mistanke om at boringskonstruktionen er utæt, kan boringen ikke sløjfes alene ved afpropning af filterrør og forerør, da boringen fortsat vil udgøre en risiko, idet vand og forurening kan transporteres på ydersiden af forerøret. I dette tilfælde er det for at opnå en tæt afpropning nødvendigt, at der foretages en overboring med fjernelse af filter og forerør og efterfølgende udstøbning af boringen som beskrevet i det følgende.

Overboring af forerøret sker med borerør med en større dimension borerør end det der blev anvendt i den oprindelige boring. Materialet imellem borerøret og forerøret bores op og bortskaffes. Herefter foretages der en forsegling af det nye hul udstøbes med grout eller pellets. Grout tilføres til hullet via rør fra bunden og op. Grouten skal have en viskositet, hvor det sikres, at grouten forbliver i hullet og ikke siver ud i formationen. Pellets skal tilføres et overskud af vand under arbejdet. Den øverste meter opfyldes med rene materialer svarende til de tilstedende materialer i form af sand, grus eller råjord, samt evt. retablering af belægning.

Sløjfningen skal anmeldes til hhv. kommune og GEUS (Jupiter databasen) jf. /1/.

Andre alternative metoder:

Som alternativ til en overboring og udstøbning, er der i Danmark testet en metode, hvor der foretages en sløjfning af en utæt forsegling i en boring, ved at foretage en perforering af forerøret, for efterfølgende at foretage en cementinjektion gennem perforeringen. Metoden vurderes til ikke at have samme sikkerhed, for at der etableres en tæt forsegling/sløjfning af boringen. Med baggrund heri anbefales det, at der altid foretages en overboring, såfremt der skal foretages en sløjfning af en boring, hvor den udvendige forsegling er konstateret at være utæt.

8. Tilsyn og dokumentation

Ved mange boreopgaver har bygherren hyret en rådgiver til at planlægge opgaven og føre tilsyn med udførelsen. Hvorvidt dette skal være et fuldtidstilsyn eller deltidstilsyn skal altid vurderes i forhold til den konkrete opgave, samt i forhold til den valgte boreentreprenør og herunder arbejdsdelingen mellem rådgiver og entreprenør.

Alt arbejde i relation til etablering af borer, filtersætning, forsegling, overboring og sløjfning skal beskrives og dokumenteres i form af borejournal, filtersætningsjournal samt støbe- og sløjfningsjournal.

8.1 Tilsyn

Det bedste resultat opnås, når en boreentreprenør arbejder sammen med en rådgiver hvor der mellem de to parter er et gensidigt tillidsforhold, hvor tilsynet udføres af en velkvalificeret person, der har erfaring med boremetoder, filtersætning og forsegling. I dette tilfælde kan en stor del af "tilsynet" klares pr. telefon med kun få besøg af rådgiveren på borepladsen, når der udføres kritiske arbejder som filtersætning og forsegling. Denne model sikrer en optimal gennemførelse af opgaven både hvad angår kvalitet og pris.

8.2 Borejournal

For en tørboring skal der foreligge en dokumentation af boringens udførelse og indretning. Borejournalen skal indeholde alle relevante oplysninger, og skal som minimum omfatte (eksempel på borejournal er vedlagt i bilag 1):

- Lokalitet, boringsnummer, dato og navn på udførende
- Boremetode
- Boringsdimension
- Beskrivelse af skift i borediameter
- Dato og tidspunkt for samtlige registreringer
- Dybde af bund af borehul
- Dybde til laggrænser
- Beskrivelse af det opborede materiale (jordtype, farve, fugt osv.)
- Registrering af om lagene er vandførende
- Dybde til og type af udtagne prøver
- Dybde til og resultat af forsøg i boringen
- Vandspejl løbende under borearbejdet
- Rovandspejl i boringen
- Tilsætning af vand til boringen (mængde og type)
- Særlige iagttagelser under borearbejdet vedr. forureningsforhold
- PID-målinger

8.3 Filtersætningsjournal

En filtersætningsjournal kan være en separat journal eller den kan være indeholdt i borejournalen som vist i bilag 1. Filtersætningsjournalen skal som minimum indeholde:

- Lokalitet, boringsnummer, dato og navn på udførende
- Dybde til filterinterval, dimension af filter- og blindrør
- Placering af samlinger
- Dybde til filterkastning
- Dybde til forsegling

- Anvendte materialer til filtersætning og forerør (type af materialer, dimension, godstykkelse, længde af rør og slidsestørrelse)
- Anvendte materialer og mængder til filterkastning og forsegling, se også støbejournal
- Indmåling af boring i x, y EUREF89/UTM32 (GPS måling)
- Pejling af grundvandsspejl
- Kote til terræn ved boring (DVR90 - digital indmåling med baggrund i kendt referencepunkt)
- Kote til top af blindrør (målepunktskote for pejling) (DVR90 - digital indmåling med baggrund i kendt referencepunkt)
- Udformning og dimension på terrænaflutning

8.4 Støbejournal

Forseglingsarbejdet skal dokumenteres ved en støbejournal, som indeholder alle relevante data fra forseglingsprocessen, se eksempel på støbejournal i bilag 1

- Lokaltet, boringsnummer, dato og navn på udførende
- Støbte intervaller
- Antal blandinger og volumen pr. blanding
- Densitet af grout
- Løbende pejling til overside udstøbning
- Løbende nedpumpet volumen
- Løbende teoretisk volumen
- Løbende forskel på nedpumpet og teoretisk volumen
- Kommentarer til forskel
- Niveauer for prøvestøbninger

8.5 Sløjfningsjournal

Også ved sløjfning af boringer udarbejdes en journal med beskrivelse af metode, forbrug af materialer samt selvfølgelig alle administrative data, herunder:

- Lokaltet, boringsnummer, dato og navn på udførende
- Boreprofil eller borejournal
- Forerørdimension og –materiale
- Boringens forseglingsforhold
- Bundpejling
- Pejling af vandspejl
- Sløjfningsmetode
- Anvendte materialer og mængder
- Støbejournal
- Afslutning ved terræn

Indberetningen påhviler den der udfører sløjfningen. Indberetningen skal derfor udføres af brøndborer. Skema til udfyldelse ved sløjfning af boringer og brønde kan rekvireres fra GEUS. Indberetningen kan også foretages digitalt via GEUS hjemmeside.

9. Referenceliste

- /1/ Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 1260 af 28/10/2013. Bekendtgørelse om udførelse og sløjfning af borer og brønde på land - Miljø- og Fødevareministeriet (Boringsbekendtgørelsen).
- /2/ Miljøministeriets Bekendtgørelse nr. 915 af 27/06/2016 om uddannelse af personer, der udfører borer og brønde på land.
- /3/ Miljø- og Energiministeriet 2001. Borer 2. Undervisningsmateriale udarbejdet af Ellies Sørensen og Henrik Schmidt oktober 2001
- /4/ Litteraturstudie. Forsegling af borer. April 2019
- /5/ Erfaringsopsamling. Afpropning af borer og sonderinger. December 2018
- /6/ Forsegling af borer og sonderinger. Fase 2. Laboratorieforsøg. Oktober 2021

10. Ordliste

I denne rapport anvendes nedenstående terminologi:

Afbindingstid	Den tid der går fra støbning til cementen har opnået en sammenhængende struktur, engelsk: set-time. Typisk 1-2 dage.
Bentonit	Plastisk ler med et højt indhold af lerminerale fra smectitgruppen, der giver leret evnen til at kvælde ved tilsætning af vand. Denne evne skyldes lermineraleernes krystalstruktur, der har en lagvis opbygning, og som kan binde vand mellem disse lag (dobbeltslaget).
Borerør	Midlertidigt arbejdsrør af stål som skal holde på jordlagene og hindre nedsivning af vand/forurening under etableringen af boringen.
Boringsafslutning	Dæksel eller flange anbragt over/omkring top af forerør med henblik på beskyttelse mod nedsivning af overfladevand, trafik etc.
Brodannelse	Forseglingmateriale, som under installationen hæfter til samlinger og styr inden det er kommet på plads i boringen, og som derfor medfører en ufuldstændig forsegling.
Densitet	Massefylde. Massen pr. volumenenhed
DNAPL	Dense non-aqueous phase liquids. Chlorerede opløsningsmidler og andre halogenerede organiske stoffer som fri fase og på væskeform, der ikke er vandblandbar og som er tungere end vand.
Filterrør	Rør med slidser, der tillader vand fra det vandførende lag at strømme ind i boringen.
Forerør	Rør, der forbinder toppen af filterrøret med boringens overbygning og tjener til at afstive de omkringliggende jordlag. Blindrør er en anden normal benævnelse for disse rør.
Forsegling	Pakning af materiale med lav hydraulisk ledningsevne mellem forerør og omgivende jordlag for at hindre vandtransport langs forerørets yderside fra terræn eller mellem magasiner.
Forseglingmateriale	Materiale som anvendes til forseglinger. Typisk bentonit-baserede eller cementbaserede materialer.
Grout	Tyktflydende støbemasse – i dette tilfælde af bentonit og/eller cement
Gruskastning	Opfyldning af sorteret kvartssand eller –grus mellem filterrøret og de vandførende lag for at tilbageholde materiale fra det vandførende lag.
Hydraulisk ledningsevne	Den hastighed (m/s) hvormed vand trænger igennem jordlag. Jo lavere hydraulisk ledningsevne desto tættere jord.
Kvældeevne	Bentonittens evne til at ekspandere ved tilsætning af vand.
Kvældetryk	Det tryk som bentonitten udøver mod omgivelserne, hvis ekspansionen forhindres, når der tilsættes vand.
LNAPL	Light non-aqueous phase liquids. Olie, benzin, BTEX mv. som fri fase og på væskeform, der ikke er vandblandbar og som er lettere end vand.
NAPL	Fællesbetegnelse for DNAPL og LNAPL.
Portland cement	Den mest almindelige type cement på verdensplan fremstillet ved brænding af kalk og ler. Navnet stammer fra Portland stone, Dorset, UK. Findes i forskellige undertyper I-V afhængig af anvendelsesområde. Type I er den mest almindeligt anvendte i forbindelse med byggeopgaver.
RSC samling	Specialmuffer til samling af forerør. Mufferne har 3 uafhængige tætningsystemer.
Styr	Afstandsstykker, som monteres på filter- og forerør for at centrere disse i boringen.

Tremie-rør	Tremie-rør er et rør eller slange, som anvendes til udstøbning af grout. Tremien kan samles af flere kortere enheder, så der er mulighed for at justere længden af røret under ihældningen/nedpumpningen af grouten. Enden af tremie-røret holdes altid dykket under groutoverfladen under ihældning/nedpumpningen.
V/C tal	Vand/Cement tal. Forholdet (vægt) mellem vand og cement i en blanding.
Viskositet	Væskes eller luftarts sejhed. Jo højere viskositet en væske har desto mere tyktflydende er den.

Bilag 1. Eksempel på borejournal og støbejournal

GEO		FELTJOURNAL				Side 1 af 3
Projekt No. / Navn	203038, Nykøbing Faltster_Platanvej					
Bor Nr.	B1	Start Dato	2018-10-31	Felttekniker(e)	JFP	
Koordinatsystem	N/A	Øst;Nord	N/A ; N/A	Ref. Pukt	Terræn	
Boringsmetode	Foret tørboring 10"			Kote (sys; z)	; N/A	
Boringsformål	Andet	Und.udstyr	GEOZenita	Projektleder	JEB	

STOP	Dato	2018-11-06			
	Borings Dybde (m.u.Ref.)	26,50	Boring tør under borearbejdet	Nej	
	Stop Årsag	Slutdybde			
Noter til borearbejdet:					
Filter længder skrevet fra bunden:					
3 m					
3 m					
3 m					
3 m					
2 m					
Blind fra bund:					
3 m					
3 m					
3 m					
3 m					
0,47 m					

Laggrænser	Dybde (m.u.Ref.)
	3,70
	4,10
	5,50
	5,71

VS under Borearbejdet	
Dybde (m.u.Ref.)	Tid
7,7	2018-11-02 07:20
5,63	2018-11-06 07:59

Felt Prøve Beskrivelse / Laggrænser						
Dybde Fra (m.u.Ref.)	Dybde Til (m.u.Ref.)	Løbe Nr.	Prove Type	Felt Beskrivelse	Miljø Prove	
2,00		1	Pose	MORÆNE LER, brun, st.sandet	Nej	
3,70				-----LAGGRÆNSE-----		
4,00		2	Pose	SAND, brun, tør	Nej	
4,10				-----LAGGRÆNSE-----		
4,50		2a	Pose	MORÆNE LER, brun	Nej	
5,50				-----LAGGRÆNSE-----		
5,70		2b	Pose	MORÆNESAND, brun, VF, siltet, sv. leret, sv.kalket	Nej	
5,71				-----LAGGRÆNSE-----		

GEO		FELTJOURNAL				Side 2 af 3		
Projekt No. / Navn	203038, Nykøbing Faltster_Platanvej							
Bor Nr.	B1	Start Dato	2018-10-31	Felttekniker(e)	JFP			
Koordinatsystem	N/A	Øst;Nord	N/A ; N/A	Ref. Pukt	Terræn			
Boringsmetode	Foret tørborring 10"			Kote (sys; z)	; N/A			
Boringsformål	Andet	Und.udstyr	GEOZenita	Projektleder	JEB			
Felt Prøve Beskrivelse / Laggrænser								
	Dybde Fra (m.u.Ref.)	Dybde Til (m.u.Ref.)	Løbe Nr.	Prøve Type	Felt Beskrivelse	Miljø Prøve		
	6,00		3	Pose	KALK, hvid, slabt	Nej		
	8,00		4	Pose	KALK, hvid, slabt, flint ibl.	Nej		
	10,00		5	Pose	KALK, hvid, slabt, flint ibl.	Nej		
	12,00		6	Pose	KALK, hvid, slabt, flint ibl.	Nej		
	14,00		7	Pose	KALK, hvid, slabt, flint ibl.	Nej		
	16,00		8	Pose	KALK, hvid, slabt, flint ibl.	Nej		
	18,00		9	Pose	KALK, hvid, slabt, flint ibl.	Nej		
	20,00		10	Pose	KALK, hvid, slabt, flint ibl.	Nej		
	22,00		11	Pose	KALK, hvid, slabt, flint ibl.	Nej		
	24,00		12	Pose	KALK, hvid, slabt, ibl let hærde zoner og flint	Nej		
	26,00		13	Pose	KALK, hvid, slabt, ibl let hærde zoner og flint	Nej		
Foringsrør								
	Dybde (m.u.Ref.)	Foringsrør Type						
	26,50	10" Foring						
Værktøj anvendt under borearbejdet								
	Værktøj	Dybde Fra (m.o.Ref.)	Dybde Til (m.o.Ref.)					
	Snegl	0,00	14,00					
	Sand Spand	14,00	17,70					
	Snegl	17,70	20,00					
	Sand Spand	20,00	27,00					
Filterrør Negative værdi = over reference punkt / Positive værdi = under reference punkt								
	Filterrør Nr.	Filterrør Type	Filterrør Dim. (mm)	Top Rør (m.u.Ref.)	Bund Rør (m.u.Ref.)	Bund Filter(m)	Filter Længde (m)	Slidse (mm)
	1	PVC	165	-0,47	26,00	26,00	14,00	1,00
Indbyg								
	Dybde Fra (m.u.Ref.)	Dybde Til (m.u.Ref.)	Indbyg Type	Mængde Definition	Mængde			
	0,00	1,30	Dansand 5 (1.40-2.50 mm)	Sække				
	1,30	9,00	Cement/Bentonite (Storebæltsblanding)	Liter				
	9,00	10,00	Bentonit	Sække				
	10,00	10,50	Dansand 0 (0.40-0.80 mm)	Sække				
	10,50	11,00	Dansand 3 (0.90-1.60 mm)	Sække				
	11,00	26,50	Dansand 5 (1.40-2.50 mm)	Sække				

Eksempel på borejournal

Støbejournal

Projekt	nr	201678	Lolland, Maribo
Dato			
Boring	nr	M2	
Boringsdimension	tommer	12	
Filter	mm	0	
Teoretisk volumen	l/m	88	
Støbning	nr	1	2
Støbeinterval 1	m u.t.	41,5	28
Støbeinterval 2	m u.t.	26,0	5,5
Støbeinterval 3	m u.t.	4,5	1,5

Dato	Tid	Blanding	Volumen	Densitet	Viskositet	Pejling efter	Nedpumpet volumen	Teoretisk volumen	Forskel	Prøvestøbning
	kl.	nr	liter	g/cm3	sek	m u.t.	liter	liter		type
		Bund								
22-11-2017	13.00	1	140	1440	31	41,5	140			
		2	140				280			
		3	140				420			
		4	140				560			A og B
		5	140				700			
		6	140				840			
		7	140				980			
		8	140				1120			
		9	140			28	1260	1188	72	
23-11-2017	07.00	10	140	1500	34	26	1400			
		11	140				1540			
		12	140				1680			
		13	140				1820			
		14	140				1960			
		15	140				2100			
		16	140				2240			
		17	140	1480	33		2380			C og D
		18	140				2520			
		19	140				2660			
		20	140				2800			
		21	140				2940			
		22	140				3080			
		23	140			5,5	3220	2992	228	
24-11-2017	07.00	24	140			4,5	3360			
		25	140			1,5	3500	3256	244	

Projekt:	201678	Maribo	Rapport:	1	
Udført af:	jeb	Dato:	2017-11-24	Bilag:	5
					Side 1/1

Geo	Geo København +45 4588 4444	Maribo. Overboring
	Geo Aarhus +45 8627 3111	

Eksempel på støbejournal

Bilag 2. Undersøgelser for utætheder

Undersøgelse af boringskonstruktioner for utætheder

Når eksisterende boringskonstruktioner forårsager, at der sker en forureningsspredning, kan det skyldes en skorstenseffekt, hvor forurening spredes langs med forerør, ind gennem utilstrækkelig og utæt forseglingsmateriale og eventuelt videre gennem utætte samlinger i forerør. For at undersøge, om forureningsspredning sker fra en eksisterende boringskonstruktion, kan forskellige undersøgelser iværksættes. På Figur 1 er de forskellige muligheder for utætheder i ben boringskonstruktion illustreret. I litteraturen er der fundet forskellige eksempler på undersøgelser af boringer, der blev mistænkt for at forårsage forureningsspredning.

I tabel 1 er listet en række metoder, der kan anvendes til at afklare, om der sker en boringsbetinget spredning af grundvand og/eller forurening i en boring. For hver af metoderne er der foretaget en kort beskrivelse af anvendelsen og formål med undersøgelsesmetoderne. I tabel 2 er metoder, som anvendes ifm. boringslogs listet.

TABEL 6. Oversigt over metoder, der kan anvendes til afklaring af, om der sker en boringsbetinget forureningsspredning.

Metoder som ikke indebærer boringslog	Metode og formål
Sporstofforsøg	Sporstof anvendes til at påvise forureningsspredning mellem forskellige geologiske lag/magasiner. Sporstof tilføres ét magasin eller ét filter og monitoreres i et andet geologisk lag eller filter. Metoden kan kun anvendes i en boring med multipel filtersætning. Lækager forårsaget af utætte samlinger og/eller utilstrækkelig forsegling kan påvises ved vandprøvetagning af det magasin, som mistænkes at være forurennet pga. utætheder i boringskonstruktionen. Det anvendte sporstof bør ikke have negativ påvirkning på boringens konstruktion. Salte bør anvendes med forsigtighed, da de kan påvirke forseglingsmaterialers hydrauliske egenskaber. Fluorescerende sporstoffer kan anvendes. Vandprøvetagning kan foregå ved ordinær udtagning af vandprøve fra filter og efterfølgende analyse for sporstof. Alternativt kan sporstoffet prøvetages ved passiv opsamling i specifikke dybder i en vandsøjle i et filter. Herved kan sporstoffets indsigning i specifikke dybder muligvis afsløres. Prøvetagningen kan planlægges at foregå i flere forskellige monitoringsrunder, så et evt. gennembrud af sporstof kan påvises. Tidspunkt for påvisning af sporstof i vandprøverne, kan evt. sammenlignes med beregninger på naturlig gennemstrømningstid mellem de to undersøgte geologiske lag/magasiner.
Slugtest	Ved at udføre en slugtest i en boring, som mistænkes for at være utæt, kan det afgøres, om der pga. utætheder er hydraulisk kontakt mellem to adskilte akviferer. Der tilføres vand til boringen, så vandspejlet hæves. Herefter logges vandspejlet over tid. Resultaterne plottes, så det hydrauliske tryk plottes mod hastigheden. Hvis der ikke observeres en lineær kurve over hele forsøgets længde, så tyder resultaterne på, at der er en boringsbetinget lækage mellem de to undersøgte akviferer.
Volumenpumpning	En volumenpumpning foretages fra det magasin, som mistænkes for at være forurennet pga. en boringsbetinget lækage fra et andet geologisk

	lag/magasin. Mistanken kan f.eks. være, at der efter få år fra borings-etablering ses en markant stigning i forureningsniveauet i boringen. Der udtages vandprøver over tid i løbet af volumenpumpningen. Analyse af vandprøverne vil afsløre, om forureningsniveauet er nogenlunde stabilt eller om volumenpumpningen vil nedbringe forureningsniveauet. I tilfælde af, at volumenpumpningen kan nedbringe forureningsniveauet, vil der højst sandsynligt være tale om en boringsbetinget lækage, idet det faldende forureningsniveau i løbet af volumenpumpningen er udtryk for, at det højere forureningsniveau kun befinder sig lokalt rundt om filteret, som der pumpes fra. Det betyder altså, at den omgivende formation er uforurenet eller har et lavere forureningsniveau, og at kilden til det højere forureningsniveau skal findes lokalt ved boringen.
Indsivningstest/Packer-test	Ved at installere en eller flere packere over et filter i et boringsforerør, kan det ved logning af vandspejlet over packeren, afsløres, om der siver grundvand ind i forerøret gennem utætte samlinger eller en utæt boringsafslutning. Det skal sikres, at packeren holder trykket, evt. med konstant kompressor-tilslutning, således, at packeren bevarer sin virkning og ikke tillader grundvand fra magasinet i at sive op over packeren. Packertesten kan evt. kombineres med en simpel videolog.
TV-inspektion	Visuel inspektion af en borings indvendige tilstand. Kan udføres med et kamera, der eventuelt har både vertikal og horisontal roterbar linse. Er specielt anvendelig over vandspejlet men kan også anvendes under vandspejlet, hvis sigtbarheden i vandet tillader det. Kan alternativt kombineres med en packer, som tillader, at vandsøjlen over packeren kan pumpes væk. Tv inspektion kan ikke afsløre tilstanden af forseglingen og/eller transport på ydersiden af forerørene.
Trykprøvning	En trykprøvning af en boring kan udføres på tilsvarende vis, som det udføres for andre ledningssystemer. Udføres ved at placere en packer i bunden af forerøret samtidig med der fastspændes en tæt flange på forerørets/forerørets top, hvorefter der sættes tryk på. Såfremt der ved trykprøvningen observeres trykfald, så skyldes det en utæthed i boringskonstruktionen. Packeren skal selvfølgelig testes og holdes tæt under forsøget.

TABEL 7. Oversigt over log-typer, som kan anvendes ved en boringslog – dvs. ved at føre forskellige sonder ned i boringens forerør ifm. afklaring af, om der sker en boringsbetinget forureningsspredning.

Forskellige typer af boringslogs

Sondetype (forkortelse)	Over/under vsp	Beskrivelse/ Formål med log
Gamma - log	Over + under vsp	Gammaloggen kan anvendes gennem både foring af plast og stål. Loggen viser den naturlige gamma stråling fra alle de forskellige materialer, der omgiver sonden, dvs. den genemborede geologi, boremudder, gruskastning og forseglingsmaterialer. Lermaterialer indeholder et relativt højt indhold gammastråling, og derfor kan bentonitpropper lokaliseres. Tætheden af en bentonitprop kan ikke afgøres med gammalog. Men områder med manglende forsegling/bentonit kan identificeres og lokaliseres.
Kaliber-log	Over + under vsp	Loggen udføres med mekaniske arme, som måler borehullets diameter. I åbne borer identificeres hårde og bløde geologiske lag. Ved måling i forede borer kan blind- og fil-

		terrørets indre diameter ses og variationer vil indikere aflejringer, huller, forskydninger mv. Loggen kan i en vis grad anvendes til verifikation af forerørets samlinger. Kan udføres i åbne borer og i plastforede borer men kan ikke anvendes i stålforede borer. Loggen viser materialer med elektromagnetiske egenskaber. Eksempler er værktøj eller skruer/møtrikker, som er tabt ned i borer eller forerør (dvs. før filtersætning). Loggen kan ofte undværes, hvis der udføres gammalog.
Elektromagnetisk induktion	Over + under vsp	
Optisk televiewer Inklusiv inklination og azimuth Boringens hældning fra lodret. Azimut er hældningsretningen.	Over + under vsp	Den optiske televiewer viser et 360° kontinuert orienteret optisk billede af borehulsvæggen /forerøret vha. et CCD-kamera, som optager et digitalt billede af borehullets refleksion i et konisk spejl. Formålet er at kunne vise 360° graders fotos ned gennem boreren sammen med de øvrige data. Fotos kan orienteres mod nord, hvilket styrker logtolkningen væsentligt.
Akustisk televiewer	Under vsp	Akustiske logs danner fotos af borehullet ved at transmittere ultralyd fra en piezoelektrisk transducer, som bliver reflekteret ud på borehulsvæggen vha. et roterende akustisk spejl. Ved anvendelse af akustisk televiewer kontrolleres boringskonstruktionen bag forerøret men samlinger på forerør kan også ses. Dvs. at loggen bl.a. kan vise, om der er forseglings eller ej bag forerøret. Data leveres som logkurver og 360° digitale billedfiler orienteret i forhold til magnetisk nord.
Temperatur- og salinitetslogs	Under vsp	Temperatur- og salinitetslogs kan anvendes i åbne borer samt i borer med forerør. I borer med forerør anvendes temperatur- og salinitetslogs til at belyse utætheder i forerøret (også dem der ikke er synlige som aflejringer), som i nogle tilfælde afsløres som halokliner (saltspringlag) og termokliner (temperatur-springlag) på loggene.
Formations resistivitet	Under vsp	Metoden anvendes til at belyse utætheder. Ved fokuseret formations resistivitet driver sonden en elektrisk strøm på tværs af boringsvæggen, hvilket ikke lader sig gøre, så længe loggen udføres i et tæt plastrør. Dog vil en utæt samling, gennemboret skrue (skrue blev anvendt i samlinger tidligere), filterslidse, revne eller lignende, give et udslag på loggen.
Heat Pulse Flow Meter	Under vsp	Punktvise målinger af lodret strømning i en boring (når der ikke pumpes). Metoden kan med held afsløre meget små lodrette strømme. Metoden har større følsomhed end den tidligere anvendte propel flow-sonde, og Heat Pulse flow meteret kan derfor måle strømningshastigheder ned til 10 cm/min.
Ultralydsmåling	Under vsp, eller mellem vandfyldte packere	Punktvise målinger med ultralyd ud gennem forerørs-væggen og forseglingen. Energimønsteret fra målingen analyseres og sammenlignes med mønstrene fra luft og vand. Kan detektere sprækker mellem forerør og forseglings samt inhomogeniteter i forseglingen på 1-2 cm.

Bilag 3. Best Practice - Feltmanual



Best Practice Feltmanual

Forsøg af miljø- og
geotekniske borer
samt sonderinger

VERSION 1

December 2021



Indholdsfortegnelse

1	Indledning	3
2	Stabilisering af borehullet	3
3	Bore-/filterrørdimensioner	3
4	Samlinger	4
5	Filterstyr	4
6	Etablering af fore- og filterrør	5
7	Valg af forseglingsmateriale og procedure for etablering af forsegling	6
8	Bentonitpellets	6
9	Grout	8
10	Sløjfning af filtersatte boringer	10
11	Sløjfning af ikke filtersatte boringer	10
12	Sløjfning af sonderinger	10
13	Sløjfning ved overboring og udstøbninger	10
14	Dokumentation af arbejdet	10
15	Eksempler på boringsopbygninger	11
16	Definitioner	16

BILAG 1: Eksempel på borejournal og støbejournal

1 Indledning

Der er i de seneste år konstateret utætheder i en del eksisterende filtersatte borer, hvorfor det vurderes, at der er et behov for, at der kommer et større fokus på, hvordan der fremadrettet kan etableres tætte boreringskonstruktioner.

Formålet med nærværende Best Practice feltmanual er at give konkrete anvisninger til, hvorledes der fremadrettet bedst muligt kan sikres mod boreringsbetinget transport af vand og forurening mellem forskellige geologiske lag og grundvandsmagasiner ved etablering og sløjfning af borer og sonderinger.

Feltmanualen beskriver de procedurer, der anbefales anvendt ved arbejdet med forsegling og sløjfning af geotekniske og miljøtekniske borer og sonderinger. Vejledningen er således primært rettet mod tørboringer med anvendelse af borerør.

Feltmanualen er baseret på et udtræk af informationer fra hovedrapporten "Best Practice, Forsegling af borer og sonderinger, Version 2 2021. En stor del af de beskrevne forhold, procedure og anbefalinger er uddybet i hovedrapporten.

2 Stabilisering af borehullet

Det anbefales altid at anvende borerør under arbejdet.

Dette er nødvendigt for at kunne etablere en kontrolleret filtersætning med en god tæt forsegling samt at imødegå krydskontaminering via boringen.

Ved boring i usprækket eller lettere opsprækkede bjergarter, herunder kalk er det ikke nødvendigt at anvende borerør.

Tilsættes der vand for at stabilisere borehullets bund, skal det sikres, at der altid anvendes rent ledningsvand.

Undgå at føre boreredskabet dybere end borerørene for at undgå indfald af materiale efter tilbagetrækningen af boreredskabet. Sker det, vil der være risiko for, at der kan dannes hulrum på ydersiden af boringen, hvorved der vil være forøget risiko for kortslutning af flere magasiner og krydskontaminering ved nedfald af blandede lag.

3 Bore-/filterrør dimensioner

Indvendig diameter af borerør skal være mindst 70 mm større end udvendig diameter af forerør.

Tabellen nedenfor viser en oversigt med de mest anvendte boredimensioner, og hvilken filter-/forerør dimension, der maksimalt anbefales anvendt ved etablering af glatskruede- eller mufferør i boringen.

Tabel 3-8 Eksempler på anbefalede maksimale filterdimensioner, hvis det skal sikres, at der er rigeligt plads til forseglingsmaterialer. Den aktuelle dimension af borerør kan variere og filtersætningen skal derfor altid vurderes i forhold til den aktuelle diameter på de anvendte borerør, således af annulus bliver mindst 35 mm.

Borerør		Filterdimension	
Tommer	mm	mm	mm
		Glatskruet	Mufferør
4	97	27	-
6	148	75	63
8	200	125	113
10	248	165	165
12	299	225	195

4 Samlinger

- Anvend så tætte samlinger som muligt og helst RSC-samlinger.
- Anvend gummipakninger "O-ringe" i gevindsamlinger.
- Anvend ikke skruer i samlinger.
- Anvend ikke lim i samlinger i miljøboringer.

RSC samling:

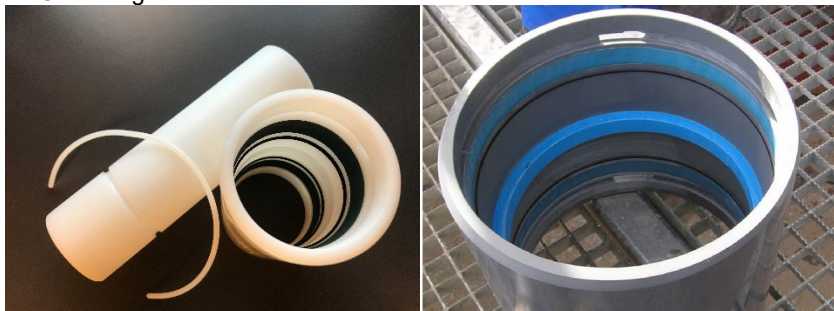


Fig. 4.1 RSC samling



Fig. 4.2 Gevindsamling med tætningsring.

5 Filterstyr

- Anvend styr på forerør pr. maksimalt 5 m i borer dybere end 5-10 m afhængigt af dimension og stivhed af rør.
- Multifiltre (eks. CMT) skal altid etableres med styr, eftersom rørene naturligt krummer, grundet at de har været rullet op før de installeres.
- Anvendes pellets til forsegling samtidig med brugen af styr, skal der være særlig opmærksomhed på at disse ikke danner prop.

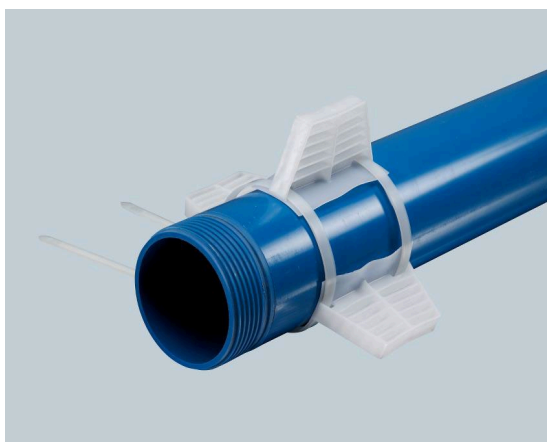


Fig. 5.1. Eksempler på filterstyr

6 Etablering af fore- og filterrør

- Sæt kun ét filter-/forerør i hver boring.
- Det skal tilstræbes at der ikke etableres samlinger i den øverste 1,5 meter.
- Brug så lange forerør som muligt for at minimere antallet af samlinger.
- Placer om muligt rørsamlinger i lerlag og ikke i sandlag, da det optimerer forholdene for at etablere en tæt forsegling ved rørsamlinger.
- Anvend en tæt prop i forerøret – eksempelvis en ekspanderende, låsbar prop "kaffeprop".

Eksempel på optimal placering af samlinger i forhold til geologi – til højre optimal løsning:

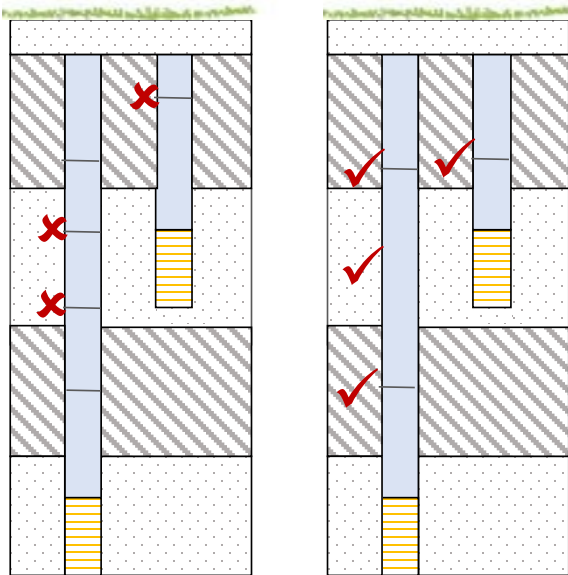


Fig. 6.1. Eksempel på optimal placering af samlinger i forhold til geologi – til højre optimal løsning.

Figurene illustrerer ét filter i én boring

7 Valg af forseglingsmateriale og procedure for etablering af forseglingen

Afpropning eller forsegling af en boring udføres for at hindre eller reducere en lodret strømning af vand ind til forerøret eller langs en borings forerør; enten fra overfladen ved boringsafslutningen eller mellem forskellige grundvandsmagasiner. Forseglingen udføres ved at opfylde og dermed forsegle hulrummet (annulus) mellem forerør og boringsvæg med et lavpermeabelt materiale.

Der er basalt beskrevet 2 hovedtyper af forseglingsmaterialer

1. bentonit- (ler-) baserede
2. cementbaserede

De bentonit-baserede materialer anvendes hovedsagelig som pellets. Cementbaserede materialer anvendes som grout enten af ren cement eller med iblanding af bentonit eller sand. I tabel 7-1 er vist hvilke materialer, der kan anvendes under forskellige geologiske forhold.

Tabel 7-1 Forskellige forseglingsmaterialer anvendelse i forskellig geologi i forbindelse med tørboringer. X angiver at materialet kan anvendes.

Jordart	Pellets	Grout
SAND, umættet	X ¹⁾	X
SAND, mættet		X
LER, over trykniveau	X	X
LER, under trykniveau	X	X
KALK	X	X

¹⁾ Kræver omhyggelig procedure ved udførelsen

- Ved anvendelse af grout etableres en overgang mellem filtergrus og groutforsegling af først 0,5 m fint sand og så 0,2 m pellets.
- Gruskastningen i en boring sætter sig over tid 10%. Ved lange filterstækninger kan eventuelt foretages en pumpning for at få gruskastningen til at sætte sig inden forseglingen af boringen udføres.
- Anvend så tætte forseglingsmaterialer som muligt.
- Anvend forsegling langs hele forerørsstrækningen – Både i ler og i sand.

8 Bentonitpellets

Anvend altid en god kvalitet bentonitpellets. Eksempler på typer af pellets der lever op til kvalitetskrav, er eksempelvis Dantoplug Super og Mikolit B.

Bentonitpellets kan anvendes:

- såvel over som under grundvandsspejlet/trykniveauet i ler og andre stabile aflejringer som ikke falder sammen når borerørene trækkes tilbage
- i både hårdt og blødt vand samt i boremudder
- i umættet sand, men det kan være noget omstændeligt eller tidskrævende at anvende korrekt.
- Bentonitpellets kan ikke anvendes:
 - i sand under grundvandsspejlet samt i ikke stabile aflejringer
 - saltholdigt grundvand
 - i forurenings hot spots med chlorerede opløsningsmidler.

I de tilfælde, hvor pellets ikke kan anvendes, anbefales det at forsegle med en cementrig grout.

Anbefalinger for brug af pellets

- I stabile aflejringer hvor borerøret kan trække borerøret op, uden at der sker indfald af materiale fra boringens sider, kan pellets anvendes som forseglings såvel under som over grundvandsspejlet/trykniveauet.
- Hvis aflejringerne ikke er stabile, som f.eks. sand under grundvandsspejlet, vil boringens sider falde ind i boringen, når borerøret trækkes op, og forseglingen kan ikke udføres. Pelletsforsegling kan således ikke anvendes i ikke stabile aflejringer, eksempelvis sand under grundvandsspejlet.
- Ved etablering af pelletsforsegling over grundvandsspejlet skal der tilføres vand til boringen, så der er vand til rådighed for opkvældningen.
- Når pellets anvendes til forsegling under vandspejlet, er det vigtigt, at forseglingen udføres i etaper, hvor man starter med at trække borerøret et stykke op.
 - › Herefter fyldes den fritlagte strækning i boringen med pellets og således fortsættes til forseglingen er udført. Det er således et krav for anvendelsen af pellets, at boringens sider bliver stående så længe, at pellets kan komme på plads i den fritlagte nederste strækning af boringen.
 - › Hvis pellets kommer for højt op og lejr sig inde i borerøret, er der risiko for at pellets blokerer mellemrummet mellem borerør og det installerede forerør, hvorefter man risikerer at trække forerøret med op, når borerøret efterfølgende trækkes.

- Umættet sand er påvirket af kappilarkræfter og er i de fleste tilfælde stabilt selvom borerøret trækkes et stykke op, i hvert fald kortvarigt.
 - › I umættet sand er det dermed ofte muligt at anvende pelletsforsegling, idet borerøret trækkes f.eks. en meter op, der fyldes pellets i den åbne strækning op til underkant af borerøret og så fremdeles.
 - › Efter hver tilbagetrækning/tilfyldning af pellets tilføres vand. Det tilførte vand, vil i første omgang fugte pellets, idet hovedparten vil strømme gennem pellets og ud i formationen eller ned i filterkastningen. Derfor tilføres vand etapevis svarende til ca. 200 liter vand i timen til hele forseglingen er etableret.
 - › Ca. 15 min efter installeringen af det første lag pellets er disse kvældet op, og har forseglet mellemrummet mellem forerør og boringsvæg.
 - › En opkvældet forsegling med pellets i umættet sand vil ikke efterfølgende tørre ud selv ved længere tids tørke, idet fugtigheden i sandet vil forhindre forseglingen i at udtørre.
- Pellets skal hældes langsomt direkte i boringen, ca. 3 minutter pr. 25 kg.
- Bentonitpellets bør ikke kastes gennem mere end 50 m vand.

9 Grout

Grout til forsegling af borerer er basalt opslæmninger af cement og vand, som kan være tilsat et varierende indhold af bentonit og/eller sand. Cementtypen er ikke afgørende. Det kan være almindelig Portland cement eller rapidcement. Bentonittypen har derimod stor betydning for blandingsforholdet og egenskaberne af grouten. En bentonit med stort indhold af svellende ler (smectit) kræver mere vand, hvilket betyder, at man får en grout med en lavere densitet ved samme procentvise indhold af bentonit.

Eftersom forskellige typer af særlig bentonit giver grouten forskellige egenskaber, så kan der ikke angives universelle opskrifter på grout. Tabellen nedenfor giver konkrete eksempler på forskellige blandingsforhold af bentonit, cement, sand og vand, som er testet, og har de egenskaber som ønskes for en grout.

Groutblandinger G1 til G4 er baseret på Dantonits produkter, som anvendes til deres færdigblandede groutprodukter. G3 blandingen svarer til Dantonits CEM100. Groutblandingerne BC1 og BC2 ("Storebæltsblanding" er Roteks standardblandinger for grout.

Tabel 9-1. Anvendelige groutblandinger. Opskrifterne svarer til 100 liter grout

Nr.	Navn	Bentonit	Cement	Sand	Vand
		kg	kg	kg	kg
G1	Ren cement	0,0	122,0	0,0	61,0
G2	Ren cement og sand	0,0	97,0	48,5	48,5
G3	75% cement, 25% bentonit	15,5	46,6	0,0	80,9
G4	50% cement, 50% bentonit	24,2	24,2	0,0	82,6
BC1	39% cement, 61% bentonit	58,4		0,0	78,6
BC2	83% Cement, 17% bentonit	100,0		0,0	60,0

- Grout kan anvendes i alle typer borerer og alle jordlag, dog kan forekomme tab af grout i stærkt sprækket kalk, hvor tilsætning af sand ofte kan reducere tabet.
- Bland grouten så tykflydende som muligt, idet grouten skal kunne flyde sammen i hele det udstøbte volumen. Grouten skal dog være pumpbar og ikke være så tyk, at den ikke flyder sammen til en sammenhængende masse nede i boreren.
- Ved pejling af groutoverfladen skal det kontrolleres, at den anvendte mængde grout passer med det volumen, der er blevet forseglet.
- Ved en for tynd groutblanding, er der risiko for groutblandingen siver ud i den omkringliggende formation, hvorved groutforbruget bliver større end det teoretiske volumen.
- Blandemetode fra håndholdt udstyr til blandemaskine har ingen betydning, blot der blandes grundigt. Valg af udstyr afhænger af den mængde, der skal udstøbes
- Grout pumpes altid ned gennem tremie-rør/slange, som hele tiden holdes dykket under groutoverfladen. Pumpetype kan være stempelpumpe, excenter snekepumpe eller membranpumpe.
- Støb maksimalt 25 m groutforsegling ad gangen inden afhærdning.

- Ved skylleboringer eller artesiske forhold skal der vælges en grout med højt cementindhold (høj vægtfylde).
- Anvend helst færdige groutblandinger. Herved mindskes risikoen for forkert blandingsforhold. Ved anvendelse af færdige groutblandinger, skal der anvendes hele sække.
- Grout, som er blandet i henhold til tabel 9-1 kan udstøbes direkte oven på en filterkastning, men det anbefales at der etableres et lag af fint sand på 0,5 m og en prop af pellets på 0,2 m over filterkastningen for en sikkerheds skyld.
- Der kan støbes direkte oven på pelletsforsegling umiddelbart efter etablering af denne.
- Vedhæftningen af grout til forerør er bedst til forerør af PVC i forhold til PEH.
- Pejling af groutoverfladen kan udføres med en ledningsevnesonde monteret på et målebånd. Alternativt kan der hældes en mindre portion pellets oven i støbningen, og overfladen af denne kan registreres med et almindeligt bundpejl.
- Ved forseglinger over grundvandsspejlet med et annulus tykkere end 10 cm er der risiko for en varmepåvirkning, der kan påvirke stabiliteten af forerøret.

10 Sløjfning af filtersatte boringer

- Afpropningen med forseglingsmateriale skal foretages i hele forerørets dybde.
- For at sikre en så god afpropning af de sløjfede boringer som muligt, anbefales filterinterval og forerør altid afpropet med grout eller pellets. Grout tilføres til boringen via rør fra bunden og op. Grouten skal have en viskositet, hvor det sikres, at grouten forbliver i filteret og ikke siver ud i formationen. Pellets skal tilføres et overskud af vand under arbejdet.
- Forerøret afkortes 1 meter under terræn. Den øverste meter opfyldes herefter med rene materialer svarende til de tilstødende materialer i form af sand, grus eller råjord, samt evt. retablering af belægning.

11 Sløjfning af ikke filtersatte boringer

- Forsegling skal foretages i hele boringens dybde, idet der i den øverste 0,5-1 meter opfyldes med rene materialer svarende til de tilstødende materialer i form af sand, grus eller råjord, samt evt. retablering af belægning.
- Som forseglingsmateriale kan anvendes grout eller pellets. Grout fyldes i hullet via rør fra bunden og op. Grouten skal have en viskositet, hvor det sikres, at grouten forbliver i borehullet og ikke siver ud i formationen. Pellets skal tilføres et overskud af vand under arbejdet.

12 Sløjfning af sonderinger

- Forsegling foretages i hele sonderingens dybde, idet der i den øverste 0,5-1 meter opfyldes med rene materialer svarende til de tilstødende materialer i form af sand, grus eller råjord, samt evt. retablering af belægning.
- Som forseglingsmateriale anbefales altid anvendt grout, som fyldes i hullet via rør fra bunden og op. Grouten skal have en viskositet, hvor det sikres, at grouten forbliver i borehullet og ikke siver ud i formationen.

13 Sløjfning ved overboring og udstøbning

- Overboring af forerøret sker med borerør med en større dimension borerør end det der blev anvendt i den oprindelige boring. Materialet imellem borerøret og forerøret bores op og bortskaffes. Herefter foretages der en forsegling af det nye hul udstøbes med grout eller pellets. Grout tilføres til hullet via rør fra bunden og op. Grouten skal have en viskositet, hvor det sikres, at grouten forbliver i hullet og ikke siver ud i formationen. Pellets skal tilføres et overskud af vand under arbejdet. Den øverste meter opfyldes med rene materialer svarende til de tilstødende materialer i form af sand, grus eller råjord, samt evt. retablering af belægning.

14 Dokumentation af arbejdet

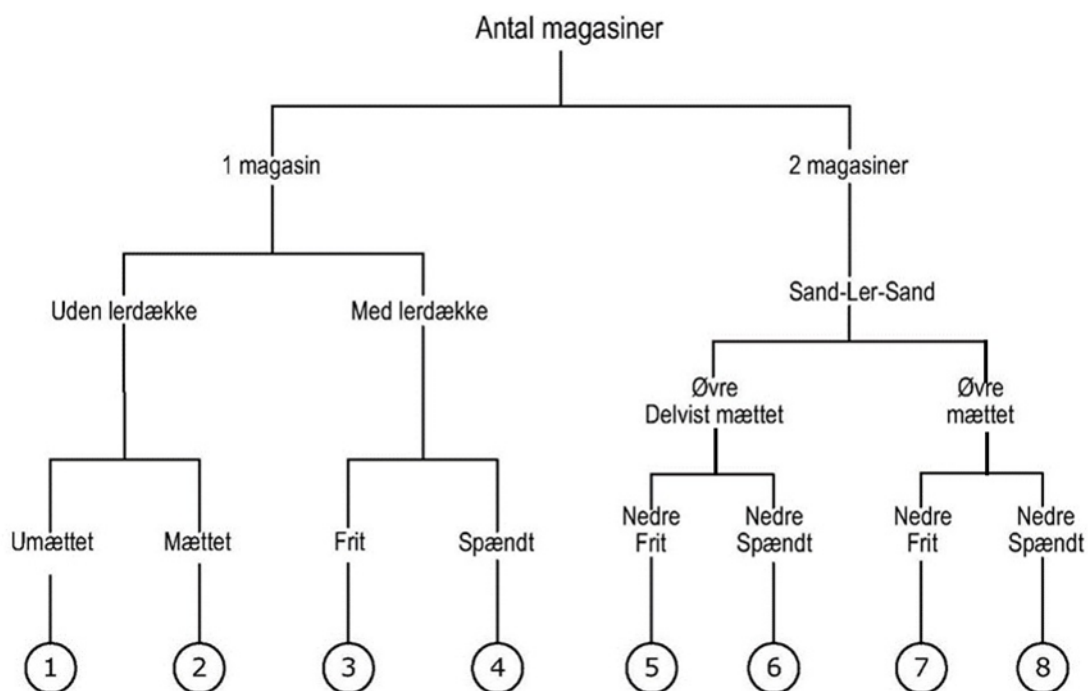
Alt arbejde i relation til etablering af boringer, filtersætning, forsegling, overboring og sløjfning skal beskrives og dokumenteres i form af borejournal, filtersætningsjournal samt støbe- og sløjfningsjournal.

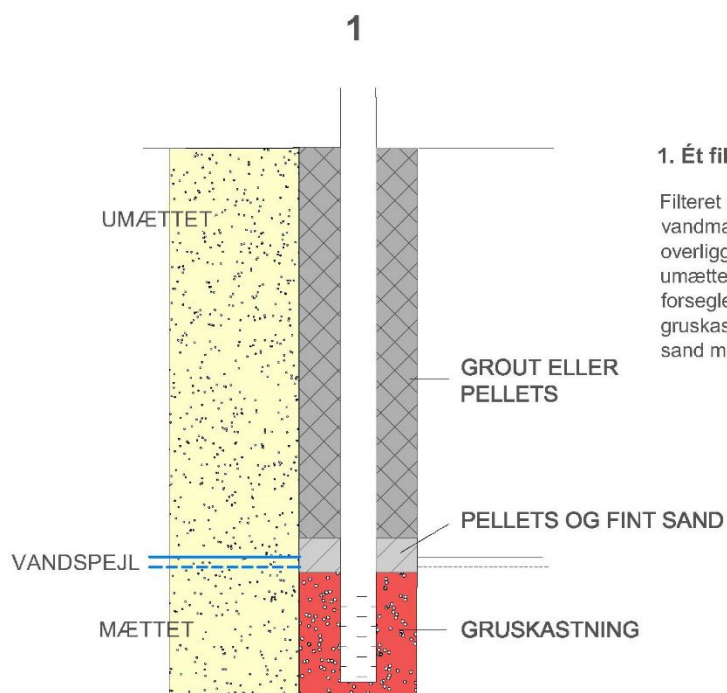
Der henvises til bilag 1 med eksempler på de forskellige journaler.

15 Eksempler på boringsopbygninger

I det følgende er der givet en række eksempler på mulige forseglinger i forbindelse med tørboringer i forskellige situationer med forskellig geologi og hydrogeologi, eksempel 1-8. Umiddelbart kan eksemplerne virke komplekse, men det skyldes, at der i mange situationer kan vælges mellem forsegling med grout eller med pellets. Kun i vandmættet sand SKAL der anvendes grout, der ellers kan anvendes i alle situationer.

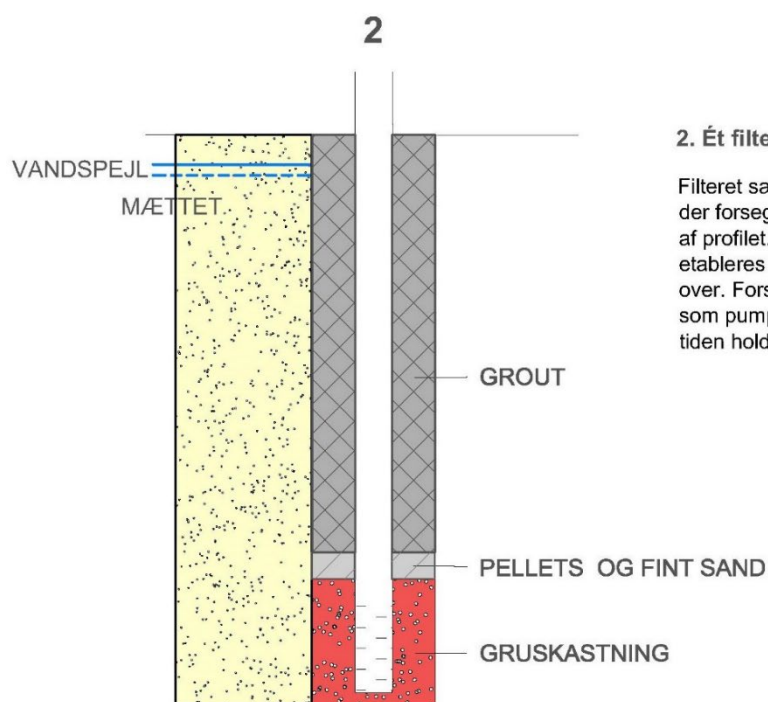
For alle boringsafslutninger gælder det, at der i forbindelse med boringsafslutningen, i de øverste ca. 1 meter skal afsluttes med sand, så overfladevand ikke opstaves i boringsafslutningen, men derimod kan løbe af til den omkringliggende jord. Dette er ikke vist på de følgende skitser, men gælder for dem alle.





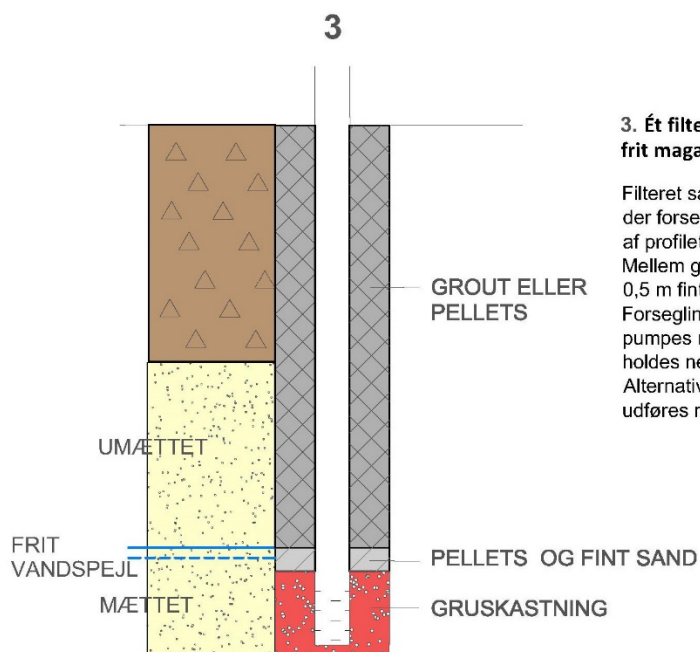
1. Ét filter, ét magasin, SAND, umættet

Filteret sættes i den øverste del af det vandmættede magasin, og der forsegles i den overliggende umættede del af profilet. Den umættede del af profilet over filterkastningen forsegles med grout eller pellets. Mellem gruskastning og forsegling etableres 0,5 m fint sand med 0,2 m pellets over



2. Ét filter, ét magasin, SAND, mættet

Filteret sættes i det vandmættede magasin, og der forsegles i den overliggende mættede del af profilet. Mellem gruskastning og forsegling etableres 0,5 m fint sand med 0,2 m pellets over. Forseglingen herover udføres med grout, som pumpes ned gennem tremierør, som hele tiden holdes neddykket under groutoverfladen.



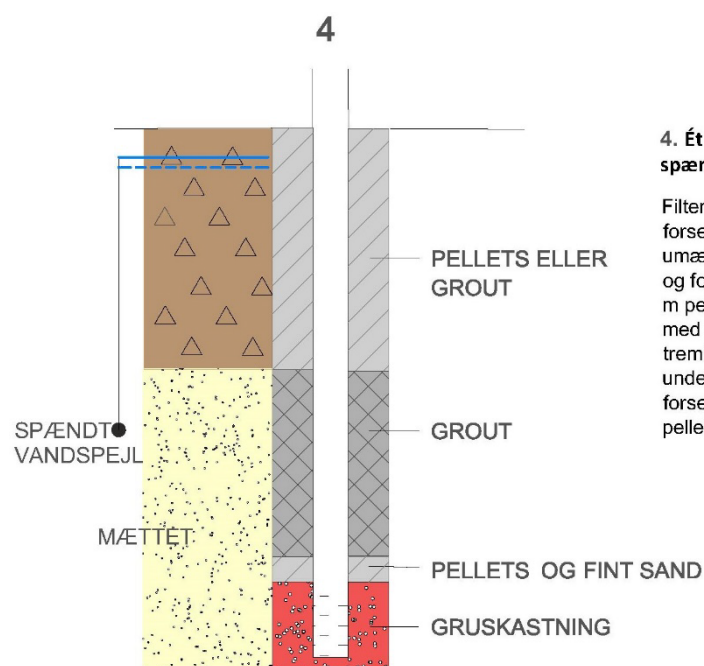
3. Ét filter, ét magasin, LER over SAND, frit magasin

Filteret sættes i det vandmættede magasin, og der forsegles i den overliggende umættede del af profilet.

Mellem gruskastning og forsegling etableres 0,5 m fint sand med 0,2 m pellets over.

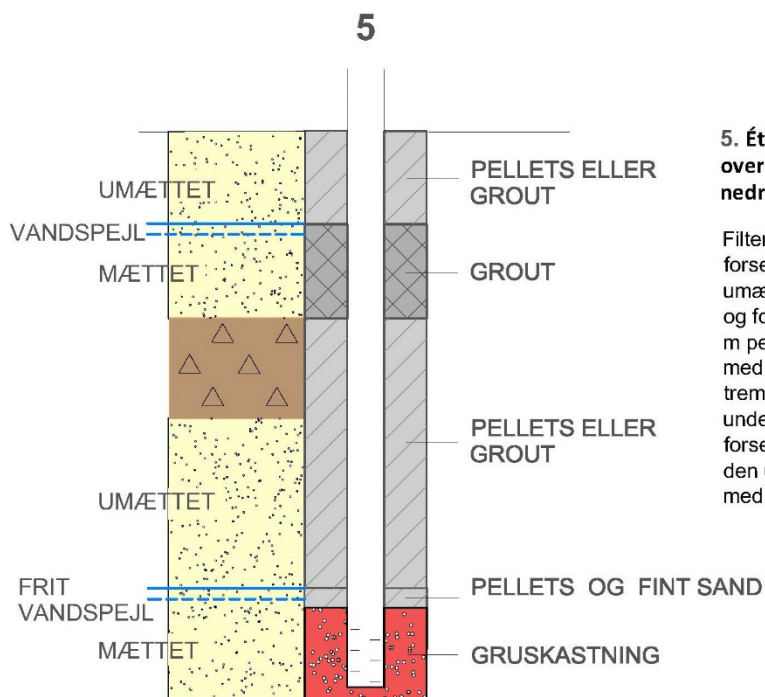
Forseglingen herover udføres med grout, som pumpes ned gennem tremierør, som hele tiden holdes neddykket under groutoverfladen.

Alternativt kan forseglingen helt eller delvist udføres med pellets.



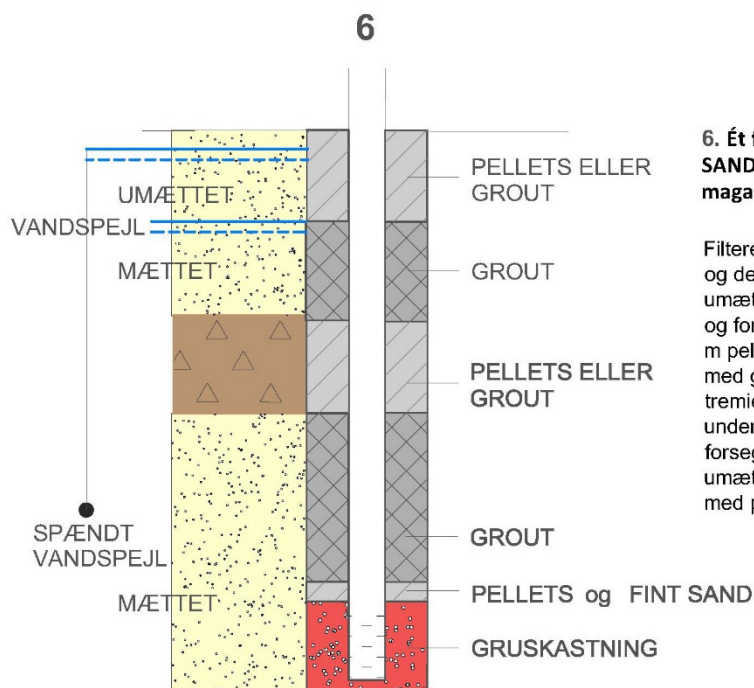
4. Ét filter, ét magasin, LER over SAND, spændt magasin

Filteret sættes i det spændte magasin, og der forsegles i den overliggende mættede og umættede del af profilet. Mellem gruskastning og forsegling etableres 0,5 m fint sand med 0,2 m pellets over. Forseglingen herover udføres med grout, som pumpes ned gennem tremierør, som hele tiden holdes neddykket under groutoverfladen. Alternativt kan forseglingen ud for lertaget udføres med pellets.



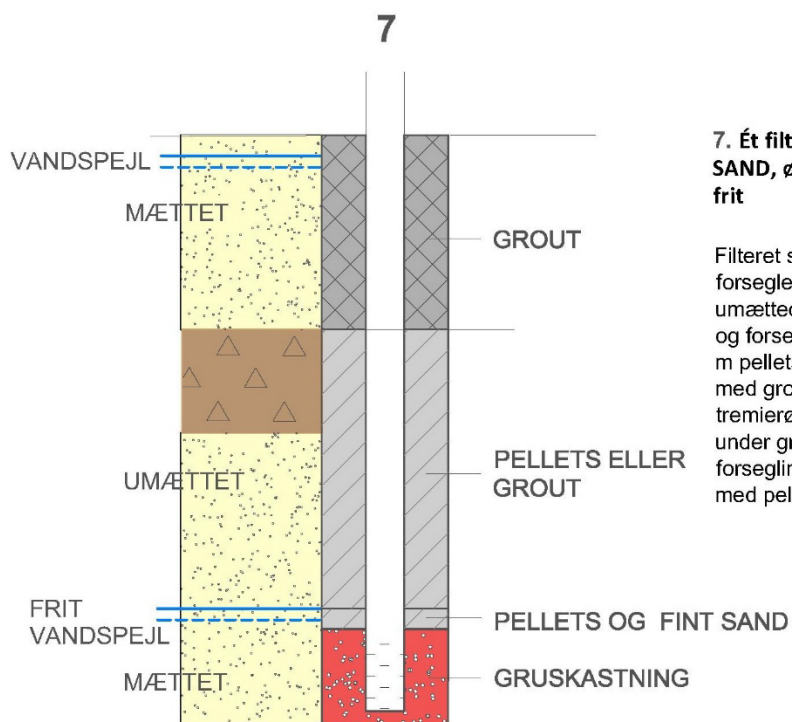
5. Ét filter, to magasiner, SAND over LER over SAND, øvre magasin delvist mættet, nedre magasin frit

Filteret sættes i det nedre frie magasin, og der forsegles i de overliggende mættede og umættede dele af profilet. Mellem gruskastning og forsegling etableres 0,5 m fint sand med 0,2 m pellets over. Forseglingen herover udføres med grout, som pumpes ned gennem tremierør, som hele tiden holdes neddykket under groutoverfladen. Alternativt kan forseglingen op til oversiden af lerlaget, samt den umættede del af det øvre magasin udføres med pellets.



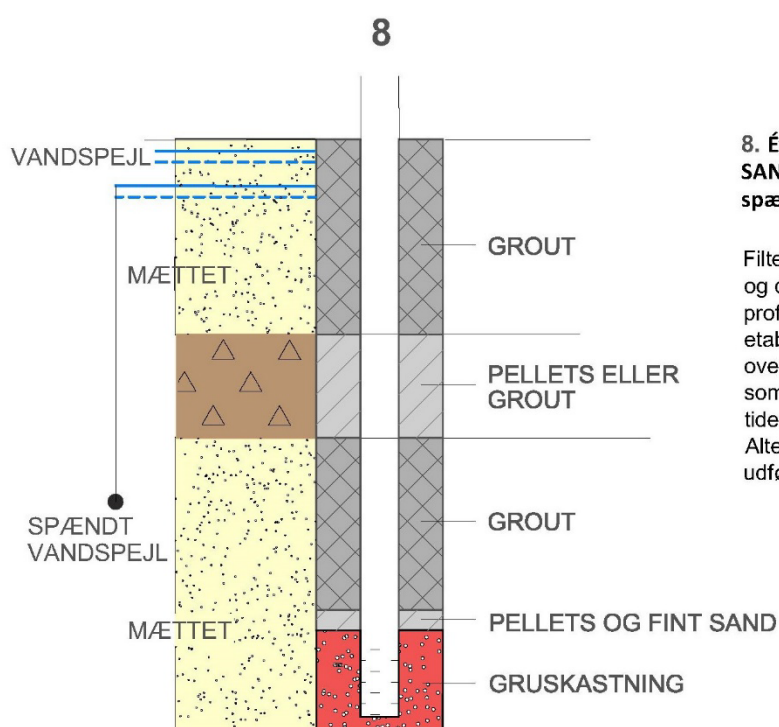
6. Ét filter, to magasiner, SAND over LER over SAND, øvre magasin delvist mættet, nedre magasin spændt

Filteret sættes i det nedre spændte magasin, og der forsegles i de overliggende mættede og umættede dele af profilet. Mellem gruskastning og forsegling etableres 0,5 m fint sand med 0,2 m pellets over. Forseglingen herover udføres med grout, som pumpes ned gennem tremierør, som hele tiden holdes neddykket under groutoverfladen. Alternativt kan forseglingen ud for lerlaget, samt den umættede del af det øvre magasin udføres med pellets.



7. Ét filter, to magasiner, SAND over LER over SAND, øvre magasin mættet, nedre magasin frit

Filteret sættes i det nedre frie magasin, og der forsegles i de overliggende mættede og umættede dele af profilet. Mellem gruskastning og forsegling etableres 0,5 m fint sand med 0,2 m pellets over. Forseglingen herover udføres med grout, som pumpes ned gennem tremierør, som hele tiden holdes neddykket under groutoverfladen. Alternativt kan forseglingen op til oversiden af lerlaget udføres med pellets.



8. Ét filter, to magasiner, SAND over LER over SAND, øvre magasin mættet, nedre magasin spændt

Filteret sættes i det nedre spændte magasin, og der forsegles i den overliggende del af profilet. Mellem gruskastning og forsegling etableres 0,5 m fint sand med 0,2 m pellets over. Forseglingen herover udføres med grout, som pumpes ned gennem tremierør, som hele tiden holdes neddykket under groutoverfladen. Alternativt kan forseglingen ud for lerlaget udføres med pellets.

16 Definitioner

Annulus	Hulrummet/afstand fra borerør til filterstammen
Borerør	Midlertidigt arbejdsrør af stål som skal holde på jordlagene og hindre nedsivning af vand/forurening under etableringen af boringen.
Boringsafslutning	Dæksel eller flange anbragt over/omkring top af forerør med henblik på beskyttelse mod nedsivning af overfladevand, trafik etc.
Bentonit	Plastisk ler med et højt indhold af lerminerale fra smectitgruppen, der giver leret evnen til at kvælde ved tilsætning af vand. Denne evne skyldes lermineraleernes krystalstruktur, der har en lagvis opbygning, og som kan binde vand mellem disse lag (dobbeltslaget).
Brodannelse	Forseglingsmateriale, som under installationen hæfter til samlinger og styr inden det er kommet på plads i boringen, og som derfor medfører en ufuldstændig forsegling.
Filterrør	Rør med slidser, der tillader vand fra det vandførende lag at strømme ind i boringen.
Forerør	Rør, der forbinder toppen af filterrøret med boringens overbygning og tjener til at afstive de omkringliggende jordlag. Blindrør er en anden normal benævnelse for disse rør.
Forsegling	Pakning af materiale med lav hydraulisk ledningsevne mellem forerør og omgivende jordlag for at hindre vandtransport langs forerørets yderside fra terræn eller mellem magasiner.
Forseglingsmateriale	Materiale som anvendes til forseglinger. Typisk bentonit-baserede eller cementbaserede materialer.
Glatskruet samling	Samlingerne af forerør og filterrør har samme udvendige diameter som selve rørstammen.
Grout	Tyktflydende støbemasse – i dette tilfælde af bentonit og/eller cement
Gruskastning	Opfyldning af sorteret kvartssand eller –grus mellem filterrøret og de vandførende lag for at tilbageholde materiale fra det vandførende lag.
Muffesamling	Samlinger af forerør og filterrør danner en udposning på rørstammen som har en større diameter end selve rørstammen.
Portland cement	Den mest almindelige type cement på verdensplan fremstillet ved brænding af kalk og ler. Navnet stammer fra Portland stone, Dorset, UK. Findes i forskellige undertyper I-V afhængig af anvendelsesområde. Type I er den mest almindeligt anvendte i forbindelse med byggeopgaver.
RSC-samling	Specialmuffer til samling af forerør. Mufferne har 3 uafhængige tætningssystemer.
Styr	Afstandsstykker, som monteres på filter- og forerør for at centrere disse i boringen.
Tremie-rør	Tremie-rør er et rør eller slange, som anvendes til udstøbning af grout. Tremien kan samles af flere kortere enheder, så der er mulighed for at justere længden af røret under ihældningen/nedpumpningen af grouten. Enden af tremie-røret holdes altid dykket under groutoverfladen under ihældning/nedpumpningen.

Bilag 1: Eksempel på borejournal og støbejournal



FELTJOURNAL

Side 1 af 3

Projekt No. / Navn	203038, Nykøbing Faltster_Platanvej				
Bor Nr.	B1	Start Dato	2018-10-31	Felttekniker(e)	JFP
Koordinatsystem	N/A	Øst;Nord	N/A ; N/A	Ref. Pukt	Terræn
Boringsmetode	Foret tørborring 10"			Kote (sys; z)	; N/A
Boringsformål	Andet	Und.udstyr	GEOZenita	Projektleder	JEB

STOP	Dato	2018-11-06			
	Borings Dybde (m.u.Ref.)	26,50	Boring tør under borearbejdet	Nej	
	Stop Årsag	Slutdybde			
	<i>Noter til borearbejdet:</i>				
	Filter længder skrevet fra bunden:				
	3 m				
	3 m				
	3 m				
	3 m				
	2 m				
	Blind fra bund:				
	3 m				
	3 m				
	3 m				
	0,47 m				

Laggrænser	Dybde (m.u.Ref.)
	3,70
	4,10
	5,50
	5,71

VS under Borearbejdet		
Dybde (m.u.Ref.)	Tid	
7,7	2018-11-02 07:20	
5,63	2018-11-06 07:59	

Felt Prøve Beskrivelse / Laggrænser						
Dybde Fra (m.u.Ref.)	Dybde Til (m.u.Ref.)	Løbe Nr.	Prøve Type	Felt Beskrivelse	Miljø Prøve	
2,00		1	Pose	MORÆNE LER, brun, st.sandet	Nej	
3,70				-----LAGGRÆNSE-----		
4,00		2	Pose	SAND, brun, tør	Nej	
4,10				-----LAGGRÆNSE-----		
4,50		2a	Pose	MORÆNE LER, brun	Nej	
5,50				-----LAGGRÆNSE-----		
5,70		2b	Pose	MORÆNESAND, brun, VF, siltet, sv.leret, sv.kalket	Nej	
5,71				-----LAGGRÆNSE-----		



FELTJOURNAL

Side 2 af 3

Projekt No. / Navn	203038, Nykøbing Faltster_Platanvej				
Bor Nr.	B1	Start Dato	2018-10-31	Felttekniker(e)	JFP
Koordinatsystem	N/A	Øst;Nord	N/A ; N/A	Ref. Pukt	Terræn
Boringsmetode	Foret tørborring 10"			Kote (sys; z)	; N/A
Boringsformål	Andet	Und.udstyr	GEOZenita	Projektleder	JEB

Felt Prøve Beskrivelse / Laggrænser

Dybde Fra (m.u.Ref.)	Dybde Til (m.u.Ref.)	Løbe Nr.	Prøve Type	Felt Beskrivelse	Miljø Prøve
6,00		3	Pose	KALK, hvid, slabt	Nej
8,00		4	Pose	KALK, hvid, slabt, flint ibl.	Nej
10,00		5	Pose	KALK, hvid, slabt, flint ibl.	Nej
12,00		6	Pose	KALK, hvid, slabt, flint ibl.	Nej
14,00		7	Pose	KALK, hvid, slabt, flint ibl.	Nej
16,00		8	Pose	KALK, hvid, slabt, flint ibl.	Nej
18,00		9	Pose	KALK, hvid, slabt, flint ibl.	Nej
20,00		10	Pose	KALK, hvid, slabt, flint ibl.	Nej
22,00		11	Pose	KALK, hvid, slabt, flint ibl.	Nej
24,00		12	Pose	KALK, hvid, slabt, ibl let hærdet zoner og flint	Nej
26,00		13	Pose	KALK, hvid, slabt, ibl let hærdet zoner og flint	Nej

Foringsrør

Dybde (m.u.Ref.)	Foringsrør Type
26,50	10" Foring

Værktøj anvendt under borearbejdet

Værktøj	Dybde Fra (m.o.Ref.)	Dybde Til (m.o.Ref.)
Snegl	0,00	14,00
Sand Spand	14,00	17,70
Snegl	17,70	20,00
Sand Spand	20,00	27,00

Filterrør

Negative værdi = over reference punkt / Positive værdi = under reference punkt

Filterrør Nr.	Filterrør Type	Filterrør Dim. (mm)	Top Rør (m.u.Ref.)	Bund Rør (m.u.Ref.)	Bund Filter(m)	Filter Længde (m)	Slidse (mm)
1	PVC	165	-0,47	26,00	26,00	14,00	1,00

Indbyg

Dybde Fra (m.u.Ref.)	Dybde Til (m.u.Ref.)	Indbyg Type	Mængde Definition	Mængde
0,00	1,30	Dansand 5 (1.40-2.50 mm)	Sække	
1,30	9,00	Cement/Bentonite (Storebæltsblanding)	Liter	
9,00	10,00	Bentonit	Sække	
10,00	10,50	Dansand 0 (0.40-0.80 mm)	Sække	
10,50	11,00	Dansand 3 (0.90-1.60 mm)	Sække	
11,00	26,50	Dansand 5 (1.40-2.50 mm)	Sække	

Støbejournal

Projekt	nr	201678	Lolland, Maribo
Dato			
Boring	nr	M2	
Børingsdimension	tommer	12	
Filter	mm	0	
Teoretisk volumen	l/m	88	
Støbning	nr	1	2
Støbeinterval 1	m u.t.	41,5	28
Støbeinterval 2	m u.t.	26,0	5,5
Støbeinterval 3	m u.t.	4,5	1,5

Dato	Tid	Blanding	Volumen	Densitet	Viskositet	Pejling efter	Nedpumpet volumen	Teoretisk volumen	Forskel	Prøvestøbning
	kl.	nr	liter	g/cm3	sek	m u.t.	liter	liter		type
		Bund								
22-11-2017	13.00	1	140	1440	31	41,5	140			
		2	140				280			
		3	140				420			
		4	140				560			A og B
		5	140				700			
		6	140				840			
		7	140				980			
		8	140				1120			
		9	140			28	1260	1188	72	
23-11-2017	07.00	10	140	1500	34	26	1400			
		11	140				1540			
		12	140				1680			
		13	140				1820			
		14	140				1960			
		15	140				2100			
		16	140				2240			
		17	140	1480	33		2380			C og D
		18	140				2520			
		19	140				2660			
		20	140				2800			
		21	140				2940			
		22	140				3080			
		23	140			5,5	3220	2992	228	
24-11-2017	07.00	24	140			4,5	3360			
		25	140			1,5	3500	3256	244	

Projekt: 201678

Maribo

Rapport: 1

Udført af: jeb

Dato: 2017-11-24

Bilag: 5

Side 1/1



Geo København +45 4588 4444
Geo Aarhus +45 8627 3111

Maribo. Overboring

Bilag 4. Rapport fase 2 – Laboratorieforsøg

Rapport | Forsegling af boringer og sonderinger

Fase 2. Laboratorieforsøg



Til: Styregruppen

Dato: December 2021

Fra: Projektgruppen

Kopi til:

Indholdsfortegnelse

0	Indledning	3
0.1	Sammenfatning	3
0.2	Projektdeltagere	6
0.3	Styregruppe og faglig følgegruppe	6
0.4	Finansiering af projektet	6
1	Forsegling med bentonitpellets	8
1.1	Indledende forsøg	8
1.2	Hydraulisk ledningsevne af pelletsforsegling	12
1.3	Test af pelletsforsegling i forskellige vandtyper	20
1.4	Pellets i umættet zone	26
1.5	Sløjfning af boringer med pellets	41
2	Forsegling med grout	45
2.1	Sammensætning af grout. Blanding og pumpning	45
2.2	Hydraulisk ledningsevne af grout	50
2.3	Overgange mellem grout, pellets og filtersand	52
2.4	Spredning af grout til omkringliggende formation	61
2.5	Pejling af groutoverflade	62
2.6	Vedhæftning til pvc og peh	68
2.7	Varmeudvikling i grout	71

0 Indledning

Dette er afrapporteringen af de forsøg, som er udført i forseglingsprojektets fase 2. Fase 1 omfattede et litteraturstudium og en erfaringsopsamling, som sammen udmundede i en første udgave af Best Practice for forsegling af borer.

Fase 2 har omfattet en række forsøg i både laboratoriet og i felten til afklaring af forhold, som blev fremhævet som uafklarede i fase 1. Resultaterne fra forsøgene i fase 2 vil indgå i en revideret Best Practice.

Ud over de her beskrevne forsøg, er der udført forsøg med rørsamlinger og bestandigheden af tætningsringe (o-ringe). Disse forsøg er udført i et sideløbende projekt og rapporteres særskilt idet den nye viden fra forsøgene implementeres i den reviderede Best Practice.

0.1 Sammenfatning

Som opfølgning på forseglingsprojektets fase 1 er der i fase 2 udført en række forsøg både i laboratoriet og i felten. Formålet har været at afklare en række af de usikkerheder og videnshuller, som blev afdækket i projektets fase 1. Der er generelt udført forsøg med 3 pelletstyper og 5 forskellige blandinger af grouts (flydende forsegling). Projektgruppen er ikke bekendt med, at der tidligere er udført forsøg med pellets, som er kvældet op under realistiske forhold i en boring. I projektet er der udført 3 stk. 8 m dybe borer i moræner, som efterfølgende er forseglet med hver af de tre typer pellets Mikolit 300, Mikolit B samt Dantoplug Super. Efter en kvældeperiode på 3 måneder er der udtaget intakte prøver fra hver boring med en special prøvetager, der ikke deformerer prøven under optagningen. To prøver fra hver boring (en prøve over vandspejlet og en prøve under vandspejlet) er blevet testet for hydraulisk ledningsevne efter to forskellige metoder, og herudover er der bestemt styrke, vandindhold og densitet samt svelletryk i prøverne.

Resultaterne viser, at der er relativ stor forskel på den fasthed (vingestyrke), der opnås i de forskellige pelletstyper, hvor Mikolit 300 har mindst fasthed, mens Dantoplug Super har størst fasthed. Samme mønster ses i nogen grad i det opnåede svelletryk, som er et udtryk for forseglingsrestsvellekapacitet, som er i stand til at "reparere" en forsegling ved at kunne svulme yderligere op og lukke huller eller deformationer, som måtte være opstået ("selvhelende" effekt). Normalt anses en forsegling med højere densitet for at være mindre permeabel end en forsegling med lavere densitet. Denne tommelfingerregel kan imidlertid ikke bruges som et kvalitetskrav på tværs af forskellige typer pellets, idet de mest kvældende typer (højeste indhold af svulmende lerminerale) har lavest densitet som følge af højere vandindhold på grund af opkvældningen.

Der er forskel på resultaterne af de to forskellige metoder til bestemmelse af hydraulisk ledningsevne. Den almindeligt anvendte metode med gennemstrømning af prøven med vand er temmelig problematisk i forbindelse med så lavpermeable prøver, som der er tale om i de udførte forsøg. Det skyldes, at disse jordarter er yderst sensitive over for temperatur, tryk og de ekstremt små vandmængder, der strømmer gennem prøverne. Den anden metode, hvor den hydrauliske ledningsevne udledes fra svelleforsøgene (afsnit 1.2), er formentlig mere pålidelig. Disse forsøg viser ledningsevner i størrelsesordenen $1-9 \times 10^{-11}$ m/s for Mikolit B og Dantoplug Super, mens Mikolit 300 ligger en faktor 10-15 gange højere. Der er en tendens til at den hydrauliske ledningsevne udledt fra svelleforsøg er lidt højere for prøver over vandspejlet end under vandspejlet. De øvrige parametre viser ingen forskel over og under vandspejlet, hvilket viser at pellets kvælder lige godt over som under vandspejlet i leraflejringer under forudsætning af, at pelletsforseglingen installeres korrekt under tilførsel af vand.

Der er udført forsøg med opkvældning af pellets i forskellige vandtyper. De 3 pelletstyper er hver testet i blødt vand, hårdt vand, saltvand og boremudder. Også her opnår Dantoplug Su-

per den største fasthed og visuelt største homogenitet. Der er ikke markant forskel på opkvældningen i blødt vand, hårdt vand og boremudder, mens opkvældning i saltvand viser markant lavere fasthed og homogenitet for alle de 3 testede pelletstyper.

Der er udført en række forsøg med pellets (kun Dantoplug Super) i umættet sand. Forseglingerne er etableret i sandfyldte pvc-rør, hvor opkvældningen af pellets er sikret på varierende måde i de forskellige rør. To af rørene er etableret med grout. Efterfølgende er rørene parvist udsat for dels regn, dels tørke i 3 og 5 måneder. Vandindholdet i pellets er fulgt løbende og både vandindhold, densitet og fasthed er bestemt ved opskæring af prøverne efter henholdsvis 3 og 5 måneder. Resultaterne er ikke entydige, men følgende kan konkluderes om forsegling i **umættet sand**:

- En pelletsforsegling kan etableres, såfremt det er muligt at holde de installerede pellets under vand under etableringen, eller ved gennemstrømning med en lille vandmængde i 15-20 min.
- En pelletsforsegling kvælder da op til en homogen struktur med et vandindhold, som ligger lidt i underkanten af hvad der opnås med fuld tilgang til vand
- En pelletsforsegling, der er opkvældet, tørrer ikke ud selv ved langvarig tørke
- Tilsyneladende sker der en opfugtning af en pelletsforsegling, når der kommer regn efter en tør periode
- Grout af ren cement trænger kun mindre end 0,5 cm ud i det omgivende sand og opnår en høj densitet og en meget høj styrke
- Grout af bentonit og cement (i vægtforholdet 80 % bentonit og 20 % cement) trænger stort set ikke ud i det omgivende sand og opnår en homogen struktur og en styrke som Dantoplug Super pellets.

Der er udført forsøg, hvor transparente rør er fyldt med vand, hvorefter der er hældt hver af de 3 typer pellets i. Forsøgene viser, at alle pelletstyper sveller op og giver en god forsegling inden i et forerør i forbindelse med sløjfning af boringer, selvom der kun er vand fra selve forerøret til rådighed for opkvældningen. Det er selvfølgelig en forudsætning, at vandet er til stede i hele rørstrækningen og ikke blot løber gennem pellets, inden disse er kvældet op.

Der er udført blandeforsøg med 5 forskellige typer grout og 3 forskellige blandemetoder. Udgangspunktet for sammensætningen af grout-blandingerne er en række forsøg, som blev udført på Dantonits laboratorium i sommeren 2020. Der er blandinger med ren cement, cement og sand samt blandinger med varierende indhold af cement og bentonit. Der blev anvendt 3 forskellige blandeudstyr: Håndmikser, STA 250 grout mixer (som normalt anvendes af Geo) samt Håny IC310 (stillet til rådighed af Rotek). Der er målt densitet og viskositet, ligesom pumpbarheden er vurderet. Hærtningsforløbet er fulgt over 4 uger ved måling af trykstyrken i blandingerne.

Der er givet et optimalt blandingsforhold vand og tørstof for forskellige typer grout, og der er ikke registreret forskel på grouten opblandet ved de tre forskellige blandemetoder.

Der er udstøbt prøver af de 5 typer grout, som alle er testet for hydraulisk ledningsevne ved gennemstrømning med vand. Grout af ren cement samt cement og sand viser de laveste hydrauliske ledningsevner, mens der overraskende ses en stigende ledningsevne med stigende bentonitindhold. Det kan dog ikke udelukkes, at de cementrige prøver udvikler gas under forsøget, idet prøverne ikke har været vandlagrede, og hærtningen af cement fortsætter, når prøven tilsættes vand i gennemstrømningsforsøget. De dannede luftbobler vil sætte sig i porerne og nedsætte gennemstrømningen med vand. En anden årsag er formentlig, at cement

og bentonit konkurrerer om vandet, så bentonitten ikke sveller op, og cementen ikke hærdet korrekt. Dette kunne formentlig have været undgået, såfremt prøvelegemerne havde været vandlagret under afhærdningen. De bentonitholdige cement-grouts har formentlig en hydraulisk ledningsevne af samme størrelse som ren cement.

Med de 5 grouttyper er der udført en lang række forsøg for at afklare, hvorledes de forskellige groutblandinger reagerer i en boring, herunder nedtrængning af grout i en filterkastning, tab af grout til formationssand samt nedsynkning af sand, grus og pellets i nystøbt grout. Samlet set viser forsøgene, at hvis grouten blandes efter de anførte opskrifter, sker der stort set ingen nedtrængning i sand og grus, hvorfor grout kan anvendes som forseglingsmiddel her. Der vil ske nogen nedtrængning af såvel pellets som grus i grout, og specielt i sidste tilfælde er det vigtigt at blandingsforholdet overholdes, og grouten ikke bliver for tynd.

Det kan være svært at registrere overfladen af grout under selve støbearbejdet i en boring. Derfor er der udført forsøg med registrering af groutoverfladen ved måling af pH og ledningsevne ned gennem et rør, hvor der er nystøbt grout i bunden og vand over. Resultaterne viser, at ledningsevnen er den bedst egnede metode til registrering af groutoverfladen for alle 5 grouttyper.

Der er sået tvivl om hvorvidt grout hæfter tilstrækkeligt til overfladen af forerør, og om der eventuelt opstår sprækker mellem grout og rør. For at teste dette er der for hver af de 5 typer grout indstøbt såvel et PVC-rør som et PEH-rør i grouten. Efter afhærdning er prøverne anbragt i en trykpresse, og kraften til udstansning af det indstøbte rør er registreret.

Helt overordnet ses en væsentlig bedre vedhæftning af grouten til PVC i forhold til PEH. Eneste undtagelse er grouten med 50 % bentonit, hvor den målte forskydningsspænding er højere ved PEH end PVC. Vedhæftningen mellem alle øvrige typer grouts og PEH er meget lav, men om dette er udtryk for, at der er en sprække mellem grout og rør kan ikke afgøres. Vedhæftningen mellem PVC rør og grout er generelt god. Det bemærkes at ren cement med tilsætning af sand har højere vedhæftning end ren cement uden sand for både PVC og PEH. Endelig bemærkes, at et lille indhold af bentonit i cementen på 25 % øjensynlig forbedrer vedhæftningen til PVC i forhold til ren cement.

Når cement afhærdet udvikles varme, som i nogle tilfælde kan være fatalt for styrken af forerørene. For hver af de 5 grouttyper er der udstøbt 2 stk. forseglinger. Den første med en tykkelse af forseglingen på 35 mm og den anden på 60 mm. Der er i hver forsegling indstøbt en temperatursonde i forseglingen, og temperaturudviklingen er fulgt under de første ca. 4 døgn af hærdningsprocessen. Som ventet kan der for alle grouttyper ses en stigning i temperaturen i løbet af det første 1,5 døgn efter udstøbningen. Der ses tillige en kraftigere temperaturstigning i 60 mm forsegling i forhold til 35 mm forsegling, og endelig er varmeudviklingen langt den største ved grout af ren cement. Her toppe temperaturkurven 76 °C efter ca. 10 timer. Tilsvarende stiger temperaturen kun til 58 °C for samme grout og en annulus på 35 mm. En tilsætning af 33 % sand til cementen reducerer maksimal temperaturen til ca. 80 %, mens tilsætningen af bentonit viser en væsentlig større reduktion af maksimaltemperaturen.

0.2 Projektdeltagere

Projektets fase 2 er ligesom fase 1 gennemført af en projektgruppe fra Cowi, Niras, WSP og Geo bestående af:

- Christian Buck, Cowi
- Maria Heisterberg, Niras
- Mads Møller, WSP (nu Region Hovedstaden)
- Jens Baumann, Geo

Forsøgene med pellets og grout er udført hos Geo, mens forsøgene med samlinger af forerør og test af tætningsringe er udført hos Niras.

0.3 Styregruppe og faglig følgegruppe

Projektet er fulgt af en styregruppe valgt blandt de finansielle bidragsydere samt herudover en faglig følgegruppe bestående af

- Vandcenter Syd, 3VAND og Danva v. Johan Linderberg (Forsyning)
- Gladsaxe Kommune v. Claus Frydenlund (Myndighed)
- Miljøstyrelsen v. Helene Kring Jørgensen (Myndighed)
- Region Hovedstaden v. Anna Toft (Myndighed)
- Region Sjælland v. Susanne R. Pedersen (Myndighed)
- Dantonit v. Vibeke N. Kristensen og Lars Møller Nielsen (Producent af bentonit)
- Rotek v. Jane Skyum (Leverandør af materialer)
- Brøndboringsfirmaet Brøker v. Thomas Brøker (Brøndborer),
- PC-brøndboring v. Christian Christiansen (Brøndborer),
- Ejlskov v. Palle Ejlskov (Direct Push entreprenør),
- Via Horsens v. Jette Sørensen (Brøndboreruddannelsen)

0.4 Finansiering af projektet

Denne fase 2 af det samlede projekt er blevet finansieret af:

- Miljøstyrelsen
- Region Hovedstaden
- Region Sjælland
- Region Midtjylland
- Region Syddanmark
- Region Nordjylland
- Dantonit
- Rotek
- Geo
- Niras
- Cowi
- WSP
- Gladsaxe Kommune
- Frederiksberg Kommune
- Glostrup Kommune
- Københavns Kommune
- Helsingør Kommune
- Rudersdal Kommune
- Brøndby Kommune
- Hvidovre Kommune
- Stevn Kommune
- Lyngby-Taarbæk Kommune
- Slagelse Kommune
- Roskilde Kommune
- Herlev Kommune
- Egedal Kommune
- Ballerup Kommune
- Ishøj Kommune
- Bornholms Regionskommune

Herudover har Rotek og Dantonit venligst stillet materialer til rådighed

Blandt bidragyderne til projektets fase 1 var desuden:

- Videncenter for miljø og ressourcer
- Forsvaret Bygningstjeneste
- ATV Jord og Grundvand
- VIA, Horsens

1 Forsegling med bentonitpellets

Det er valgt at udføre forsøg med de tre typer af bentonit-pellets, som er almindeligt anvendt i Danmark:

- Dantoplug Super
- Mikolit B
- Mikolit 300

Forsøgene med bentonit-pellets (forsøgsrække 1) udgøres af:

- Forsøg 1.1 Laboratorieforsøg til test af klassifikationsegenskaber for forskellige typer bentonitpellets
- Forsøg 1.2 Test af tæthed på forsegling udført i borerer med bentonit-pellets
- Forsøg 1.3 Laboratorieforsøg til test af bentonit-pellets opkvældning i forskellige vandtyper
- Forsøg 1.4 Laboratorieforsøg til vurdering af udtørring og opkvældning af pellets i umættet zone
- Forsøg 1.5 Laboratorieforsøg til vurdering af sløjfning af borerer ved opfyldning med pellets

1.1 Indledende forsøg

Baggrund

Et af formålene med forsøgene med pellets har været at afklare egenskaberne (vandindhold, densitet, styrke og hydraulisk ledningsevne) af en forsegling, der er udført under forhold, som svarer til forholdene i en boring. Dette kunne gøres ved at udføre en forsegling med pellets i en boring og efterfølgende udtage intakte prøver af forseglingen ved hjælp af tyndvæggede, rustfrie stålør (A-rør), og udføre forsøgene på disse intakte prøver. Inden denne metode kunne vælges, skulle det godtgøres at prøvetagningen af den formodede relativt bløde forseglingsmasse af opkvædede pellets ikke ville blive forstyrret af prøvetagningen. Derfor er der inden etablering af forsegling i borerer i felten, udført forsøg i laboratoriet med udtagning af intakte prøver i forsegling med opkvædede bentonitpellets.

Forsøg og resultater

Der er i laboratoriet udført forsøg med udtagning af intakte prøver i forsegling med opkvædede bentonitpellets. Et 2 m langt Ø165 mm filterør med 0,3 mm slidseåbning er fyldt med Dantoplug Super og placeret i et tæt vandfyldt Ø225 mm PVC-rør, se fig. 1.1.



Fig. 1.1.1 Indbygningen af pellet i et Ø165 mm filterrør og nedpresning af A-rør for udtagning af intakt prøve

Efter en kvældeperiode på ca. 1½ måned er filterrøret skåret i længder på 0,5 m, og der er presset et Ø70mm tyndvægget prøverør (A-rør) ned i forseglingen, se fig. 1.1.1. Der er efterfølgende udført test af vandindhold, densitet og styrke dels af materialet i A-rørene, dels af materialet direkte fra filterrøret. Af figur 1.1.2 fremgår resultaterne af densitets- og styrkemålingerne.

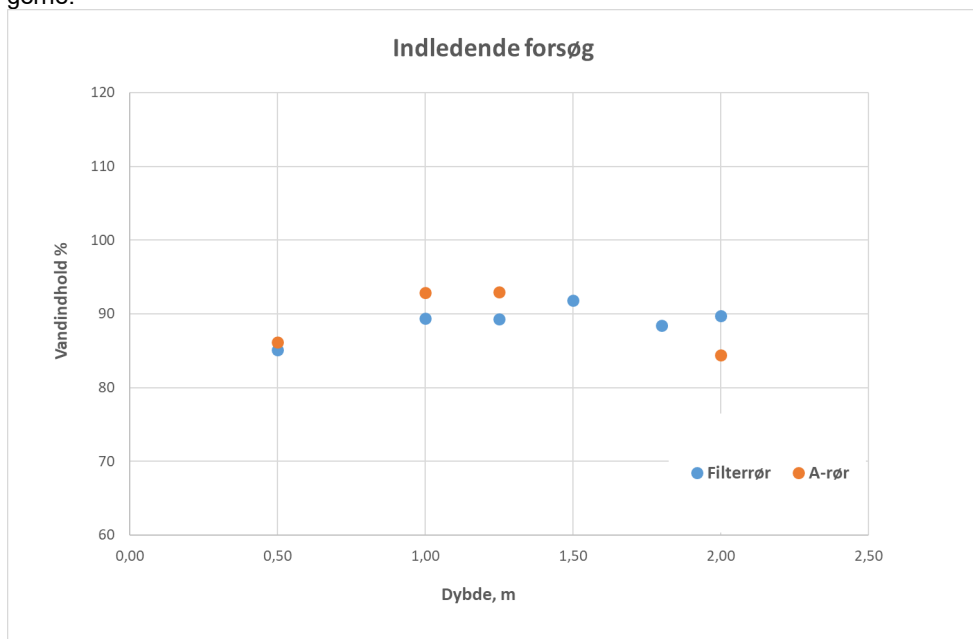


Fig. 1.1.2 Sammenligning af vandindhold for prøver udtaget i A-rør og i filterrør (Dantoplug Super)

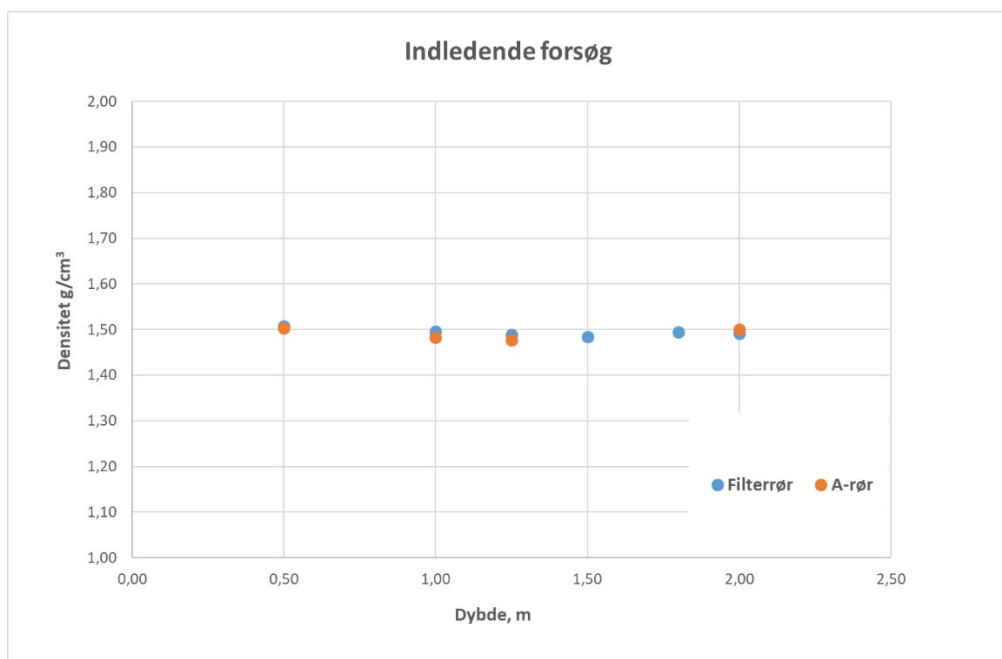


Fig. 1.1.3 Sammenligning af densitet for prøver udtaget i A-rør og i filterrør (Dantoplug Super)

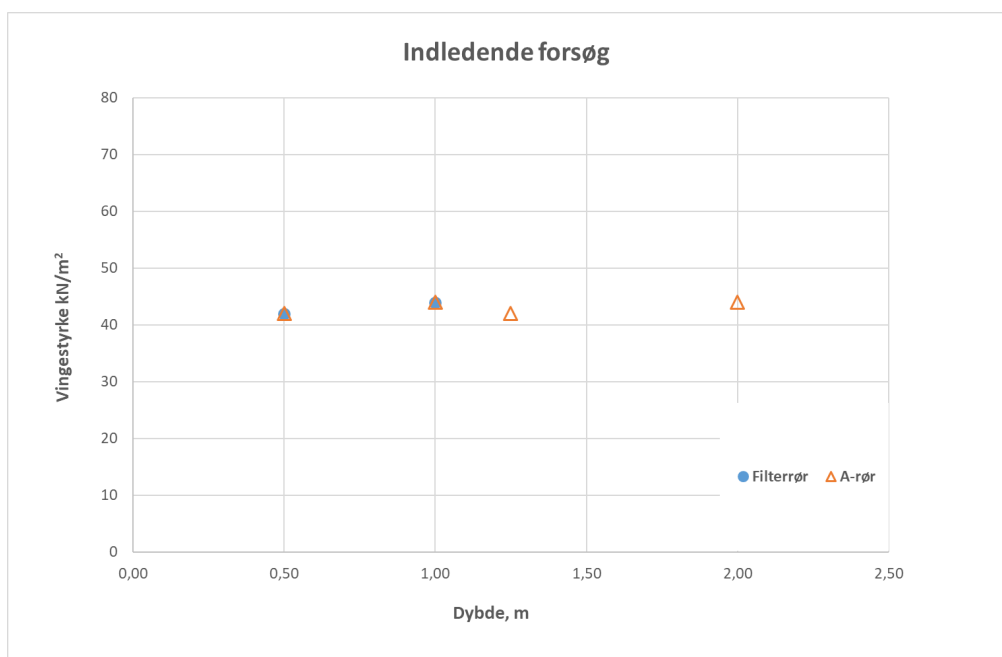


Fig. 1.1.4 Sammenligning af vingestykke for prøver udtaget i A-rør og i filterrør (Dantoplug Super)

Vurdering

Resultaterne viser, at der er fuld overensstemmelse mellem parametrene fra A-rørene og fra filterrøret, hvilket betyder, at prøvetagningen med A-rør ikke forstyrrer strukturen og lejringen af en forsegling med bentonitpellets, se fig. 1.1.2 – 1.1.4. Forsøget viser endvidere, at der er en fuldstændig ensartet opkvældning af pellets i hele højden af røret, da vandindhold, densitet og vingestyrke er ens i alle de målte dybdeintervaller.

1.2 Hydraulisk ledningsevne af pelletsforsegling

Baggrund

Der har gennem tiden været udført mange forsøg med opkvældning af pellets og sågar bestemmelse af den hydrauliske ledningsevne. Men forsøgene er aldrig blevet udført under forhold, som er realistiske i forhold til opkvældning i en boring. En indlysende årsag hertil er, at det ikke er muligt at måle den hydrauliske ledningsevne af en in-situ forsegling i en boring. Med baggrund i det positive udfald af det ovennævnte indledende forsøg med udtagning af intakte prøver i en pelletsforsegling sammen med en specialudviklet prøveoptager, som reducerer friktionen indvendigt i prøverøret, er det lykkedes at fremstille prøver af pelletsforsegling, der er opkvældet under så realistiske forhold som muligt.

Forsøg og resultater

Efter det indledende forsøg med prøvetagning blev der udført 3 stk. 8 m dybe 8" borer, som efterfølgende blev fyldt op med hver sin type pellets under vandtilsætning:

- Mikolit 300
- Mikolit B
- Dantoplug Super

Boringerne er udført i et område med ca. 2 m fyld øverst og herunder moræneler. Der blev udført en fjerde boring med pejlerør for registrering af vandspejl. Vandspejlet er registreret til 5,5 m under terræn.

Efter 3 måneder blev boringerne overboret, og der blev udtaget 5 intakte prøver (A-rør) af pelletsforseglingen i hver boring. Der er efterfølgende bestemt vandindhold, densitet og styrke i de udtagne prøver, se fig. 1.2.1 til 1.2.3.

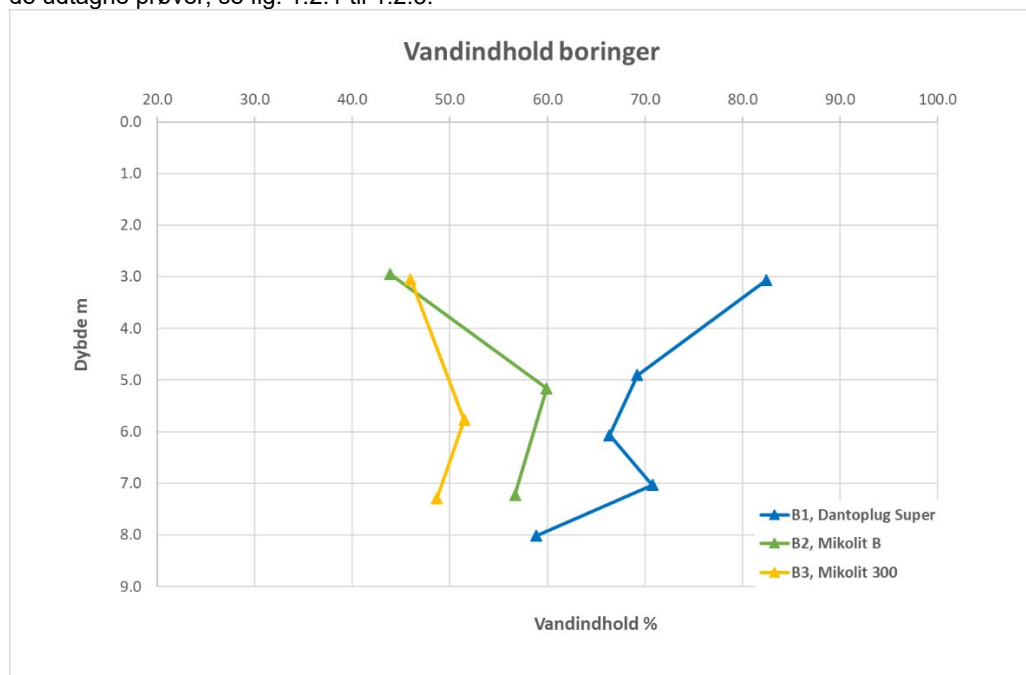


Fig. 1.2.1 Vandindhold i intakte prøver af pelletsforsegling fra borer

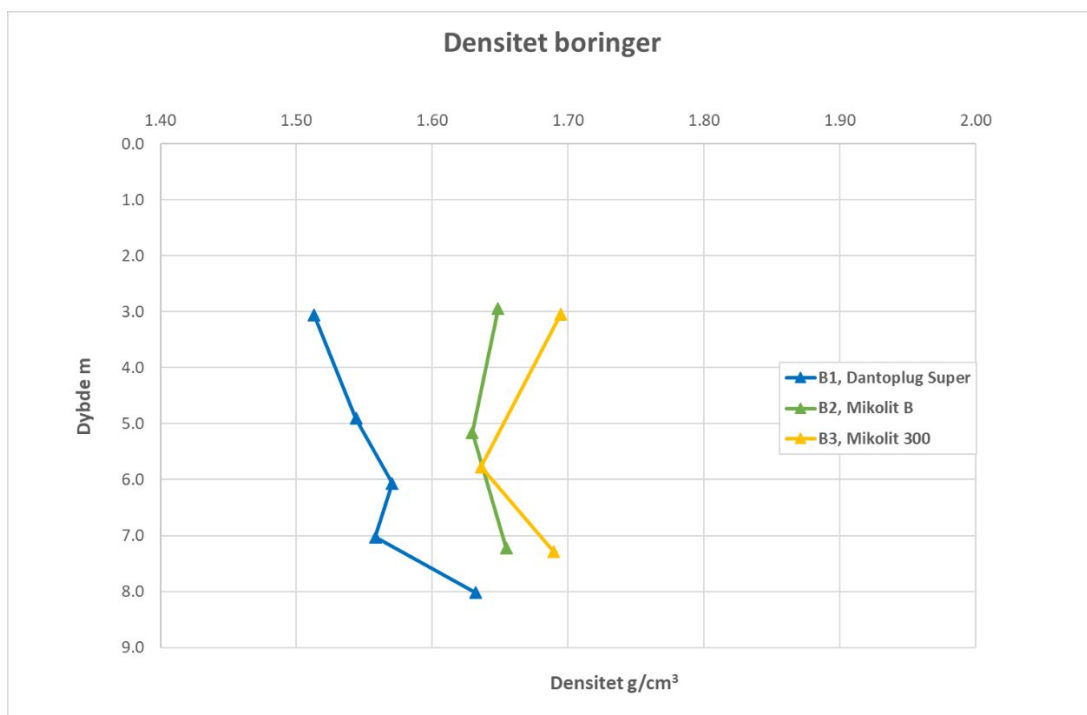


Fig. 1.2.2 Densitet i intakte prøver af pelletsforsegling fra boringer

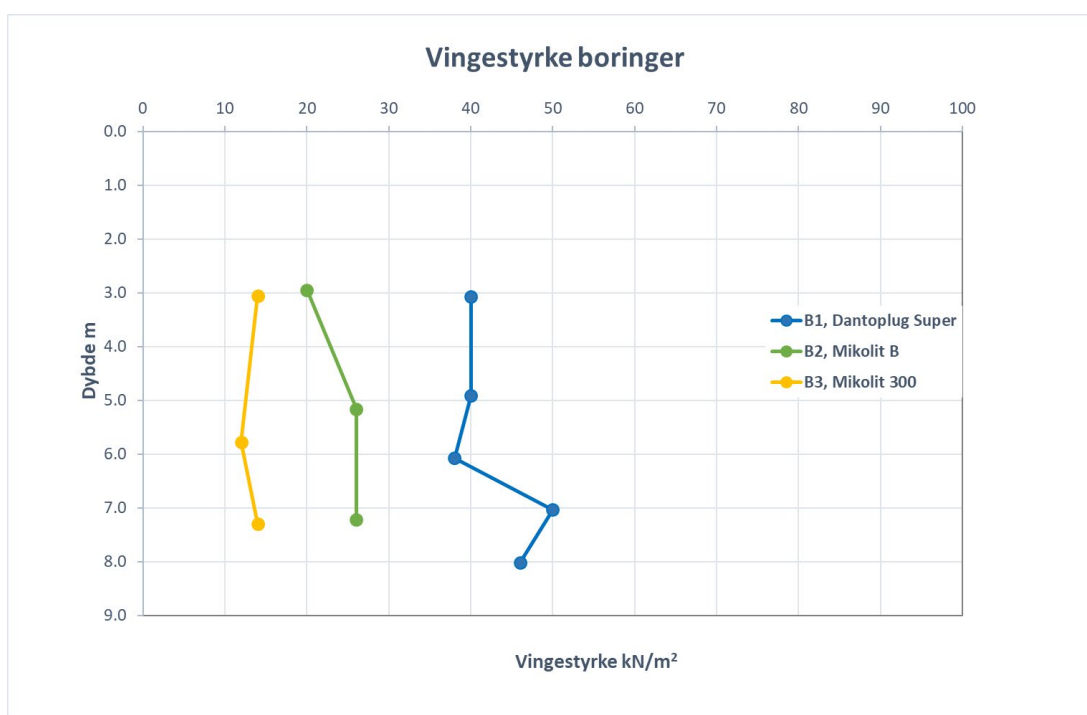


Fig. 1.2.3 Vingestyrke i intakte prøver af pelletsforsegling fra boringer

Der er udvalgt 2 prøver fra hver boring (en under grundvandsspejlet og en over grundvandsspejlet) til bestemmelse af den hydrauliske ledningsevne. Disse forsøg har vist sig meget vanskelige og meget tidskrævende at udføre (2-3 måneder pr. stk.), hvilket skyldes den meget lave hydrauliske ledningsevne, og dermed meget lille gennemstrømning af vand. Forsøgene foregår i en trykcelle (triaxial-celle), hvor prøven som har en diameter på 7 cm og en højde på 1 cm, er indkapslet i en membran og påført et udvendigt tryk svarende til den dybde prøven er udtaget i. Gennem filtersten i bund og top presses vand gennem prøven og det gennemstrømmede vand registreres på en elektronisk analysevægt ved både indløb og udløb (målenøjagtighed 1 mg). Alle data opsamles på pc og udtegnes løbende, se figur 1.2.4.

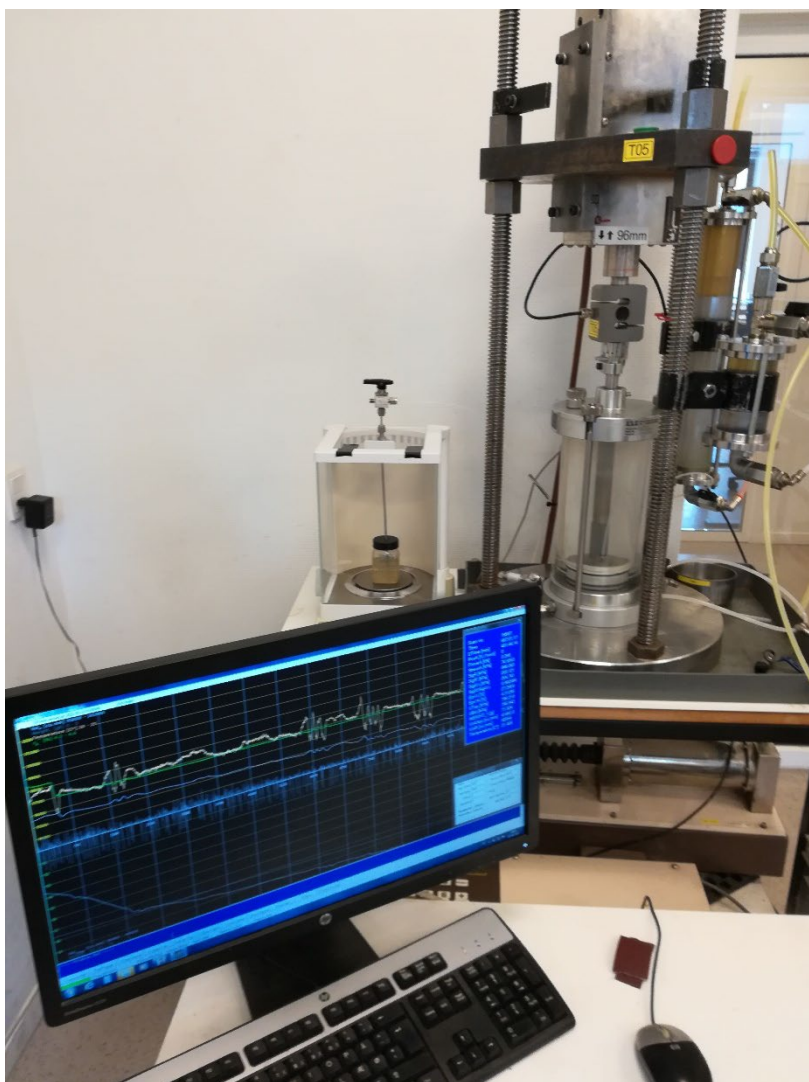


Fig. 1.2.4 Forsøgsopstilling til måling af hydraulisk ledningsevne. Trykcellen i baggrunden til højre og elektronisk vægt til venstre. On-line dataopsamling og visning på pc i forgrunden

Resultaterne af de udførte forsøg er samlet i tabel 1.2.1, hvor tillige prøvernes vandindhold, densitet og vingestyrke er angivet.

Tabel 1.2.1 Resultater fra test af hydraulisk ledningsevne i trykcelle ved gennemstrømning med vand

Pellets type	Placering	Vandindhold	Densitet	Vingestyrke	Hydraulisk ledningsevne
		%	g/cm ³	kN/m ²	m/s
Mikolit 300	Over VS	46,0	1,69	14	$1,4 \times 10^{-12}$
Mikolit 300	Under VS	48,7	1,69	14	$7,5 \times 10^{-12}$
Mikolit B	Over VS	59,9	1,63	26	$3,5 \times 10^{-12}$
Mikolit B	Under VS	56,7	1,65	26	$5,1 \times 10^{-12}$
Dantoplug Super	Over VS	82,4	1,51	40	$4,3 \times 10^{-12}$
Dantoplug Super	Under VS	58,8	1,65	46	$5,2 \times 10^{-12}$

Herudover er der for hver af prøverne, som er testet for hydraulisk ledningsevne, udført forsøg til bestemmelse af svellekapaciteten (svelletrykket).

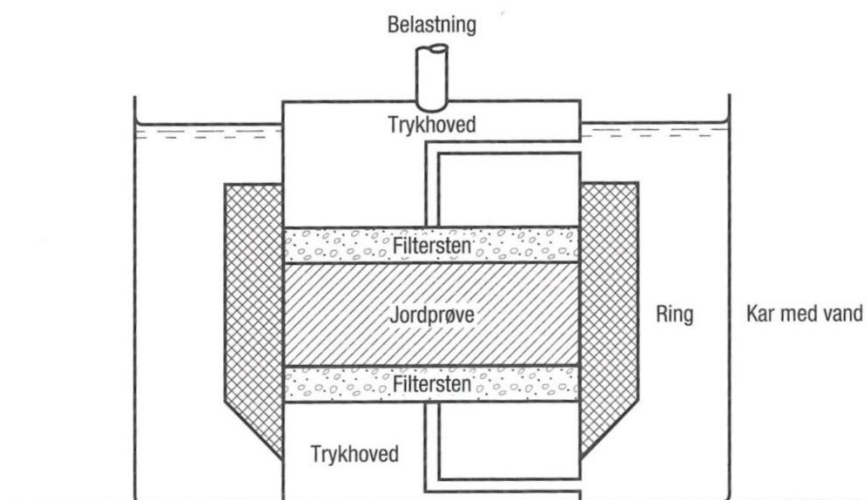


Fig. 1.2.5 Principskitse af konsolideringsapparat, som er anvendt til bestemmelse af svelletrykket for de 3 pelletstyper

Pelletsprøverne fra A-rørene er bygget ind i en stålring mellem to drænende filtersten. Filterstenene har forbindelse med det vandfyldte kar rundt om apparatet. Trykhovedet i toppen kan belastes, hvorved en jordprøve normalt vil trykkes sammen. Hvis der som her er tale om en svellende jordprøve vil denne forsøge at udvide sig opad, når den via filterstenene kommer i kontakt med vandet i karret. Belastningen på toppen af prøven øges løbende, så længe prøven forsøger at udvide sig (svelle op), indtil der netop er balance, så det ydre tryk på toppen af prøven netop forhindrer prøven i at udvide sig yderligere. Det herved bestemte tryk er prøvens svelletryk. Herudover giver forsøget en værdi for prøvens hydrauliske ledningsevne. Resultaterne er vist i tabel 1.2.2 og 1.2.3. For prøver, hvorpå, der er bestemt svelletryk, er der således både bestemt hydraulisk ledningsevne i trykcelle ved gennemstrømning af vand samt i konsolideringsapparat ved svelforsøg.

Tabel 1.2.2 Resultater fra svelletryksforsøg

Pellets type	Placering	Vandindhold	Densitet	Vingestyrke	Hydraulisk ledningsevne udledt fra svelleforsøg	Svelletryk
		%	g/cm ³	kN/m ²	m/s	kN/m ²
Mikolit 300	Over VS	46,0	1,69	14	52×10^{-11}	40
Mikolit 300	Under VS	48,7	1,69	14	22×10^{-11}	20
Mikolit B	Over VS	59,9	1,63	26	$9,4 \times 10^{-11}$	80
Mikolit B	Under VS	56,7	1,65	26	$1,4 \times 10^{-11}$	90
Dantoplug S	Over VS	82,4	1,51	40	$4,2 \times 10^{-11}$	80
Dantoplug S	Under VS	58,8	1,65	46	$1,4 \times 10^{-11}$	80

I tabel 1.2.3 er resultaterne af de to forskellige bestemmelser af hydraulisk ledningsevne vist ligesom vingestyrken er sammenstillet med det målte kvældetryk.

Tabel 1.2.3 Samlede resultater

Pellets type	Placering	Hydraulisk ledningsevne udledt fra svelleforsøg	Hydraulisk ledningsevne fra gennemstrømning med vand	Vingestyrke	Svelletryk
		m/s	m/s	kN/m ²	kN/m ²
Mikolit 300	Over VS	52×10^{-11}	$1,4 \times 10^{-12}$	14	40
Mikolit 300	Under VS	22×10^{-11}	$7,5 \times 10^{-12}$	14	20
Mikolit B	Over VS	$9,4 \times 10^{-11}$	$3,5 \times 10^{-12}$	26	80
Mikolit B	Under VS	$1,4 \times 10^{-11}$	$5,1 \times 10^{-12}$	26	90
Dantoplug S	Over VS	$4,2 \times 10^{-11}$	$4,3 \times 10^{-12}$	40	80
Dantoplug S	Under VS	$1,4 \times 10^{-11}$	$5,2 \times 10^{-12}$	46	80

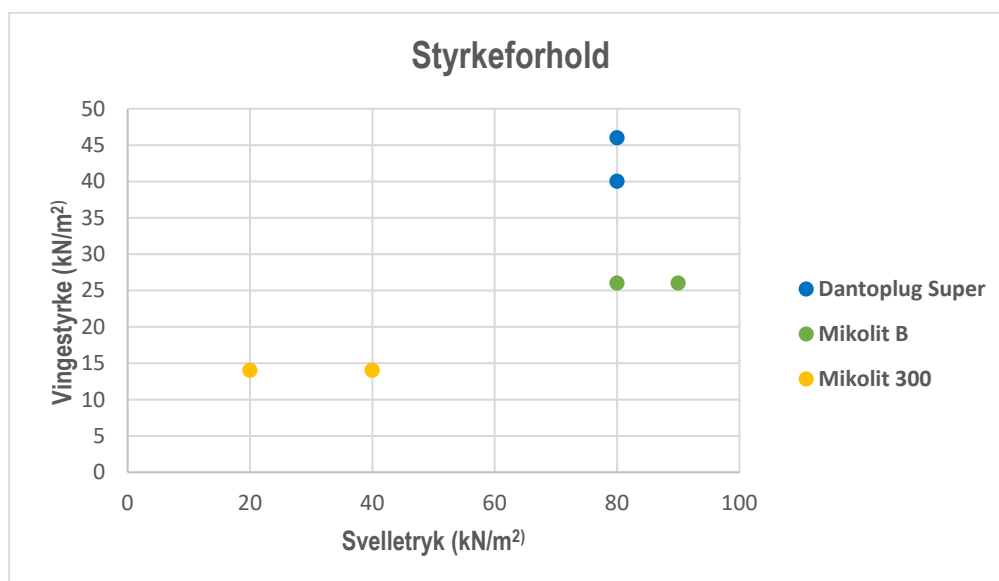


Fig. 1.2.6 Sammenligning af vingestyrke og svelletryk for de 3 pelletstyper udtaget over og under vandspejlet

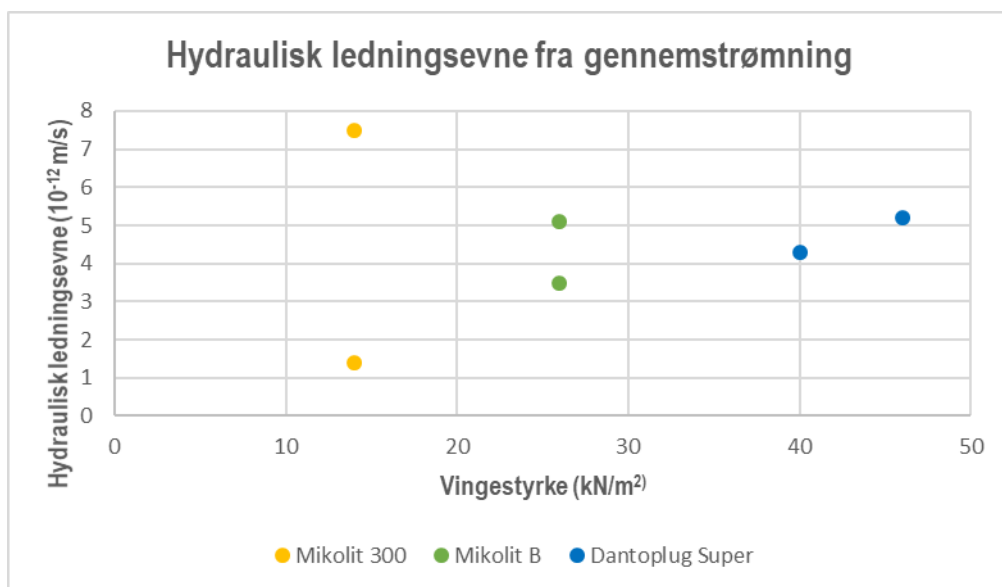


Fig. 1.2.7 Hydraulisk ledningsevne fra gennemstrømning som funktion af vingestyrke

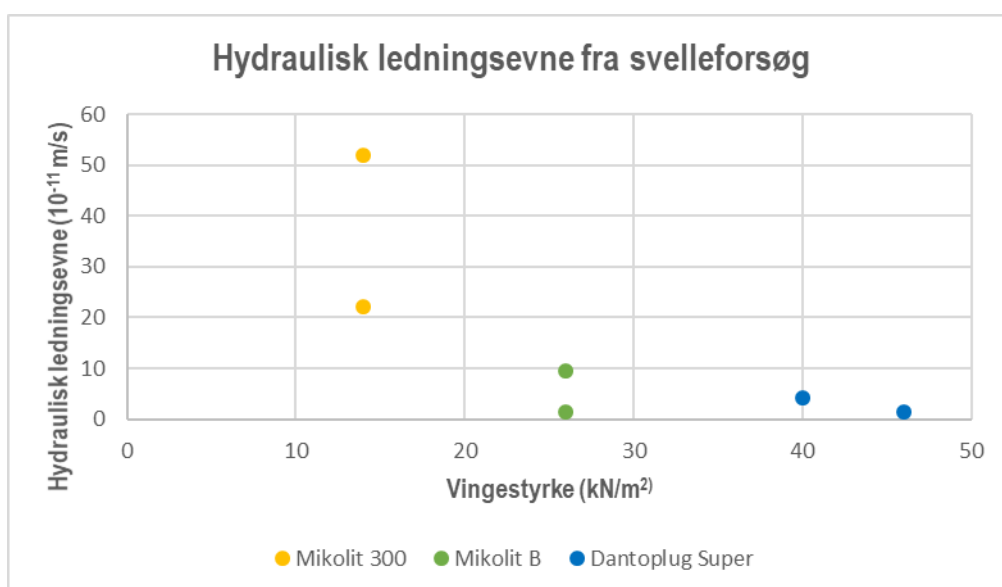


Fig. 1.2.8 Hydraulisk ledningsevne fra svelleforsøg som funktion af vingestyrke. Bemærk at værdierne er ca. 10 gange højere end i fig. 1.2.7

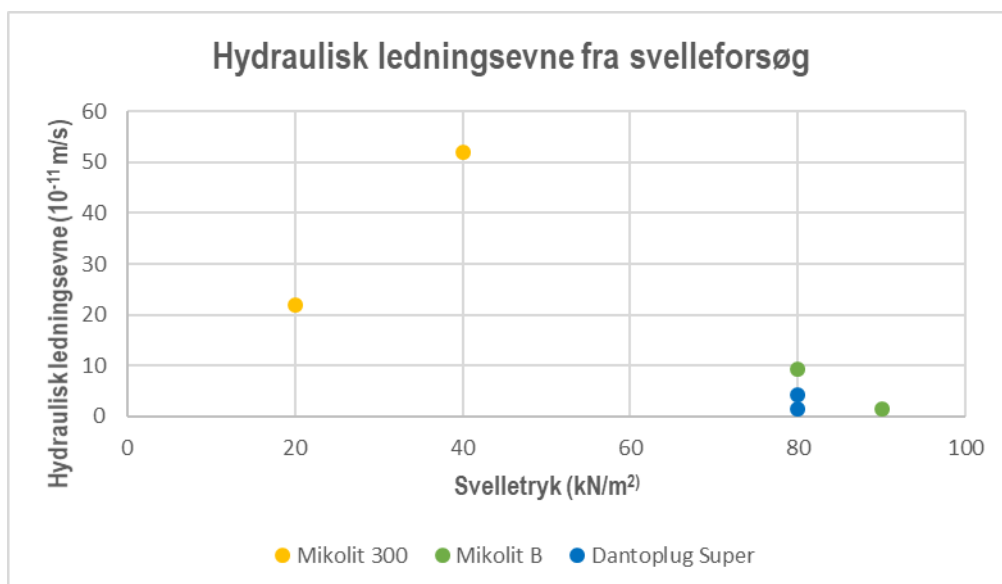


Fig. 1.2.9 Hydraulisk ledningsevne fra svelleforsøg som funktion af svelletryk

Vurdering

Det ses af figur 1.2.1 til 1.2.3, at Dantoplug Super (blå kurver) giver den mest ensartede forsegling med generelt faldende vandindhold og generelt stigende densitet og styrke med dybden. Dantoplug Super har generelt den højeste vingestyrke. Dantoplug Super viser til gengæld den laveste densitet, hvilket skyldes, at Dantoplug Super har et højere indhold af svellende ler typer, som kan indeholde større mængder vand, hvilket reducerer densiteten.

Af fig. 1.2.6 ses at de målte svelletryk viser en sammenhæng med vingestyrken i forseglingen, således at Dantoplug Super har den højeste vingestyrke og tilsvarende højt svelletryk. Mikolit B har en medium vingestyrke men et højt svelletryk, mens Mikolit 300 har lav vingestyrke og lavt svelletryk. Svelletrykket, som det er målt her, er et udtryk for den restsvellekapacitet der er til stede efter at pellets er svullet op og har udfyldt hulrummet mellem de enkelte pellets under de aktuelle trykforhold i boringen. Det er denne restsvellekapacitet, som er i stand til at "reparere" en forsegling ved at kunne svulle yderligere op og lukke huller eller deformationer, som måtte være opstået ("selvhelende" effekt), se også afsnit 1.3.

Fig. 1.2.7 viser den hydrauliske ledningsevne målt ved gennemstrømningsforsøg for de 3 pelletstyper som funktion af vingestyrken. Forsøgene viser stort set samme hydrauliske ledningsevne ($1,4$ til $7,5 \times 10^{-12} \text{ m/s}$) for alle 3 typer. Fig. 1.2.8 viser den hydrauliske ledningsevne udledt af svelleforsøgene som funktion af vingestyrken. De hydrauliske ledningsevner målt ved svelleforsøgene er generelt en faktor 10-100 højere end ledningsevnerne målt ved gennemstrømning. Den hydrauliske ledningsevne målt ved svelleforsøgene viser samtidig en større spredning med ledningsevnen for Mikolit 300 en faktor 10 højere end Dantoplug Super og Mikolit B ($1,4$ til $9,4 \times 10^{-12} \text{ m/s}$ for Dantoplug Super og Mikolit B og 22 til $52 \times 10^{-12} \text{ m/s}$ for Mikolit 300). Hvilken målemetode der giver de mest troværdige værdier er svært at afgøre. Det skal dog nævnes at gennemstrømningsforsøg på så lavpermeable prøver, som der her er tale om, er yderst sensitive over for temperatur og tryk. Det er ekstremt små vandmængder, der strømmer gennem prøverne, hvorved usikkerheden bliver større. Det er vores vurdering at den hydrauliske ledningsevne udledt fra svelleforsøgene giver de mest troværdige resultater. Det kan konkluderes at den hydrauliske ledningsevne for Dantoplug Super og Mikolit B er meget lav, mens den er noget højere for Mikolit 300.

Baseret på resultaterne for hydraulisk ledningsevne, forseglings styrke og forseglings restsvelekapacitet fås en samlet vurdering af de 3 pelletstyper som angivet i tabel 1.2.4, idet de forskellige parametre er vurderet på en skala fra 1 til 3, hvor 3 er det bedste.

Tabel 1.2.4 Samlet vurdering af pellets i forhold til hydraulisk ledningsevne, styrke og kvælekapacitet

Pelletstype	Hydraulisk lednings- evne, gennemstrømning	Hydraulisk led- ningsevne, svelle- forsøg	Vingestyrke	Svettetryk	Sam- let
Dantoplug Super	2	3	3	3	11
Mikolit B	2	3	2	3	10
Mikolit 300	2	2	1	1	6

1.3 Test af pelletsforsegling i forskellige vandtyper

Baggrund

Det er almindelig kendt, at vandets hårdhed og saltindhold har stor betydning for blanding af en effektiv bentonitholdig boremudder. For at afklare om vandtypen har en tilsvarende effekt på opkvældningen af bentonitpellets ved forsegling, er der udført kvældforsøg med 3 typer pellets i 4 forskellige vandtyper:

Pelletstyper:

- Mikolit 300
- Mikolit B
- Dantoplug Super

Vandtyper:

- Blødt vand (Hårdhed 4)
- Hårdt vand (Ledningsvand, Lyngby, hårdhed 22-25)
- Saltvand (Salinitet 1,2 g/l, svarende til Øresundsvand)
- Boremudder (2 g/l sodaaske, 30 g/l Barogel (bentonit), viskositet 40 sek.)

Forsøg og resultater

Der er etableret 4 stk. 1 m lange Ø165 mm pvc rør med tæt bundprop. Disse er fyldt (stående lodret) med hver af ovennævnte vandtyper. I hvert af rørene er der etableret 3 stk. Ø63 mm slidserør fyldt med hver sin pelletstype, se fig. 1.3.1



Fig 1.3.1 Fire rør fyldt med hver sin vandtype og hvert rør indeholder tre filterrør med hver sin pelletstype

Efter en kvældeperiode på 3 måneder er de 12 filterrør skåret op på langs, fotodokumenteret, og der er udtaget prøver 2 prøver fra hvert rør til bestemmelse af vandindhold, densitet og styrke. Prøverne er udtaget i forskellig dybde, henholdsvis 25 cm og 75 cm under top af røret. Prøverne til bestemmelse af vandindhold og densitet er udtaget i en tyndvægget stålring (diameter 35,6 mm, højde 20 mm, volumen 19,91 cm³), der er presset ned i materialet og hermed er fyldt. Prøven er vejet i fugtig tilstand samt efter tørring. Da vægt af stålring og voluminet af denne er kendt, kan vandindhold, tørdensitet og densitet i fugtig tilstand beregnes.

I figur 1.3.2 -1.3.4 er vist henholdsvis vandindhold, densitet og vingestyrke i de 3 pelletstyper afhængigt af vandtype. Numrene 1, 3, 5 og 7 er udtaget i 25 cm's dybde, mens prøverne 2, 4, 6 og 8 er udtaget i 75 cm's dybde.

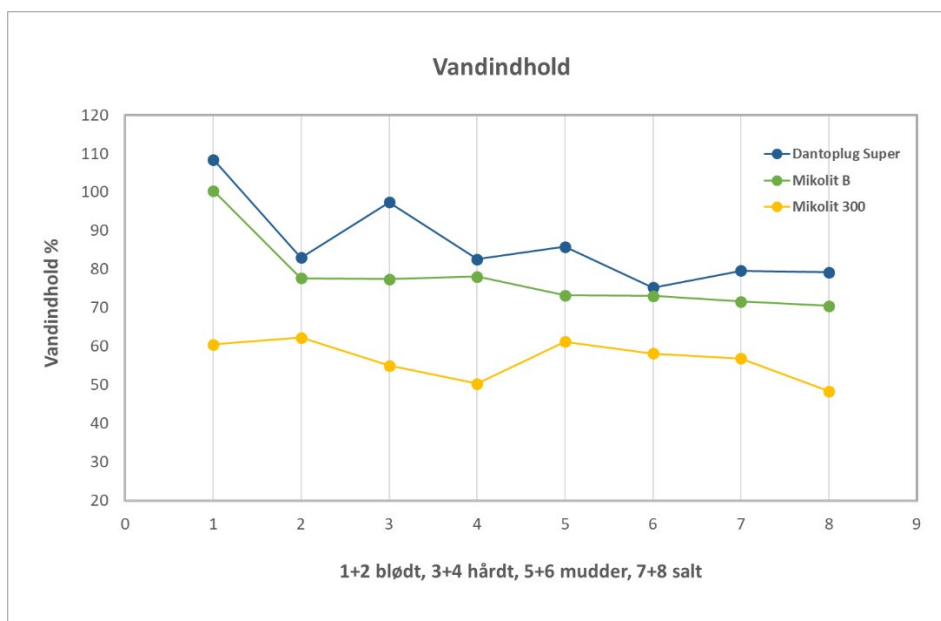


Fig 1.3.2 Vandindhold for de forskellige pelletstyper afhængigt af vandtypen. Numrene 1 og 2 på x-aksen refererer til blødt vand, 3 og 4 til hårdt vand, 5 og 6 til boremudder og 7 og 8 til saltvand. Opmærksomheden henledes på, at vandindholdet er bestemt som massen af vand i forhold til massen af tørstof, derfor kan vandindholdet blive over 100 %

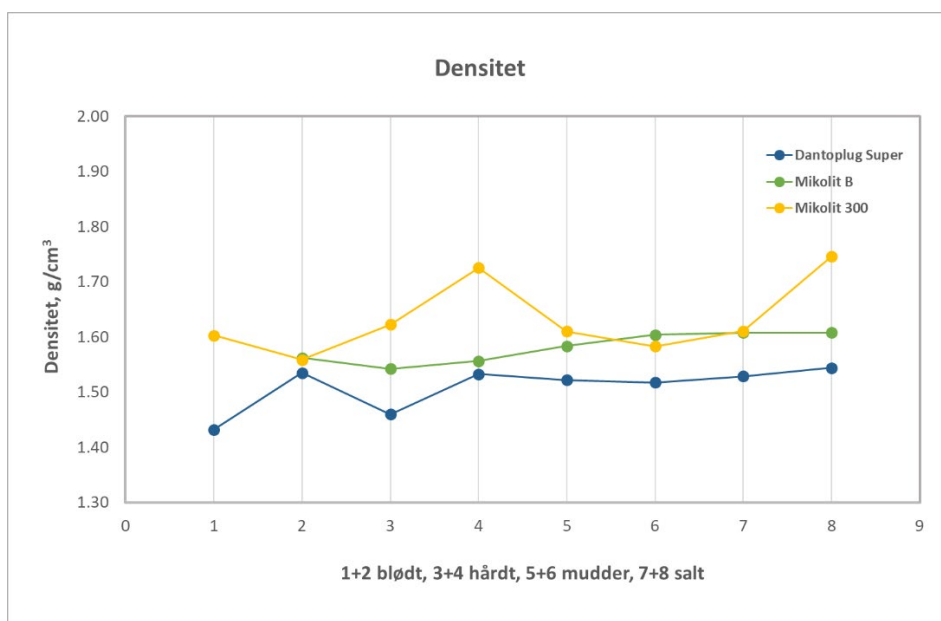


Fig. 1.3.3. Densitet for de forskellige pelletstyper afhængigt af vandtypen. Numrene 1 og 2 på x-aksen refererer til blødt vand, 3 og 4 til hårdt vand, 5 og 6 til boremudder og 7 og 8 til saltvand

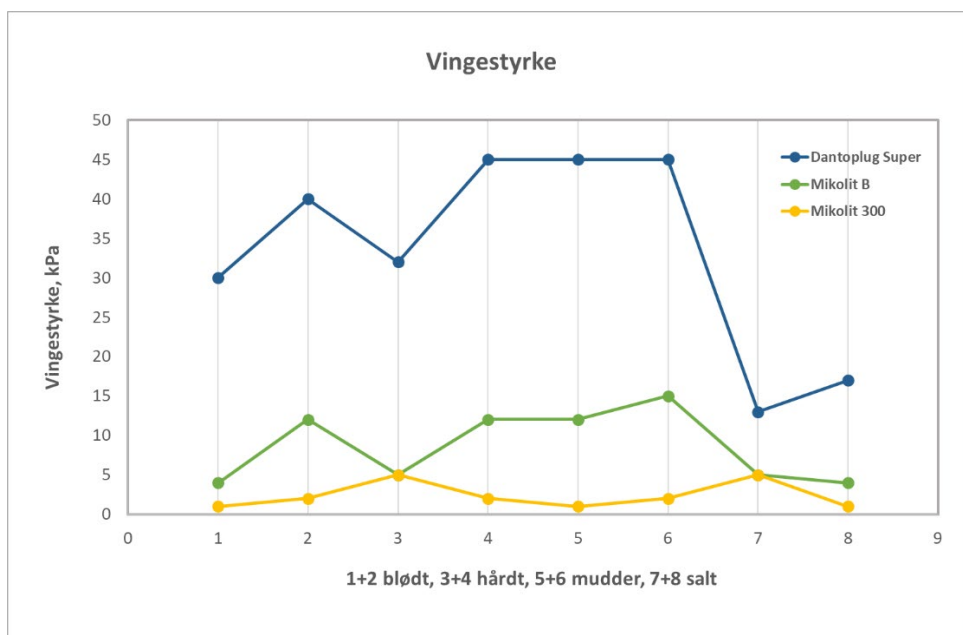


Fig. 1.3.4. Den udrænedede forskydningsstyrke (vingestyrke) for de 3 pelletstyper afhængigt af vandtypen. Numrene 1 og 2 på x-aksen refererer til blødt vand, 3 og 4 til hårdt vand, 5 og 6 til boremudder og 7 og 8 til saltvand

I fig. 1.3.5 til 1.3.8 er vist nærbilleder af de tre typer forsegling i de fire vandtyper.



Fig. 1.3.5 De 3 pelletstyper opkvældet i blødt vand

Hårdt vand

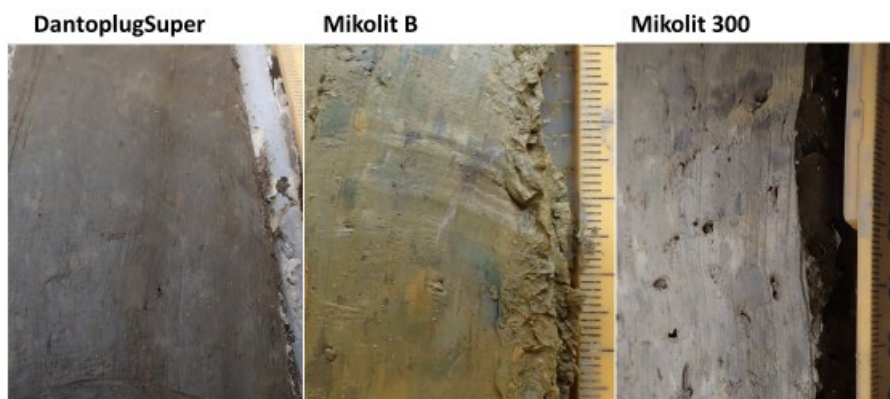


Fig. 1.3.6 De 3 pelletstyper opkvældet i hårdt vand

Boremudder

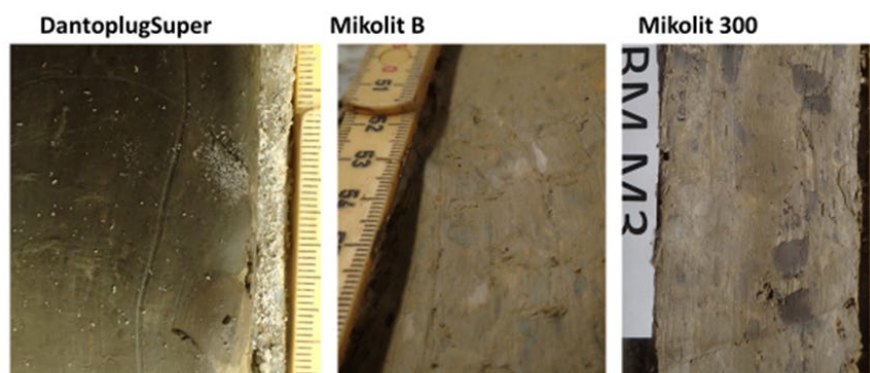


Fig. 1.3.7 De 3 pelletstyper opkvældet i boremudder

Saltvand

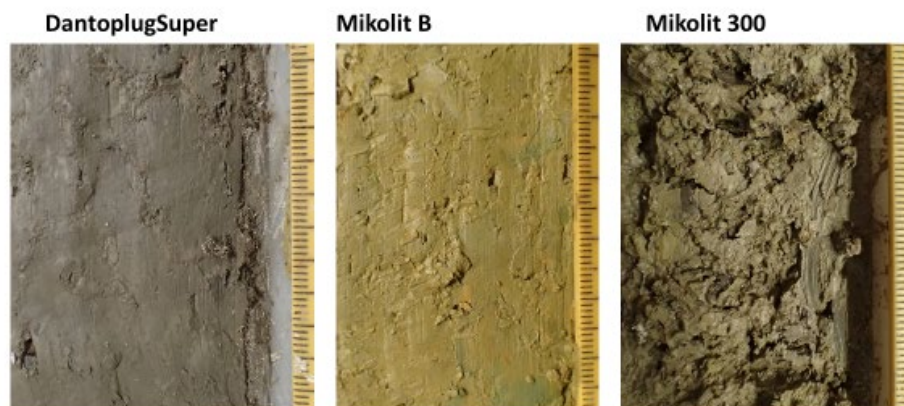


Fig. 1.3.8 De 3 pelletstyper opkvældet i saltvand

Tabel 1.3.1 Kvalitativ vurdering af tekstur og porer i opkvældede, gennemskårne prøver

Vandtype	Dantoplug Super	Mikolit B	Mikolit 300
Blødt vand	<1 % porer	Ingen synlige porer	1-3 % porer 1 mm store
Hårdt vand	Ingen synlige porer	Ingen synlige porer	1-2 % porer 1-2 mm store
Boremudder	<1 % porer	<1 % porer	1-3 % porer 0-2 mm store
Saltvand	1-5 % porer Inhomogen	1-3 % porer 1-5 mm store Grynet struktur	30-40 % porer Inhomogen, pelletsstruktur tydelig. Pellets er kvældet på ydersiden, men ikke i indeni

Vurdering

Af billederne af de gennemskårne forseglinger samt af tabel 1.3.1 ses det at Dantoplug Super og Mikolit B virker som de mest homogene forseglinger i blødt vand, hårdt vand og boremudder, mens de virker mindre homogene i saltvand. Mikolit 300 virker noget mindre homogen end de to andre typer, og specielt ved opkvældning i saltvand virker Mikolit 300 disintegreret.

Som det ses af figur 1.3.3 er der øjensynlig ikke markant forskel på densiteten, uanset hvilken vandtype den enkelte pelletstype kvælder i. Derimod er densiteten generelt lidt højere for Mikolit B og markant højere for Mikolit 300 end for Dantoplug Super. Dette skyldes som tidligere nævnt, at Mikolit B og i særlig grad Mikolit 300 har et lavere indhold af svellende lertyper (montmorillonit) end Dantoplug Super. At densiteten for hver af de enkelte pelletstyper er den samme uanset hvilken vandtype de er kvældet i, betyder at de enkelte typer pellets hver især gennemsnitligt kvælder lige meget uanset vandtypen. Den ensartede densitet uafhængigt af vandtypen i forsøgene skyldes, at vandindhold og densitet måles som et gennemsnit af det volumen som prøvetagningsringen har (ca. 20 cm³). I modsætning til den ensartede målte densitet, har den visuelle inspektion givet et andet indtryk af opkvældningen i de forskellige vandtyper. Specielt ved opkvældning i saltvand er det noteret, at prøverne virker inhomogene (og Mikolit 300 direkte disintegreret). Der er således tale om at materialet består af makroporer mellem ufuldstændigt opkvældede pellets med højere densitet, se tabel 1.3.1.

Af figur 1.3.4 ses det, at den opnåede styrke af Dantoplug Super er væsentligt lavere for saltvand end for de øvrige vandtyper. Det samme mønster ses for Mikolit B, mens Mikolit 300 ligger lavt for alle vandtyper. Herudover ses det, at den generelle styrke af Mikolit B forseglingen er markant lavere end Dantoplug Super forseglingen. Dette ses i endnu højere grad for Mikolit 300, der kun opnår meget lave styrker i alle 4 vandtyper. Grunden til at de enkelte pelletstyper opnår forskellig styrke skal findes i kvældepotentialet hos de enkelte typer. Når pellets fyldes i en boring vil der være porer (makroporer) mellem de enkelte pellets på ca. 40 %. Når pellets tilsættes vand kvælder de op og udfylder dette hulrum. Herefter vil kvældeprocessen gå i stå på grund af det omgivende jordtryk. Såfremt der er tale om en pelletstype af høj kvalitet, vil denne kvælde yderligere op, hvis det omgivende tryk mindskes. Det betyder at disse pellets har en selvhelende egenskab, således at de kvælder yderligere op, hvis der af en eller anden grund opstår hul i forseglingen. Dette ses tydeligt i afsnit 1.4, hvor der er udtaget prøver til vandindholdsbestemmelse af pelletsforseglingen med et spyd. Ved senere opskæring, er det observeret, at hullerne efter spyddet er genlukket i pelletsforseglingen (disse forsøg omfatter kun Dantoplug Super pellets), mens de stadig er åbne i det omgivne umættede sand. I afsnit 1.2, (fig.1.2.6) er det vist, at der er en sammenhæng mellem vingestyrken og svelletrykket, således at svelletrykket er højere ved høje vingestyrker. Det betyder omvendt, at en pelletsforsegling med lav vingestyrke kun har en begrænset, resterende kvældekapa-citet til rådighed, og vil ikke i samme grad have en selvhelende egenskab. Derfor er en pelletstype med høj vingestyrke at foretrække.

Af nedenstående tabel 1.3.2 ses anbefalingen til brug af de forskellige pelletstyper når resultaterne fra forsøg med forskellige vandtyper anvendes. Grundlaget for anbefalingerne er primært hvorvidt pellets opnår en homogen tekstur samt vingestyrken af forseglingen.

Tabel 1.3.2 Anbefaling til anvendelse af pelletstyper i forskellige vandtyper

	Blødt vand	Hårdt vand	Boremudder	Saltvand
Dantoplug Super	3	3	3	-
Mikolit B	2	2	2	-
Mikolit 300	1	1	1	-

Signatur: 1 -3 egnethedskarakter, - uegnet

Når der ses bort fra saltvand, hvor alle pelletstyper er vurderet uegnede har Dantoplug Super og Mikolit B samme visuelle struktur/homogenitet (porevolumen vurderet til < 1 %). Forskellen i vurderingen skyldes derfor at Dantoplug Super opnår en væsentlig højere styrke og dermed en højere restkvældekapa-citet end Mikolit B. For Mikolit 300 er der i alle 3 relevante vandtyper vurderet et porevolumen på mellem 1 og 3 %, og altså en noget mindre homogenitet. Hertil kommer en særdeles lav vingestyrke og dermed restkvældekapa-citet.

1.4 Pellets i umættet zone

Baggrund

Der er generelt usikkerhed om, hvorvidt pellets kan anvendes i umættet zone. Usikkerheden går på om pellets kvælder op, og om de i efterfølgende tørre perioder udtørrer og mister volumen, samt hvis de gør, om de så i efterfølgende våde perioder opfugtes og kvælder op igen. Ud over forsegling med pellets er der tillige udført forsøg med to grouttyper.

Forsøg og resultater

Der er etableret 8 stk. 1 m lange Ø225 mm PVC rør, hvori der er sat et Ø90 mm PEH blindrør, der er anvendt som "borerør". Der er fyldt sand i mellemrummet mellem de to rør. Sandet er blevet vandmættet, og efterfølgende drænet af, så sandet er fugtigt og står med kapillarspændinger, så sandet ikke falder sammen når Ø90 mm røret gradvist trækkes op. Ø90 mm røret er herefter gradvist fyldt med pellets under tilsætning af vand og under samtidig optrækning. Resultatet er en pelletforsegling i umættet sand. Rørene er herefter vandmættet i et døgn og efterfølgende afdrænet igen for at tilstræbe en mætning under etableringen af forseglingen. Rør nr. 6 har dog ikke været vandmættet i 1 døgn, men har kun fået tilsat vand under selve etableringen af forseglingen. Der er i denne forsøgsrække udelukkende anvendt pellets af typen Dantoplug Super.

Rør nr. 7 er etableret med en forsegling af grout (ren cement) mens rør nr. 8 blev etableret med en forsegling af bentonitholdig grout (80 % bentonit og 20 % cement (vægtprocent)) og begge rør har været udsat for tørke i hele perioden.



Fig. 1.4.1 Installering af pelletsforsegling ved hjælp af et Ø90 mm peh-rør i fugtigt sand



Fig. 1.4.2 "Regnvej". 750ml vand dryppes over prøven en gang om ugen

Rørene er to og to udsat for hvert sit "regnsценarie" eller "tørke" som vist i tabel 1.4.1.

Tabel 1.4.1 Forsøgsoversigt

Rør nr.	Forseglingstype		Vandmættet 1. døgn	Klima		Bemærkninger
				0-3 mdr.	3-5 mdr.	
1	Dantoplug Super		Ja	Regn	.	Skåret op efter 3 mdr
2	Dantoplug Super		Ja	Regn	Regn	
3	Dantoplug Super		Ja	Tørke		Skåret op efter 3 mdr
4	Dantoplug Super		Ja	Tørke	Tørke	
5	Dantoplug Super		Ja	Tørke	Regn	
6	Dantoplug Super		Nej	Regn		Skåret op efter 3 mdr
7	Ren cement		Nej	Tørke		Skåret op efter 3 mdr
8	Bentonit/cement 80/20		Nej	Tørke		Skåret op efter 3 mdr

Rør nr. 1 og 2 har fået tilført vand på overfladen (toppen) af rørene 1 gang om ugen med en vandmængde svarende til 750 mm pr. år. For at følge udviklingen i vandindholdet i forseglingen af rør 1 er der hver anden uge udtaget små prøver af forseglingen med en 5 mm tyndvægget sonde. Efter 3 måneder er rør 1 skåret op, og der er udtaget prøver til bestemmelse af vandindhold, densitet og der er målt styrke i forseglingen. Rør nr. 2 er fortsat blevet vandet i yderligere 2 måneder og udtagningen af små prøver til vandindholdsbestemmelse hver anden uge er nu sket fra rør 2. Rør nr. 3 og 4 har i alle 3 og 5 måneder været udsat for "tørke", og har altså ikke fået tilført vand efter 1 døgn vandmætning ved etableringen af forseglingen. Rør 3 og 4 er prøvetaget på samme måde som rør 1 og 2. Rør 5 har de første 3 måneder været udsat for tørke og er blevet vandet de sidste 2 måneder. Rør 6 adskiller sig fra rør 1 ved ikke at have været vandmættet et døgn i forbindelse med etableringen af forseglingen, men kun har fået vand tilsat under selve etableringen af forseglingen samt efterfølgende som "regn".



Fig. 1.4.3 Udtagning af prøver til vandindholdsbestemmelse. Først bores hul i pvc-røret, derefter udtages prøve af forseglingsen med en sonde

I figur 1.4.4 er vist udviklingen i vandindhold i forseglingsen, der har været udsat for regnvejr og i figur 1.4.5 er vist udviklingen i vandindhold for rør, der har været tørre under hele forløbet. Figur 1.4.6 viser udviklingen af vandindholdet i rør 5, der ikke blev tilført vand (udover ved etableringen) de første 3 måneder, mens det har været udsat for regn de sidste 2 måneder. Figur 1.4.7 viser udviklingen af vandindholdet i en forseglingsen, der har været udsat for regn, men som ikke er blevet vandmættet i et døgn i forbindelse med etableringen.

Ved forsøgenes slutning efter 3 eller 5 måneder er rørene skåret op på langs, og der er udtaget prøver for måling af vandindhold og densitet, ligesom der er målt styrke af forseglingsen med en laboratorievinge. Figur 1.4.8 til figur 1.4.14 viser et udpluk af billeder af de forskellige forseglingsen.

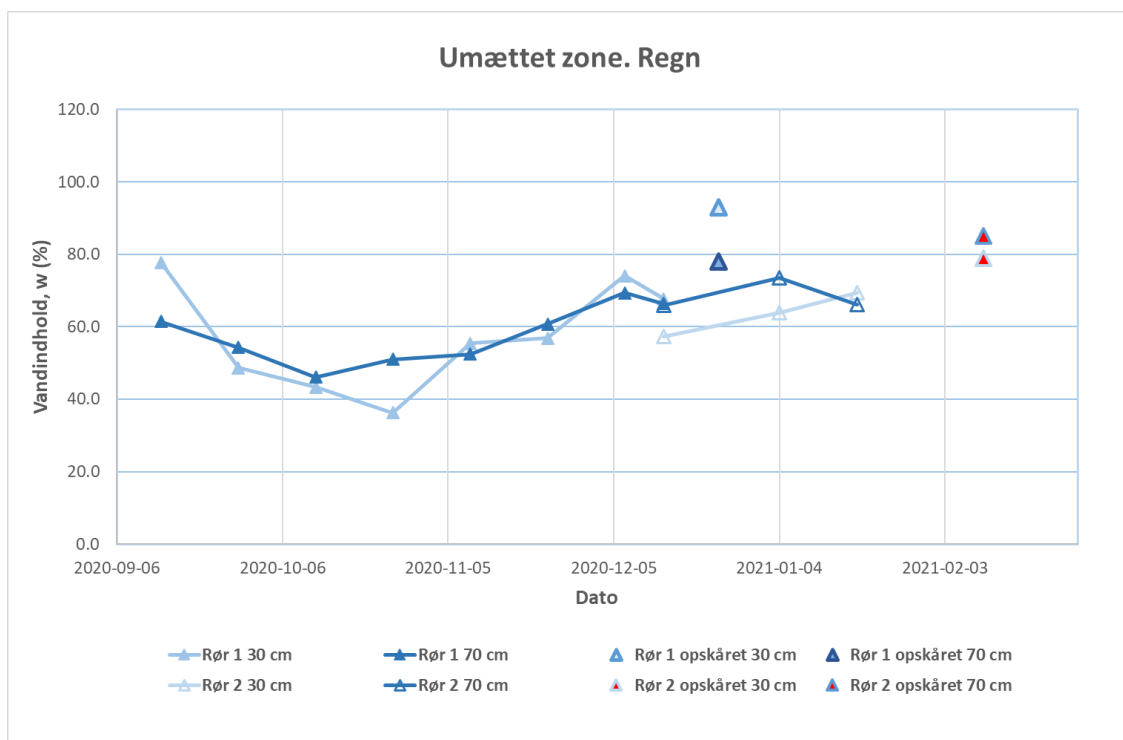


Fig. 1.4.4 Rør 1 og 2, Dantoplug Super tilført regn, omgivet af umættet sand. Udvikling i vandindhold over tid i forskellig dybde; hhv. 30 og 70 cm fra top af rør

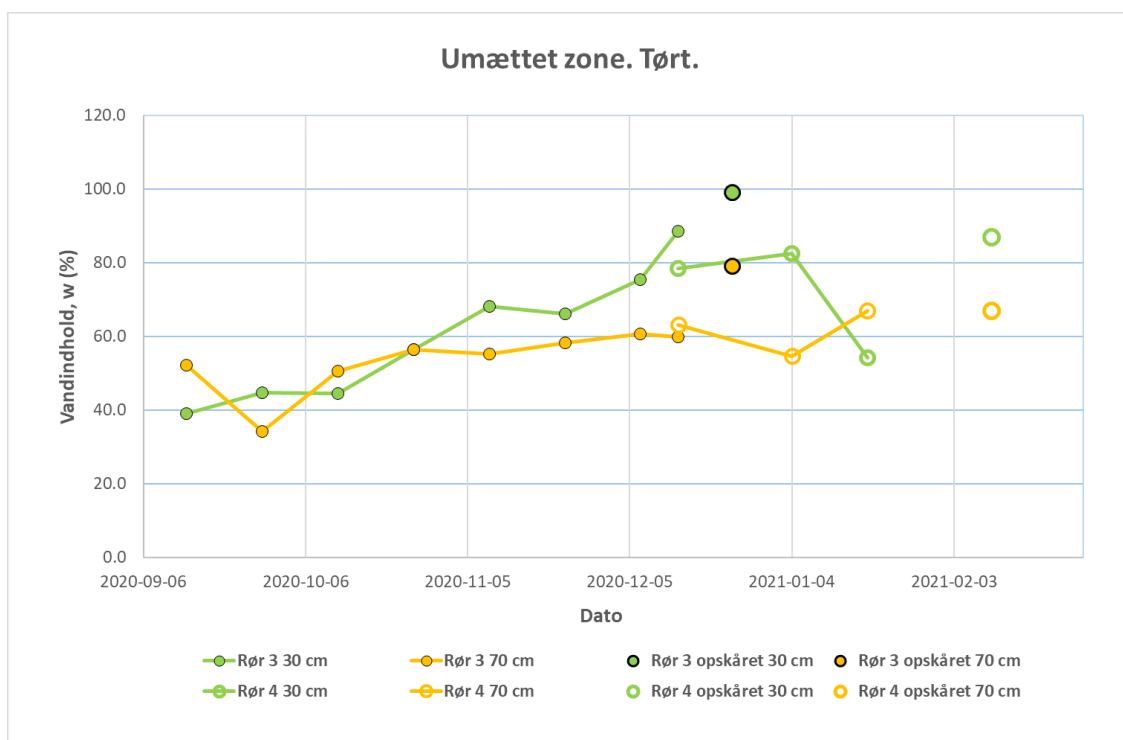


Fig. 1.4.5 Rør 3 og 4, Dantoplug Super **ikke** tilført regn, omgivet af umættet sand. Udvikling i vandindhold over tid i forskellig dybde; hhv. 30 og 70 cm fra top af rør

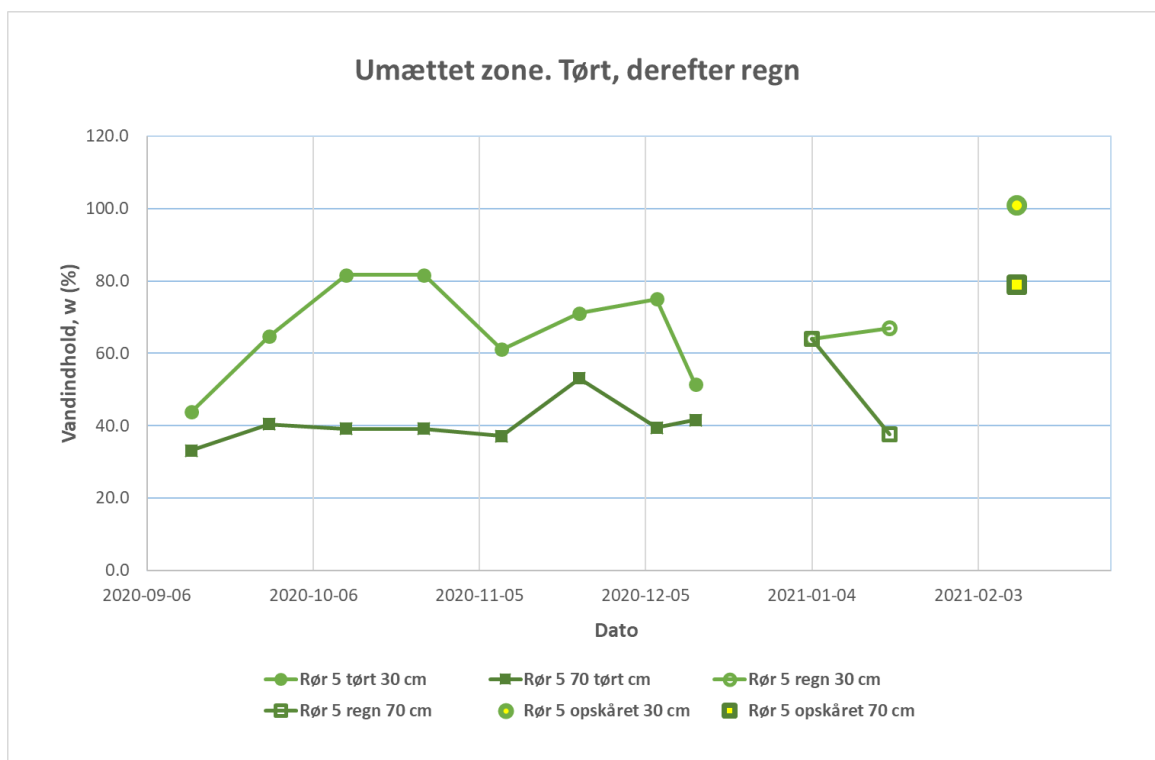


Fig 1.4.6 Rør 5 Dantoplug Super **ikke** tilført regn de første 3 mdr., derefter regn, omgivet af umættet sand. Udvikling i vandindhold over tid i forskellig dybde; hhv. 30 og 70 cm fra top af rør

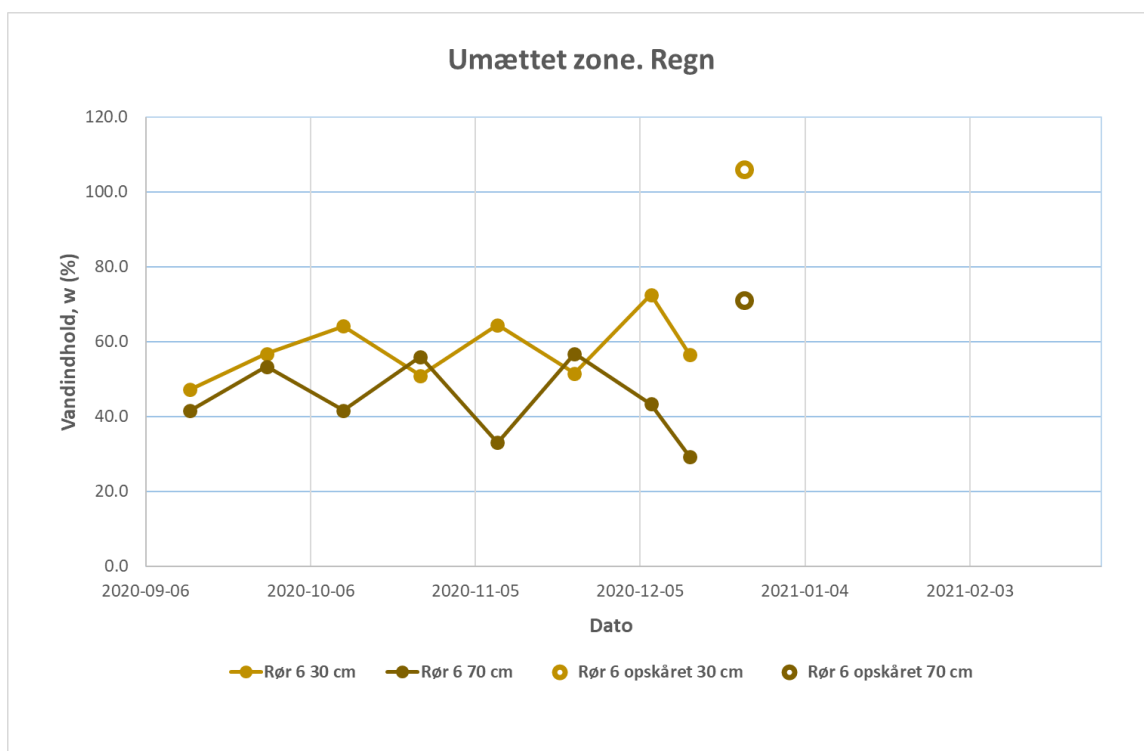


Fig 1.4.7 Rør 6. Dantoplug Super tilført regn omgivet af umættet sand. Prøven har ikke været vandmættet i et døgn umiddelbart efter indbygningen. Udvikling i vandindhold over tid i forskellig dybde; hhv. 30 og 70 cm fra top af rør

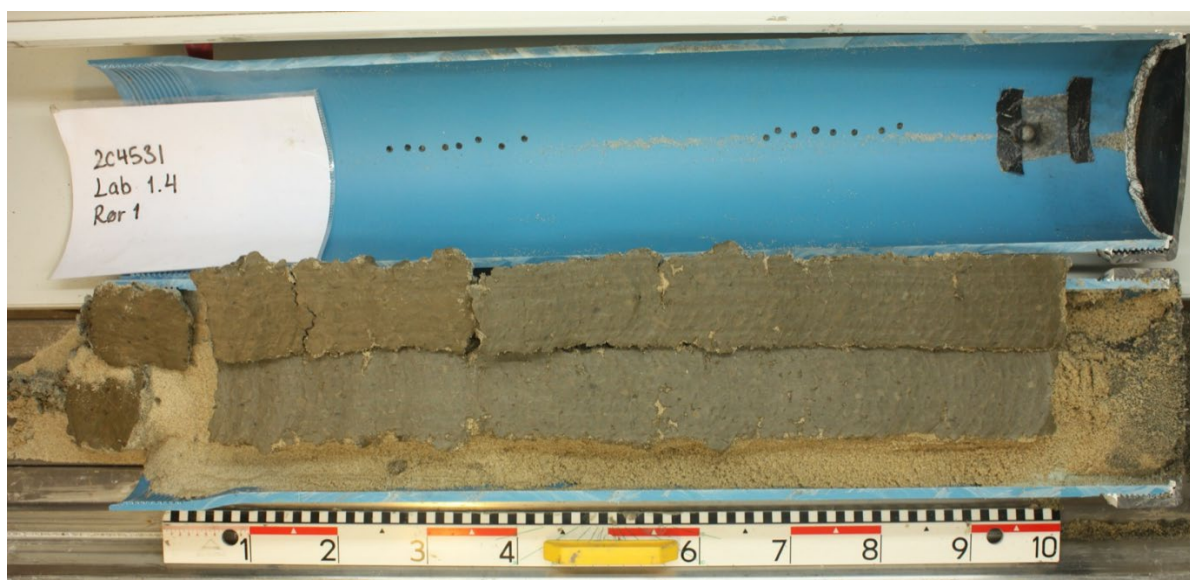


Fig. 1.4.8 Rør 1. Dantoplug Super efter opskæring. Regn. Hullerne efter vandprøvetagning kan ses i pvc-røret, mens hullerne i forseglingen er lukket af kvældeprocessen i pellets



Fig. 1.4.9 Rør 2. Dantoplug Super efter opskæring. Regn. Homogen struktur

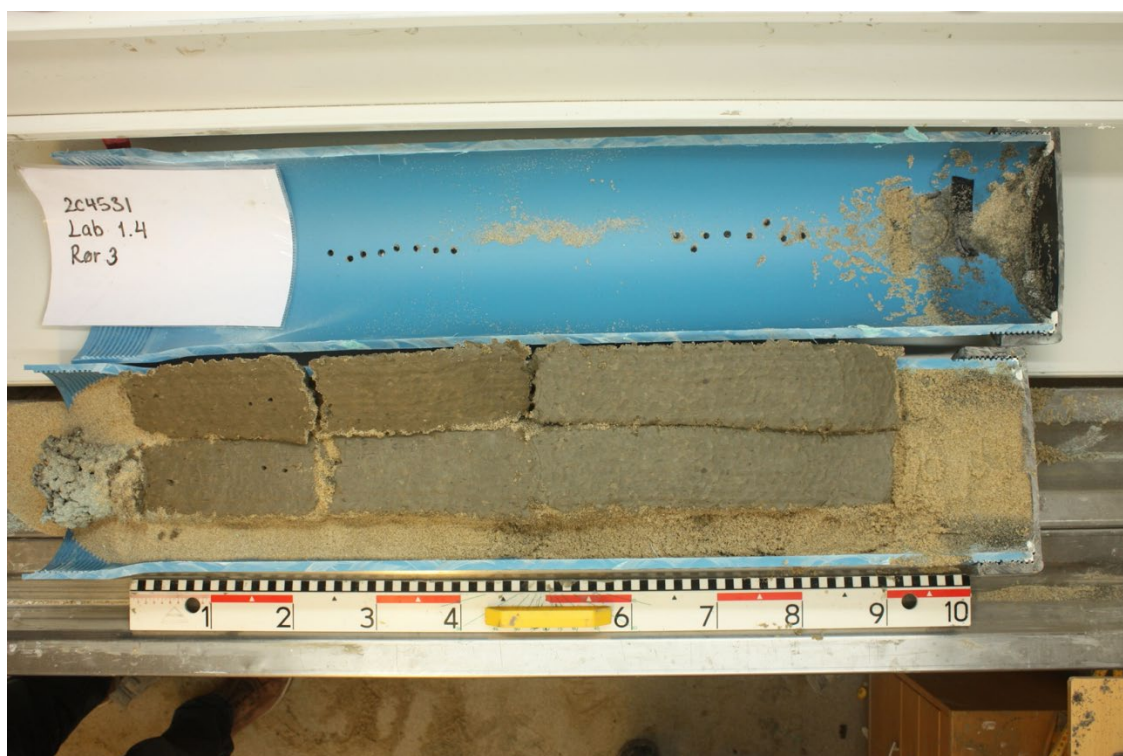


Fig. 1.4.10 Rør 3, Dantoplug Super (tørt) efter opskæring. Også her er hullerne efter vandprøvetagningen genlukket i pelletsforseglingen



Fig. 1.4.11 Rør 3 Ingen regn. Dantoplug Super. Nærbillede af homogen pelletsforsegling i umættet sand

Rør 6, som ikke var vandmættet et døgn efter etableringen af forseglingen, men som efterfølgende har været udsat for "regnvej", viser en forsegling som godt nok er kvældet op, men som tilsyneladende har små isolerede indeslutninger af sand, og derfor ikke danner en så homogen forsegling som de øvrige.



Fig. 1.4.12 Rør 6. Dantoplug Super. Umættet zone uden startvandmætning. Forsegling flækkes med osteklinge. Nærbillede af forsegling

Rør 7, som er etableret med en forsegling med grout af ren cement viser en homogen forsegling, som kun er trukket mindre end 0,5 cm ud i sandet.



Fig. 1.4.13 Rør 7. Ren cement

Rør 8, som er etableret med en forsegling med grout af 80 % bentonit og 20 % cement viser en fast, homogen forsegling, som stort set ikke er trukket ud i sandet.



Fig. 1.4.14 Rør 8 med grout (80/20 bentonit/cement). Har opnået en fasthed som kan sammenlignes med en forsegling af Dantoplug Super

Endelig er der udført et forsøg med opkvældning af Dantoplug Super, ved gennemstrømning med vand, hvor pellets altså ikke har været vandmættet med stillestående vand på noget tidspunkt. Der er etableret 3 stk. 1,5 m høje transparente Ø90 mm rør, A, B og C, som er åbne i top og bund. Rørene er placeret på et ståltrådsnet, som forhindrer pellets i at undslippe røret, men tillader vand at strømme uhindret igennem. Rørene er fyldt med Dantoplug Super pellets til en højde af 123 cm.

Der blev tilledt vand i toppen af det første rør (A) med en mængde på 200 l/time. Pellets blev herved opfugtet på overfladen, mens hovedparten af vandet strømmede igennem pellets og ud af bunden af røret. Efter ca. 15 min. begyndte der at danne sig et vandspejl over pellets-overfladen. Da vandspejlet havde nået en højde på 12 cm over pelletsoverfladen blev vandtilførslen stoppet og tiden for sænkning af vandspejlet til pelletsoverfladen blev målt. Herefter åbnedes for vandet igen til vandspejlet igen stod 12 cm over pelletsoverfladen. Således fortsattes i godt 15 min, hvorefter der blev holdt en pause på 5 min. og igen efter yderligere 5 min samt efter yderligere 13 min. Herefter stilstand i 80 min. hvor vandspejlet igen blev hævet til 12 cm over pelletsoverfladen. Efter yderligere 19 timer uden vandpåfyldning var niveauet for vandspejlet uændret 12 cm over pelletsoverfladen, og prøven var altså svulmet op og var tæt. Forsøget er illustreret i fig. 1.4.15. Ved "vandtabet" forstås den mængde vand, som enten op-suges af pellets eller løber igennem prøven og ud af bunden. Vandtabet er beregnet som hastigheden af sænkningen af vandspejlet i røret gange rørets areal og er beregnet for den periode efter der har dannet sig et vandspejl over prøven.

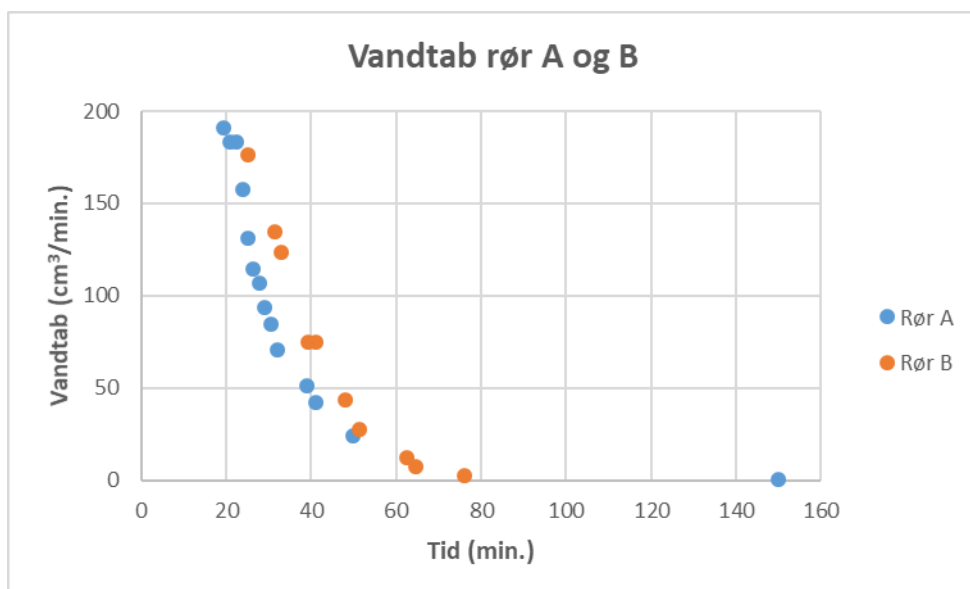


Fig. 1.4.15 Opkvældningstid for Dantoplug Super pellets ved gennemstrømning alene (rør A og B)

I rør B blev vandet (200 l/time) tilledt i 5 min., herefter 5 min. pause, så vand i 5 min. igen osv. Efter 20 min. dannedes vandspejl på oversiden af pellets og efter 1 time og 15 min. var gennemstrømningen af vand stoppet og forseglingen tæt.

Rør C blev tilført vand i 15 min. (200 l/time), hvorefter røret stod urørt til dagen efter. Ved påfyldningen med vand dagen efter dannedes med det samme vandspejl over pellets, som efterfølgende holdt sig i samme niveau uden yderligere vandtilsætning.

Efterfølgende er de tre rør skåret op, og pelletsforseglingen er flækket på langs. Der er foretaget en beskrivelse af forseglingen og der er udført målinger af vandindhold, densitet og vingestyrke. Resultaterne fremgår af fig. 1.4.16 til 1.4.21. Det ses af billedteksterne, at forseglingen i alle tre rør er homogen med et begrænset porevolumen på ca. 2 %. Der er tale om ikke sammenhængende porer. Bortset fra de øverste ca. 5 cm af prøverne, hvor der har stået vand på en fri overflade ligger vandindholdet på 75 til 88 %, hvilket svarer til de øvrige kvældforsøg under begrænsede trykforhold. Vingestyrken svarer også til de tidligere opnåede vingestyrker for Dantoplug Super.

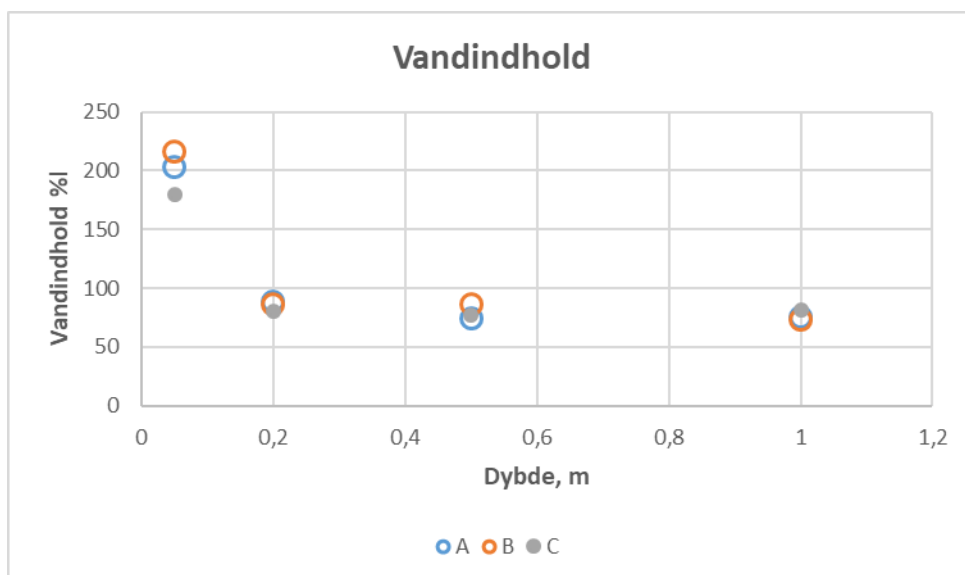


Fig 1.4.16 Vandindhold i pelletsforsegling opkvældet ved gennemstrømning

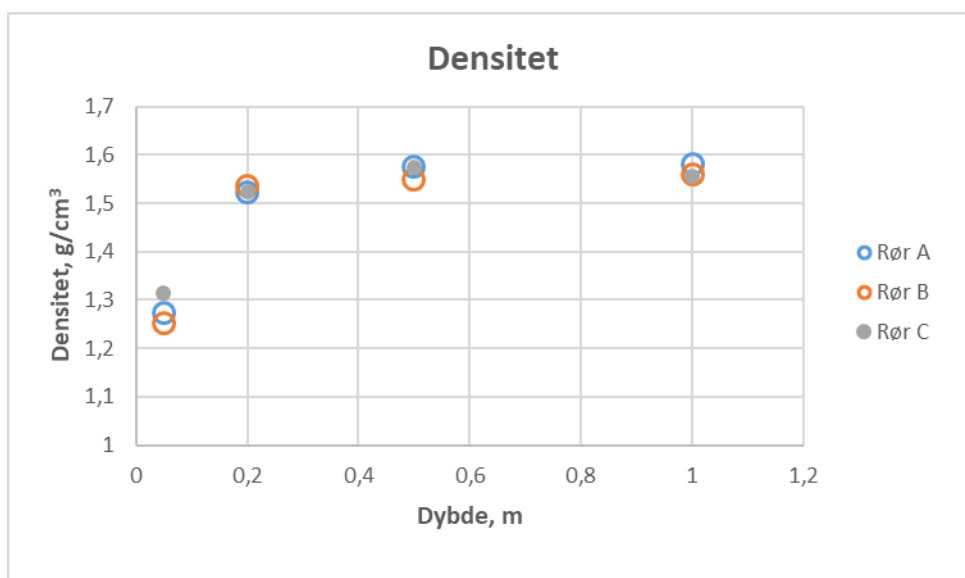


Fig. 1.4.17 Densitet i pelletsforsegling opkvældet ved gennemstrømning

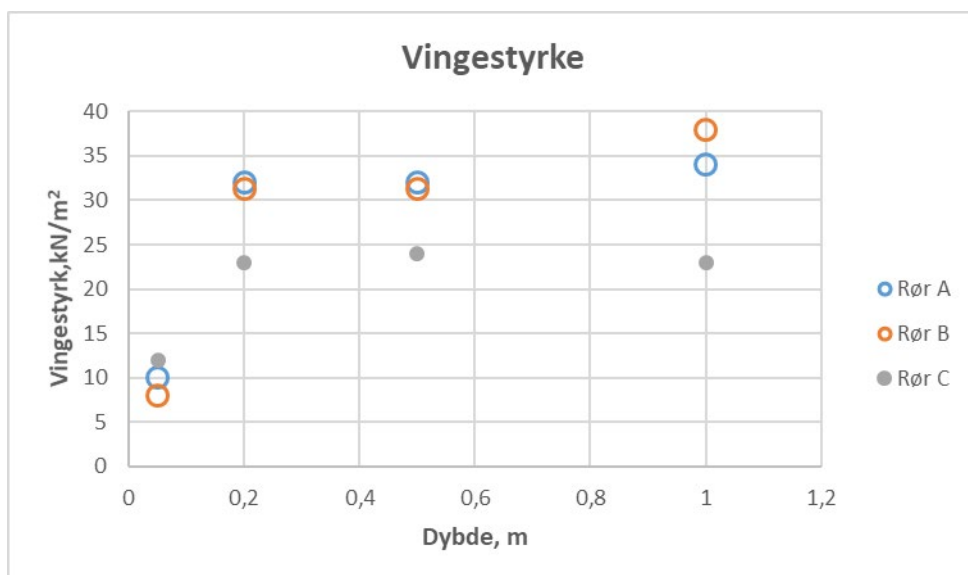


Fig. 1.4.18 Vingestyrke i pelletsforsegling opkvældet ved gennemstrømning



Fig. 1.4.19 Rør A. Nærbillede af pelletsforsegling opkvældet ved gennemstrømning. Prøven virker homogen. Pellets fylder røret ud og kan ikke skelnes fra hinanden. Der forekommer tydelige porerum der udgør ca. 2% af prøven. Porerne er ikke forbundne og måler ca 2mm X 2-10mm



Fig. 1.4.20 Rør B. Nærbillede af pelletsforsegling opkvældet ved gennemstrømning. Prøven virker homogen. Pillerne fylder røret ud og kan ikke skelnes fra hinanden. Der forekommer tydelige porerum der udgør ca. 2% af prøven. Porerummene er ikke forbundne og måler ca 1-5mm X 2-10mm



Fig. 1.4.21 Rør C. Nærbillede af pelletsforsegling opkvældet ved gennemstrømning. Prøven virker homogen. Pillerne fylder røret ud og kan ikke skelnes fra hinanden. Der forekommer tydelige porerum der udgør ca. 2% af prøven. Porerummene er ikke forbundne og måler ca 1-5mm X 2-10mm

Vurdering

Resultatet af vandindholdsbestemmelserne, som er udtaget med sonde gennem rørvæggen, er umiddelbart svære at tolke. Indledningsvist må det siges, at vandindholdsbestemmelsen ved hjælp af sonder, der bores gennem røret, er temmelig usikker. Dels er materialemængden kun 1/30 del af den mængde, der normalt anvendes, dels er der risiko for at få sandkorn fra det omliggende sand med i testen. Alligevel blev det vurderet at være den bedste metode at følge forløbet med.

Rør 1 og 2, som har været udsat for regn, har et jævnt stigende forløb i vandindhold uden stor forskel mellem top og bund. Slutvandindholdet ligger på 80 – 85 %, hvilket er lidt lavere end de 90 %, som blev registreret i det indledende forsøg (1.1), hvor der var vand til rådighed under hele opkvældningen. Dette kunne tyde på, at der er et vist potentiale for yderligere opkvældning. Det omgivende sand blev registreret fugtigt i den nederste tredjedel af prøven. Der er konstateret en særdeles homogen struktur i pelletsforseglingen, som tyder på en meget lav hydraulisk ledningsevne. I rør 1 blev der konstateret små indeslutninger af sand over en 25 cm strækning. Dette skyldes en fejl ved etableringen af forseglingen, hvor der tilsyneladende er hældt vand i "boringen" til et niveau over pelletsoverfladen, således at vandet har haft direkte adgang til sandet og det vandmættede sand er trængt ind i "boringen" inden pellets er kommet på plads. På fig. 1.4.8 kan hullerne fra vandindholdsprøvetagningen ses i PVC-røret, mens der ikke ses huller i pelletsforseglingen. Forseglingen er altså i stand til at "hele" sig selv ved yderligere opkvældning.

For rør 3 og 4 som ikke har fået regn gennem hele forsøgsperioden ses en større forskel i vandindhold mellem top og bund end i rør 1 og 2. Imidlertid ses også her et jævnt stigende vandindhold gennem forsøget, hvilket umiddelbart virker mærkeligt. Rørene slutter på et vandindhold på 80 – 90 %, hvilket tyder på et vist potentiale for yderligere opkvældning. Hvorfor vandindholdet tilsyneladende stiger hen gennem forsøget ved vi ikke. Øgningen i vandindhold er beregnet til tilførsel af ca. 1 liter vand. Om denne vandmængde kan være trukket ind fra det omgivende sand eller der er tale om en slags omfordeling af vandet kan ikke siges. Den positive vinkel er, at pellets ikke er udtørret, selv om forseglingen har stået i 22 graders varme i 5 måneder. Ligesom ved rør 1 og 2 er der her tale om en yderst homogen pelletsforsegling, og der ses samme genlukning af hullerne efter prøvetagningen i den nedre del (men ikke øverst) som i rør 1 og 2.

Rør 5 har stået tørt de første 3 måneder og derefter fået regn. Desværre er indbygningen af dette rør mislykket, idet "borerøret" er trukket for hurtigt op, og der er sket indfald af sand i forseglingen. Sandsynligvis er der tillige sket en brodannelse i forbindelse med installeringen af pellets. Tilsyneladende sker der en øgning af vandindholdet efter de to sidste måneder med regn, hvilket tyder på en opfugtning, men vandindholdet fra den første, tørre periode er alene baseret på de usikre analyser. Prøven slutter med et vandindhold på ca. 90 %.

Rør 6 blev etableret uden den 1-døgns vandmætning som de andre rør fik. Her er der kun tilsat vand under selve etableringen af pelletsforseglingen, hvorefter sandet har været konstant afdrænet. Prøven har ligesom rør 1 og 2 været udsat for regn gennem hele perioden. Prøven slutter med et gennemsnitligt vandindhold på 90 %, men der er stor forskel mellem top og bund. Prøven har en del små og nogle større indeslutninger af sand, som må tilskrives fejl under etableringen. Bortset herfra virker pelletsforseglingen tæt og homogen.

Rør 7 er etableret med en grout af 100 % cement og har ikke fået regn. Forseglingen er meget hård med en densitet på knapt 2,0 g/cm³ og et vandindhold på ca. 17 %. Cementgrouten er trængt mindre end 0,5 cm ind i det omgivende sand, hvilket vurderes at være en meget beskedne indtrængning af grouten i sandet.

Rør 8 er etableret med en grout af 80 % bentonit og 20% cement. Grouten er stort set ikke trængt ind i det omgivende sand og har opnået en homogen struktur og en densitet på 1,2 til 1,4 g/cm³ og en styrke på ca. 50 kN/m² svarende til en forseglings med Dantoplug Super.

Forsøget med opkvældning ved gennemstrømmende vand alene, se fig. 1.4.15, viser, at selv om det ikke er muligt at holde pellets konstant vandmættede i forbindelse med installeringen, så kvælder disse alligevel op i løbet af 1 time ved gennemstrømning af en beskeden vandmængde (200 l pr. time i et kvarter). Dette viser at pellets er anvendelige som forseglings også under umættede forhold.

Konklusion

På baggrund af de udførte forsøg kan følgende konkluderes om forseglings i **umættet sand**:

- En pelletsforsegling kan etableres, såfremt det er muligt at holde de installerede pellets under vand under etableringen, eller ved gennemstrømning med en lille vandmængde i 15-20 min.
- En pelletsforsegling kvælder da op til en homogen struktur med et vandindhold, som ligger lidt i underkanten af hvad der opnås med fuld tilgang til vand
- En pelletsforsegling, der er opkvældet, tørrer ikke ud selv ved langvarig tørke
- Tilsyneladende sker der en opfugtning af en pelletsforsegling når der kommer regn efter en tør periode
- Det er vigtigt at der er stor fokus på proceduren for etablering af pelletsforseglingen. Borerørene skal trækkes et stykke op, inden der hældes pellets og derefter vand i bunden af boringen
- Det er vigtigt at pelletsoverfladen er i nøjagtigt niveau med underkanten af borerørene inden der hældes vand i pellets, da der ellers sker indfald af sand
- Grout af ren cement (se blandingsforhold med vand i afsnit 2.2) trænger kun mindre end 0,5 cm ud i det omgivende sand og opnår en høj densitet og en meget høj styrke
- Grout af bentonit og cement (80/20) trænger stort set ikke ud i det omgivende sand og opnår en homogen struktur og en styrke som Dantoplug Super pellets

På baggrund af ovenstående konklusioner vurderes det muligt at etablere forseglings i umættet sand med pellets af en kvalitet som Dantoplug Super, såfremt arbejdet med forseglings er yderst omhyggeligt, og det er muligt at tilføre og holde vand i pelletsopfyldningen under arbejdet, eller gennemstrømme forseglings med vand i 15-20 min.

Grout af såvel ren cement og Bentonit 80/20 kan på basis af ovenstående ligeledes anvendes i umættet sand, såfremt blandingsforhold mv. overholdes.

1,5 Sløjfning af boringer med pellets

Baggrund

Den almindeligste måde at sløjfe en korrekt forseglet, tæt boring på, er at udstøbe forerøret med grout eller fylde det med pellets. Når pellets anvendes i forerørsstrækningen, er der kun det vand til rådighed for op-kvældning, som står/hældes i forerøret. Det er uvist om denne mængde er tilstrækkelig til at få pellets til at kvælde til en tæt masse.

Forsøg og resultater

Der er udført laboratorieforsøg med de 3 pelletstyper Dantoplug Super, Mikolit B og Mikolit 300, hvor pellets hældes i et transparent, tæt, vandfyldt 1,5 m højt rør. Tre af rørene er holdt lukket tæt i både top og bund, mens der i tre andre rør er boret huller i bundproppen og rørene er placeret i en skål med vand. Vandet fra skålen har mulighed for at blive opsuget af bentonitsøjlen gennem hullerne i bundproppen, og skal således illudere, at der er fyldt pellets i såvel boringens filter som i forerøret, se fig. 1.5.1. Efter en periode på 4 uger er søjlerne er skåret op på langs og forseglingens udseende og tæthed er vurderet, og der er udtaget prøver til bestemmelse af vandindhold og densitet samt styrke.

Resultaterne af vandindholdsbestemmelserne er vist i fig. 1.5.2 og vingestyrkerne i fig. 1.5.3. I fig. 1.5.4 til 1.5.9 er der vist fotos af de opskårne rør med pelletsforsegling.



Fig. 1.5.1 Tre pelletsfyldte rør lukket i begge ender og tre rør med "tåen" i vand for mulig op-sugning af yderligere vand

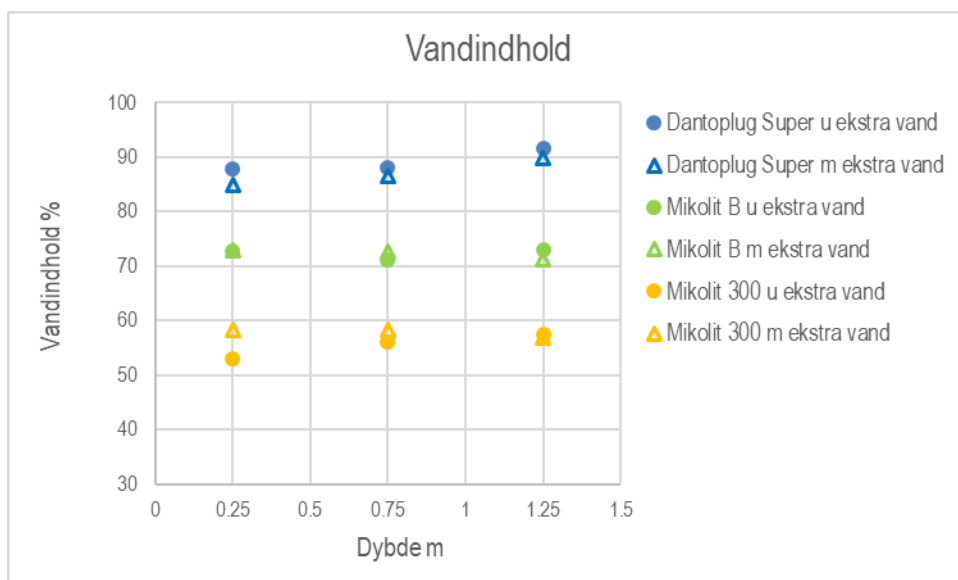


Fig 1.5.2 Vandindhold for forsegling i forerør. Dybden er angivet fra toppen af forseglingen

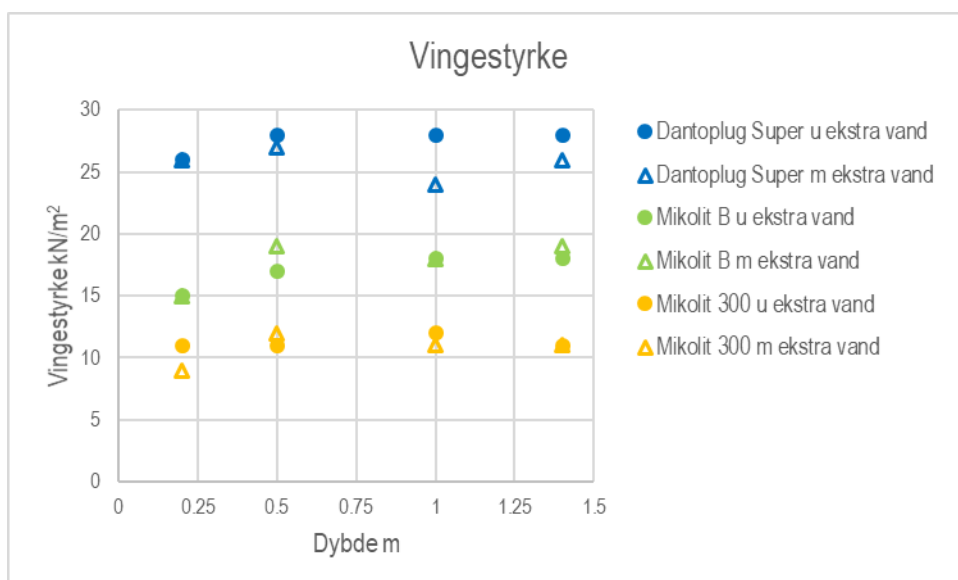


Fig. 1.5.3 Vingestyrke for forsegling i forerør. Dybden er angivet fra toppen af forseglingen



Fig. 1.5.4 Dantoplug Super uden ekstra vand



Fig. 1.5.5 Dantoplug Super med ekstra vand. Furerne i overfladen skyldes opskæringsværktøjet



Fig. 1.5.6 Mikolit B uden ekstra vand. Furerne i overfladen skyldes opskæringsværktøjet



Fig. 1.5.7 Mikolit B med ekstra vand. Furerne i overfladen skyldes opskæringsværktøjet



Fig. 1.5.8 Mikolit 300 uden ekstra vand



Fig. 1.5.9 Mikolit 300 med ekstra vand. Furerne i overfladen skyldes opskæringsværktøjet

Vurdering

Som det ses af vandindholdsbestemmelserne er der ingen markant forskel på om pellets har haft lejlighed til at opsuge ekstra vand eller ikke. Vandindholdet for de tre typer pellets ligger som forventeligt ud fra forsøget med opkvældning i hårdt vand, se afsnit 1.3. Dermed må pellets i alle forsøgene altså regnes for fuldt opkvældet under de givne trykforhold. Styrkerne for de tre pelletstyper ligger også som forventeligt, idet Dantoplug Super har den højeste styrke og Mikolit 300 den laveste. Dog er forskellen på styrken ikke så stor som i forsøgene med opkvældning i hårdt vand, se afsnit 1.3. Generelt er de tre typer pellets svulmet homogent op. Der er dog registreret mindre porer i alle tre typer. Dantoplug Super har en jævn fasthed hele vejen igennem, mens Mikolit 300 har hårdere pellets omgivet af blødere zoner. Dette gælder også Mikolit B, men i mindre udpræget grad. Repræsentative billeder af de gennemskårne kerner er vist i fig. 1.5.4 til 1.5.9.

Konklusion

Forsøgene viser, at alle pelletstyper svulmer op og giver en god forsegling inden i et forerør i forbindelse med sløjfning af borer, selvom der kun er det vand, som står i/tilføres forerøret, til rådighed for opkvældningen. Det er selvfølgelig en forudsætning, at vandet ikke blot løber gennem pellets inden disse er kvældet op. Derfor skal der vedblivende hældes vand på pellets i boringen, så det sikres at de nederste pellets er kvældet op og danner en tæt prop, så vandet i boringen forbliver i boringen. Det anbefales, at også filterstrækningen forsegles med pellets, idet der herved skabes mulighed for at forseglingen kan opsuge yderligere vand.

2 Forsegling med grout

Grout af forskellig sammensætning har i mange år været anvendt til forsegling af borer. Der findes en række forskellige grouttyper, herunder færdige blandinger af cement og bentonit, som blot skal blandes op med vand, men der er ingen anvisninger på hvor meget vand, der skal tilsættes, og hvordan de skal blandes. Jo mere bentonit der tilsættes i cement/bentonit blandingen, des større udfordring er det at foretage en ordentlig opblanding af groutblandingen, og jo tykkere den bliver, des vanskeligere er den at pumpe ned i boringen.

Da der ikke findes entydige opskrifter på de forskellige grouttyper, og da blandt andet vandindholdet og dermed viskositeten har stor betydning for egenskaberne af materialerne, er der udført en række testblandinger med det formål at bestemme det optimale vandindhold, bentonitindhold og eventuel sandtilsætning i de forskellige typer grouts.

2.1 Sammensætning af grout. Blanding og pumpning

Baggrund

Dantonits laboratorium har i sommeren 2020 gennemført en lang række indledende forsøg med forskellige groutblandinger fra ren cement til en grout med 80 % bentonit og 20 % cement. Disse forsøgsblandinger har dannet udgangspunkt for de gennemførte forsøg med blanding og pumpning af grout.

Forsøg og resultater

Der er taget udgangspunkt i de i tabel 2.1.1 anførte blandinger, som hver giver ca. 100 liter grout.

Tabel 2.1.1 Blandingsforhold for grout

Nr	Navn	Bentonit	Cement	Sand	Vand
		kg	kg	kg	kg
G1	Ren cement	0,0	122,0	0,0	61,0
G2	67% cement, 33% sand	0,0	97,0	48,5	48,5
G3	75% cement, 25% bentonit	15,5	46,6	0,0	80,9
G4	50% cement, 50% bentonit	24,2	24,2	0,0	82,6
G5	20% cement, 80% bentonit	23,2	6,1	0,0	88,8

Blandingerne er baseret på materialer stillet til rådighed af Dantonit og er de samme basismaterialer, som Dantonit anvender i sine færdigblandinger, DantoconCem 100 og DantoconCem 300. Cementen er en rapid-cement og bentonitten er Dantonits DantoCon Seal N. G3 svarer til DantoconCem 100.

Blandingerne er testet af 3 hold med hver sin blandeteknik. Hold 1 blandede med "håndholdt piskeris" i en balje, hold 2 blandede med et af Geo's standard blandeanlæg (STA 250), og hold 3 blandede med en grout-unit, Håny IC310, stillet til rådighed af Rotek.

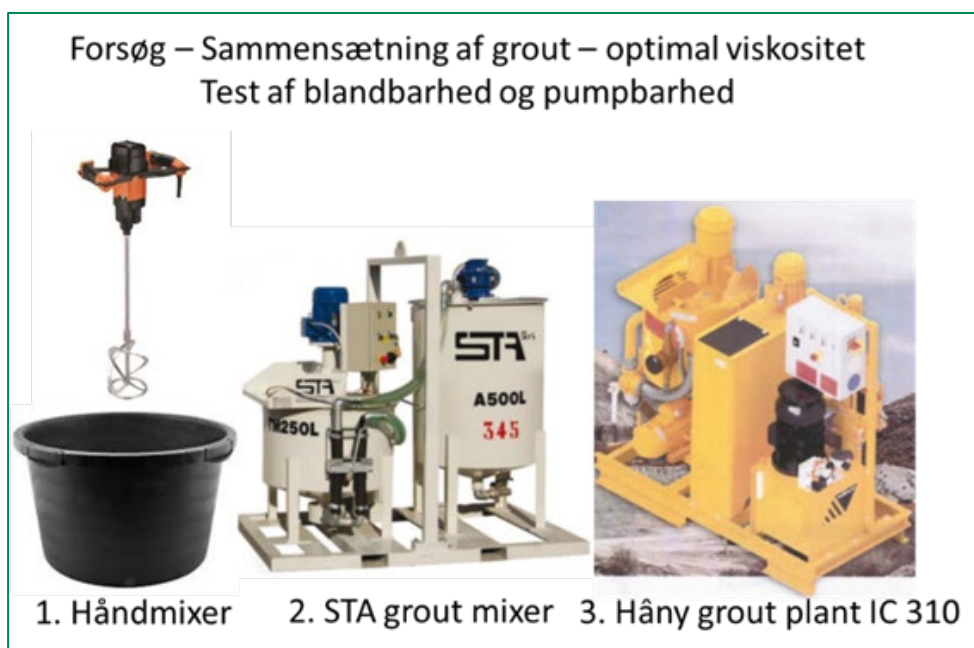


Fig. 2.1.1 De tre typer blandeudstyr, som blev anvendt



Fig 2.1.2 Projektgruppen i aktion med blanding af grout

Blandingen af de enkelte typer af grout tog udgangspunkt i ovennævnte blandingsforhold som blev justeret endeligt ud fra en visuel bedømmelse af viskositeten og pumpbarheden af grouten. Der blev udtaget prøver af de forskellige blandinger og nedsynkningen af en let 60 graders kegle (geoteknisk måleinstrument) blev målt. Vandindholdet blev bestemt (ud fra blandingsforholdet) og densiteten bestemt med en muddervægt.

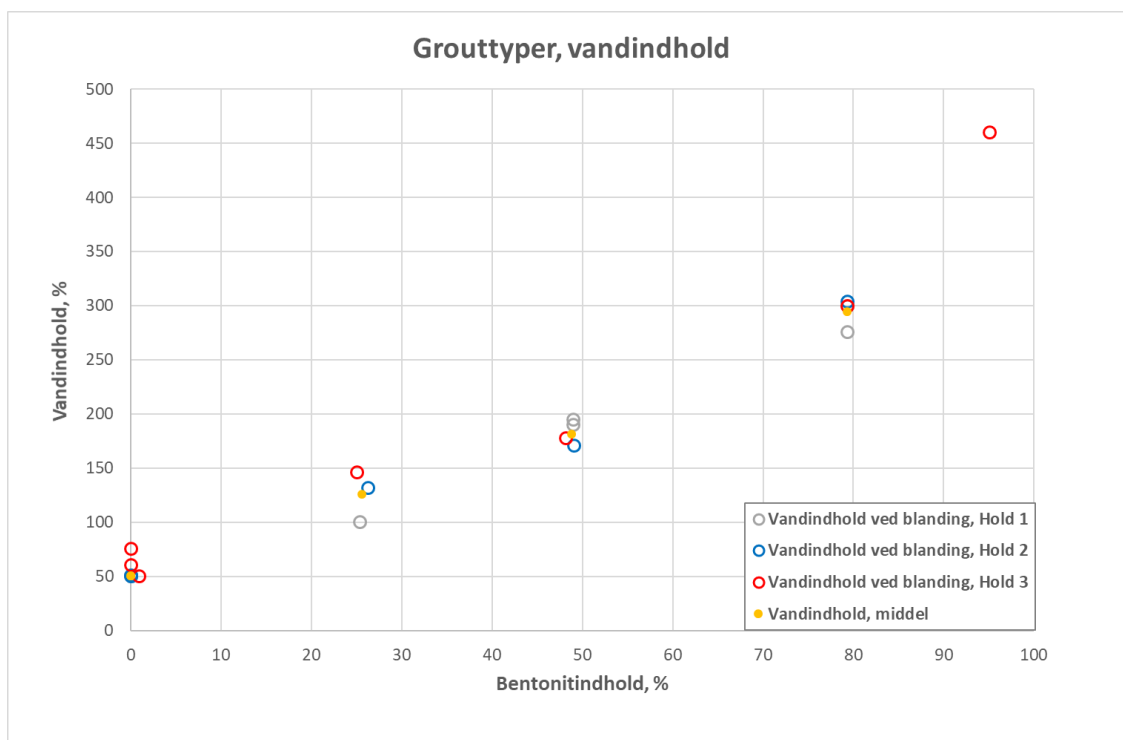


Fig. 2.1.3 Vandindholdet i de forskellige blandinger. Hold 1 håndmikser, Hold 2 STA 250, Hold 3 Håny IC310. I blandingerne udgøres den resterende del, som ikke er bentonit, af cement. I en blanding med 25 % bentonit er der således 75 % cement

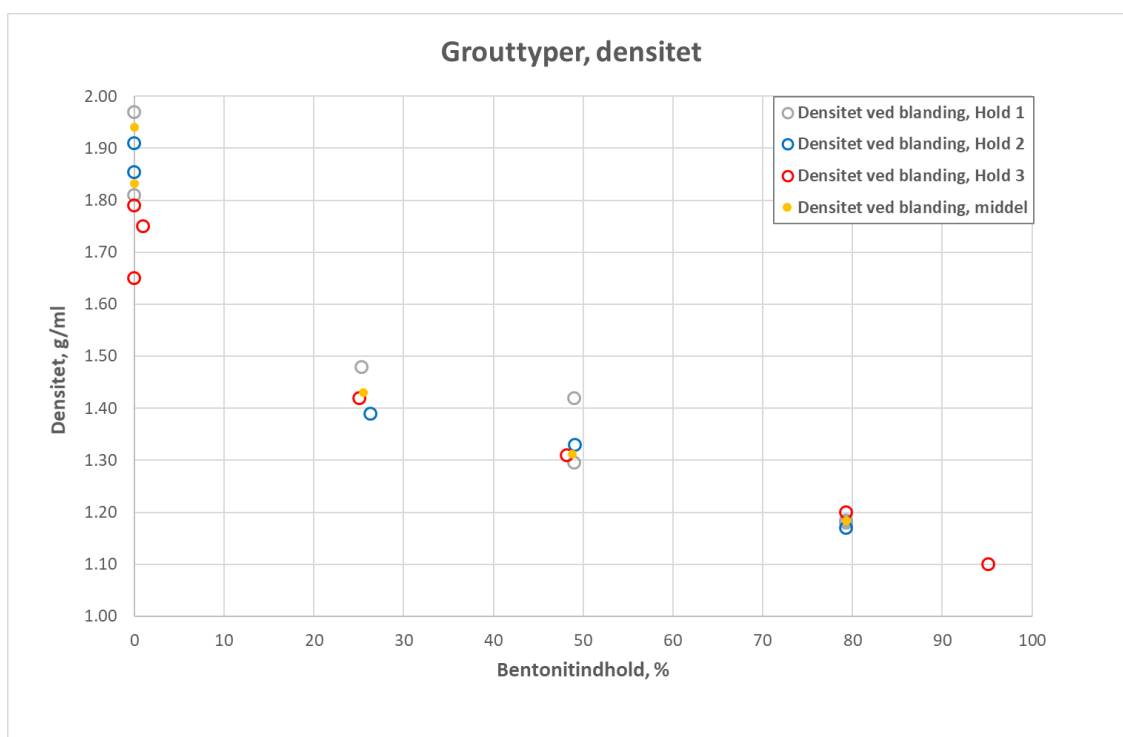


Fig. 2.1.4 Densiteten af groutblandingerne. Hold 1 håndmikser, Hold 2 STA 250, Hold 3 Håny IC310. I blandingerne udgøres den resterende del, som ikke er bentonit, af cement. I en blanding med 25 % bentonit er der således 75 % cement

Der blev udstøbt prøvelegemer af alle blandinger og hærtningsforløbet af disse blev fulgt over en 4 ugers periode ved måling med pocketpenetrometer (geoteknisk måleinstrument). Resultaterne af disse målinger ses i nedenstående figur 2.1.5. Her er tillige vist resultaterne af forsøg med Roteks standard produkter BC1 (61 % bentonit og 39 % cement) og BC2 (17 % bentonit og 83 % cement). Den maksimale værdi, der kan måles med instrumentet, er 1000 kPa, hvilken værdi nås efter få dage for de cementrige blandinger. Disse har med stor sandsynlighed en højere styrke end 1000 kPa.

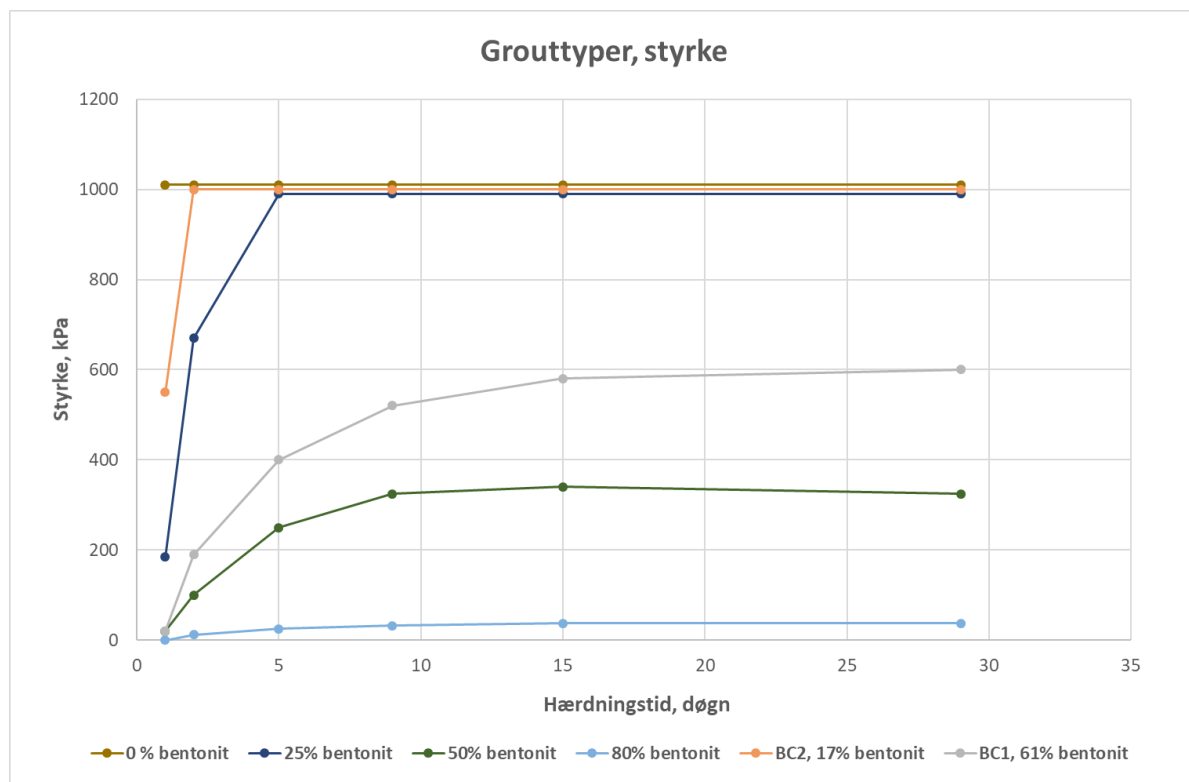


Fig. 2.1.5 Styrkeudviklingen i de forskellige grouttyper målt med pocketpenetrometer

Vurdering

Som det ses af figur 2.1.3 og 2.1.4 er der ingen markant forskel på grout data (vandindhold og densitet), som kan henføres til blandeudstyret, idet vandindhold og densitet er ens på tværs af de tre forskellige testede blandeudstyr. Af figur 2.1.5 ses at de cementrige grouts med mindre end 50% bentonit hærder op til en betydelig styrke i løbet af de første 1-2 døgn. Som nævnt kan den maksimale styrke ikke ses for disse grouttyper, da maksimum målekapaciteten af instrumentet blev overskredet. For de bentonitrige grouts, hvor hele hærtningsforløbet kan følges, ses det at den maksimale styrke er opnået efter ca. 2 uger, og hvor den maksimale styrke aftager med stigende bentonitindhold. Det bemærkes dog, at Roteks BC1 med 61 % bentonit opnår en højere styrke end blandingen med 50 % bentonit med Dantonit-produkter. Dette skyldes forskellige egenskaber af de anvendte bentonittyper og viser, at man ikke kan nøjes med at definere indholdet af bentonit, man skal også definere hvilken bentonit, der skal anvendes. De senere laboratorieforsøg, se afsnit 2.3, viste, at grouten med 80 % bentonit er på grænsen til at være for viskøs (tyk), idet den ved henstand blev mere viskøs, formentlig fordi bentonitten med tiden hydreres yderligere og giver grouten en øget viskositet. Herved bliver den vanskelig at pumpe, ligesom den ikke flyder godt sammen i boringen, og derfor kan efterlade hulrum i forseglingen.

2.2 Hydraulisk ledningsevne af grout

Baggrund

Der findes ikke målinger af den hydrauliske ledningsevne for de forskellige anvendte grouttyper, ligesom man ikke kender effekten af iblanding af bentonit. Derfor er der iværksat en forsøgsrække med de 5 typer grouts, som er anvendt i dette projekt:

- Ren cement, G1
- 67% cement, 33% sand, G2
- 75% cement og 25% bentonit, G3
- 50% cement og 50% bentonit, G4
- 20% cement og 80% bentonit, G5

Forsøg og resultater

Der er udstøbt prøver af de 5 grouttyper, som nævnt ovenfor. Disse prøver er efter hærdning i minimum 2 måneder indbygget i et triaksialapparat for bestemmelse af den hydrauliske ledningsevne, se figur 1.2.4. Der er anvendt samme forsøgsprocedure som for pelletsprøverne i afsnit 1.2. De cementrige prøver har voldt store problemer i forsøgene på grund af luftudvikling i prøverne, hvilket blokerer for (den meget lille) vandstrømning gennem prøven. Vandlagring af prøveemnerne kunne muligvis have reduceret dette.

Tabel 2.2.1 Resultater af forsøg med hydraulisk ledningsevne

	Grout type	Hydraulisk ledningsevne m/s
G1	Ren cement	$0,2-1,3 \times 10^{-11}$
G2	67% cement, 33% sand	$0,1-0,4 \times 10^{-11}$
G3	25% bentonit og 75% cement	$14-29 \times 10^{-11}$
G4	50% bentonit og 50% cement	$10-210 \times 10^{-11}$
G5	80% bentonit og 20% cement	230×10^{-11}

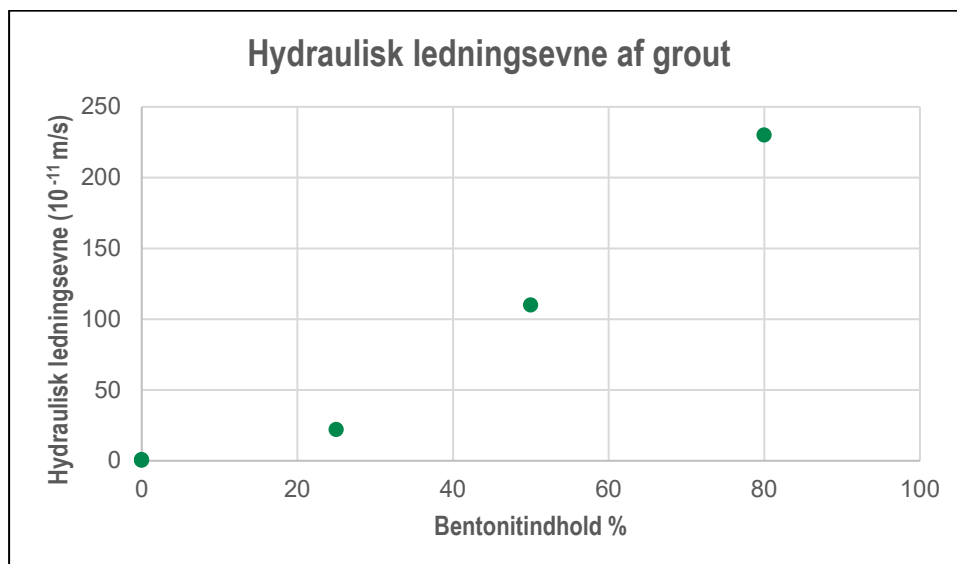


Fig. 2.2.1 Hydraulisk ledningsevne af grout som funktion af bentonitindhold i cementen. I blandingerne udgøres den resterende del, som ikke er bentonit, af cement. I en blanding med 25 % bentonit er der således 75 % cement

Vurdering

Det ses af tabel 2.2.1 at G1 og G2 (ren cement og cement og sand) har en ledningsevne af samme størrelse som Mikolit B og Dantoplug Super, mens grout hvor der er tilsat bentonit viser en betydeligt højere hydraulisk ledningsevne. Dette er overraskende, da en af grundene til at tilsætte bentonit formentlig har været at gøre forseglingen tættere. Det kan ikke udelukkes, at en del af denne effekt skyldes, at prøverne ikke har været vandlagret under afhærdningen. Herved kan cementen have manglet vand til hærdningsprocessen, idet bentonitten har opbrugt det tilstedeværende vand. En anden grund kan være, at der sås gasudvikling i de cementholdige prøver, som formentlig stammer fra hærdningen af cementen. Gasboblerne vil sætte sig i porerne og vanskeliggøre gennemstrømningen med vand.

Vurderet ud fra de gennemførte forsøg **alene** er ren cement eller en blanding af cement og sand således at foretrække, men som nævnt er resultaterne formentligt fejlbehæftede.

2.3 Overgange mellem grout, pellets og filtersand

Baggrund

En af ulemperne ved at anvende cementgrout frem for bentonitpellets er, at det har været anset for nødvendigt at lade grouten hærde inden den videre forsegling/filtersætning kunne etableres. Derfor er det undersøgt om der umiddelbart kan "bygges" videre på en forsegling med grout, samt i hvilket omfang grout tabes til en omgivende sandformation (siver ud i formationen). Ved tynde groutblandinger har det tidligere været et kendt problem, at grouten sivede ud i den omkringliggende formation, hvilket kunne registreres ved et for stort forbrug af forseglingsmateriale samt registrering af meget høje pH-værdier ved en efterfølgende vandprøvetagning (cement er basisk). Den sidste del med tab til formationerne er i virkeligheden omfattet af forsøgene i afsnit 2.4, men alle forsøg afrapporteres samlet under afsnit 2.3.

Forsøg og resultater

Denne forsøgsrække, som også omfatter punkt 2.4 i de udførte forsøg, er planlagt at skulle klarlægge i hvilket omfang grout trænger ind i filter- og formationssand samt i hvilket omfang filtersand og pellets trænger ned i en nyetableret overflade af grout. Der er etableret 4x5 stk. 2,5 m høje transparente Ø90 mm rør med tæt bundprop. De nederste 50 cm er fyldt med filtersand. I 5 af rørene er fyldt Sand 00, svarende til mellemkornet sand, i andre 10 rør er der fyldt sand 2 svarende til groft sand og i de sidste 5 rør er der fyldt sand 7 svarende til grus. I 15 af rørene er der herefter udstøbt ca. 1m grout (de 5 forskellige typer) direkte oven på sandet, mens der i de sidste 5 rør er etableret et 20 cm tykt lag af pellets inden udstøbning med grout. Over grouten er der i nogle rør fyldt pellets, andre filtersand, og igen andre er støbt med grout til toppen.

Indledningsvist er alle rørene fyldt med vand.



Fig. 2.3.1 Til venstre: Alle 20 forsøgsrør fyldt med vand og 0,5 m sand af forskellig kornstørrelse. Til højre: Groutpumpe



Fig. 2.3.2 Blanding af grout

I rør 2.3_1 til 2.3_5 er der fyldt 0,5 m sand 2 (svarende til groft sand) i bunden. Direkte oven på dette er udstøbt hver af de 5 grouttyper

- Ren cement, G1
- 67% cement, 33% sand, G2
- 75% cement og 25% bentonit, G3
- 50% cement og 50% bentonit, G4
- 20% cement og 80% bentonit, G5

Umiddelbart efter udstøbningen af grout er der hældt pellets direkte oven på grouten til top af rørene, se fig. 2.3.3 og fig. 2.3.4



Fig. 2.3.3 Rør 2.3.1 – 2.3.5. Groft sand (Dansand 2) i bunden og grout type 1-5 direkte oven over



Fig. 2.3.4 Til venstre: Rør 2.3.4 og 2.3.5 Grout 4 og 5 direkte på groft sand. Grout 5 er blevet for tykflydende og har efterladt huller i forseglingen. Til højre: Rør 2.3.5 (i midten med målestok) Grout-pellets overgang



2.3.5 Rør 2.3.6 Til venstre: Pellets direkte på groft sand. Til højre: Grout (G1) direkte på pellets



Fig 2.3.6 Rør 2.3.7 (med målestok) Groft sand (Dansand 2) direkte over grout (G2)

I Rør 2.3_6 til 2.3_10 er ligeledes fyldt 0,5 m sand 2 i bunden. Herover er der lagt 0,25 m pellets og herefter er der udstøbt 0,5-1 m af hver af de 5 typer grout. Umiddelbart efter udstøbningen af grout er rørene fyldt op med sand 2, som er lagt direkte på grouten, se fig. 2.3.5 og 2.3.6.

I rør 2.4_1 til 2.4_5 er der indledningsvist hældt 0,5 m sand 00 (svarende til mellemkornet sand) i bunden. Direkte herover er der udstøbt 0,5-1 m hver af de 5 grouttyper. Oven på grouten er der umiddelbart herefter lagt 0,25 m pellets og sluttelig er rørene fyldt op med sand 2, se fig. 2.3.7.

I rør 2.4_6 til 2.4_10 er der hældt 0,5 m filtergrus nr. 7 (grusfraktionen). Direkte herover er der udstøbt ca. 1 m hver af de 5 grouttyper, se fig. 2.3.8. Rørene er umiddelbart efter udstøbningen fyldt med filtergrus nr. 8.

Sand og pellets er hældt direkte gennem vandet i rørene, mens grouten er blandet med håndmikser og pumpet ned med en højtrykspumpe gennem en dykket slange.



Fig. 2.3.7 Til venstre: Rør 2.4.1 til 2.4.5 Mellemkornet sand (Dansand 00) fyldt i bunden af rørene. Til højre: Rør 2.4.1 Grout (G1) direkte over mellemkornet sand



Fig. 2.3.8 Til venstre: Rør 2.4.1 til 2.4.5 Grus (Dansand 7) fyldt i bunden af rørene. Til højre: Rør 2.4.6 og 2.4.7 Grout (G1 og G2) direkte over grus. G1 har ikke blandet sig med gruset, mens G2 er trængt ca. 10cm ned i gruset

I fig. 2.3.9 og 2.3.10 er vist en samlet optegning af alle 20 rør med en angivelse af materialer og blandingszoner.

Overgange

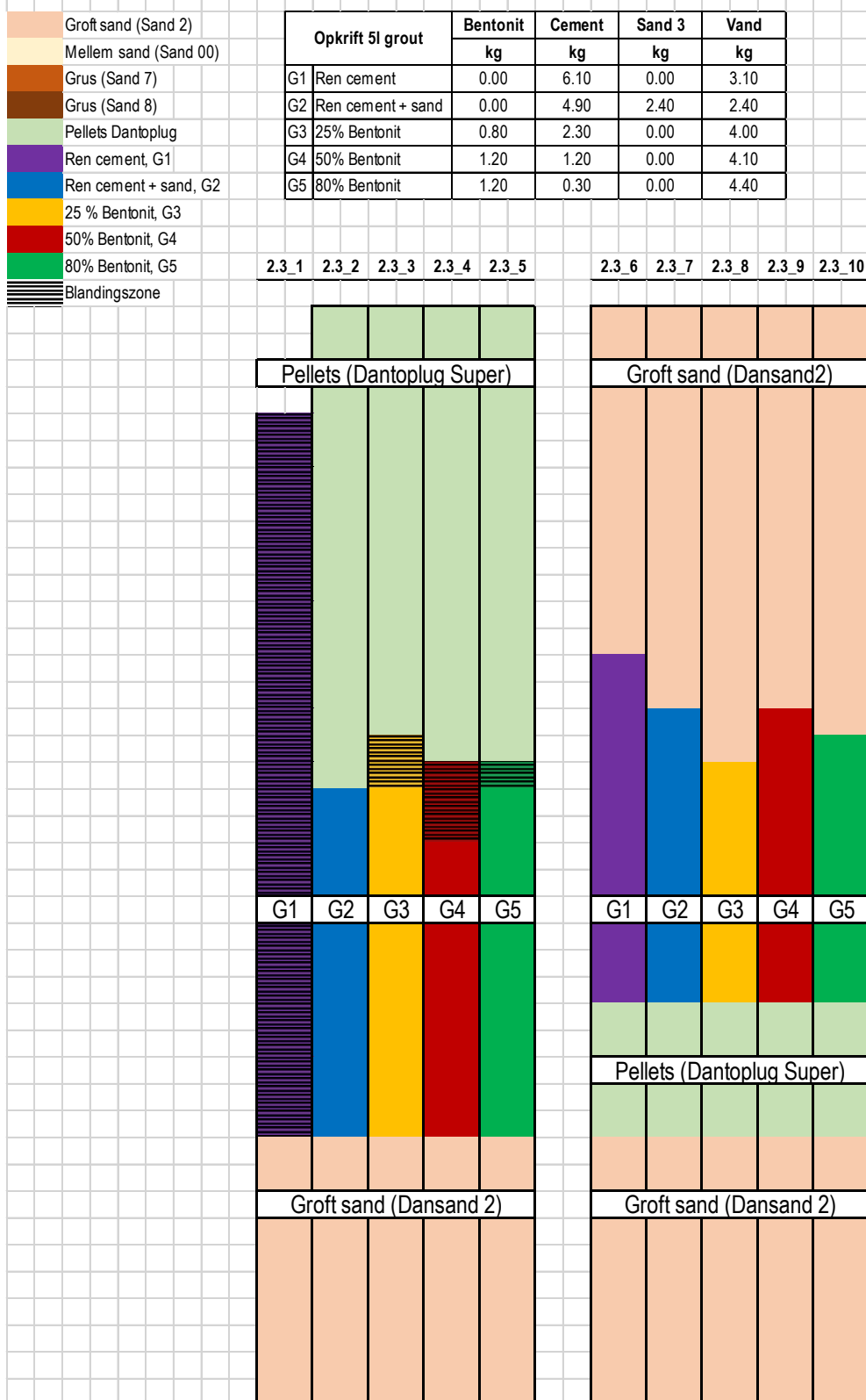


Fig. 2.3.9 Rør 2.3_1 til 2.3_10

Overgange

	Mellem sand (Sand 2)
	Fint sand (Sand 00)
	Groft sand (Sand 7)
	Groft sand (Sand 8)
	Pellets Dantoplug
	Ren cement, G1
	Ren cement + sand, G2
	25 % Bentonit, G3
	50% Bentonit, G4
	80% Bentonit, G5
	Blandingszone

Opskrift 5l grout	Bentonit	Cement	Sand 3	Vand
	kg	kg	kg	kg
G1 Ren cement	0.00	6.10	0.00	3.10
G2 Ren cement + sand	0.00	4.90	2.40	2.40
G3 25% Bentonit	0.80	2.30	0.00	4.00
G4 50% Bentonit	1.20	1.20	0.00	4.10
G5 80% Bentonit	1.20	0.30	0.00	4.40

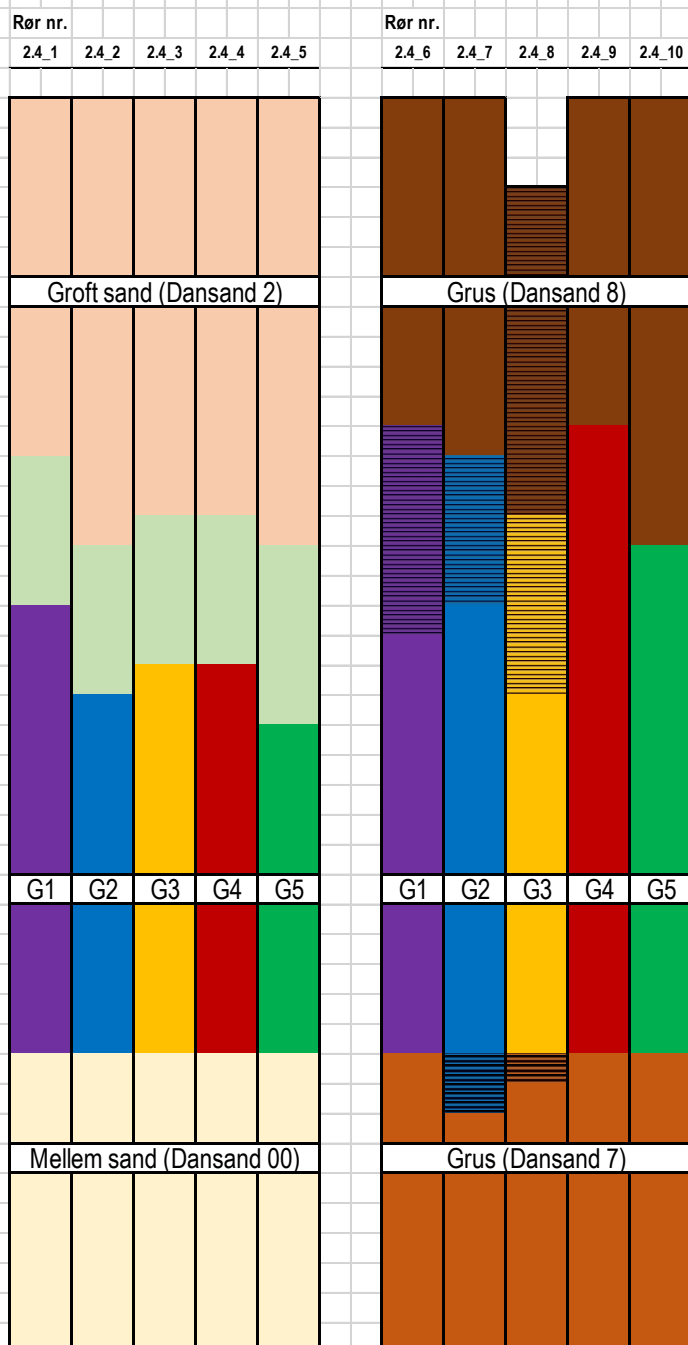


Fig. 2.3.10 Rør 2.4_1 til 2.4_10

Vurdering

Rør 2.3_1 til 2.3_5:

Som det fremgår af fig. 2.3.1 er der ikke sket nedtrængning af grout i den underliggende "filterkastning" af sand 2. Den efterfølgende etablering af pelletsforsegling direkte oven på grouten viser fra 0-20 cm sammenblanding med den underliggende grout. At rør 2.3_1 viser sammenblanding i hele groutzonen skyldes at grouten i dette rør blev udstøbt, uden at støbeslangen var neddykket under groutoverfladen. Herved er grouten blevet kraftigt fortyndet, og pellets synker ned i grouten. At pellets i de andre 4 (3) rør blandes lidt op i grouten ses ikke som et problem, da der i alle tilfælde er tale om en forsegling, som ikke bliver ringere af opblandingen.

Rør 2.3_6 til 2.3_10:

Her ses skarpt adskilte lag og selv det øvre grove grus trænger ikke ned i grouten.

Rør 2.4_1 til 2.4_5:

Her ses ligeledes skarpt adskilte lag uden sammenblanding.

Rør 2.4_6 til 2.4_10:

Bortset fra rør 2.4_7 og 2.4_8 hvor grouten (25 % bentonit) er trængt 10 cm og 5 cm ned i filterkastningen med grus, ses ingen sammenblanding eller nedtrængning af grout i det grove materiale. Derimod sker der en del opblanding, når det grove filtergrus hældes direkte oven på grouten. Dette er særlig udtalt for rør 2.4_8, hvor der er sket opblanding i hele det øvre niveau. Dette kan hænge sammen med at grouten ved dette forsøg var blevet en smule for tynd ved et uheld, hvilket viser sensitiviteten over for vandindholdet i grouten. I rør 2.4_10 er der ikke sket noget sammenblanding hverken med det underliggende eller det overliggende grus. Denne grout med 80 % bentonit var til gengæld blevet for tyk og kunne næsten ikke pumpes og fyldte ikke røret rigtigt ud, hvorved der kom huller i forseglingen. Dette skyldes formentlig at grouten havde stået for længe inden nedpumpning, hvorved bentonitten er blevet hydreret yderligere og har gjort viskositeten meget høj.

Konklusion

Samlet set viser forsøgene, at hvis grouten blandes efter de anførte opskrifter (her er forholdet mellem materiale og vand meget vigtigt), sker der stort set ingen nedtrængning i sand og grus, hvorfor grout kan anvendes som forsegling her. Der vil ske nogen nedtrængning af såvel pellets som grus i grout, og specielt i sidste tilfælde er det vigtigt at blandingsforholdet overholdes, og grouten ikke bliver for tynd.

Det anbefales, at der for en sikkerheds skyld lægges et tyndt lag pellets (0,25 m) oven på en filtergruskastning inden der støbes med grout.

Det er muligt at forsegle med pellets direkte oven på en grout og umiddelbart efter udstøbningen af grout. Selvom der sker en vis nedsynkning af pellets i grouten er dette uden betydning, da dette ikke forringer forseglingsevnen.

2.4 Spredning af grout til omkringliggende formation

Se under afsnit 2.3

2.5 Pejling af groutoverflade

Baggrund

En udfordring ved anvendelse af grout til forsegling i en boring er pejling af groutoverfladen, da et normalt pejlelod vil synke ned i grouten. Det er derfor undersøgt om groutens overflade kan registreres ved hjælp af en pH- eller en ledningsevnesonde.

Forsøg og resultater

Der er etableret 5 stk. 1,5 m høje Ø90 mm transparente rør med tæt bundprop. Rørene er vandfyldt og herefter er der pumpet grout ud på bunden gennem en dykket pumpeslange til en højde af ca. 0,5 m. Hvert af rørene er udstøbt med grout, som anvendt ved de øvrige forsøg:

- Ren cement, G1
- 67% cement, 33% sand, G2
- 75 % cement og 25 % bentonit, G3
- 50 % cement og 50 % bentonit, G4
- 20 % cement og 80 % bentonit, G5

Umiddelbart efter udstøbning i hvert enkelt rør er pH, ledningsevne og temperatur målt i udvalgte niveauer ned gennem vandsøjlen over grouten til sonden har nået skillefladen mellem vand og grout (sidste måling er foretaget med sonden i grouten).

De målte parametre fremgår af figur 2.5.1 til 2.5.5.

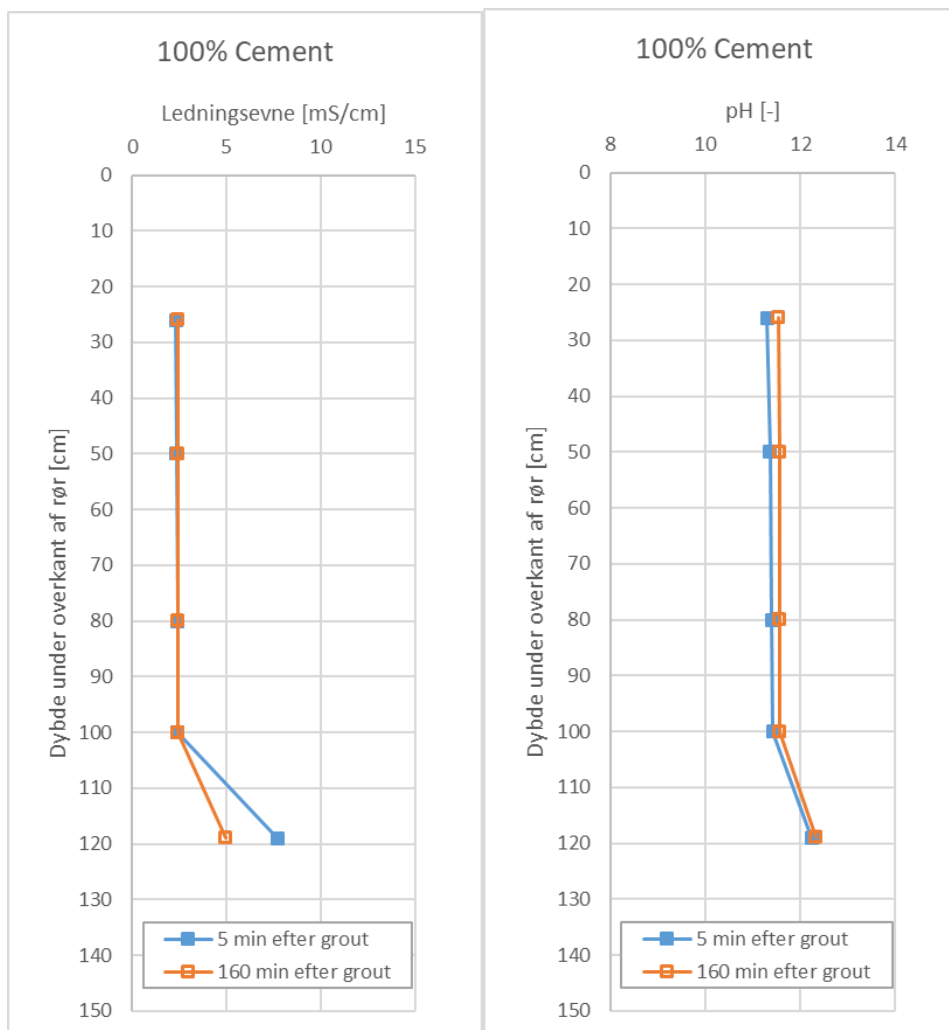


Fig. 2.5.1 Ledningsevne og pH i grout G1 (100% cement). Groutoverflade i 118 cm

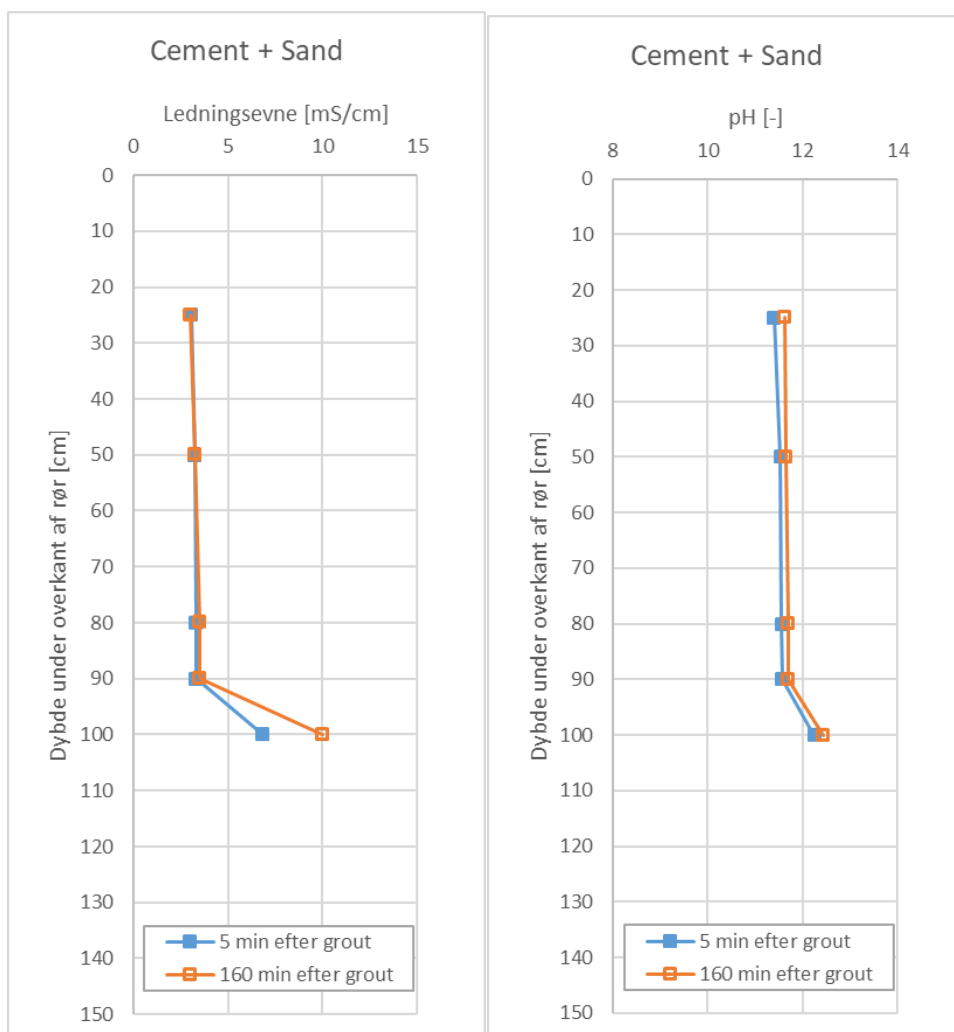


Fig. 2.5.2 Ledningsevne og pH i grout G2 (Cement og sand). Groutoverflade i 95 cm

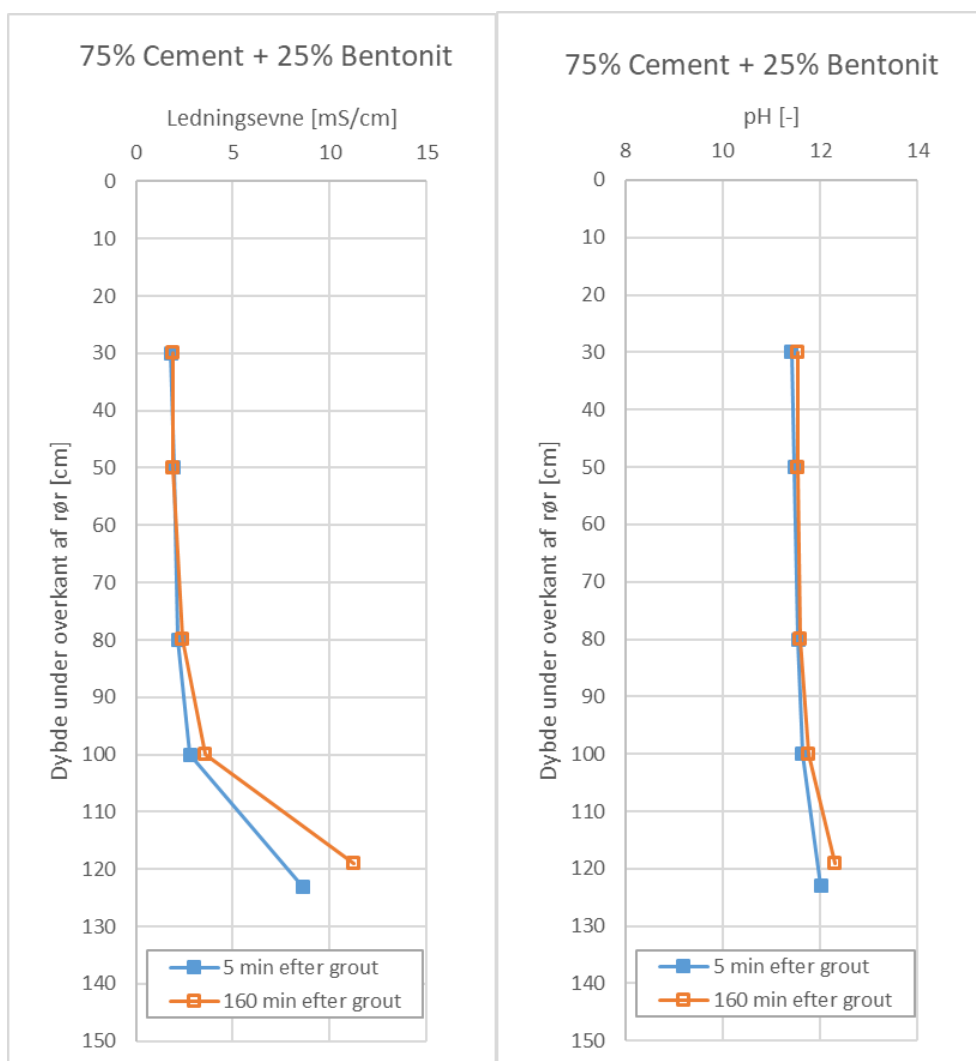


Fig. 2.5.3 Ledningsevne og pH i grout G3 (75% cement, 25% bentonit). Groutoverflade i 110 cm

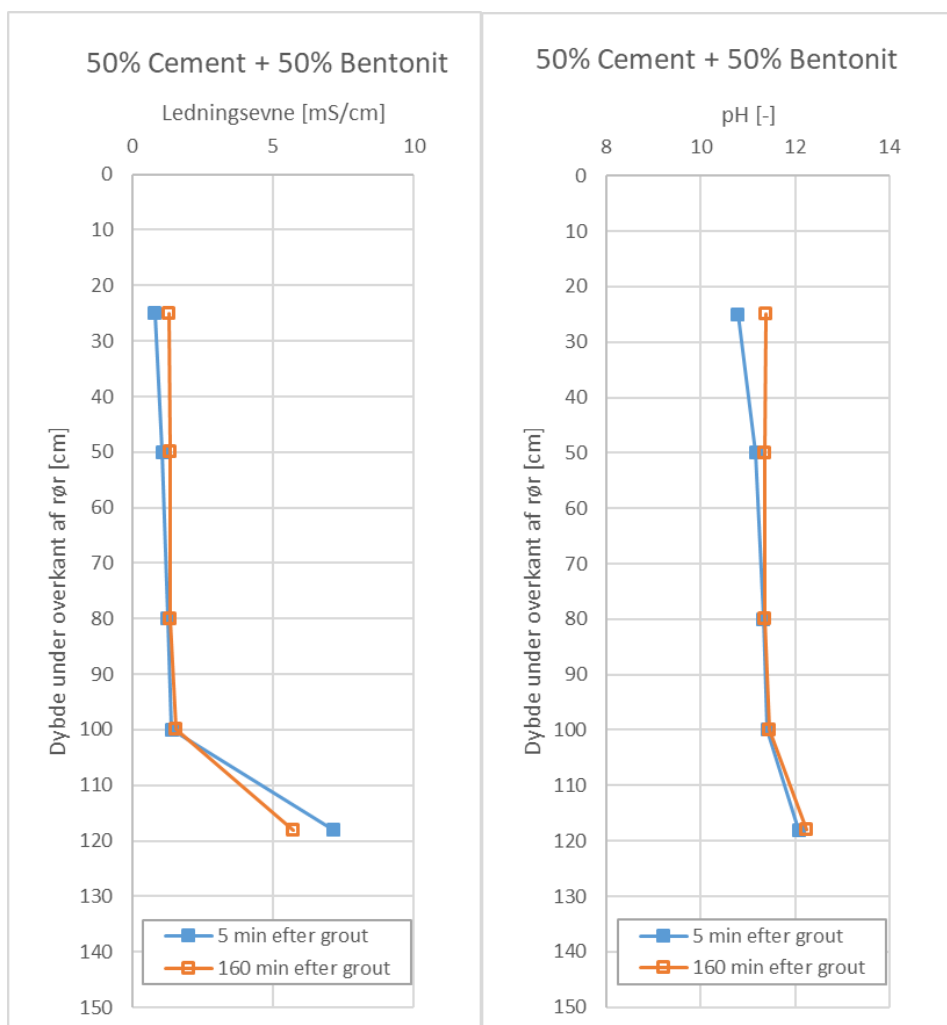


Fig. 2.5.4 Ledningsevne og pH i grout G4 (50% cement, 50% bentonit). Groutoverflade i 116 cm

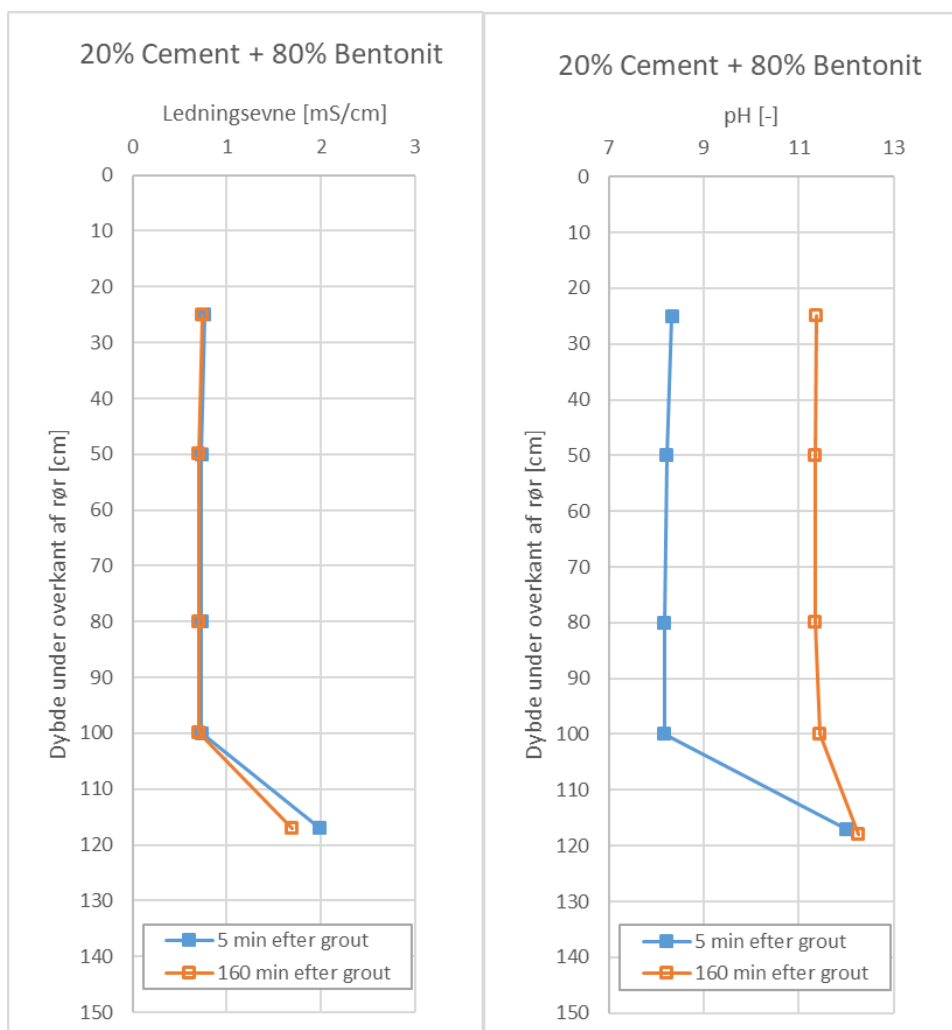


Fig. 2.5.5 Ledningsevne og pH i grout G5 (20% cement, 80% bentonit). Groutoverflade i 117 cm

Vurdering

Det ses af resultaterne, at der er højt pH både i vandet over grouten og i selve grouten, men bortset fra grout 5 er der ikke en markant forskel i niveauet. Derimod fremgår grænsefladen meget tydeligt af ledningsevнемålingerne, idet denne stiger markant når sonden rammer grouten. For ledningsevnen ses samme mønster for alle grouttyper.

2.6 Vedhæftning til pvc og peh

Baggrund

Det er blevet anført, at cementholdige forseglingsmaterialer ikke hæfter tilstrækkeligt godt til PVC- og PEH-forerør, hvorved der kan opstå sprækker mellem forsegling og forerør med utæthed til følge. Der er derfor udført forsøg med udpresning af et indstøbt PVC-rør og et indstøbt PEH-rør for at teste vedhæftningen mellem de forskellige typer grout og de to rørtyper.

Forsøg og resultater

Der er forberedt en række prøver, hvor et ca. 10 cm langt Ø90 mm PVC-rør er forsynet med prop i hver ende og indstøbt i et tilsvarende langt Ø165 mm PVC-rør med bundprop. Efter afhærdning i 2½ uge er bundproppen skruet af det store rør og prøven er placeret i en trykpresse, som trykkede Ø90 mm røret ud af grouten under samtidig måling af deformationer og kraft, se principskitzen i fig. 2.6.1 samt fig. 2.6.2 til 2.6.3. Forsøget blev gentaget med Ø90 mm PEH-rør faststøbt.

Forsøgene blev udført for hver af de 5 grouttyper:

- Ren cement, G1
- 67% cement, 33% sand, G2
- 75 % cement og 25 % bentonit, G3
- 50 % cement og 50 % bentonit, G4
- 20 % cement og 80 % bentonit, G5

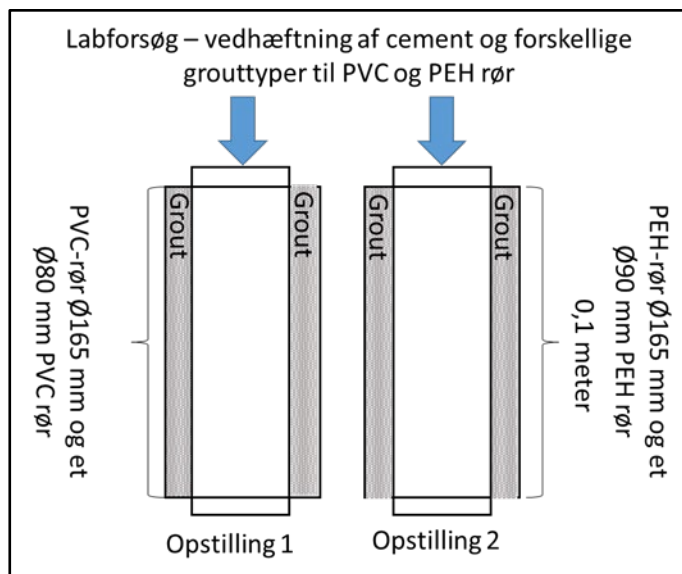


Fig. 2.6.1 Principskitse for forsøg med måling af friktionen mellem forerør og grout



Fig. 2.6.2 Trykforsøg på PVC rør i grout med 80 % bentonit (G5)

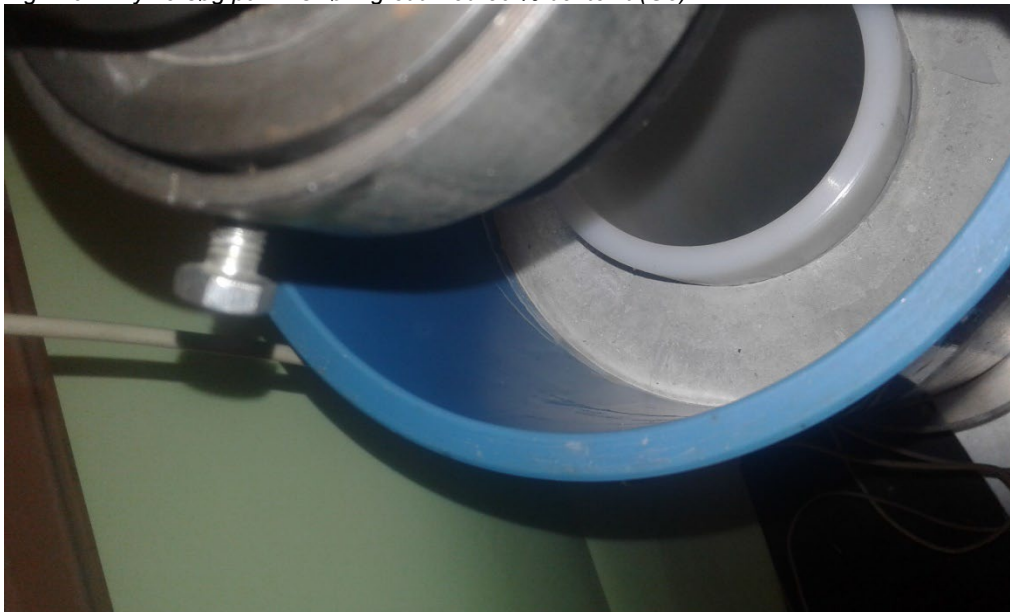


Fig. 2.6.3 Trykforsøg på PEH rør i grout af cement og sand (G2)

Resultaterne fremgår af fig. 2.6.4, der viser forskydningsspændingen på overfladen af det inderste rør inden det slipper grouten.

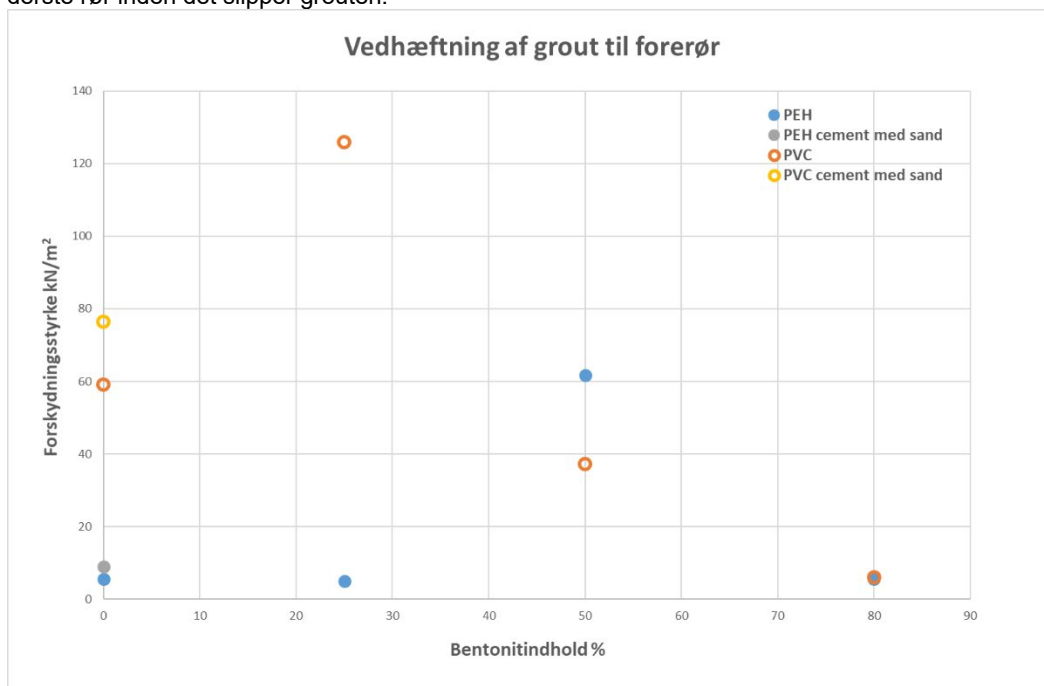


Fig. 2.6.4 Forskydningsstyrken som opnås for de forskellige grouttyper (angivet ved bentonitindhold i cementen) før røret slipper grouten

Vurdering

Helt overordnet ses en væsentlig bedre vedhæftning af grouttyperne til PVC end til PEH. Eneste undtagelse er grouten med 50 % bentonit, hvor den målte forskydningsspænding er højere ved PEH end PVC. Vedhæftningen mellem alle øvrige grouts og PEH er meget lav, men om dette er udtryk for, at der er en sprække mellem grout og rør kan ikke endeligt afgøres, men det anses ikke for sandsynligt, at der er en sprække. Konsekvensen må dog være, at selv små påvirkninger af forsegling eller forerør kan få grouten til at slippe, hvorved der opstår en sprække. Vedhæftningen mellem PVC rør og grout er generelt god, bortset fra grouten med 80 % bentonit, hvor det givet er styrken af grouten der er bestemmende for den opnåede friktion. Det bemærkes at ren cement med tilsætning af sand har højere vedhæftning end ren cement uden sand for både PVC og PEH. Endelig bemærkes det, at et lille indhold af bentonit i cementen på 25 % øjensynlig forbedrer vedhæftningen til PVC i forhold til ren cement.

Konklusion

Baseret på ovennævnte resultater må anvendelsen af PVC forerør til fordel for PEH forerør være at foretrække, hvor det kan lade sig gøre.

2.7 Varmeudvikling i grout

Baggrund

Varmeudviklingen under cements hærkning kan – afhængig af mængde og varmeledningsforhold - være betydelig og kan i nogle tilfælde skade eller svække forerøret. Der kendes eksempler på, at forerøret i vandforsyningsboringer er kollapsede som følge af kraftig varmeudvikling i den omgivende cementforsegling.

Forsøg og resultater

For hver af de 5 grouttyper er der udstøbt 2 stk. Ø165 mm 0,5 m høje PVC-rør med henholdsvis et Ø80 mm og et Ø25 mm PVC rør indstøbt i midten. Dette svarer til en annullus i boringen på 35 mm, henholdsvis 60 mm. Der er i hvert rør indstøbt en temperatursonde i midten tæt op ad det inderste rør, og temperaturudviklingen er fulgt under de første ca. 4 døgn af hærdningsprocessen.

Forsøget er udført med de 5 cementsholdige typer grout, så der samlet er udført 10 forsøg:

- Ren cement, G1
- 67% cement, 33% sand, G2
- 75 % cement og 25 % bentonit, G3
- 50 % cement og 50 % bentonit, G4
- 20 % cement og 80 % bentonit, G5

I nedenstående figur 2.7.1 er vist et eksempel på forsøgsopstillingen. Det indre rør var luftfyldt under forsøget, og også det ydre rør var omgivet af luft ved stuetemperatur. Selve støbningen var 400 mm høj og temperaturføleren var indstøbt 250 mm over bunden. Overfladen af grouten var vanddækket.

Figur 2.7.2 – 2.7.6 viser temperaturudviklingen under forsøget. Fig 2.7.7 viser rumtemperaturen i forsøgsperioden.



Fig. 2.7.1 Rør med 35 mm annulus (venstre) henholdsvis 60 mm annulus (højre)

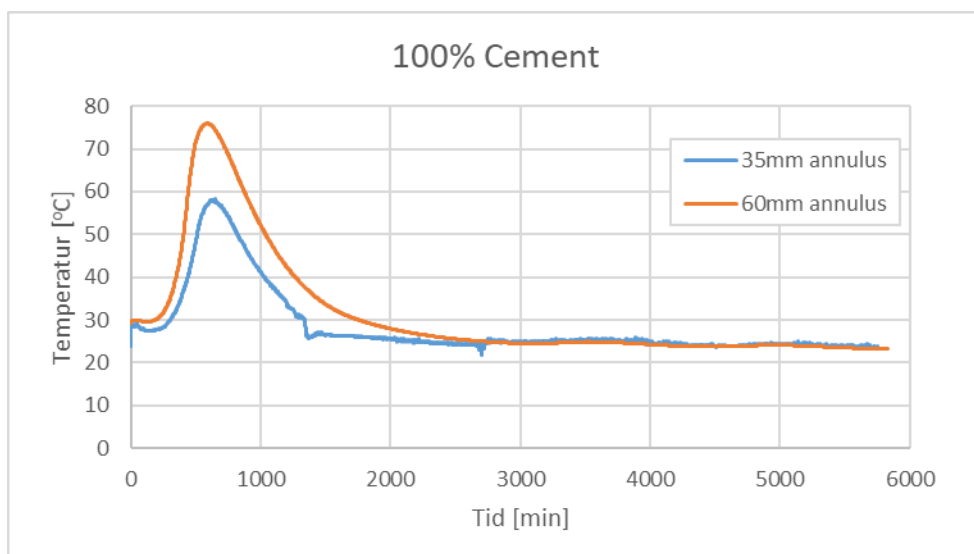


Fig 2.7.2 Varmed udviklingen i grout G! (100 % cement) ved 35 mm og 60 mm annulus

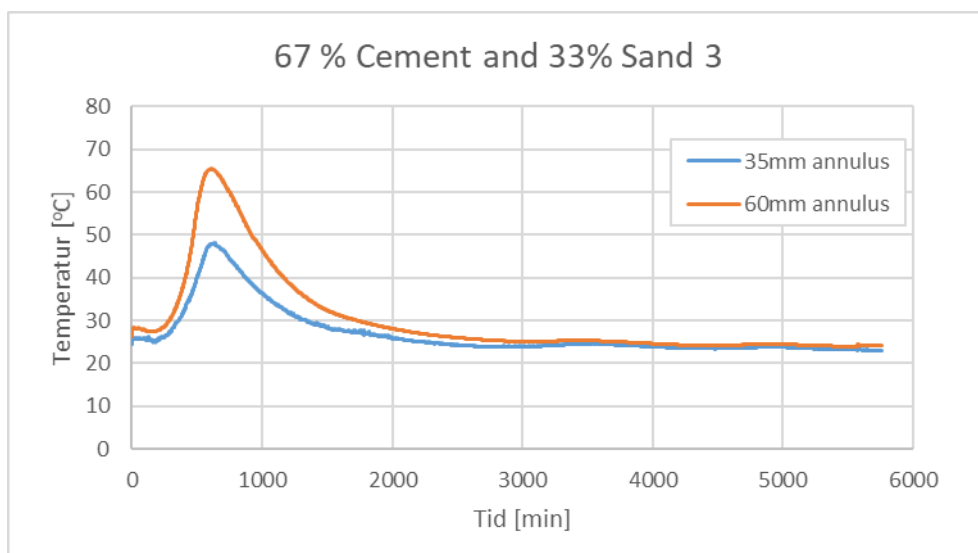


Fig 2.7.3 Varmedviklingen i grout G2 (67 % cement og 33 % sand) ved 35 mm og 60 mm annulus

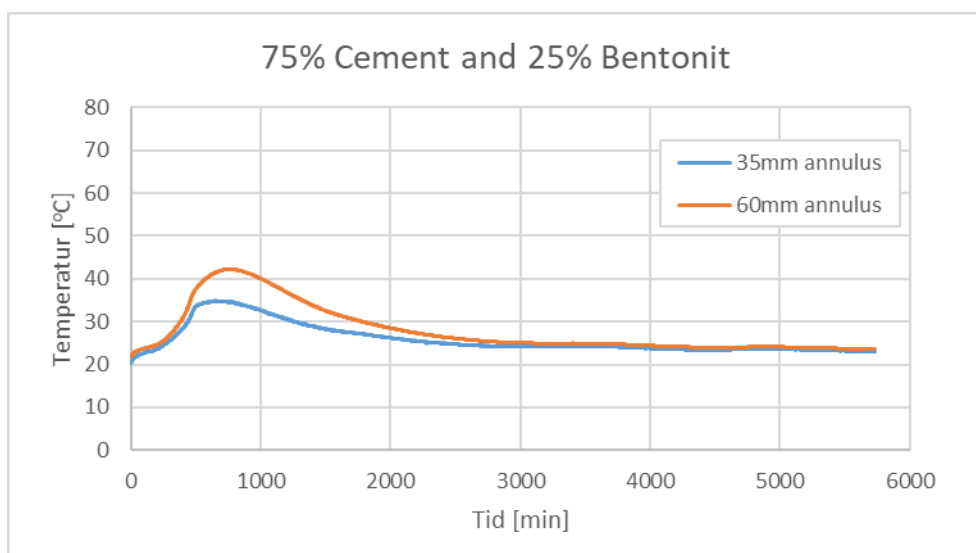


Fig 2.7.4 Varmedviklingen i grout G3 (75 % cement og 25 % bentonit) ved 35 mm og 60 mm annulus

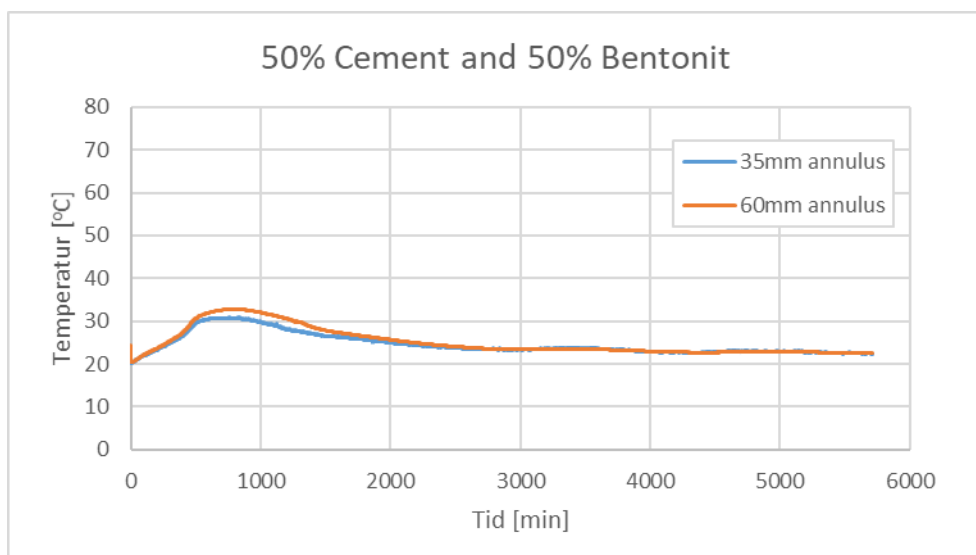


Fig 2.7.5 Varmedviklingen i grout G4 (50 % cement og 50 % bentonit) ved 35 mm og 60 mm annulus

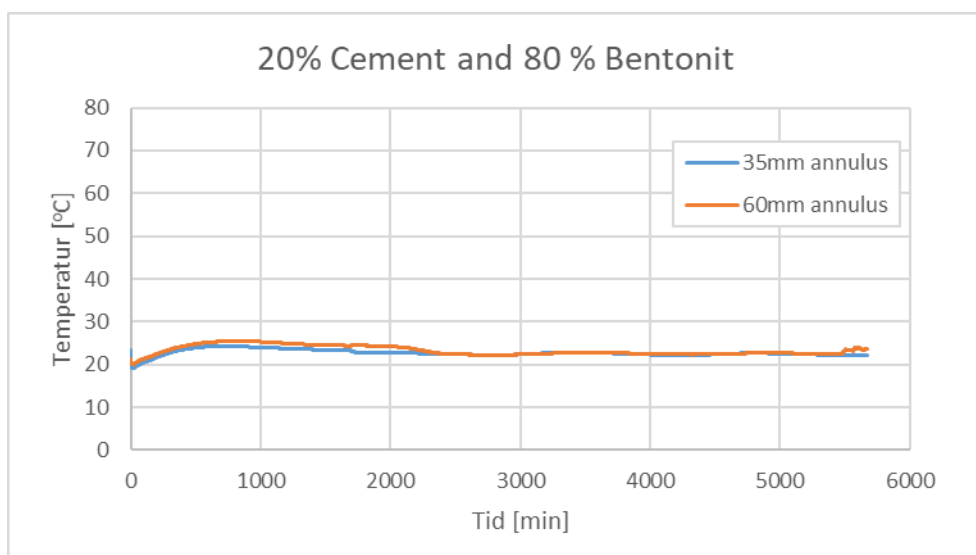


Fig 2.7.6 Varmedviklingen i grout G5 (20 % cement og 80 % bentonit) ved 35 mm og 60 mm annulus

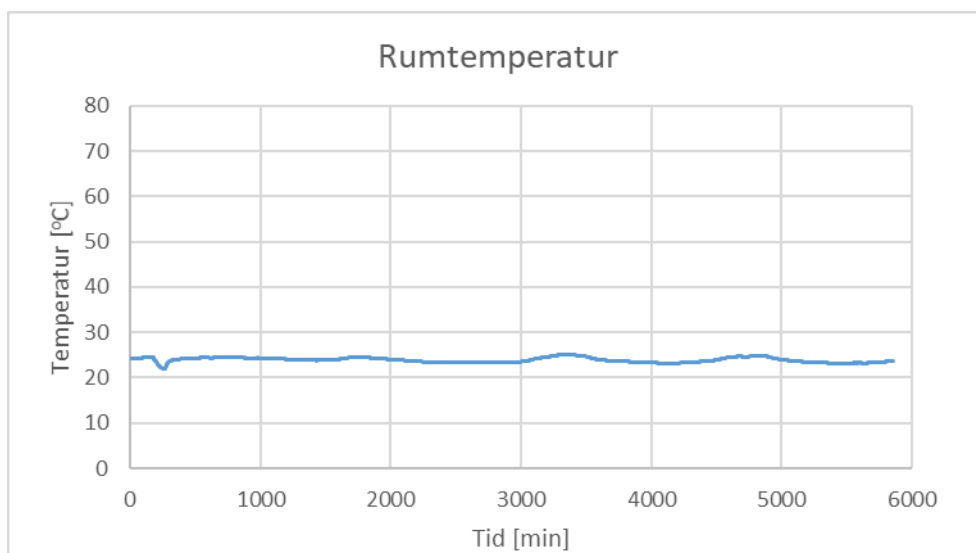


Fig. 2.7.7 Rumtemperaturen under forsøget

Vurdering

Som ventet kan der for alle grouttyper ses en stigning i temperaturen i løbet af det første 1,5 døgn efter udstøbningen. Der ses tillige en kraftigere temperaturstigning i 60 mm annulus i forhold til 35 mm annulus, og endelig er varmeudviklingen langt den største ved grout af ren cement. Her topper temperaturkurven 76 °C efter ca. 10 timer. Tilsvarende stiger temperaturen kun til 58 °C for samme grout og en annulus på 35 mm. En tilsætning af 33 % sand til cementen reducerer maksimal temperaturen til ca. 80 %, mens tilsætningen af bentonit viser en væsentlig større reduktion af maksimaltemperaturen.

PVC og PEH forerør har et optimalt temperaturinterval fra ca. +7 °C til ca. +40 °C. Dette er dog ikke ensbetydende med at røret kollapse ved 40 °C, blot at man risikerer deformationer af rørene ved uhensigtsmæssig lagring ved højere temperatur mv. Herudover har den omgivende jord og eventuelt vand inden i røret stor betydning, idet varmeledningsevnen af disse elementer er væsentlig højere end for luften, som omgav forsøget. En forseglings omgivet af fugtig/vandmættet jord og et forerør der er vandfyldt, vil reducere temperaturstigningen i grouten. Det var imidlertid ønsket at forsøgsmønstrene var på den konservative side hvad angår temperaturudviklingen, da de faktiske forhold i felten er så varierende.

Da temperaturpåvirkningen fra cementafhærdningen er kortvarig (mindre end ca. 20 timer) og omstændighederne ved forsøget er konservative, vurderes temperaturstigningen, som registreret under forsøget, ikke at være et problem. Dog skal man være opmærksom på at en større annulus end de anvendte 60 mm kan give problemer, specielt hvis forseglingen er placeret over grundvandsspejlet.

Konklusion

Det anbefales, at undgå meget tykke forseglinger (tykkere end ca. 100 mm) af cementrige grouts over grundvandsspejlet.

Best Practice - Forsegling af miljø- og geotekniske boringer samt sonderinger.

Version 2

I de seneste år er der påvist et stort antal utætte boringer ifm. jordforureningsundersøgelser. Både utætte samlinger i borerør og en utilstrækkelig forsegling har været årsag til utæthederne. I flere tilfælde har utæthederne i boringerne resulteret i en u hensigtsmæssig spredning af forurening. Denne problematik udgjorde grundlaget for dannelsen af en gruppe fagpersoner med deltagere fra NIRAS, COWI, WSP og GEO og udformningen af et projekt med udarbejdelse af Best Practice-retningslinjer for udførelse af borearbejde i forbindelse med etablering af miljø- og geotekniske boringer samt sonderinger.

Formålet med at udvikle en Best Practice for borearbejde er, at den skal være med til at sikre, at der etableres tætte boringer, således at boringsbetinget spredning af forurening til jord og grundvand kan undgås.

Projektet var opdelt i to faser. Første fase omfattede en litteraturgennemgang samt en omfattende erfaringsopsamling blandt borevirksomheder, konsulenter, myndigheder og leverandører. I fase 1 blev mange videnshuller identificeret bl.a. i form af opskrifter på groutblandinger og procedurer, som desværre ofte var udokumenterede. I fase to blev der ved udførelse af in-situ forsøg og et stort omfang af laboratorieforsøg fulgt op på at få en afklaring af disse videnshuller.

Den samlede viden fra hele projektet er afleveret i en Best Practice vejledning "Forsegling af miljø- og geotekniske boringer samt sonderinger, version 2" som også findes i en mindre feltversion.

I Best Practice findes råd og vejledning til udførelse af tætte boringer ift. bl.a. valg og anvendelse af materialer, til sætning af filter samt valg og anvendelse af forseglingsmaterialer i forskellig geologi.

